# ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ
# ІСТ-2018

## МАТЕРІАЛИ

## 7-ої Міжнародної науково-технічної конференції

присвяченої 55-річчю кафедри Прикладної математики ХНУРЕ,
55-річчю кафедри Програмної інженерії ХНУРЕ
та 40-річчю кафедри Прикладної математики та інформаційних
технологій ХНУМГ імені О.М. Бекетова

10-15 вересня 2018 р.
Коблеве -Харків

Міністерство освіти та науки України
Національна академія наук України
Люблінський відділ Польської Академії Наук
Представництво „Польська академія наук” у Києві
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харківський національний університет міського господарства
ім. А.М. Бекетова
AGH науково-технологічний університет в Кракові
Миколаївський кораблебудівний університет ім. адмірала Макарова
Одеський національний політехнічний університет
Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника
Українська нафтогазова академія
Українська Федерація Інформатики
Академія Наук Прикладної Радіоелектроніки
Білоруський державний університет інформатики та радіоелектроніки
Білоруський національний технічний університет
Національний університет цивільного захисту України
Запорізький національний технічний університет

# «Інформаційні системи та технології» ІСТ-2018

## М А Т Е Р І А Л И

**7-ї Міжнародної науково-технічної конференції,**

**присвяченої 55-річчю кафедри Прикладної математики ХНУРЕ,
55-річчю кафедри Програмної інженерії ХНУРЕ
та 40-річчю кафедри Прикладної математики та інформаційних технологій
ХНУМГ імені О.М. Бекетова**

**10-15 вересня 2018
Коблеве-Харків, Україна**

# «INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES» IST-2018

Proceedings
of the 7-th International Scientific and Technical Conference

September 10-15, 2018
Kobleve-Kharkiv, Ukraine

Харків 2018

УДК: 004.9

***Наукові редактори:*** *А.Д. Тевяшев - доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки);*
*Л.Б. Петришин - доктор технічних наук, професор (AGH University of Science and Technology;*
*1 taf[Cdaf[Cds fn] [cf? daU'tsdadz daf? lzdaj tafnfls j ls 'dz J . u ls j w Cdaf[C);*
*В.Г. Кобзєв – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник (Харківський національний університет радіоелектроніки)*

***Рецензенти:***

***Секція 1.*** *В.О. Філатов - доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки);*
***Секція 2.*** *В.В. Безкоровайний - доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки);*
***Секція 3.*** *О.Є. Федорович - доктор технічних наук, професор (Національний аерокосмічний університет «ХАІ»);*
***Секція 4.*** *В.П. Машталір - доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки);*
***Секція 5.*** *О.О. Шумейко - доктор технічних наук, професор (Дніпровський державний технічний університет);*
***Секція 6.*** *Н.В. Шаронова - доктор технічних наук, професор (Національний технічний університет «ХПІ»);*
***Секція 7.*** *І.С. Шостко - доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки);*
***Секція 8.*** *В.А. Лужецький - доктор технічних наук, професор (Вінницький національний технічний університет);*
***Секція 9.*** *Є.В. Бодянський - доктор технічних наук, професор (Харківський національний університет радіоелектроніки)*

Матеріали статей рецензовано та опубліковано в авторській редакції.

Інформаційні системи та технології: матеріали статей 7-ї Міжнародної науково-технічної конференції, Коблеве - Харків, 10-15 вересня 2018 року / наук. ред. А.Д. Тевяшев, Л.Б. Петришин, В.Г. Кобзєв. – Х.: ХНУРЕ, 2018. – 478 с.

**ISBN 987-617-7683-63-5**

Збірник містить матеріали статей Міжнародної науково-технічної конференції з проблем сучасних інформаційних систем та технологій.

Матеріали представляють інтерес для фахівців, науковців і аспірантів, діяльність яких пов’язана з розробкою та впровадженням сучасних інформаційних систем і технологій.

© Кафедра прикладної математики ХНУРЕ, 2018
© Кафедра програмної інженерії ХНУРЕ, 2018
© Автори статей, 2018



**Шановні учасники та гості**
**7-ої Міжнародної науково-технічної конференції**
**«Інформаційні системи та технології» ІСТ-2018 !**

Вітаю вас з початком роботи нашої конференції, яка вже в сьомий раз збирає фахівців різних напрямів розробки, дослідження та супроводу інформаційних систем, створення, вдосконалення і застосування сучасних інформаційних технологій. Це напрями, що найбільш динамічно розвиваються протягом останніх років і впливають на темпи розвитку та рівень досягнень багатьох сучасних галузей науки і техніки.

Традиційно у конференціях ІСТ беруть участь представники багатьох визнаних наукових колективів України та інших країн. Доповіді учасників конференції містять вагомі наукові результати, суттєва частина яких є результатами дисертаційних, держбюджетних і грантових досліджень, та знаходить практичне застосування.

Цього року конференція присвячена 55-річчю двох провідних кафедр Харківського національного університету радіоелектроніки – Прикладної математики та Програмної інженерії, а також 40-річчю кафедри Прикладної математики та інформаційних технологій Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. У її роботі беруть участь науковці, які є регулярними учасниками роботи конференцій ІСТ, нові учасники - поважні учені з Києва, Харкова, Львова, Івано-Франківська, Тернополя, Вінниці, Дніпропетрівська, Запоріжжя і інших міст України, а також з Польщі та Білорусі.

Бажаю усім учасникам конференції, у тому числі колективам кафедр – ювілярів, міцного здоров’я, плідної роботи та нових наукових досягнень у найактуальніших напрямках розвитку і застосування Інформаційних систем та технологій !

Ректор ХНУРЕ
Президент Академії наук
Прикладної радіоелектроніки,
доктор технічних наук, професор В.В. Семенець

## ХІГМАОТ

**1963**

Кафедра **Математичної фізики**
**ШЕСТОПАЛОВ В.П.**

**1965**

Кафедра **Обчислювальної математики та математичної фізики**
**РВАЧОВ В.Л.**

**1966** **ХІРЕ**

Кафедра **Обчислювальної математики**
**РВАЧОВ В.Л.**

**1975**

Кафедра **Прикладної математики**
**ШКЛЯРОВ Л.Й.**

**1986**

Кафедра **Прикладної математики**
**ТЕВЯШЕВ А.Д.**

## ХНУРЕ

**2018**



Завідувач кафедри з 1986 р.
**ТЕВЯШЕВ А.Д.**

**1963**

Кафедра **Обчислювальної техніки**
**РВАЧОВ В.Л.**

**1964**

Кафедра **Математичного програмування та моделювання**
**РВАЧОВ В.Л.**

Кафедра **Математичного моделювання**
**ШАБАНОВ-КУШНАРЕНКО Ю.П.**

Кафедра **Програмного забезпечення ЕОМ**
**МУРАШКО А.Г.**

**2011**

Кафедра **Програмної інженерії**
**БОНДАРЕНКО М.Ф.**

**2014**

Кафедра **Програмної інженерії**
**ДУДАР З.В.**



Завідувач кафедри з 2014 р.
**ДУДАР З.В.**

Кафедра **Математичних машин**
**БЄЛІК Г.І.**

Кафедра **Математичних машин дискретної дії (ЕОМ)** **ЄВДОКІМОВ А.Г.**

**1978** **ХІІКБ**

Кафедра **Прикладної математики та обчислювальної техніки**
**ЄВДОКІМОВ А.Г.**

**2005** **ХНАМГ**

Кафедра **Прикладної математики і інформаційних технологій**
**САМОЙЛЕНКО М.І.**

**2017** **ХНУМГ**

Кафедра **Прикладної математики і інформаційних технологій**
**НОВОЖИЛОВА М.В.**



Завідувач кафедри з 2017 р.
**НОВОЖИЛОВА М.В.**

Кафедра Прикладної математики ХНУРЕ

Історія кафедри прикладної математики ХНУРЕ розпочалась у 1963 році, коли у Харківському інституті гірничого машинобудування , автоматики та обчислювальної техніки (ХІГМАОТ) була створена кафедра Математичної фізики, яка у 1965 році була перейменована у кафедру Обчислювальної математики й математичної фізики. Кафедра не випускала своїх фахівців і працювала як загальноосвітня, з метою поліпшення математичної підготовки студентів. У різні роки кафедру очолювали доцент Дєєв В.М., професор Шестопалов В.П. (який пізніше став академіком та директором ІРЕ АН України), професор Рвачов В.Л. (який одночасно був ректором ХІГМАОТ). До складу викладачів кафедри з перших днів увійшли Дікарєв В.А. та Колосова С.В., яка сумлінно працює зі студентами до цього часу.

При перейменуванні інституту на Харківський інститут радіоелектроніки (ХІРЕ) у 1966 році кафедра змінила свою назву на кафедру Обчислювальної математики, нею керував професор Рвачов В.Л., причому з листопада 1967 року (після переходу на основну роботу до Інституту механіки, пізніше Інститут проблем машинобудування АН УРСР, де він став завідувачем відділу та академіком АН України) – за сумісництвом. З 1966 р. кафедра готувала спеціалістів з МПУ (Математичні лічильно-вирішальні прилади та пристрої), у 1969 році був здійснений перший набір студентів на спеціальність Прикладна математика.

У період 1970–1972 рр. кафедрою керував професор Стоян Ю.Г., якому також судилося пізніше стати завідувачем відділу Інституту проблем машинобудування (ІПМаш) та член-корреспондентом АН Украіни. Він і на цей час активно працює на рідній кафедрі.

З 1972 року завідувачем кафедри працював доцент Шкляров Л.Й. (у подальшому, 1995–2006 рр. він обіймав посаду декана факультету Прикладної математики та менеджменту). У 1975 році, кафедра отримала свою сьогоднішню назву – Прикладної математики.

У період 1981–1986 рр. кафедрою керував доцент Бондаренко М.А.

З 1986 р. завідувачем кафедрою прикладної математики ХІРЕ, з 1993 р. ХДТУРЕ, а з 2001 р. ХНУРЕ є професор, академік Української академії нафти й газу, академік Академії наук прикладної радіоелектроніки, доктор технічних наук, професор Тевяшев Андрій Дмитрович. Проф. Тевяшев А.Д. має більш ніж 300 наукових публікацій та 13 монографій, 5 авторських свідоцтв, є автором або співавтором 55 методичних розробок до практичних, лабораторних, курсових та дипломних робіт, а також чотирьох серій навчальних посібників з грифом Міністерства освіти та науки України. Кожна серія включає навчальні посібники з основних фундаментальних та найбільш актуальних прикладних дисциплін. Під його керівництвом захищено 19 кандидатських та 1 докторська дисертації.

За період існування кафедри значний внесок в її розвиток внесли викладачі перших років – професори Стоян Ю.Г., Шкляров Л.Й., Дікарєв В.А., Колосова С.В., Литвин О.М., Литвин А.Г. та Оніщенко Г.І., а також старші викладачі Головко Н.О. і Манько В.С. У 70–80-ті роки до них доєдналися співробітники НДС, ОЦ та випускники аспірантури – професори Яковлев С.В., Бородавко Ю.М., Мельников О.Ф., Гусарова І.Г., доценти Кривошеєва Г.М., Наумейко І.В., Козиренко С.І., Артюх Л.Ю.; у подальші роки – професори Романова Т.Є. та Кіріченко Л.О., доценти Єсілевський В.С., Сидоров М.В., Гибкіна Н.В., Кобзєв В.Г., Матвієнко О.І., Артюх А.В.; старші викладачі Середа О.Г., Манчинська Н.Б., Стаднікова Г.В.

За минулі роки на кафедрі проходили навчання та отримали вищу освіту декілька тисяч студентів. Деякі з них стали кандидатами та докторами наук, директорами підприємств та провідними фахівцями, що працюють в Україні, країнах ближнього та далекого зарубіжжя.

На теперішній час профілююча кафедра прикладної математики ХНУРЕ під керівництвом проф. Тевяшева А.Д. є однією з провідних у Східній Україні з підготовки фахівців з прикладної математики та системного аналізу на рівнях освіти бакалавр та магістр. Студенти вказаних спеціальностей щорічно приймають участь у Всеукраїнських олімпіадах і конкурсах студентських наукових робіт за напрямами «Математичні науки» і «Інформатика та кібернетика» та займають у них призові місця.

На цей час навчальний процес на кафедрі прикладної математики забезпечують 20 викладачів (16 штатних та 4 сумісника), з них 5 докторів наук, професорів (1 доктор фізико-

математичних наук та 4 доктора технічних наук), 9 кандидатів наук, доцентів (3 кандидати фізико-математичних наук та 6 кандидатів технічних наук), 1 кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, 1 кандидат фізико-математичних наук на посаді доцента, 1 кандидат технічних наук, старший викладач, 3 старших викладача без наукового ступеня.

При кафедрі діє аспірантура і докторантура за спеціальностями 01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювальні методи, 01.01.07 – Обчислювальна математика (перелік 2011 р.); 113 Прикладна математика, 124 Системний аналіз (перелік 2015 р.). Вісім науковців кафедри мають право керівництва аспірантами. За матеріалами наукових досліджень на кафедрі за останні роки підготовлено і захищено 1 докторську та 17 кандидатських дисертацій. На цей час в аспірантурі навчається 9 аспірантів.

Чотири співробітники кафедри прикладної математики (Тевяшев А.Д., Стоян Ю.Г., Кіріченко Л.О. та Романова Т.Є.) є членами спеціалізованих вчених рад з захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора (кандидата) наук за спеціальністю 01.05.02 – Математичне моделювання та обчислювальні методи у ХНУРЕ, ІПМаш НАН України та Національній металургійній академії України.

За результатами наукових досліджень у 2008–2018 рр. викладачами, докторантами, аспірантами та студентами кафедри опубліковано 15 монографій, 22 навчальних посібника, 405 статей в фахових виданнях, з них 79 за кордоном, більш 1050 тез наукових доповідей, з них 160 за кордоном, також отримано 4 патенти. В цих роботах відображений підсумок фундаментальних і прикладних досліджень, які проводяться на кафедрі.

Основні наукові дослідження кафедри прикладної математики виконуються за напрямом «Математичне моделювання і системний аналіз складних систем», науковий керівник – професор Тевяшев А.Д. Наукова діяльність кафедри спрямована на розробку і застосування нових математичних моделей і методів математичного та комп'ютерного моделювання, чисельного аналізу, багатокритеріальної оптимізації, теорії прийняття рішень, мережевих інформаційних технологій, що застосовуються при вирішенні різноманітних прикладних задач. На кафедрі прикладної математики діє визнана в Україні та за її межами наукова школа «Стохастичні моделі і методи контролю і керування в системах енергетики», науковий керівник – професор Тевяшев А.Д.

При кафедрі функціонує «Інформаційно-аналітичний центр математичного моделювання» (науковий керівник – професор Тевяшев А.Д.) з декількома напрямами: «Інтервальний аналіз і його застосування» (чл.-кор. НАН України, професор Стоян Ю.Г.), «Фрактальний і мультифрактальний аналіз самоподібних стохастичних процесів» (проф. Кіріченко Л.О.), «Метод R-функцій в математичному моделюванні фізико-механічних полів» (доц. Сидоров М.В.), «Математичне моделювання та оптимізація нестаціонарних неізотермічних режимів транспорту і розподілу природного газу в ГТС» (проф. Гусарова І.Г.), «Геоінформаційні системи і технології в системах енергетики» (доц. Єсілевський В.С.), «Моделі катастроф в ергатичних системах» (доц. Наумейко І.В.), «Проекційні методи розв'язання крайових задач і інтегральних рівнянь» (проф. Колосова С.В.) «Математичне моделювання та чисельний аналіз зображень комп'ютерної томографії» (проф. Литвин О.Г.).

Кафедра прикладної математики з 2012 року щорічно проводить міжнародну науково-технічну конференцію «Інформаційні системи і технології» за участю науковців Польської академії наук, Білорусі та інших країн. Професор Тевяшев А.Д. та доцент Кобзєв В.Г. є членами Організаційних та програмних комітетів наукових конференцій в Україні (ПНУ – Івано-Франківськ, НАНГ – Харків), Білорусі (БДУІР, Мінськ) та ін. Сумісно з Польською академією наук кафедрою прикладної математики з 2014 року видається щоквартальний науковий журнал «ECONTECHMOD». Завідувач кафедри професор Тевяшев А.Д. та доцент Кобзєв В.Г. є членами редколегії журналу, за їх пропозицією в журналі з'явився розділ «Інформатика та радіоелектроніка».

Кафедра постійно підтримує зв'язки зі своїми випускникам (багато з них є викладачами та науковцями ХНУРЕ), активно співпрацює у галузі освіти та науки з університетами та науковими установами з України, Білорусі, Польщі, Швеції, Німеччини, та Франції.

Кафедра Програмної інженерії ХНУРЕ

У 1963 р. у Харківському інституті гірничого машинобудування, автоматики й обчислювальної техніки була створена кафедра обчислювальної техніки. Її першим завідувачем став В.Л. Рвачов, викладачами — Ю.П. Шабанов-Кушнаренко, А.Г. Мурашко, Л.Й. Шкляров, Є.П. Путятін, В.В. Тищенко.

Тут здійснювалася підготовка інженерів за фахом «Математичні і лічильно-вирішальні прилади й пристрої», велася розробка засобів обчислювальної техніки, нових методів обчислень, математичного моделювання властивостей зору людини.

У 1964 р. відбувся поділ кафедри обчислювальної техніки: з'явилися три кафедри — математичних машин, технічної кібернетики, математичного програмування й моделювання.

Кафедру математичного моделювання очолив Ю.П. Шабанов-Кушнаренко. Почала розширюватися тематика математичного моделювання психічних функцій людини, до педагогічного колективу приєдналися Г.Ф. Дюбко, М.Ф. Бондаренко, О.Г. Качко, Ю.С. Марченко, В.А. Ловицький. Починаючи з 1969 р. кафедра готувала спеціалістів за фахом: «Прикладна математика» (спеціалізація: «Математичне забезпечення ЕОМ і АСУ»).

У 1975 р. кафедра була перейменована у кафедру програмного забезпечення електронно-обчислювальних машин. Протягом 1969–1984 рр. на її базі розвивалися нові наукові напрями: розпізнавання зорових образів (керівник — Є.П. Путятін), реалізація біонічних моделей засобами обчислювальної техніки (Ю.П. Шабанов-Кушнаренко, М.Ф. Бондаренко), паралельні обчислення (А.Г. Мурашко).

У 2011 р. назву кафедри було змінено на «Програмна інженерія».

З 1974 до 1984 р. кафедру очолював А.Г. Мурашко, упродовж 1984–1987 рр. — Г.Ф. Дюбко. З 1987 р. по вересень 2013 р. завідувачем був М.Ф. Бондаренко, а його помічником (з 1994 р.) — Зоя Володимирівна Дудар. З 2014 року кафедру очолює З. В. Дудар.

У 1998 р. кафедра програмного забезпечення електронно-обчислювальних машин почала опікуватися питаннями дистанційної освіти. Так у 2001 р. з ініціативи університету було створено Українську асоціацію дистанційної освіти. При деканаті післядипломної освіти кафедра уперше у виші розпочала підготовку фахівців за дистанційною формою навчання, а В.І. Каук у 2002 р. став засновником Центру технологій дистанційної освіти.

У 2003 р. із кафедри відокремилася кафедра соціальної інформатики, завідувачем якої стала К.О. Соловйова.

У 1993 році на кафедрі відбувся перший в Україні випуск інженерів – розробників програмного забезпечення з присвоєнням кваліфікації «інженер-програміст».

На сьогодні на кафедрі працюють 54 особи науково-педагогічного персоналу (з сумісниками): 12 професорів(доктори та кандидати технічних та фізико-математичних наук); 27 доцентів, 3 старших викладачів, 3 асистенти. Близько 80% співробітників мають вчені звання та наукові ступені.

Сьогодні кафедра програмної інженерії готує студентів за трьома ступенями вищої освіти за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»: бакалаврів (освітня програма «Програмна інженерія»); магістрів (за програмами «Інженерія програмного забезпечення» та «Програмне забезпечення систем»); докторів філософії. Навчальні плани узгоджено з міжнародними стандартами підготовки програмістів.

Студенти мають широкі можливості вільного вибору дисциплін. Деякі предмети викладаються англійською мовою у окремо сформованих групах.

Починаючи з 3-го курсу студенти проходять практику в провідних IT-компаніях Харкова та України. Договір про співробітництво між кафедрою ПІ ХНУРЕ та компаніями Global Logic, EPAM Systems, Sigma Software та NixSolution дозволив створити на кафедрі лабораторії з розробки сучасного програмного забезпечення. В цьому році оновлено аудиторію Globallogic та планується відкриття ще двох комп'ютерних класів від EPAM Systems та NixSolution.

За активною участю викладачів кафедри планується відкриття академічного бізнес-інкубатору «YEP!» та YEP!-клубу, які на базі ХНУРЕ будуть майданчиком для підтримки студентських ініціатив та стартапів. В бізнес-інкубаторі, що буде відкрито в ХНУРЕ,

студенти навчатимуться проектному менеджменту, маркетингу та розроблятимуть нові бізнес-проекти. Метою YEP-клубу буде створення активної молодіжної спільноти, члени якої були б орієнтовані на створення власних проектів. У такому клубі студенти та викладачі будуть спілкуватися з експертами та підприємцями, генерувати нові ідеї, створювати команди та отримувати професійну допомогу від YEP-інкубатору.

Практикується залучення провідних спеціалістів фірм до викладання професійно-орієнтованих дисциплін, здійснюється цільова підготовка студентів старших курсів у формі безкоштовних факультативних занять від компаній. Протягом 2018 р. та впродовж 8 років проводиться набір на безкоштовні курси та до інтернатури від компаній: Gameloft, EPAM Systems, NixSolutions, Sigma Software, GlobalLogic, DCT, Infostroy на QA, QA Automation, JAVA, C #, . NET, C + +, Android, iOS, Front-end, BA, UI/UX, Ruby, Data Science та інших.

Під час навчання студенти підвищують свій професійний рівень, беруть участь у роботі семінарів і гуртків, організованих на базі наукових лабораторій, гуртка «Програміст» (де студенти здобувають знання та навички у вирішенні олімпіадних завдань з програмування), лабораторії GameDev (де готують студентів до розробки ігрових проектів), беруть участь у проекті «IT Talents» (де поглиблено вивчаються складні алгоритми з практичним їх застосуванням в різних областях IT).

Лабораторія GameDev Lab кафедри співпрацює з ігровими IT компаніями, такими як iLogos, Gameloft, 3Dmaya. Також до співпраці долучилися ігрові компанії G5, Gameloft та Playwing. Було проведено по декілька спільних семінарів. Проведено круглий стіл з обговорення перспектив навчання ігровому дизайну за участю лабораторії та компаній Gameloft і Playwing. Проводились відкриті сетінги по C++ в ігровій індустрії від компанії Playwing.

З 2016 року на базі кафедри ПІ функціонує проект IT Talents. Це освітній проект для перспективних, талановитих молодих людей, які прагнуть отримати глибокі знання в області комп'ютерних наук і програмної інженерії. Метою проекту є інтенсивне навчання студентів спеціальним розділам математики, з урахуванням прикладного програмування. На теперішній час в проекті IT Talents приймають участь 4 групи, студенти 2, 3 та 4 курсів. Чисельність груп близько 60 чоловік із різних факультетів університету.

Загін "Програміст" був утворений на базі кафедри ПІ в 1998 році. В ньому навчаються талановиті студенти зі всього університету. Вони здобувають практику та знання з вирішення олімпіадних та екстра-важких задач з програмування.

Неодноразово студенти кафедри ПІ посідали призові місця на українських та міжнародних змаганнях з програмування, гідно представляли кафедру та університет на виставках, конкурсах, конференціях та форумах. З останніх: Фестиваль інновацій МОН України, міжнародний конкурс «Золотий Байт», X Кубок Векуа (м. Зугдіді, Грузія), фінал відкритого Чемпіонату Білорусі (м. Мінськ), XVIII Відкрита Всесібірська олімпіада з програмування ім. І.В. Поттосіна (півфінал), XI Кубок Векуа (м. Тбілісі, Грузія), Чемпіонат Південного Кавказу (м. Тбілісі, Грузія), Фінал відкритого Чемпіонату Білорусі (м. Мінськ), Фінал міжнародного марафону з командного програмування Deadline24, XI Міжнародна відкрита студентська олімпіада з програмування імені С. О. Лебедєва та В. М. Глушкова «KPI-Open 2018», XIII відкритий чемпіонат Харкова зі спортивного програмування, Всеукраїнська літня школа з програмування, I та II етап Всеукраїнської студентської олімпіади з програмування, Фінал Всеукраїнської студентської олімпіади з програмування, XV відкритий чемпіонат Харкова зі спортивного програмування.

У галузі освіти і науки кафедра співпрацює з Ліннеус університетом м. Вакха (Linnaeus University), Швеція, а також з Університетом Економіки (WSG) м. Бидгощ, Польща. Студенти мають можливість отримати два дипломи - український і європейський рівня «бакалавр» або «магістр», а також проходити стажування і брати участь в літніх і зимових школах з програмування.

За останні роки кафедра брала участь в Темпус проектах: «Національна освітня інфраструктура удосконалення інноваційної та підприємницької діяльності IT-студентів» (NEFESIE), «Мережа для розвитку безперервного навчання у Вірменії, Грузії та Україні» (LeAGUe), «Інноваційна гібридна стратегія IT-аутсорсингового партнерства з підприємствами» (IHSITOP).

Кафедра Прикладної математики і інформаційних технологій ХНУМГ

26 жовтня 1978 р. у Харківському інституті інженерів комунального будівництва (таку назву мав тоді Харківський національний університет імені О. М. Бекетова) було створено кафедру «Прикладної математики і обчислювальної техніки», першим її завідувачем став д.т.н., проф. Євдокімов Анатолій Гаврилович, який очолював її з 1979 по 2005 рр.

Наприкінці 70-х років комп'ютерна техніка, інформаційні технології впевнено увійшли до будівельних, архітектурних, муніципальних проектів, що дозволило Університету задіяти когорту прогресивних математиків, програмістів та науковців, суттєво підвищити інформаційну та математичну складову навчального процесу. На цьому тлі енергія, харизма, професіоналізм, наукова інтуїція, людяність, інтелігентність згуртували навколо проф. А. Г. Євдокімова співробітників і студентів, створили життєздатний науковий колектив. Його ядром стали випускники ХІРЕ, ХДУ ім. М. Горького, співробітники кафедри ММДД ХІРЕ, яку очолював професор А. Г. Євдокімов до 1978 р. У першому складі кафедри були проф. А. Г. Євдокімов, доц. М. І. Сенченко, доц. В. Д. Гребінник, доц. А.Д. Тевяшев, ас. В. С. Рухляда, ст. викл. О. Д. Скрипко, співробітники наукового сектору М. В. Федоров, С. В. Дядюн, С. І. Козиренко, А. Л. Шаповалов, М. М. Хренов, М. Ю. Вишняк, Л. Ю. Артюх, О. В. Павлова. Технічно-організаційну роботу кафедри забезпечив навчально-допоміжний персонал: В. А. Вороніна, В. Л. Неділько, О. П. Гавриленко, І. З. Василевський. Середній вік нових викладачів не перевищував 30 років. Саме вони взяли на себе відповідальність за розробку нових наукових напрямів, за прикладну математичну та комп'ютерну підготовку студентів усіх спеціальностей.

З плином часу склад кафедри поповнювався за рахунок підготовки власних кадрів. Колишні аспіранти ставали викладачами, докторантами, створювали власні наукові школи, очолювали профільні підрозділи інших освітніх закладів м. Харкова та України. Серед перших співробітників та соратників професора Євдокімова були відомі сьогодні фахівці: директор Книжкової палати України, д.т.н., професор М. І. Сенченко, завідувач кафедри прикладної математики ХНУРЕ, д.т.н., професор А. Д. Тевяшев, завідувач кафедри ХНУРЕ, д.т.н., професор Г. Ф. Кривуля, завідувач кафедри Сумського національного університету, д.т.н., професор О.А. Борисенко.

З перших років існування кафедри було сформовано новий науковий напрям «Математичне моделювання, оптимізація та автоматизоване управління великими системами енергетики». Результати наукової школи Лауреата Державної премії України, заслуженого діяча науки і техніки України професора А.Г. Євдокімова стали значним явищем в українській науці, про що свідчать численні посилання на виступи та публікації. Наукові розробки кафедри мали чітко виражений прикладний характер, результати наукових досліджень знайшли практичне втілення в народному господарстві України та країн СНД. За 27 років під керівництвом проф. А. Г. Євдокімова було підготовлено 4 доктори наук, 37 кандидатів наук, його науковий внесок склав понад 200 фундаментальних наукових праць, 8 монографій (у т. ч. англійською мовою), 6 навчальних посібників, 11 винаходів.

1 квітня 1992 наказом ректора Л. М. Шутенка на базі лабораторії «Системи автоматизованого проектування» (САПР), що входила до складу кафедри ПМ і ОТ, була створена кафедра САПР. Першим очільником кафедри став д.т.н., проф. І. І. Бажин (1992 – 1994). З часом керівництво здійснювали доц., к.т.н. В. Д. Гребінник (1994 – 1999), д.т.н., проф. М. І. Самойленко (1999 – 2004), д.т.н., проф. І. М. Рябченко (2004 – 2005).

У 2005 р. в результаті об'єднання кафедр ПМ і ОТ та САПР було створено кафедру Прикладної математики і інформаційних технологій (ПМ і ІТ). Славетні традиції школи проф. А.Г. Євдокимова продовжив на посаді завідувача кафедри його учень, д.т.н., проф. М. І. Самойленко – лауреат премії МОН України «За досягнення в навчально-виховній і науково-методичній роботі» (1988), власник сертифікату книги «Who's Who in Science and Engineering» (США, 2000), дипломант конкурсів «Наука Харківщини-2000» і «Вища

школа Харківщини – кращі імена» (2001), автор понад 250 наукових праць, 13 монографій, 10 навчальних посібників і підручників. Проф. Самойленко М. І. підготував 10 кандидатів наук, започаткував власний науковий напрям – підвищення надійності складних технічних систем. За часів завідування М. І. Самойленка на кафедрі розпочато підготовку бакалаврів за спеціальностями «Комп'ютерні науки» та «Системна інженерія». Фактично у 2014 році розпочалась новітня історія кафедри, з розвитком цих освітніх напрямів нерозривно пов'язане сьогодення і майбутнє кафедри.

Значний внесок у становлення кафедри належить співробітникам, які в різні періоди виконували обов'язки завідувача кафедри: к.т.н., доц. Манакова Наталія Олегівна (2015); к.ф-м.н., доц. Костенко Олександр Борисович (2015-2016); к.т.н., доц. Євдокімов Андрій Анатолійович (2016-2017).

З 1 вересня 2017 р. кафедру ПМ і ІТ очолила д. ф-м. н., професор Новожилова Марина Володимирівна, автор понад 250 наукових праць, у т.ч. 5 монографій та 120 наукових статей, 8 з яких включено до НМБ Scopus. Під її керівництвом кафедра стала випусковою за трьома спеціальностями: 122 – Комп'ютерні науки, 126 – Інформаційні системи і технології, 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, що дозволило побудувати на кафедрі унікальне освітнє середовище. Також кафедра проводить базову і профільну підготовку бакалаврів, магістрів та аспірантів практично усіх спеціальностей університету. У 2017 р. здійснено перший випуск бакалаврів за спеціальністю «Комп'ютерні науки», які у повному складі продовжують навчання у магістратурі.

На сьогодні штат науково-педагогічного персоналу кафедри складає: 3 професори, 17 доцентів, 3 старші викладачі, 3 асистенти. Близько 80% співробітників мають вчені звання та наукові ступені. Кафедра готує аспірантів за спеціальністю 05.13.06 – «Інформаційні технології» (наукові керівники к.ф-м.н., доц. Костенко О. Б., к.т.н., доц. Карпенко М. Ю.), напрацьована значна науково-методична база. Тільки за останні роки було опубліковано 12 монографій, 16 навчальних посібників, 130 наукових статей (22 з них проіндексовано у наукометричних базах), 258 тез доповідей на міжнародних конференціях, 228 тез на студентських конференціях, представлено 12 студентських робіт на Всеукраїнські конкурси. На кафедрі діють лабораторії: комп`ютерних і мікропроцесорних систем, моделювання інформаційних систем, корпоративних мережевих технологій, інформаційних технологій. Усі вони оснащені сучасними комп'ютерами та системами мультимедіа.

Основний напрямок міжнародної діяльності кафедри зосереджено на грантових заявках за програмою «Горизонт 2020» (розділ «Інформаційні системи і технології в міському просторі»). Так, у 2015/2016 н.р. доцент Манакова Н. О. проходила стажування за грантом у Словенії, а у 2016/2017 н.р. – стажування у Словакії.

Повсякденна діяльність кафедри щільно пов'язана з реальним сектором економіки. Серед наших партнерів низка ІТ-компаній і виробничих підприємств (Line Up, ВО «Овен» тощо), які відкриті до співробітництва, готові брати студентів на стажування та подальшого працевлаштування. Кафедра підтримує стосунки з представництвом компанії CISCO, з провідними науковими та освітніми закладами України.

Сьогодні кафедра продовжує науково-дослідну роботу за темою «Інформаційні системи і технології в міському просторі», опановує нові наукові напрями, серед яких: створення та використання інформаційних технологій в соціокультурній сфері на прикладі автоматизації навчального процесу закладів вищої освіти; створення та розвиток методології моделювання та розв'язання оптимізаційних задач розміщення геометричних об'єктів довільної просторової форми і фізичної природи з метричними характеристиками, що змінюються; розробка моделей та методів оптимізації управління охороною здоров'я на регіональному рівні з використанням інформаційних технологій; побудова динамічної геоінформаційної системи моніторингу регіональних ресурсів на основі зонінгу; розробка моделей і методів для управління територіальною системою цивільного захисту населення; наукова робота зі студентами у рамках проекту «3D Models in Google Earth».

Секція 1

Сучасні інформаційні системи та технології: проблеми, методи, моделі.
Управління проектами та програмами.

Section 1

Modern information systems and technologies:
problems, methods, models.
Projects and program managements.

# Метод Синтезу Моделі Даних у Задачах Реінжинірингу Реляційних Систем

Валентин Філатов
завідувач кафедри штучного інтелекту
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
valentin.filatov@nure.ua

Валерій Семенець
ректор
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
valery.semenets@nure.ua

# Method of Data Model Synthesis for Relational Systems Reengineering

Valentin Filatov
Head of Artifice Intelligence Department
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
valentin.filatov@nure.ua

Valerii Semenets
rector
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
valery.semenets@nure.ua

***Анотація*—Запропоновано підхід до пошуку функціональних залежностей, заснований на аналізі множини даних реляційної бази даних. Виділено класи завдань реінжинірингу реляційних баз даних; досліджено етап формування цільової логічної схеми, яка є спільною для задач адаптації та рефакторінга. Розглянуто задачу перевірки відповідності логічної схеми реляційної бази даних третій нормальній формі в рамках даного етапу за допомогою методу синтезу. Показано, що її рішення пов'язане із рядом труднощів, зокрема, необхідністю знаходження множини функціональних залежностей, що виконуються на поточному екземплярі даних реляційної бази даних. Запропоновано підхід для знаходження множини функціональних залежностей примірника даних реляційної структури. Як спрямовуючу силу для подальших досліджень можна виділити реалізацію підтримки порожніх значень на етапі виявлення функціональних залежностей, а також питання перенесення даних без втрат із вихідної структури бази даних у цільову, отриману в результаті застосування методів реінжинірингу.**

***Abstract*—An approach to the search for functional dependencies, based on the analysis of the data set of the relational database is proposes. The classes of tasks of reengineering of relational databases are allocated. The stage of the formation of the target logic scheme, which is common to adaptation and refactoring tasks, is investigated. The task of checking the correspondence of the logical scheme of the relational database to the third normal form within the framework of this stage using the method of synthesis is considered. It is shown that its solution is associated with a number of difficulties, in particular, the need to find the set of functional dependencies performed on the current instance of the relational database. An approach is proposed for finding the set of functional dependencies of a copy of the relational structure data. As a driving force for further research, the implementation of support for hollow values at the stage of identifying functional dependencies, as well as the issue of transfer of lossless data from the original database structure to the target, obtained as a result of using reengineering methods, can be singled out.**

***Ключові слова—реінжиніринг, реляційна база даних, функціональна залежність, виявлення залежностей, універсальне відношення, замикання функціональних залежностей.***

***Keywords—reengineering, relational database, functional dependence, dependency detection, universal relation, closure of functional dependencies.***

## I. Вступ

Розвиток інформаційних технологій призводить до змін усіх етапів життєвого циклу інформаційних систем (ІС), зокрема, етапів підтримки й супроводу. Вимоги до обробки даних предметних областей, що постійно змінюються, негативним чином позначаються як на якості програмного продукту, так і подальших можливостях його розвитку та обслуговування. Нерідко виникають ситуації, коли подальша підтримка окремих компонентів або системи в цілому стає неможливою через значне ускладнення внутрішньої структури та завдань, що постійно змінюються, а проектування нової системи, здатної задовольнити поточні вимоги, є недоцільним із ряду причин. Одним із можливих варіантів вирішення такої проблеми є проведення реінжинірингу, метою якого є поліпшення характеристик вихідної ІС на основі попереднього аналізу поточного стану ІС та її окремих компонентів [1].

## II. Основні проблеми проектування інформаційних систем

Розробка і реалізація багатьох сучасних великих інформаційних проектів має, як правило, затяжний характер, їх ціна перевищує заплановану, а остаточний продукт виходить ненадійним та складним у супроводі. Це призводить до ситуації, відомої як «криза програмного забезпечення». Перші згадки про кризу були зроблені ще наприкінці 80-х років, але навіть через 30 років її все ще не вдалося подолати. Основні невдачі при створенні програмного забезпечення викликані відсутністю повної специфікації вимог на етапі проектування, прийнятної методології розробки або недостатнім ступенем поділу спільного глобального проекту на окремі компоненти, які піддаються ефективному контролю та управлінню.

У разі часткової реалізації вимог користувачів інформаційної системи або зміні бізнес-процесу таким чином, що система перестає відповідати потребам користувачів, можливі кілька варіантів розвитку: розробка нової системи; модифікація (розвиток) існуючої системи; реінжиніринг існуючої (успадкованої - legacy system) системи [2].

Перший варіант найбільш простий і кращий для розробника, але він найменше задовольняє вимогам користувачів, бо будуть потрібні витрати додаткового часу і фінансових ресурсів, а також існують ризики втрати накопиченої інформації за час існування експлуатованої ІС. Реінжиніринг успадкованих інформаційних систем вимагає залучення експертів в області інформаційних систем і технологій, що відповідно призводить до ускладнення, подорожчання таких робіт. У більшості випадків існує така думка: простіше розробити систему заново, ніж вдатися до її реінжинірингу. Це пов'язано із кваліфікацією фахівців, яких необхідно залучити для проведення робіт. Вони повинні бути досить високого рівня для вирішення комплексу задач проектування і створення модифікованої інформаційної системи [3]. База даних, зазвичай, є найбільш важливою складовою ІС. На сьогоднішній день реляційні бази даних (РБД) займають домінуюче місце і використовуються у переважній більшості існуючих програмних додатків і сервісів. Цим обумовлений вибір РБД як об'єкту дослідження.

Було проведено аналіз існуючих публікацій із дослідженнями даної тематики. Основними напрямками розвитку є: реінжиніринг логічної схеми за допомогою проміжного представлення, такого, як ER-модель або власні метамоделі, і застосування набору визначених правил для трансляції об’єктів моделі в конструкції РБД, реінжиніринг застарілих БД; видобування структури як застарілих, так і реляційних БД і представлення їх у вигляді концептуальної моделі даних, зокрема, ER-моделі.

У даній роботі розглядається задача виявлення інформації про взаємозв’язки між даними, які могли встановитися в процесі функціонування БД. З цією метою розробляються методики відновлення структури даних, обумовленою їх взаємозв’язками, для подальшого аналізу і перенесення даних на сучасну платформу, як правило, реляційну [4].

## III. Розробка методу пошуку функціонально-залежних атрибутів реляційної бази даних

Вихідними даними для вирішення поставленої задачі є: логічна схема реляційної БД

$$\Sigma = \{\sigma_i\}, i = \overline{1,n},$$

де $\sigma_i$ – схема відношення $\sigma_i =< R_i, F_i >$, що надходить до БД, $R_i$ – носій відношення (множина атрибутів), а $F_i$ – множина функціональних залежностей (ФЗ), які задовольняють даному відношенню, $n$ – кількість відношень. $P = \{\rho_i, i = \overline{1,n}\}$ – множина відношень розглянутої БД.

Існування функціональної залежності вигляду $A \to B$ означає [5], що для будь-яких двох кортежів $u, v$ деякого відношення $\rho_k$ справедливий наслідок:

$$u(A) = v(A) \Rightarrow u(B) = v(B).$$

У якості прикладу розглянемо логічну схему $\Sigma = \{\sigma_1, \sigma_2\}$, що складається з двох схем відношень:

$$\sigma_1 =< R_1 = \{A, B, C\}, F_1 >, \sigma_2 =< R_2 = \{C, D\}, F_2 >.$$

Вдамо, що інформація про $F_1, F_2$ відсутня або загублена. Отримати множину ФЗ, що задовольняють даному відношенню, можливо за допомогою методу виявлення ФЗ із екземплярів даних відношень, зокрема, методу Tane, принцип и реалізація якого детально викладені у [6].

У результаті його застосування буде отримана множина мінімальних ФЗ, що задовольняють набору даних у відношенні на момент проведення обробки.

Мінімальна ФЗ – це залежність:

$$X \to Y, X = \{A_1, \ldots, A_n\}, Y = \{B_1, \ldots, B_m\},$$

у якій не існує така множина $Z \subset X$, для якої б виконувалось $Z \to Y$. Тривіальні ФЗ вигляду $A_1 \to A_1$ ігноруються даним методом, оскільки не є суттєвими.

Розглянемо відношення $\rho_1, \rho_2$, що наведені у двох наступних таблицях.

ТАБЛИЦЯ I. Відношення $\rho_1$

| A | B | C |
|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 1 |
| 1 | 2 | 2 |
| 1 | 3 | 3 |
| 3 | 1 | 1 |
| 4 | 2 | 2 |
| 2 | 2 | 4 |

ТАБЛИЦЯ II. Відношення $\rho_2$

| C | D |
|---|---|
| 1 | 1 |
| 2 | 1 |

Застосуємо метод Tane та отримаємо множину ФЗ для наведених відношень:

$$F_1 = \{AC \to B\}, F_2 = \{C \to D\}.$$

Приймаючи до уваги множину ФЗ для $F_1$ и $F_2$, множина ФЗ схеми $\Sigma$ буде мати вигляд:

$$F_\Sigma = \bigcup_{i=1}^{2} F_i = \{AC \to B, C \to D\}.$$

Носій універсального відношення $R = \{R_1 \cup ... \cup R_n\}$ у цьому випадку виглядає наступним чином: $R = R_1 \cup R_2 = \{A,B,C\} \cup \{C,D\} = \{A,B,C,D\}$.

Універсальне відношення може бути отримано через природне з'єднання всіх відношень, що входять у схему. Результат такого з'єднання наведено у наступній таблиці.

ТАБЛИЦЯ III. УНІВЕРСАЛЬНЕ ВІДНОШЕННЯ

| A | B | C | D |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 2 | 1 | 1 |
| 1 | 2 | 2 | 1 |
| 1 | 3 | 3 | 1 |
| 3 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 2 | 2 | 1 |
| 2 | 2 | 4 | 1 |

Після застосування методу Tane для отриманого універсального відношення, будуть виявлені такі ФЗ:

$$\overline{F_\Sigma} = \{AC \to B, C \to D, A \to D, B \to D\}.$$

Ця множина містить усі мінімальні ФЗ, що належать $F_\Sigma$, а також додаткові, раніше невідомі ФЗ $F_\Sigma^{'} = \{A \to D, B \to D\}$. Отже, множину ФЗ універсального відношення для логічної схеми $\Sigma$ можна виразити як $\overline{F_\Sigma} = F_\Sigma \cup F_\Sigma^{'}$, де $F_\Sigma$ – множина ФЗ, що задовольняє вихідним відношенням $\Sigma$, $F_\Sigma^{'}$ – множина додаткових ФЗ.

Далі необхідно встановити, чи дійсно ФЗ із множини $F_\Sigma^{'}$ виводяться з $F_\Sigma$, або ж вони є новою інформацією. Для цього пропонуємо застосувати метод перевірки належності ФЗ до замикання $(F_\Sigma)^+$ – вирішення проблеми членства. Принцип полягає у наступному: у зв'язку з тим, що побудова $F^+$ пов'язана із перебором усіх підмножин множини атрибутів, які належать $F$, і мають експоненціальну складність, пропонується будувати $F$-замикання на множині атрибутів.

$F$-замиканням множини $X$ назвемо таку множину атрибутів $X^+$, що $X \to X^+ \in F^+$ і не існує жодного атрибуту у $R$, який б залежав від $X$ і не належав $X^+$. Реалізація методу побудови $F$-замикання має лінійну складність. Таким чином, метод перевірки належності ФЗ $X \to Y$ до замикання $F^+$ полягає у побудові $F$-замикання $X^+$ і визначенні істинності вислову $Y \subseteq X^+$. У разі, коли вислів істинний, то $X \to Y \in F^+$.

Щоб перевірити $A \to D$ на належність до $F_\Sigma^+$, потрібно побудувати $A^+$. Відповідно до $A^+ = \{A\}$, $F_\Sigma$ не містить ФЗ, для яких $A$ була би єдиним атрибутом у лівій частині ФЗ. $D \notin A^+$, відтак, $A \to D \notin F_\Sigma^+$. Аналогічним чином доводиться, що $B \to D \notin F_\Sigma^+$. Отже, множина $F_\Sigma^{'}$ виявлених залежностей є не виведеною і являє собою нову інформацію.

Даний підхід не гарантує повної відповідності нових залежностей розглянутої предметної області. У зв'язку з тим, що він базується на множині даних, яка міститься у РБД на момент проведення обробки і не враховує їх семантику, існує велика ймовірність отримання випадкових ФЗ. Випадкова ФЗ – це така ФЗ, що не є коректною для конкретної предметної області і може бути усунена у будь-коли після зміни або додавання кортежів із даними, що суперечать виявленій залежності, в процесі функціонування РБД.

## IV. ВИСНОВКИ

Запропоновано підхід до виявлення раніше невідомих функціональних залежностей, що ґрунтується на аналізі множини даних реляційної БД. Першим кроком пропонується отримання множини ФЗ для кожного відношення. На другому кроці проводиться аналогічна операція для універсального відношення даної РБД. Стає можливим виявити ФЗ між атрибутами різних відношень – взаємозв'язку між даними, що встановилися у процесі функціонування РБД. Запропоновано спосіб визначення їх інформаційної новизни, який полягає у перевірці членства ФЗ універсального відношення у замиканні об'єднання множин ФЗ окремих відносин. Напрямком для подальших досліджень є розробка методів для здійснення перевірки отриманих залежностей на предмет коректності для предметної області РБД, що підлягає реінжинірингу.

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] В.И. Есин, "Реинжиниринг существующих баз данных" Системи обробки інформації, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, Харків 2012, вип. 3 (101), том 2, с. 188-191.

[1] С.М. Константінов, Ю.Л. Пономаренко, В.О. Філатов, "Часткове відображення моделей даних при ін теграції інформаційних систем" Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем: Зб. наук. пр., вип. 21, Київ, 2016, с. 140-158.

[2] V. Kosenko, "Principles and structure of the methodology of risk-adaptive management of parameters of information and telecommunication networks of critical application systems" in Innovative technologies and scientific solutions for industries. Kharkiv. 2017. No. 1 (1). pp. 46-52.

[3] V. Filatov, "Fuzzy models presentation and realization by means of relational systems" in Econtechmod: an international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes. Lublin ; Rzeszow, 2014, Vol.3, № 3, pp. 99-102.

[4] V. Filatov, V. Radchenko, "Reengineering relational database on analysis functional dependent attribute" Proceedings of the X Intern. Scient. and Techn. Conf. "Computer Science & Information Technologies" (CSIT'2015), 14-17 sept. 2015, Lviv, Ukraine, pp. 85-88.

[5] V. Filatov, S. Doskalenko, "The Approach to Searching for Functional Dependences of Data in Relational Systems" in Innovative technologies and scientific solutions for industries, Kharkiv, 2018, No. 3 (1), pp. 54-58.

# Uwarunkowania Kooperacji Sektorowej w Hutnictwie i Przetwórstwie Aluminium

Andrzej Jamróz
Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Zarządzania
Kraków, Polska
ajamroz@zarz.agh.edu.pl

Dariusz Sala
Akademia Górniczo-Hutnicza
Wydział Zarządzania
Kraków, Polska
dsala@zarz.agh.edu.pl

# Conditions of Sectoral Cooperation in Metallurgy and Aluminum Processing

Andrzej Jamroz
AGH University of Science and Technology
Faculty of Management
Krakow, Poland
ajamroz@zarz.agh.edu.pl

Dariusz Sala
AGH University of Science and Technology
Faculty of Management
Krakow, Poland
dsala@zarz.agh.edu.pl

***Streszczenie*—Uwarunkowania kooperacji sektorowej mogą mieć różne podstawy. Najczęściej dotyczą współpracy przedsiębiorstw w układzie pionowym to jest dostawca-odbiorca lub coraz częściej w poziomym firm z tego samego sektora. Przykładem może być przemysł hutniczy i przetwórstwa aluminium gdzie kooperacja służy ograniczeniu wpływu procesu przetapiania aluminium na środowisko naturalne.**

***Abstract*—The conditions of sectoral cooperation may have different bases. The most common are the cooperation of companies in the vertical layout, that is the supplier-recipient or increasingly often horizontal companies from the same sector. An example may be the metallurgical industry and aluminum processing, where cooperation serves to limit the impact of the aluminum remelting process on the natural environment.**

***Słowa kluczowe: kooperacja sektorowa, przetwórstwo aluminium.***

***Keywords: sectoral cooperation, aluminum processing.***

## I. WSTĘP

Współczesna gospodarka jest skomplikowanym organizmem wzajemnych relacji organizacji ją tworzących. Występują zjawiska zarówno konkurencji jak i współpracy a także innych relacji jak kooperacja i kooperencja. Organizacje w tym organizacje gospodarcze wykorzystują wszystkie możliwości planując swoje strategie rozwoju i utrzymania przewagi konkurencyjnej. Zaobserwować to można zarówno w tych działaniach które dotyczą danego sektora gospodarki ale także międzysektorowych. Przykład kooperacji i kooperencji można zaprezentować na przykładzie sektora hutnictwa i przetwórstwa aluminium. W sektorze tym uwarunkowania są podstawą do wspólnych działań mających na celu obniżenie obciążenia środowiska wynikające ze znacznego zużycia energii i emisji gazów cieplarnianych. Powstają klastry naukowo-technologiczne obejmujące różne firmy których celem jest nie tylko wspólne przygotowanie działań z zakresu badań i rozwoju, organizacji produkcji, ale innowacyjności w poszanowaniu energii i zabezpieczeniu środowiska przed nadmierną eksploatacją. Coraz częściej brany jest pod uwagę ekologiczny cykl życia produktu (analiza LCA), który uwzględnia nie tylko fazę produkcji danego wyrobu jej wpływ na środowisko ale również okres po zakończeniu użytkowania oraz to co poprzedza proces produkcyjny czyli np. pozyskanie surowców, ich obróbkę czy transportowanie.

Ważna jest zatem kooperacja sektorowa aby poprawić wskaźniki sektora hutnictwa i przetwórstwa aluminium nie tylko w zakresie innowacyjnych rozwiązań produkcyjnych, technologicznych ale również oddziaływania na człowieka i środowisko naturalne.

## II. KOOPERACJA SEKTOROWA

Kooperacja sektorowa – to inaczej współpraca firma w danym sektorze gospodarki, polegająca na takim współdziałaniu przedsiębiorstw aby skutkowało to trwałymi efektami gospodarczymi i organizacyjnymi. Dla przykładu kooperacja sektorowa w przemyśle samochodowym polegać może na wspólnym przez różne firmy samochodowe opracowywaniu miedzy innymi projektów jednostek napędowych (silników) które następnie będą wykorzystywane przy niewielkich zmianach w pojazdach kilku koncernów.

Powoduje to wymierne efekty w postaci rozłożenia kosztów projektowych na większą liczbę wyprodukowanych silników i obniżenie kosztów jednostkowych, co może prowadzić do zdobycia lub utrzymania przewagi konkurencyjnej (Mazda i Ford, Citroen i Pegeout). Inną możliwością kooperacji może być wspólne zamawianie surowców (na przykład huty stali), energii (zakłady produkcyjne) lub akcji marketingowych (banki i operatorzy komórkowi).

Kooperacja przedsiębiorstw produkcyjnych opiera się na jasno określonym celu współpracy gospodarczej podkreślającym zakres akceptacji i tolerancji oraz wzajemnej współzależności. Przejawem kooperacji sektorowej przedsiębiorstw produkcyjnych może być wspólne wykorzystywanie maszyn i urządzeń produkcyjnych, hal i magazynów, środków transportu a także nadzoru i dozoru.

Kooperacja międzysektorowa – dotyczyć może współpracy pomiędzy sektorami gospodarki państwowej i prywatnej (PKP i firmy przewozowe, porty i operatorzy żeglugi, energetyka i dostawcy Internetu), różnych sektorów gospodarki (branża paliwowa i transportowa).

W przypadku gdy oprócz współpracy (kooperacji) w sektorze dochodzi również do konkurencji między współpracującymi firmami zaobserwować można skomplikowane zjawisko kooperencji, któremu towarzyszy tworzenie sieci wartości jak i samej wartości (dla przedsiębiorstwa, dla klienta). Jak zauważył Porter (2001) podstawowym źródłem przewagi konkurencyjnej danego podmiotu gospodarczego nie jest sprawność jego funkcjonowania jako całości, lecz efektywność rożnych rodzajów działań, które podejmuje, dostarczając na rynek swoje produkty. Zbiór tych różnorakich działań tworzy łańcuch wartości. Jednak łańcuch wartości dotyczy pojedynczej organizacji gospodarczej. Gdy zachodzi kooperacja lub kooperencja wtedy mówimy o sieci wartości.

## III. Uwarunkowania sektorowe

Aluminium jest jednym z najczęściej występujących w środowisku naturalnym pierwiastkiem (8%), częściej występuje tylko krzem (28%) i tlen (48%). Jest metalem, który ma kluczowe znaczenie w gospodarce, szczególnie w motoryzacji, lotnictwie i kosmonautyce. Jest pożądany jako materiał konstrukcyjny, a jego zalety jak lekkość, sztywność i wytrzymałość powodują powszechne wykorzystanie. Jednak pozyskanie aluminium a w zasadzie glinu jako pierwiastka rodzi duże skutki dla środowiska. Po pierwsze wydobycie rudy odbywa się najczęściej w kopalniach odkrywkowych, które degradują środowisko naturalne i powodują z czasem nieodwracalne zmiany krajobrazu. Przy kopalniach znajdują się też zakłady wstępnej przeróbki, drogi transportowe, składowiska urobku. Jednak to kolejne etapy uzyskiwania pierwotnego aluminium powodują znaczące obciążenie środowiska, wysokie zużycie energii, a także emisje gazów cieplarnianych do atmosfery. To właśnie te uwarunkowania sektorowe powodują powstanie kooperacji wewnątrz sektora jak i międzysektorowe. Świadczą o tym liczne inicjatywy zmierzające do postania klastrów naukowo-technologicznych mających za zadanie połączyć siły naukowców, technologów i biznesmenów w celu opracowania i wdrożenia innowacyjnych metod w zakresie hutnictwa i przetwórstwa aluminium.

Jednak nie tylko faza pozyskania czystego aluminium jest obciążająca dla środowiska. Również procesy metalurgiczne związane z odlewaniem gotowych wyrobów z aluminium, ich części i podzespołów a także ponowna przeróbka w drodze recyklingu są bardzo energochłonne powodując emisję $CO_2$ w znacznych ilościach. Dlatego uwarunkowania sektorowe zmuszają do poszukiwania przez producentów sposobów ograniczania wpływu procesów przetapiania aluminium na środowisko naturalne, gdyż w przeciwnym wypadku dojść może do zachwiania zrównoważonego rozwoju tego sektora poprzez nadmierną eksploatację i zanieczyszczenie środowiska. Konsekwencją tego może być obniżenie społecznej akceptacji sektora oraz rentowności w wyniku wprowadzenia kar i podniesienia opłat środowiskowych oraz zmniejszenia konkurencyjności względem innych sektorów.

## IV. Ograniczenie wpływu procesu przetapiania aluminium na środowisko naturalne

Niewłaściwe wykorzystanie zasobów to główny powód degradacji środowiska i niszczenie bogactw naturalnych. Wydobywanych jest więcej surowców niż trzeba, następnie są one przewożone, przetwarzane i na końcu gromadzone, wykorzystywane a z czasem gdy stają się nieprzydatne to są wyrzucane. Każdy z tych etapów przynosi straty. Zminimalizowanie marnotrawstwa i niepotrzebnych strat mogłoby przyczynić się do ograniczenia wpływu przemysłu na środowisko i zwiększyć wydajność produkcji. Działalność każdego przedsiębiorstwa ma pewien określony wpływ na środowisko. Wpływ ten jest najbardziej oczywisty w przypadku przedsiębiorstw przemysłowych, w szczególności sektora chemicznego i metalurgicznego. Zasada zrównoważonego rozwoju zakłada, że dzisiejsza działalność nie powinna mieć negatywnego wpływu na środowisko ani dziś ani ani w przyszłości. Powszechnie przyjęty jest pogląd, że miniona działalność przemysłowa przyczyniła się w jakimś stopniu do zniszczenia środowiska. Na przedsiębiorstwa przemysłowe nakłada się obowiązek, aby kiedy to tylko możliwe, odwracali skutki zidentyfikowanych problemów środowiskowych i ekologicznych spowodowanych przez przemysł. Każdy pozytywny ruch w tym zakresie jest bardzo ważny i społecznie pożądany. Przedstawiane przez przedsiębiorstwa z sektora hutnictwa i przeróbki aluminium statystyki pokazują, że przemysł odlewnictwa metali nieżelaznych jest odpowiedzialny za stosunkowo niewielką część odpadów i zanieczyszczenia środowiska w porównaniu z przemysłem wytwórczym, jako całością. Co więcej, jego wpływ na środowisko jeszcze bardziej spada jeżeli porównamy go z wpływem jaki wywiera na nie transport drogowy, od którego przemysł odlewniczy jest w dużym stopniu zależny. Niemniej jest to kwestia, której nie należy ignorować. Z drugiej strony, w przeciwieństwie do transportu drogowego, stosunkowo łatwo jest ograniczyć wpływ jaki na środowisko wywiera proces metalurgiczny, zachodzący przy produkcji odlewów aluminiowych i dlatego powinniśmy zwrócić nań szczególną uwagę. W najbliższych latach przewiduje się znaczący wzrost użycia metali lekkich a w szczególności aluminium w pojazdach samochodowych. Jako, że przemysł motoryzacyjny dąży to tego, aby poprzez obniżenie masy pojazdów zmniejszyć zużycie paliwa i emisję spalin, zapotrzebowanie na aluminium wzrasta gwałtownie.

Co więcej, przewiduje się że mimo obecnego kryzysu gospodarczego, nastąpi gwałtowny wzrost produkcji samochodów. Przyczynia się do tego rozwój motoryzacji w takich krajach jak Chiny czy Indie. Obecnie Chiny są największym rynkiem zbytu na samochody. W Chinach sprzedaje się już znacznie więcej aut niż w USA, które od lat były potęgą motoryzacyjną. Liczba ludności w krajach azjatyckich powoduje, że mimo stosunkowo niskiej kondycji ekonomicznej ludności popyt jest olbrzymi. Większość światowych koncernów motoryzacyjnych jest obecna na tych rynkach, a ci których nie ma szykują się do ekspansji.

Równie ciekawa jest możliwość wielokrotnego wykorzystania aluminium, która sprawia, że zużycie tego materiału w innych dziedzinach gospodarki również wzrasta.

Mimo, że przemysł motoryzacyjny jest największym rynkiem dla odlewów aluminiowych, to inne duże rynki jak przemysł mechaniczny, elektroniczny, budownictwo również się rozrastają. Olbrzymie zapotrzebowanie na aluminium jest przy produkcji opakowań. Zużycie puszek aluminiowych wynosi ok. 220 mld sztuk rocznie. Mimo zmniejszenia grubości ścianki z 0,45 mm do 0,25 mm i modyfikacji kształtu, która ogranicza powierzchnię wieczka, to zużycie aluminium dalej wzrasta w wyniku zwiększenia liczby opakowań. Gdy dojdzie jeszcze możliwość zastąpienia butelki plastikowej butelką aluminiową, która jest w fazach projektów, nastąpi dalszy wzrost zużycia tego surowca. Przemysł lotniczy od bardzo dawna bazuje na aluminium. Dla przykładu na masę Boeninga 747 składa się 75 ton tego metalu co stanowi 80% całości. Aluminium coraz częściej wybierane jest w lotnictwie mimo stosowania tworzyw sztucznych, gdyż nie wymaga tak wielkich nakładów na konserwację antykorozyjną jak stal i jest lżejsze. Według prognoz do 2020 roku produkcja aluminium pierwotnego na świecie ma wynieść 60 mln ton, z czego sam kontynent azjatycki pochłonie 60% produkcji.

Zakładając, że nastąpi dalszy rozwój rynku, ważne jest aby w przemyśle odlewnictwa aluminium zwrócono uwagę na potrzebę ulepszenia wykorzystania energii i zmniejszenia strat powstających podczas topienia minimalizując tym samym wpływ tego procesu na środowisko. Jest to największy obszar możliwych usprawnień ze względu na powszechność środków zaradczych. Opierając się na tym założeniu można twierdzić, iż niezbędne jest podjęcie natychmiastowych kroków aby złagodzić potencjalne skutki nadmiernego obciążenia środowiska poprzez proces metalurgiczny aluminium. Według Aluminium Federation (ALFED) przy obecnym tempie zużycia aluminium światowe pokłady boksytu (źródła aluminium) wyczerpią się za 300 lat. Niektórzy naukowcy przewidują jednakże, że łatwo dostępne zasoby skończą się już za 50 do 100 lat. Tak rozbieżne stwierdzenia sugerują niepewność co do dostępnych ilości albo co do przyszłego zapotrzebowania na ten metal lub co do obu tych kwestii na raz. Każde źródło informacji ma inny interes i inne podstawy, na których opiera swoją wiedzę. Przedmiotem zainteresowania ALFED jest zastosowanie i przetwarzanie aluminium, a naukowców zwrócenie uwagi na to jaki to ma wpływ na środowisko i ekonomię. Mimo obfitych zasobów rudy boksytu jakie istnieją, potrzeba dużej ilości energii do jej przerobienia. Produkcja aluminium pierwotnego (z rudy) przebiega w dwustopniowym procesie. Pierwszy etap to pozyskanie tlenku glinu ($Al_2O_3$) z rud boksytu w procesie Bayera w trzech krokach: ekstrakcja, wytrącanie i kalcynacja. Uzyskany tlenek glinu przetwarza się w procesie elektrolizy Halla-Heroulta, podczas której jest on rozkładany na metaliczny glin oraz tlen w postaci gazowej. Procesy te są wysoce energochłonne i pochłaniaja ok. 2% całkowitej energii wytworzonej na świecie. Odzwierciedleniem tego jest cena rynkowa metalu. Dla przykładu według Energy Technology Support Unit Brytyjskie odlewnie zużywają około 6,4 miliona gigadżuli energii aby wyprodukować 150 000 ton odlewów. W przybliżeniu 60% tej energii zużyto na topienie i przechowywanie roztopionego aluminium zanim nastąpił proces odlewania, co spowodowało wydzielenie się prawie 200 tys. ton dwutlenku węgla ($CO_2$).

Jeśli nie nastąpi istotna poprawa w wydajności zużycia energii to może nastąpić jej dalszy wzrost o ok. 50%.

Do wytopu aluminium używa się różnorodnych typów pieców. Niektóre mają zewnętrznie podgrzewane tygle mieszczące w sobie wytop, a inne wyposażone są w ogniotrwałe komory podgrzewane od góry przez palniki lub grzałki elektryczne. Używa się również pieców indukcyjnych głównie do wytopu masowego. Wybór pieca zależy od wielu okoliczności takich jak rodzaj produkcji, liczba i rodzaj stopów, proces odlewania, dostępność paliw i ich koszt, dostępna przestrzeń, ograniczenia środowiskowe, koszt inwestycyjny, koszt utrzymania i łatwość kontrolowania. Oprócz strat energii występują także straty materiału. Podczas produkcji odlewów straty powstają przede wszystkim podczas tworzenia się kożucha żużlowego oraz przy obróbce, wyrównywaniu, brzegów odlanych wyrobów. Istotne straty powstają, gdy metal przenika również w strukturę masy formierskiej lub rdzeniowej. Zebrany przed zalaniem formy z powierzchni ciekłego metalu kożuch może mieć różnoraki skład, zawartość metalu w nim może zmieniać się od 30 % w górę. Metaliczna zawartość kożucha zależy od wielu czynników wliczając w to skład stopu, przestrzeganą procedurę topienia oraz staranność, z jaką kożuch jest zbierany z powierzchni. Kożuch może generować pokaźne straty dlatego uzasadnionymi są starania, aby odzyskać tak dużo aluminium jak jest to tylko możliwe. Kożuch żużlowy przekazywany jest zazwyczaj do specjalistycznych urządzeń w celu powtórnej obróbki. Odpady z obróbki i układy zalewowe mogą być ponownie użyte bezpośrednio w piecach do topienia. Występuje również utrata aluminium spowodowana utlenianiem w procesie przetapiania, która jest istotna w kontekście tematu tego artykułu ze względu na wkład energii i emisje powstające podczas produkcji i ponownej obróbki. Z ostatnich badań wynika, że utrata metalu podczas procesu topienia to około 6% całości metalu poddanemu topieniu. Rezultatem adsorpcji (pochłanianie powierzchniowe) wodoru przez aluminium jest zawartość rozpuszczonego wodoru, która może wzrosnąć do wartości równowagi dla określonego składu stopu i jego temperatury.

Głównymi źródłami wodoru w roztopionym aluminium są: wilgoć z otaczającego powietrza, produkty spalania w piecach nagrzewanych płomieniowo, wykładziny pieców i kadzi oraz materiał wsadowy. Rozpuszczony w wytopie wodór może spowodować porowatość odlewów, co dla wielu produktów

jest nie do przyjęcia, gdyż wpływa to na ich fizyczne właściwości. Jako, że zazwyczaj nie jest możliwe wykonanie poprawek na odlewie aluminiowym, konsekwencją jest strata w postaci wybrakowanych odlewów. Czas i temperatura topienia również wpływają na utratę składników stopowych. Dotyczy to takich składników jak sód, wapń, stront i magnez. Utrata tych składników może następnie w sposób bezpośredni lub pośredni przyczynić się do wystąpienia wybrakowanych odlewów.

Mówiąc o stratach energii dochodzimy do największego zagrożenia jakim jest skażenie powietrza. Obecne emisje gazów powodujących efekt cieplarniany zwiększają się na skutek działalności ludzkiej. $CO_2$ to najważniejszy gaz cieplarniany odpowiedzialny za zmiany klimatyczne.

Interggovernmental Panel for Climate Change oświadczył w 1993 roku, że emisje dwutlenku węgla były odpowiedzialne za 60% globalnego ocieplenia i postanowił, że ówczesny poziom emisji gazów cieplarnianych musi być obniżony o co najmniej 60-80% aby ustabilizować klimat. Zaostrzenie przepisów prawnych dotyczących środowiska wiązać się będzie z emisją tlenków azotu (NOX). Wynika to z ich wysoce szkodliwych cech jak również z faktu, że przyczyniają się do powstawania kwaśnych deszczy. Tlenki azotu wchodzą również w reakcję ze światłem słonecznym w wyniku czego tworzy się ozon O3, będący przyczyną smogu, który wraz z jednorodną materią oddziałuje na układ oddechowy i powoduje podrażnienie wzroku.

Aby zapobiec nadmiernemu zużyciu energii stosuje się różne metody. Najbardziej bezpośrednią metodą podnoszenia wydajności energii pieców jest tzw. „rekuperacja ładunku", za pomocą której gazy spalinowe podgrzewają jednolity wsad. Można tego dokonać wprowadzając powiększony kanał spalinowy zdolny do magazynowania dostatecznej ilości metalu na kilka godzin produkcji. Rekuperacja i regeneracja to dwie techniki odzyskiwania energii, która w przeciwnym razie zostałaby zmarnowana. Różnica między nimi polega na tym, że rekuperacja to te wszystkie środki, dzięki którym ma miejsce natychmiastowy lub bezpośredni przepływ ciepła do materiału wsadowego lub do napływającego do spalania powietrza, natomiast regeneracja to technika polegająca na gromadzeniu ciepła z gazu spalinowego i magazynowaniu go w celu późniejszego użycia. Palniki rekuperacyjne odzyskują w przybliżeniu 40% ciepła z gazów wylotowych co poprawia wydajność o 30%. Większość systemów rekuperacyjnych palników wykorzystuje koncentryczny układ rurowy ale może on naprawdę działać tylko wtedy, gdy temperatura gazów wylotowych wynosi 1000 stopni Celsjusza lub więcej. Regeneratorów użyto po raz pierwszy ponad 100 lat temu ale były one masywne i kosztowne w instalacji, co oznaczało możliwość wykorzystania ich tylko w przypadku wielkich pieców do topienia stali. Technologia spalania polepszyła się na tyle, że systemy regeneracyjne są dostępne dla dużo mniejszych pieców, takich jak te do topienia aluminium w odlewniach.

Inne oczywiste kroki, które można przedsięwziąć aby przyczynić się do ograniczenia zużycia energii to:

- usprawnione oprzyrządowanie i szybko reagujące termoelementy,
- programowalne regulatory na większych piecach,
- regeneracja utraconego ciepła,
- usprawniona izolacja,
- planowanie zapotrzebowania na roztopiony metal,
- ścisłe odmierzanie paliwa i strumienia powietrza.

Usprawnienie kontroli nad procesem topienia nie tylko bezpośrednio wpływa na oszczędność energii i zmniejszenie emisji szkodliwych substancji, ale również zmniejsza ilość odpadów.

## PODSUMOWANIE

Współcześnie uwarunkowania kooperacji sektorowej są ważnymi zagadnieniami określającymi podstawy możliwej współpracy w sektorze a nawet międzysektorowej oraz pozwalają na wspólne wytyczanie celów dla rozwoju sektora. Ważne jest aby brać pod uwagę nie tylko zagadnienia dotyczące jedynie procesu produkcyjnego ale cały ekologiczny cykl życia wyrobu (analiza LCA), gdyż w rozpatrywanym sektorze hutnictwa i przeróbki aluminium to właśnie oddziaływanie na środowisko tego sektora jest kluczowym zagadnieniem w strategii przewagi konkurencyjnej. Ze względu na dużą energochłonność i emisję gazów cieplarnianych kooperacja sektorowa obejmuje nie tylko wspólne zamawianie surowca, energii, projektowanie i innowacyjny rozwój wyrobów z odlewanego aluminium ale i może przede wszystkim kooperacje w celu zmniejszania obciążenia środowiska naturalnego.

## LITERATURA REFERENCES


[1] Bieda B, Skalna I, Gaweł B, Grzesik K., Henclik A, Sala D. // *Life cycle inventory processes of the integrated steel plant (ISP) in Krakow, Poland-continuous of steel (CCS): a case study* / The International Journal of Life Cycle Assessment; Springer ISSN 0948-3349. — 2018 vol. 23 iss. 6, s. 1274–1285.

[2] Bieda B, Grzesik K, Sala D, Gaweł B. // *Life cycle inventory processes of the integrated steel plant (ISP) in Krakow, Poland – coke production, a case study* / International Journal of Life Cycle Assessment; Springer ISSN 0948-3349. — 2015 vol. 20 iss. 8, s. 1089–1101.

[3] Cygler J., Granice inspiracji w kooperencji, [w:] red. M. Romanowska, J. Cygler, Granice zarządzania, Wyd. SGH, Warszawa 2014, s. 325-341

[4] Cygler J., Korzyści kooperacji – oczekiwania i efekty, Organizacja i Kierowanie, nr 5 / 2013 (s.158)

[5] Das S. K.., Yin W., *The worldwide aluminium economy: the current state of the industry*, "JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society", November 11/2007,

[6] Energy Consumption Guide 38- Non-ferrous Foundries. (Second Edition), *Energy Efficiency Best Practice Programme*, Energy Technology Support Unit, (2011).

[7] European Aluminium Association, *Aluminium in cars*, September 2007,

[8] Hyla A., Bieniek D., *Strategia kooperacji w produkcji. Jak współpracować z innymi firmami*. Służby utrzymania ruchu, styczeń – luty 2016, s.38-40

[9] Kawa A., *Sieć wartości w handlu elektronicznym*, Management Forum, 2017, vol. 5, no. 3, pp. (7-12) Uniw. Wrocławski

[10] Kozioł L., *Entrepreneur's business models*, The Małopolska School of Economics in Tarnów Reserch Papers Collection, Issue 2 (16)/2010

[11] Rudny W., *Model biznesowy a tworzenie wartości*, Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach Rocznik 2013, numer nr 141, s. 98-108

[12] Zakrzewska-Bielawska A., *Kooperencja a wybory strategiczne innowacyjnych przedsiębiorstw na przykładzie doświadczeń firm high-tech, Studia Ekonomiczne Regionu Łódzkiego. Wybrane problemy kooperencji w rozwoju współczesnych organizacji*, PTE Oddział w Łodzi, Łódź 2012, s. 203-214.

# Вибір Алгоритму Визначення Рейтингової Оцінки Підприємства при Управлінні Проектами

Володимир Бредіхін
Кафедра економіки
Харківський національний університет
будівництва та архітектури
Харків, Україна
bredixinv@gmail.com

Деніс Бредіхін
Кафедра інформаційних управляючих систем
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
denisbredixin960@gmail.com

# Selection of Enterprise Valuation Rating Algorithm in Project Management

Volodymyr Bredikhin
Department of Economics
Kharkiv National University
of Construction and Architecture
Kharkiv, Ukraine
bredixinv@gmail.com

Denis Bredikhin
Department of Information Control System
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
denisbredixin960@gmail.com

***Анотація*—Досліджено методи економічного аналізу інвестиційних проектів потенційних одержувачів інвестицій за європейськими стандартами. Розглянуто систему показників для рейтингової оцінки підприємства та розбито їх на групи. Проаналізовано тенденцію модифікації алгоритму для визначення рейтингової оцінки потенційних одержувачів інвестицій за європейськими стандартами. Визначено переваги та недоліки цих модифікацій та перевірено роботу алгоритмів на умовному прикладі.**

***Abstract*—The methods of economic analysis of investment projects of potential beneficiaries of investments according to European standards are investigated. The system of indicators for the rating estimation of the enterprise is considered and divided into some groups. The tendency of valuation rating algorithm modifications of potential investments recipients according to the European standards is analyzed. The advantages and disadvantages of these modifications are determined and the algorithms work on the conditional example is checked.**

***Ключові слова—консалтинг; показник; рейтинг; коефіцієнт; інвестиційний проект***

***Keywords—consulting; indicator; rating; coefficient; investment project***

## I. Вступ

Сучасні роботи в сфері консалтингу використовують різні методи економічного аналізу, що дозволяє не тільки оцінювати вже наявні інвестиційні проекти, але й досліджувати інвестиційні проекти потенційних одержувачів інвестицій за європейськими стандартами, тим самим забезпечуючи їхню привабливість на аукціонах і некомерційних конкурсах. При цьому спочатку визначається імідж підприємства, а потім з використанням цілого комплексу методик і математичних методів розраховується рейтингова оцінка даного підприємства серед сукупності подібних претендентів, і тільки після цього проводиться аналіз самого інвестиційного проекту.

Вітчизняними аналітиками приділяється велика увага порівняльної комплексної рейтингової оцінки організацій.

## II. Основна частина

Рекомендовані нами методики порівняльної рейтингової оцінки фінансового стану мають ряд переваг, зокрема:

- ґрунтуються на багатовимірному підході до оцінки цього складного явища;
- здійснюються за даними звітності підприємства, що включає найважливіші показники їх діяльності;

Існують кілька модифікацій алгоритму визначення рейтингової оцінки підприємства. Всі вони використовують за відправну точку систему показників, об'єднаних у групи по наступних ознаках:

- перша група - об'єднані показники, що характеризують рентабельність (прибутковість) виробничо-комерційної діяльності підприємства;

- друга - показники, що характеризують структуру коштів підприємства, а, саме, його фінансову стабільність і незалежність;

- третя - показники платоспроможності (ліквідності) підприємства (табл. 1).

ТАБЛИЦЯ І. СИСТЕМА ВИХІДНИХ ПОКАЗНИКІВ [1]

| Найменування показника | Розрахункова формула |
|---|---|
| Показники рентабельності | |
| 1. Коефіцієнт рентабельності всіх активів | $КР_1$= чистий прибуток / валюта балансу |
| 2. Коефіцієнт рентабельності власного капіталу | $КР_2$= чистий прибуток / власний (акціонерний) капітал |
| 3. Коефіцієнт оборотності | КО = дохід / середньорічна вартість активів |
| 4. Коефіцієнт прибутковості продажів | $КП_1$ = чистий прибуток / дохід від реалізації |
| 5. Коефіцієнт прибутковості активів | $КП_2$ = чистий прибуток / середньорічна вартість активів |
| Показники фінансової стабільності | |
| 6. Коефіцієнт автономії | КА = власні кошти / валюта балансу |
| 7. Коефіцієнт маневреності | КМ = власні оборотні кошти / власні кошти |
| 8. Коефіцієнт фінансування | КФ = власні кошти / позикові кошти |
| 9. Коефіцієнт інвестування | КІ = власні кошти / основні кошти |
| Показники платоспроможності | |
| 10. Коефіцієнт абсолютної ліквідності | КАЛ = (кошти + короткострокові фінансові вкладення) / короткострокові зобов'язання |
| 11. Коефіцієнт "критичної оцінки" | ККО = (кошти + цінні папери + дебіторська заборгованість) / короткострокові зобов'язання |
| 12. Загальний коефіцієнт ліквідності | КЛ = оборотні кошти/ короткострокові зобов'язання |

Вихідні дані являють собою матрицю з елементами $a_{ij}$ ($i$ - номера показників $i = 1, n$ , $j$ - номера підприємств, $j = 1, m$).

Розглянемо переваги та недоліки існуючих алгоритмів визначення рейтингової оцінки [2].

**Перший - лінійний метод.**

Визначення рейтингової оцінки для j-підприємства за максимальним значенням. Найвищий рейтинг має те підприємство, що набирає найбільший сумарний результат.

$$R_j^1 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}^2} = \sqrt{a_{1j}^2 + a_{2j}^2 + ... + a_{nj}^2}\ , \qquad (1)$$

**Перевагами** цього методу є те, що він простий, зрозумілий, нескладний у розрахунку.

**Недоліками** є те, що ураховувати можна тільки ті показники, збільшення яких характеризує успішну діяльність підприємства. При цьому не враховується те, що збільшення деяких показників є позитивним лише до певного рівня, а подальший їхній ріст характеризує вже скоріше неефективне використання окремих видів коштів або ведення бізнесу, не говорячи вже про те, що стає неможливим облік показників, зниження яких є позитивним фактом.

**Другий – зважений метод.**

Облік важливості кожного показника матриці, де додається ваговий коефіцієнт кожного показника ($p_i$).

$$R_j^2 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} p_i * a_{ij}^2} = \sqrt{p_1 * a_{1j}^2 + p_2 * a_{2j}^2 + \cdots + p_n * a_{nj}^2}\ , \qquad (2)$$

Формула (2) дозволяє ввести фактори переваг для інвесторів, тобто вагові коефіцієнти для кожного показника, розраховані експертним шляхом. Вони показують важливість у загальній оцінці фінансового стану підприємства для кожного розглянутого показника. Це пов'язане з тим, що ті хто провадять дослідження, можуть встановлювати різні цілі.

**Основними перевагами** цього методу є те, що він більш точний в порівнянні з попереднім і розраховані на конкретного користувача.

**Недоліками** є те, що маючи таке суб'єктивне трактування, кінцевий результат оцінки (рейтинг підприємства) буде завжди різним, тому така модифікація не може використовуватися для подальшого аналізу діяльності підприємства іншими користувачами.

**Третій – нормалізований метод.**

Цей метод використовує принципи порівнянності показників підприємства із принципами самого успішно функціонуючого конкурента. При цьому базою відліку для одержання рейтингової оцінки стану справ на підприємстві є не суб'єктивні припущення експертів, а сформовані в реальній конкуренції найбільш високі результати із всієї сукупності порівнюваних об'єктів.

Отже, по кожному показнику визначається найбільше значення, що ставиться в стовпець умовного еталонного підприємства.

Далі вихідні показники матриці стандартизуються шляхом їхнього розподілу на відповідний показник еталонного підприємства:

$$x_{ij} = \frac{a_{ij}}{max(j)a_{ij}}\ , \qquad (3)$$

де $x_{ij}$ - стандартизовані показники фінансового стану $j$-підприємства.

Потім для кожного підприємства визначається значення його рейтингової оцінки за формулою:

$$R_j^3 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (1 - x_{ij})^2} = \sqrt{(1 - x_{1j})^2 + (1 - x_{2j})^2 + \cdots + (1 - x_{nj})^2}\ , (4)$$

Найвищий рейтинг має підприємство з мінімальним значенням $R_{ij}$.

**Перевагами** цього методу є її порівняльний характер, тому що тут ураховуються й зіставляються реальні показники всіх конкурентів.

**Недоліками** є те, що він обмежений сферою матеріального виробництва (це пов'язане з набором вихідних показників). Формула (4) досить трудомістка, а характеристика найліпшого показника може й не бути типовою базою для аналізу, тому що максимальне значення оптимального параметра зовсім не тотожне значенню, що рекомендується як оптимальне.

**Четвертий – зважено-нормалізований метод.**

Це розширена формула (4), яка враховує важливість окремих показників відповідно до потреб суспільства та має суб'єктивну характеристику залежно від цілей розрахунку рейтингу й переваг інвестора.

$$R_j^4 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} p_i * (1 - x_{ij})^2} = \\ = \sqrt{p_1 * (1 - x_{1j})^2 + p_2 * (1 - x_{2j})^2 + \cdots + p_n * (1 - x_{nj})^2}, \quad (5)$$

**П'ятий – метод відхилень.**

Визначається середнєквадратичне відхилення. Тут рекомендується проводити порівняння не із середнім значенням показника по всіх аналізованих підприємствах, а з оптимальним значенням, виробленим практикою ведення бізнесу.

При цьому розглядаються тільки ті відхилення, які характеризують негативну тенденцію.

$$R_j^5 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (a_{ij}^0 - a_{ij})^2} = \\ = \sqrt{(a_{1j}^0 - a_{1j})^2 + (a_{2j}^0 - a_{2j})^2 + \cdots + (a_{nj}^0 - a_{nj})^2}, \quad (6)$$

де $a_{ij}^0$ - оптимальне значення і-го показника.

Такий розрахунок рейтингової оцінки є відносно трудомістким, але він дозволяє враховувати показники, зниження яких є позитивною характеристикою бізнесу, або оптимальний діапазон значень певного показника, відхилення від якого в обидва боки (зниження й збільшення) небажано.

Цей метод також може бути розширений за допомогою введення вагових коефіцієнтів розглянутих показників.

$$R_j^6 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} p_i * (a_{ij}^0 - a_{ij})^2}, \quad (7)$$

Користувач аналізує підприємства по одній з модифікацій (але іноді можуть бути використані всі методи), і рішення приймається виходячи з того, скільки разів дане підприємство займе певне рейтингове місце. Можливо також введення важливості методу, тобто визначають її ваговий коефіцієнт.

Основними тенденціями, які в найближчі роки будуть впливати на розвиток рейтингових досліджень в Україні, стануть активізація інвестиційних відносин в нашій країні, збільшення ринку капіталу, а також вихід на ринок великої кількості дрібних інвесторів, які є основними споживачами рейтингової інформації.

Приклад аналізу 4-х підприємств за 12-ма показниками наведено в табл. 2 та 3. Дослідник аналізує підприємства по одній з модифікацій (але іноді використовує і всі модифікації), та приймає рішення виходячи з того, скільки разів дане підприємство займе певне рейтингове місце.

ТАБЛИЦЯ II. ВИЗНАЧЕННЯ РЕЙТИНГУ ПІДПРИЄМСТВА

| **Показники (i)** | **Номер підприємства (j)** | | | | **Ваговий коефіцієнт показника, $p_j$** | **Підприємство що беруть за еталон** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | **за макс. показником** | **за мін. показником** |
| $КР_1$ | 0,17 | 0,18 | 0,08 | 0,29 | 0,1 | 0,29 | >0,2 |
| $КР_2$ | 1,51 | 0,79 | 0,19 | 0,81 | 0,1 | 1,51 | >2,0 |
| КО | 4,26 | 3,61 | 0,95 | 2,64 | 0,1 | 4,26 | >0,67 |
| $КП_1$ | 0,04 | 0,05 | 0,08 | 0,18 | 0,1 | 0,18 | 0,3 |
| $КП_2$ | 0,17 | 0,18 | 0,08 | 0,47 | 0,1 | 0,47 | >0,2 |
| КА | 0,11 | 0,22 | 0,79 | 0,37 | 0,1 | 0,79 | >0,5 |
| КМ | 0,84 | 0,39 | 0,59 | 0,84 | 0,05 | 0,84 | 0,4-0,6 |
| КФ | 0,12 | 0,28 | 2,38 | 0,58 | 0,1 | 2,38 | >2,0 |
| КІ | 6,22 | 1,63 | 3,69 | 6,15 | 0,1 | 6,22 | >1,0 |
| КАЛ | 0,32 | 0,07 | 3,29 | 0,05 | 0,05 | 3,29 | 0,2-0,3 |
| ККО | 1,11 | 0,16 | 4,15 | 0,70 | 0,05 | 4,15 | 0,7-0,8 |
| КЛ | 1,11 | 1,11 | 7,69 | 1,49 | 0,05 | 7,69 | 2,0-2,5 |

ТАБЛИЦЯ III. РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ РЕЙТИНГОВОЇ ОЦІНКИ

| **Тип модифікації** | **Підприємства за рейтингом** | | | |
|---|---|---|---|---|
| ***(важливість модифікації)*** | ***Наивищий рейтинг*** | ***Високий рейтинг*** | ***Середній рейтинг*** | ***Низький рейтинг*** |
| $R_J^1(0.1)$ | $R_2^1 = 10,4112$ | $R_1^1 = 7,9041$ | $R_4^1 = 7,0482$ | $R_2^1 = 4,2334$ |
| $R_J^2(0.2)$ | $R_3^2 = 2,5422$ | $R_1^2 = 2,4665$ | $R_4^2 = 2,1901$ | $R_2^2 = 1,312$ |
| $R_J^3(0.2)$ | $R_3^3 = 1,7729$ | $R_4^3 = 1,8775$ | $R_1^3 = 2,2158$ | $R_2^3 = 2,458$ |
| $R_j^4(0.2)$ | $R_4^4 = 0,4867$ | $R_3^4 = 0,5567$ | $R_1^4 = 0,6219$ | $R_2^4 = 0,6775$ |
| $R_j^5(0.2)$ | $R_5^4 = 1,9504$ | $R_1^5 = 2,2231$ | $R_2^5 = 2,3801$ | $R_3^5 = 6,8685$ |
| $R_j^6(0.2)$ | $R_4^6 = 0,6032$ | $R_1^6 = 0,6675$ | $R_2^6 = 0,7154$ | $R_3^6 = 1,3422$ |

За результатами приклада: найвищий рейтинг має 4-е підприємство, вищий рейтинг - 1-е підприємство, середній рейтинг - 3-е підприємство, низький рейтинг - 2-е підприємство.

## III. ВИСНОВКИ

Таким чином, розглянуті методики рейтингової оцінки фінансового стану, рентабельності й ділової активності підприємств дозволяють проаналізувати основні показники виробничо-господарської діяльності емітентів, зіставити їх із кращими результатами конкурентів і визначити, яке підприємство є найбільш успішно функціонуючим і вигідним з точки зору вкладення інвестиційних коштів.

Запропоновані методи визначення рейтингової оцінки є найбільш відповідними до сучасних економічних умов, тому що вихідна інформація оцінюється за конкретний період часу а дані беруться з публічної звітності, яка доступна, порівняння й відносно достовірна.

### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Глухова М.Г., Варламова О.А. "Особенности зарубежного опыта экономической оценки инвестиционных проектов" // *Economics and management of a national economy.* - №7, - 2016. - с. 47-57.

[2] Солодов А.А. "Математические принципы построения рейтинговых систем" // *Экономика, статистика и информатика*. - №1, - 2016. - с. 75-82.

# Аналіз Досвіду Роботи Команди IT-Проекту

Наталія Васильцова
кафедра інформаційних управляючих систем
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
nataliia.vasyltsova@nure.ua

Ірина Панфьорова
кафедра інформаційних управляючих систем
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
iryna.panforova@nure.ua

# Analysis of the Experience of the IT Project Team

Nataliya Vasiltsova
Department of Informatiom Control Systems
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
nataliia.vasyltsova@nure.ua

Irina Panforova
Department of Informatiom Control Systems
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
iryna.panforova@nure.ua

***Анотація*—Проаналізовано існуючі оцінки команд виконавців IT-проекту. Запропоновані кількісні показники, які характеризують досвід виконавців та засновані на формальних моделях описів архітектури інформаційної системи. Розроблено метод оцінювання досвіду виконавців IT-проекту створення інформаційної системи, який базується на запропонованих показниках.**

***Abstract*—The existing estimations of teams of executors of the IT project are analyzed. Proposed quantitative indicators that characterize the experience of performers and based on formal models of the description of the architecture of the information system. The method of estimating the experience of the IT project executors creating an information system based on the proposed indicators is developed.**

***Ключові слова—IT-проект; команда виконавців; досвід роботи, онтологічна точка, фрейм.***

***Keywords—IT project; team of performers; work experience; onto;ogical point; frame.***

## I. Вступ

Сучасні моделі і методи оцінювання витрат на виконання IT-проектів передбачають врахування характеристик команди виконавців запланованого проекту. Однак переліки врахованих характеристик в окремих моделях досить сильно розрізняються. Така розбіжність в поглядах на команду виконавців IT-проекту викликає сильні труднощі в ході застосування моделей і методів оцінювання витрат на виконання IT-проектів. Ці труднощі викликані неможливістю узгодження показників, що характеризують команду виконавців IT-проекту в різних моделях і методах.

Особливо сильно такі труднощі виявляються при спробі застосування параметричних моделей оцінювання витрат на виконання IT-проекту. Головними особливостями таких моделей є:

а) опис IT-проекту, його результатів і ресурсів, використовуваних для його виконання, набором параметрів, що мають кількісні значення;

б) використання для кількісної оцінки значення параметра моделі якісних (описових) характеристик IT-проекту, його результатів і ресурсів, використовуваних для його виконання.

в) залучення, при необхідності, експертів для визначення кількісних значень параметрів моделі.

Остання особливість найсильніше позначається при урахуванні в параметричних моделях індивідуальних особливостей планованого IT-проекту, його очікуваних результатів і ресурсів. В даний час такеурахування здійснюється шляхом введення в параметричну модель наборів драйверів, що характеризують індивідуальні особливості планованого IT-проекту. Прикладами такого підходу можуть служити розроблений в Великобританії класичний метод функціональних точок [1] і запропонована Південно-Каліфорнійським університетом модель COCOMO II [2].

Наслідком такого підходу є необхідність постійного калібрування параметричних моделей для потреб конкретної IT-компанії і конкретного IT-проекту. При цьому рекомендації щодо проведення об'єктивного калібрування для більшості параметричних моделей відсутні, а саме калібрування значною мірою залежить від кваліфікації, аналітика що виконує його.

Зазначені проблеми призводять до сильного обмеження використання параметричних моделей і

методів оцінювання витрат на виконання ІТ-проекту для потреб конкретних ІТ-компаній. У той же час визнається, що застосування саме параметричних моделей і методів оцінювання витрат на виконання ІТ-проекту дозволяє отримати найточніші оцінки витрат на виконання запланованого проекту. Особливо сильну точних оцінок на ранніх стадіях ІТ-проекту потребує такий різновид ІТ-проектів, як ІТ-проекти створення інформаційних систем (ІС). Головною причиною цього слід вважати, перш за все, високу складність подібних проектів, їх значну тривалість і досить високу вартість.

Таким чином, проблема удосконалення параметричних моделей і методів оцінювання витрат на виконання ІТ-проекту і, зокрема, удосконалення моделей і методів оцінювання характеристик команди виконавців ІТ-проекту як його основного ресурсу є актуальною як з теоретичної, так і з практичної точок зору.

## II. Метод аналізу досвіду роботи команди ІТ-проекту

Для вирішення цієї проблеми необхідна інтеграція ІТ управління ІТ-проектами та ІТ формування та аналізу вимог до ІС. Така інтеграція дозволяє використовувати для оцінювання витрат на виконання ІТ-проекту створення ІС результатів вирішення наступних задач управління ІТ-проектом:

а) облік кадрових ресурсів ІТ-проекту;

б) призначення виконавців на окремі роботи ІТ-проекту;

в) облік проміжних і остаточних результатів виконання ІТ-проекту (програмного коду і проектної документації).

Результати вирішення цих задач дозволяють отримати інформацію про частку участі конкретного виконавця в розробці конкретних ІС. Таким чином, з'являється можливість відмовитися від участі експертів в оцінюванні досвіду команди виконавців ІТ-проекту і перейти до використання в ході оцінювання даних про результати виконання окремих елементів ІС, які можуть бути повторно використані в ході виконання запланованого проекту.

Отримання подібних даних стає можливим при використанні як основної кількісної характеристики створюваної ІС, що дозволяє оцінити ступінь повторного використання наявних рішень в новій системі, онтологічної точки. Дана характеристика визначається в [3] як окрема гілка таксономії фреймів, присутньої в описі раціональної архітектури створюваної ІС. Формальний опис онтологічної точки в [3] представлено як модель вигляду

$$OntPD =< FR_{OntPD} = (fr_i,\dots,fr_k,\dots,fr_j), C^{gen}, G_{OntPD} = \\ = (< fr_i, fr_{i+1}, C^{gen} >,\dots,< fr_{k-1}, fr_k, C^{gen} >, \\ < fr_k, fr_{k+1}, C^{gen} >),\dots,< fr_{j-1}, fr_j, C^{gen} >) > . \quad (1)$$

при виконанні умови

$$\forall fr_k \in FR_{OntPD} \exists < fr_{k-1}, fr_k, C^{gen} > \cap \\ \cap < fr_k, fr_{k+1}, C^{gen} > \in G_{OntPD}, \\ i < k < j, \quad . \quad (2)$$

де $OntPD$ – формалізований опис онтологічної точки; $FR_{OntPD}$ – підмножина фреймів, що утворюють онтологічну точку; $G_{OntPD}$ – множина відображень, які задають зв'язки генералізації між фреймами, що входять до множини $FR_{OntPD}$; $i$ – ідентифікатор кореневого фрейму онтологічної точки; $j$ – ідентифікатор фрейму-листа онтологічної точки.

Для формального опису фреймів з множини $FR_{OntPD}$ пропонується використовувати модифіковану фреймову модель знань. Дана модель має вигляд [4, 5]

$$fr = \{ n,[(ns_1, vs_1, ps_1),\dots(ns_k, vs_k, ps_k)], \\ \{if_1,\dots if_n\},\{mt_1,\dots mt_z\}\} \quad . \quad (3)$$

де $n$ – ім'я фрейму; $(ns, vs, ps)$ – слот фрейму; $k$ – кількість слотів фрейму; $ns_i$ – ім'я слота, $i = \overline{1,k}$; $vs_i$ – значення слота, $i = \overline{1,k}$; $ps_i$ – ім'я приєднаної процедури; $\{if_1,\dots if_n\}$ – множина інтерфейсів, використовуваних фреймом $fr$ (може бути порожньою); $\{mt_1,\dots mt_z\}$ – множина всіх методів (приєднаних процедур), пов'язаних з фреймом в цілому, а не з конкретними слотами.

Для формального опису зв'язків генералізації у [6] пропонується використовувати модель вигляду

$$C^{gen} =< n_C, A^C_{fr_a}, A^C_{fr_b}, 1, 1, S^C_{fr_a}, S^C_{fr_b} > \quad (4)$$

при виконанні для кожного дочірнього фрейму $fr_b$ умови

$$\begin{cases} \exists fr_a = \{ n,[(ns_1, vs_1, ps_1),\dots(ns_k, vs_k, ps_k)],\{if_1,\dots if_n\},\{mt_1,\dots mt_z\}\} \\ o^i_{fr_b} =< v^{ij}_{fr_a} > \cup < v^{ij}_{fr_b} > \\ F(o^i_{fr_a}) = F(o^i_{fr_b}) \\ F(o^i_{fr_b}) \neq F(o^i_{fr_a}) \end{cases} \quad (5)$$

де $o^i_{fr_b}$ – множина значень фрейму $fr_b$; $v^{ij}_{fr_a}$ – значення j-го атрибута і-го значення фрейму $fr_a$; $v^{ij}_{fr_b}$ – значення j-го атрибута і-го значення фрейму $fr_b$; $F$ – сукупність операцій над значеннями фреймів $fr_a$ і $fr_b$, причому операції сукупності $F$ не обов'язково належать даним класам.

Використання онтологічних точок дозволяє відмовитися від використання експертів в ході визначення значень кількісних показників, що характеризують досвід команди виконавців ІТ-проекту створення ІС. На основі формального опису архітектури ІС у вигляді множини онтологічних точок результати вирішення зазначених

вище задач управління ІТ-проектом в ході планування і виконання попередніх ІТ-проектів можуть бути представлені як дані про ступінь участі конкретного виконавця ІТ-проекту в реалізації конкретних фреймів і інтерфейсів, що утворюють кожну з онтологічних точок, складових опису архітектур ІС, створених або модифікованих в ході виконання попередніх ІТ-проектів. Тоді ступінь знайомства j-го розробника з команди виконавців ІТ-проекту $P$ з фреймами і інтерфейсами, що утворюють $i$-у онтологічну точку $OntPD_i$, пропонується формально описати наступним чином

$$IVD_{ji} = \frac{\sum_{k=1}^{n} t_{jki}}{\left| FR_{OntPD_i} \right|}, \qquad (6)$$

де $t_{jki}$ – показник, що характеризує участь $j$-го виконавця ІТ-проекту в роботах з реалізації $i$-ї онтологічної точки $OntPD_i$, утвореної множиною фреймів $(fr_1,...,fr_n)$.

У загальному випадку показник $t_{jki}$ може приймати одне з наступних значень:

а) $t_{jki} = 1$, якщо $j$-й виконавець ІТ-проекту брав участь в роботах з реалізації $k$-го фрейму $i$-ї онтологічної точки $OntPD_i$;

б) $t_{jki} = 0$ в іншому випадку.

При необхідності конкретне значення показника $t_{jki}$ може бути уточнено в разі, якщо результати вирішення згаданих вище задач управлінняІТ-проектом дозволяють розрахувати конкретну частку участі $j$-го виконавця ІТ-проекту в роботах з реалізації $k$-го фрейму $i$-ї онтологічної точки $OntPD_i$.

У разі якщо $j$-й виконавець ІТ-проекту брав участь в роботах з реалізації $k$-го фрейму $i$-ї онтологічної точки $OntPD_i$ в декількох попередніх ІТ-проектах, вираз (6) матиме вигляд

$$IVD_{pji} = \frac{\sum_{p=1}^{pr} \sum_{k=1}^{n} \alpha_{jp} t_{jki}}{pr \times \left| FR_{OntPD_i} \right|}, \qquad (7)$$

де $\alpha_{jp}$ – коефіцієнт участі $j$-го виконавця ІТ-проекту в $p$-му ІТ-проекті; $pr$ – кількість виконаних раніше ІТ-проектів.

У загальному випадку показник $\alpha_{jp}$ може приймати одне з наступних значень:

а) $\alpha_{jp} = 1$, якщо $j$-й виконавець ІТ-проекту брав участь в роботах з реалізації $k$-го фрейму $i$-ї онтологічної точки $OntPD_i$ в $p$-му ІТ-проект;

б) $\alpha_{jki} = 0$ в іншому випадку.

Вирази (6) і (7) дозволяють визначити досвід команди виконавців ІТ-проекту як ступінь їх загального знайомства з фреймами і інтерфейсами онтологічних точок, що складають опис архітектури ІС, що є результатом планованого ІТ-проекту. Тоді найпростішим способом розрахунку інтегрального показника, що характеризує досвід команди виконавців у відповідності до наведеного визначення, буде усереднення значень $IVD_{pji}$ для всіх учасників команди

$$I = \frac{\sum_{j=1}^{n'} IVD_{pji}}{n'}, \qquad (8)$$

де $n'$ – кількість виконавців, що утворюють команду виконавців планованого ІТ-проекту.

У практиці ІТ-компаній часто зустрічається ситуація, коли команда виконавців ІТ-проекту складається з досить великої кількості людей, рівні кваліфікації та досвід яких розподілені непропорційно один одному (співробітники з низьким рівнем кваліфікації та з малим досвідом зустрічаються в команді набагато частіше). У цьому випадку розрахунок інтегрального показника, що характеризує досвід команди виконавців, доцільно здійснювати не шляхом усереднення за виразом (8), а з застосуванням методу медіан. Даний метод показує досить точні результати в ході обробки результатів анкетування з застосуванням порядкових шкал [7]. Під медіаною в даному випадку розуміється напівсума значень показників $IVD_{pji}$, що є середніми в упорядкованому ряду оцінок показників $IVD_{pji}$ всіх учасників команди виконавців планованого ІТ-проекту.

Тоді метод оцінювання досвіду команди виконавців ІТ-проекту можна представити у вигляді таких етапів.

Етап 1. Вибір вже сформованої чи формування нової команди виконавців планованого ІТ-проекту, яка складається з $n'$ людей.

Етап 2. Формування множини онтологічних точок $\{OntPD_i\}$, які описують архітектуру ІС або ІТ, що є результатом планованого ІТ-проекту.

Етап 3. Збір статистичної інформації про реалізацію учасниками команди виконавців планованого ІТ-проекту онтологічних точок з множини $\{OntPD_i\}$ в раніше виконаних ІТ-проектах:

Крок 3.1. Збір статистичної інформації про раніше виконані ІТ-проекти, в яких здійснювалася реалізація онтологічних точок з множини $\{OntPD_i\}$.

Крок 3.2. Вибір для кожного учасника команди виконавців планованого ІТ-проекту з результату виконання Кроку 3.1 підмножини раніше виконаних ІТ-проектів, в яких даний учасник виконував роботи з реалізації онтологічних точок з множини $\{OntPD_i\}$.

Крок 3.3. Розрахунок для кожного учасника значення показника $IVD_{pji}$ за виразом (7).

Етап 4. Розрахунок значення інтегрального показника досвідченості обраної або сформованої команди

виконавців планованого ІТ-проекту одним з розглянутих вище способів (усередненням (вираз (8)) або методом медіан). Завершення застосування методу.

Результат розрахунку значення інтегрального показника досвідченості команди виконавців планованого ІТ-проекту дозволить спростити, зокрема, вибір значення показника *PROD*, необхідного для оцінки обсягів робіт планованого ІТ-проекту. Один із прикладів такого спрощення наведено в табл. 1.

ТАБЛИЦЯ І. ЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА *PROD* ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ ДОСВІДУ РОБОТИ КОМАНДИ ІТ-ПРОЕКТУ

| **Досвід і здібності розробників, зрілість і можливості CASE** | **Дуже низький** | **Низький** | **Нормальний** | **Високий** | **Дуже високий** |
|---|---|---|---|---|---|
| **Значення показника** $I$ | $I < 0{,}2$ | $0{,}2 \le I < 0{,}4$ | $0{,}4 \le I < 0{,}6$ | $0{,}6 \le I < 0{,}8$ | $I \ge 0{,}8$ |
| *PROD* | 4 | 7 | 13 | 25 | 50 |

## III. ВИСНОВКИ

Пропоновані параметри і метод дозволяють врахувати факт участі конкретних виконавців ІТ-проекту створення ІС в раніше виконаних проектах аналогічного призначення навіть у тому випадку, якщо з цих проектів використовуються окремі онтологічні точки, а не повністю готові і налагоджені модулі. Однак необхідно вказати, що отримані результати справедливі тільки для тих ІТ-проектів, які представляють опис архітектури створюваних ІС у вигляді візуальних моделей (діаграм класів або ER-діаграм). Тому застосування запропонованого методу оцінювання досвіду команди виконавців ІТ-проекту буде найбільш ефективним тільки для тих ІТ-компаній, які ефективно виконують роботи з формування та ведення проектної документації на ранніх стадіях створення ІС. У зв'язку з цим важливою перспективою подальшого дослідження слід вважати вивчення моделей проектних артефактів, які визначають схему даних технологій управління ІТ-проектів і дозволили б ефективно зберігати і обробляти елементи опису архітектури створюваної ІС.

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Functional PointCountingPracticesManual. Release 4.1.1. Troy, IFPLUG, 2001.

[2] COCOMO II ModelDefinitionManual [Online]. Available::ftp://ftp.usc.edu/pub/soft_engineering/COCOMOII/cocomo99.0/modelman.pdf (references)

[3] М.В. Євланов, Н.В. Васильцова, І.Ю. Панфьорова. "Моделі и методи синтезу опису раціональної архітектури інформаційної системи", *Вісник наукового університету «Львівська політехніка». Серія «Інформаційні системи та мережі»"*, no 829, pp. 135-152, 2015.

[4] В.М. Левикін, М.В. Євланов, М.А. Керносов. Патерни проектування вимог до інформаційної системи: моделювання та застосування: монографія. Харків, ТОВ «Компанія СМІТ», 2014.

[5] V.M. Levykin, M.V. Ievlanov, O.E. Neumyvakina. "Developing the models of patterns in the design of requirements to an information system at the knowledge level", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, no 5/2 (89). pp. 19-26, 2017.

[6] В.М. Левикін, М.В. Євланов, В.С. Сугробов. «Паралельне проектування інформаційного і програмного комплексів інформаційної системи", *Радіотехніка*, vol. 146, pp. 89-98, 2006.

[7] А.И. Орлов. Эконометрика. Ростов-на-Дону, Феникс, 2009.

# Модель Оцінювання Можливостей Процесу ІТ-компанії

Максим Євланов
кафедра інформаційних управляючих систем
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
maksym.ievlanov@nure.ua

Ольга Неумивакіна
кафедра інформаційних управляючих систем
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
olga.neumyvakina@nure.ua

Євгенія Корнєєва
Дніпровський державний проектний інститут житлового та цивільного будівництва
Дніпро, Україна
korneevae425@gmail.com

# Model of Evaluation of the Capabilities of the IT Company Process

Maksym Yevlanov
Department of Informatiom Control Systems
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
maksym.ievlanov@nure.ua

Olga Neumivakina
Department of Informatiom Control Systems
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
olga.neumyvakina@nure.ua

Evgeniya Korneeva
Dnipro state project institute residential and civil building
Dnipro, Ukraine
korneevae425@gmail.com

***Анотація*—Проаналізовано сучасні підходи до оцінювання рівнів можливостейпроцесів. Визначено атрибути процесу як оцінки рівнів окремого процесу. Розроблено модифікацію теоретико-категорної моделі аналітичного представлення автоматизованого бізнес-процесу. Запропонована модифікація дозволяє використовувати теоретико-категорну модель для оцінювання рівніві можливостей процесів ІТ-компанії.**

***Abstract*— The modern approaches to estimating the levels of process possibilities are analyzed. The attributes of the process as the estimation of levels of a separate process are determined. A modification of the theoretically-categorical model of the analytical representation of the automated business process has been developed. The proposed modification allows us to use the theoretically-categorical model for estimating the level of opportunities of the processes of the IT company.**

***Ключові слова—ІТ-проект; процес; атрибут процесу, теоретико-категорна модель, показник.***

***Keywords—IT project; process; attribute of process; theoretic-categorical model; indicator.***

## I. Вступ

Сучасні підходи до управління ІТ-компаніями базуються на концепціях, методологіях, моделях та методах управління проектами. Але використання конкретних моделей та методів проектного управління в значному ступені залежить від того, на якому саме рівні зрілості знаходяться процеси ІТ-компанії. Особливо актуальною зміна моделей і методів управління окремими процесами ІТ-компанії стає під час переходу від першого до другого рівня зрілості (за моделлю CMM). Необхідність такої зміни визначається переходом від виконання окремих ІТ-проектів до виконання повторюваних проектних робіт на замовлення різних підприємств та організацій.

Сучасні моделі зрілості можливостей, які можна використовувати для оцінювання поточного стану процесів ІТ-компаній, мають переважно концептуальний характер [1]. Це пояснюється тим, що ці моделі базуються на положеннях моделі CMM. Ця модель виділяє п’ять основних рівнів зрілості процесів, для кожного з яких можливо виділити свої головні особливості процесів інжинірингa програмного забезпечення [1].

Концептуальна природа моделі CMM та її нащадків визначає як одну з основних проблем застосування цих моделей в управлінні ІТ-компаніями проблему кількісного оцінювання рівня зрілості окремих процесів. Слід зазначити, що кількісна оцінка стану процесу є необхідною умовою прийняття об'єктивного рішення щодо рівня зрілості, на якому знаходиться цей процес, та визначення найбільш прийнятних для цього рівня зрілості моделей і методів управління цим процесом.

Досвід оцінювання процесів підприємства, що базується на моделі CMM, зафіксовано у стандартах ISO серії 15504. Ця серія складається з наступних стандартів:

а) ISO 15504-1 «Основні терміни та визначення»;
б) ISO 15504-2 «Проведення оцінювання»;
в) ISO 15504-3 «Настанова з проведення оцінювання»;
г) ISO 15504-4 «Настанова з використання для поліпшення процесу та визначення можливостей»;
д) ISO 15504-5 «Приклад моделі оцінювання процесу, яка заснована на ISO 12207. Доповнення 1 та 2».

Згідно з цими стандартами можливості процесу визначаються за наступною шестибальною шкалою [2]:

а) 0 – неповний процес;
б) 1 – здійснений процес;
в) 2 – керований процес;
г) 3 – встановлений процес;
д) 4 – передбачуваний процес;
е) 5 – процес, який оптимізується.

Ця шкала відображує зростання можливостей виконання процесу від здійснення, яке не спроможне досягти виходів процесу, до здійснення, яке спроможне забезпечити поточні бізнес-мети та бізнес-мети, що плануються. При цьому таку кількісну оцінку слід використовувати для характеристики можливостей процесу тільки відносно конкретної моделі оцінювання цього процесу [2]. Зміна моделі оцінювання процесу викликає необхідність повторного оцінювання можливостей цього процесу.

Для визначення можливостей процесу за наведеною шкалою в [2] пропонується використовувати атрибути процесу. Перелік атрибутів процесу для кожного з рівнів процесу за шестибальною шкалою наведено в табл. 1.

ТАБЛИЦЯ І. ПЕРЕЛІК АТРИБУТІВ ПРОЦЕСУ

| Рівень процесу | Атрибут процесу |
|---|---|
| 0 – неповний процес | Відсутній |
| 1 – здійснений процес | Атрибут здійснення процесу |
| 2 – керований процес | Атрибут управління здійсненням |
| | Атрибут управління робочим продуктом |
| 3 – встановлений процес | Атрибут визначення процесу |
| | Атрибут розгортання процесу |
| 4 – передбачуваний процес | Атрибут виміру процесу |
| | Атрибут контролю процесу |
| 5 – процес, який оптимізується | Атрибут інновації процесу |
| | Атрибут оптимізації процесу |

Для визначення значень атрибутів процесу стандарти ISO 1504 пропонують використовувати впорядковану шкалу рейтингу атрибутів процесу [2]. При цьому присвоєння процесу відповідного рівня здійснюється тільки тоді, коли атрибути попередніх рівнів приймають за цією шкалою рейтингу значення «Повністю досягнутий», а атрибути відповідного рівня приймають значення «В основному досягнутий» чи «Повністю досягнутий».

Головною проблемою використання розглянутого підходу до оцінювання можливостей процесу є відсутність моделей і методів кількісного оцінювання значень атрибутів процесу. Хоча в [2] пропонується засіб перетворення якісної оцінки значень атрибутів процесу у відсотки, загальна методика та конкретні інструменти такого перетворення відсутні. Тому дослідження в цьому напрямі є актуальними як з теоретичної, так і з практичної точки зору.

## II. МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ІТ-КОМПАНІЇ

Вирішення проблеми кількісного оцінювання процесів ІТ-компанії полягає у розробці моделі, яка дозволить формалізовано описати процес кількісного оцінювання процесу як сукупності робіт, що виконуються в межах окремих ІТ-проектів. За основу такої моделі пропонується використати модель аналітичного представлення автоматизованого бізнес-процесу (БП), яка має наступний вигляд [3]:

$$L^A = [\, L^C, L^P, F_C^P \,], \qquad (1)$$

де $L^A$ - категорія, яка описує аналітичне представлення автоматизованого БП; $L^C$ - підкатегорія описів цілей автоматизованого БП; $L^P$ - підкатегорія описів показників, які характеризують досягнення цілей автоматизованого БП; $F_C^P$ - функтор, який встановлює відповідність цілей автоматизованого БП та показників досягнення цих цілей.

Підкатегорія $L^C$ має такий вигляд [3]:

$$L^C = [(\{ d_{dec_i} \}, \{ d_{cae_j} \}, \{ v_{cae_j}^{dec_i} \}, \{ v_{dec_k}^{cae_j} \}),$$
$$(\{ Mor_{\exists}^{d_{dec_i}^a, d_{dec_k}^b} \}, \{ Mor_{\exists}^{d_{dec_i}^a, \{ d_{dec_k} \}^b} \})], \qquad (2)$$

де $d_{dec_i}$ - вершина графу, яка описує декларативне представлення $i$-ої цілі автоматизованого БП, $i = 1,2,\ldots,k,\ldots$; $d_{cae_j}$ - $j$-та вершина графу, яка описує наявність причинно-наслідкового зв'язку між елементами підмножини $\{ d_{dec_i} \}$, $j = 1,2,\ldots,m,\ldots$; $v_{cae_j}^{dec_i}$ - дуга графу, яка описує призначення декларативного представлення цілі $d_{dec_i}$ як причини для однієї чи кількох інших декларативних представлень цілей автоматизованого БП; $v_{dec_k}^{cae_j}$ - дуга графу, яка описує призначення декларативного представлення цілі $d_{dec_i}$ як наслідку в $j$-му причинно-

наслідковому зв'язку; $Mor_{\exists}^{d_{dec_i}^a, d_{dec_k}^b}$ - морфізм, який встановлює ієрархію між декларативним представленням цілі на a-му рівні та декларативним представленням іншої цілі на *b*-му рівні ієрархії; $Mor_{\exists}^{d_{dec_i}^a \{ d_{dec_k} \}^b}$ - коконус морфізмів, які встановлюють ієрархію між декларативним представленням цілі на a-му рівні та усіма декларативними представленнями цілі на *b*-му рівні ієрархії.

Підкатегорія $L^P$ має такий вигляд [3]:

$$L^P = [(Id_i, N_i, Des_i, val_i, \{ns_j^i, ts_j^i, vs_j^i, ps_j^i\}), \\ (val_i = f(val_k, \ldots, val_m))], \\ i,k,m = 1,2,\ldots; i \neq k, i \neq m, k \neq m. \quad (3)$$

де $Id_i$ - ідентифікатор показника досягнення цілі $p_i$; $N_i$ - найменування показника $p_i$; $Des_i$ - опис показника $p_i$; $val_i$ - значення показника $p_i$; $\{ns_j^i, ts_j^i, vs_j^i, ps_j^i\}$ множина слотів фреймового опису показника $p_i$; $ns_j^i$ - найменування слоту фрейму; $ts_j^i$ тип даних слоту фрейму; $vs_j^i$ - значення слоту фрейму; $ps_j^i$ - опис процедури конструювання значення слоту фрейму; $val_i = f(val_k, \ldots, val_m)$ - опис морфізму підкатегорії $L^P$ як функціональної залежності між показниками досягнення цілі.

Функтор $F_C^P$ може бути описаний як відображення, яке має наступний вигляд [3]:

$$F_C^P : \begin{cases} C \to 2^P \\ c_i \to \{p_j\} \in P \end{cases}. \quad (4)$$

де $C$ - множина цілей автоматизованого БП; $c_i$ - і-та ціль автоматизованого БП; $P$ - множина показників, які характеризують досягнення цілей автоматизованого БП; $p_j$ - j-ий показник, який характеризує окремі цілі; $\{p_j\}$ - підмножина показників, яка характеризує досягнення окремої цілі $c_i$.

Особливістю проектного управління є перехід від визначення цілей проекту в цілому до визначення цілей окремих робіт проекту шляхом створення структурної декомпозиції робіт (work breakdown structure, WBS). Тому множину IT-проектів, для виконання яких використовуються процеси IT-компанії, можна описати як множину WBS кожного проекту. Кожна окрема WBS $W_k$ в цьому випадку буде розглядатися як деревоподібний граф, що має такий вигляд:

$$W_k = (\{d_{dec_{ik}}\}, \{\nu_{dec_{ik}}\}), \quad (5)$$

де $d_{dec_{ik}}$ - вершина деревоподібного графу, яка описує результат і-ої сукупності робіт k-го IT-проекту; $\nu_{dec_{ik}}$ - дуга деревоподібного графу, яка описує ієрархічний зв'язок між двома окремими вершинами цього графу з підмножини $\{d_{dec_{ik}}\}$.

Враховуючи, що у деревоподібному графі, який описує WBS $W_k$, вершини нижчого рівня ієрархії є нащадками конкретної вершини вищого рівня ієрархії, підкатегорія $L^C$ (вираз (2)) прийме такий вигляд:

$$L^C = [(\{d_{dec_{ik}}\}, \{\nu_{dec_{ik}}\}), \{Mor_{\exists}^{d_{dec_i}^a \{d_{dec_k}\}^b}\}]. \quad (6)$$

Для формування підкатегорії $L^P$ введемо додаткові описи атрибутів процесу як інтегральних показників. Ці описи будуть мати такий вигляд

$$K_i = (Id_i, N_i, Des_i, val_i, \{ns_j^i, ts_j^i, vs_j^i, ps_j^i\}), i = 1,\ldots,9. \quad (7)$$

При цьому значення кожного показника $val_i$ (у тому числі атрибутів процесу) буде обчислюватися таким чином:

$$val_i = \sum_{j=k}^{j=m} \alpha_j val_j; i = 1,2,\ldots \quad (8)$$

де $\alpha_j$ - коефіцієнт значущості j-го показника для розрахування значення і-го показника.

Виходячи з виразів (5)-(6), опис конкретної цілі процесу IT-проекту $c_i$ у функторі $F_C^P$ приймає такий вигляд

$$c_i = (\{d_{dec_{ik}}\}, \{\nu_{dec_{ik}}\}), k = 1,2,\ldots n \quad (9)$$

де $n$ - кількість IT-проектів, які під час свого виконання використовували і-ий процес.

Окремо слід розглянути підхід до формування множини локальних показників виконання процесів IT-проекту. Враховуючи мінімальний обсяг інформації щодо особливостей виконання процесів в українських IT-компаніях, слід рекомендувати для формування таких показників бібліотеку ITIL (версія 2). Опис показників цієї бібліотеки наведений у [4]. Вибір цієї бібліотеки зумовлений представленням процесів IT-проекту як сукупності IT-послуг, які надаються учасникам проекту для кращого виконання конкретних процесів.

Враховуючи необхідність відповідності цілей процесів їх рівням, наведеним у табл. 1, вираз (9) можна представити таким чином:

$$c_i = (\{d_{dec_{ik}}^{lev}\}, \{\nu_{dec_{ik}}^{lev}\}), lev = 0,\ldots 6; k = 1,2,\ldots n. \quad (10)$$

Тут індекс *lev* вказує на очікуваний рівень процесу IT-проекту. Використання виразу (9) дозволяє встановити для

кожного *i*-го процесу ІТ-проекту множину цілей, кожна з яких відповідає конкретному рівня цього процесу. Тоді сукупність значень атрибутів процесу дозволяє зробити висновок щодо ступеню досягнення кожної цілі кожного рівня. Виходячи з цього, функтор $F_C^P$ (вираз (4)) кожній цілі $c_i$ для кожного рівня процесу ІТ-проекту ставить у відповідність такі сукупності показників:

$$c_i^0 = (\{ d_{dec_{ik}}^0 \}, \{ v_{dec_{ik}}^0 \}) \to \{ K_1, (Id_m, N_m, Des_m, val_m, \{ ns_j^m, ts_j^m, vs_j^m, ps_j^m \})\}, m = 10,11,\ldots; \quad (11)$$

$$c_i^1 = (\{ d_{dec_{ik}}^1 \}, \{ v_{dec_{ik}}^1 \}) \to \{ K_1, (Id_m, N_m, Des_m, val_m, \{ ns_j^m, ts_j^m, vs_j^m, ps_j^m \})\}, m = 10,11,\ldots; \quad (12)$$

$$c_i^2 = (\{ d_{dec_{ik}}^2 \}, \{ v_{dec_{ik}}^2 \}) \to \{ K_1, K_2, K_3, (Id_m, N_m, Des_m, val_m, \{ ns_j^m, ts_j^m, vs_j^m, ps_j^m \})\}, m = 10,11,\ldots.; \quad (13)$$

$$c_i^3 = (\{ d_{dec_{ik}}^3 \}, \{ v_{dec_{ik}}^3 \}) \to \{ K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, (Id_m, N_m, Des_m, val_m, \{ ns_j^m, ts_j^m, vs_j^m, ps_j^m \})\}, m = 10,11,\ldots; \quad (14)$$

$$c_i^4 = (\{ d_{dec_{ik}}^4 \}, \{ v_{dec_{ik}}^4 \}) \to \{ K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, (Id_m, N_m, Des_m, val_m, \{ ns_j^m, ts_j^m, vs_j^m, ps_j^m \})\}, m = 10,11,\ldots; \quad (15)$$

$$c_i^5 = (\{ d_{dec_{ik}}^5 \}, \{ v_{dec_{ik}}^5 \}) \to \{ K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9, (Id_m, N_m, Des_m, val_m, \{ ns_j^m, ts_j^m, vs_j^m, ps_j^m \})\}, m = 10,11,\ldots \quad (16)$$

## III. Висновки

Запропоновані моделі (5)-(16) дозволяють використовувати розроблену теоретико-категорну модель аналітичного представлення автоматизованого БП для оцінювання можливостей процесів ІТ-компанії. При цьому стає можливим враховувати досвід ІТ-проектів, які виконувалися ІТ-компанією до проведення оцінювання. Це дозволяє підвищити точність оцінювання можливостей процесів ІТ-компанії.

Використання для організації зв'язку між цілями, атрибутами процесів та окремими показниками функтора (4) дозволяє представити кожен процес ІТ-компанії множиною цілей, які ставляться для цього процесу на відповідному рівні можливостей (вирази (11)-(16)). Виходячи з цього, стає можливим вирішення задачі бізнес-моніторингу процесів ІТ-компанії з використанням запропонованих моделей.

У зв'язку з цим важливою перспективою подальшого дослідження слід вважати дослідження множини показників процесів ІТ-компанії. Метою такого дослідження слід вважати визначення рекомендацій для вибору такої підмножини показників, яка підвищувала б точність розрахунків значень атрибутів процесу $K_1,\ldots,K_9$.

## Література References


[1] Бирюков А. Пять ступеней к совершенству [Online]. Available: http://www.osp.ru/cio/2011/04/13008116/ (references).

[2] ГОСТ Р ИСО/МЭК 15504-2-2009. Информационная технология. Оценка процесса. Часть 2. Проведение оценки. М.: Стандартинформ, 2010.

[3] М.В. Евланов, В.А. Антонов, Е.В. Корнеева. «Применение системы сбалансированных показателей в информационной технологии мониторинга автоматизированных бизнес-процессов», *Системи обробки інформації*. no 5(86), pp. 211-216, 2010.

[4] П. Брукс. Метрики для управления ИТ-услугами: пер. с англ. М., Альпина Бизнес Букс, 2008.

# Resource Allocation Model in Multi-level Management System

Mykola Karpenko
Department of Applied Mathematics and Information Technology
O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
my.karpenko@gmail.com

Iryna Havrylenko
Department of Applied Mathematics and Information Technology
O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
i.gavrilenko@ukr.net

# Модель Розподілу Ресурсів у Багаторівневій Системі Управління

Микола Карпенко
Кафедра прикладної математики та інформаційних технологій
Національний університет міського господарства ім. О.М.Бекетова
Харків, Україна
my.karpenko@gmail.com

Ірина Гавриленко
Кафедра прикладної математики та інформаційних технологій
Національний університет міського господарства ім. О.М.Бекетова
Харків, Україна
i.gavrilenko@ukr.net

***Abstract*–This paper proposes a model of resource management with fixed and variable intensities and asynchronous implementation of processes, which can be used to solve RAPs of business entities with make-to-order or mixed nature of production.**

***Анотація*–В даній роботі запропонована модель управління ресурсами з фіксованою та змінною інтенсивністю та асинхронною реалізацією процесів, які можуть бути використані для вирішення проблеми розподілу ресурсів суб'єктів господарювання з замовленням або змішаним характером виробництва.**

***Keywords–resources; processes; model; intensity function; resource allocation; optimization.***

***Ключові слова–ресурси; процеси; модель; функція інтенсивності; розподілення ресурсів; оптимізація.***

The key issue of strategic management at the level of business entities is optimal resource allocation problem (RAP) [1-5]. A practical solution to this problem is complicated by several factors, namely:

1) resource management in economic systems is associated with the solution of a large-scale RAP;

2) there are nonlinear dependencies between the intensity of management and the nature of the use of resources [1,2];

3) there are multiple connections between individual processes, which requires a clear synchronization of their implementation and significantly complicates the solution of RAP in general terms [3];

4) known optimization algorithms to solve RAP are of complexity class NP, which limits their use for large-scale problems [5].

These factors lead to the fact that the search for an optimal solution to RAP in practice is associated with enormous computing costs [5]. It is virtually impossible to solve such a problem without the use of special mathematical tools. Therefore, the task of developing a special family of resource allocation models, which would allow for decomposition of RAP for different levels and at the same time obtaining final decisions without losing their adequacy, seems to be relevant.

This paper proposes a model of resource management with variable intensity and asynchronous implementation of processes, which can be used to solve RAPs of business entities with small-scale, make-to-order or mixed nature of production. A distinctive feature of the model is that it allows hierarchical organization of the process. This significantly reduces the computational costs of finding the final solution.

The model includes three parameters: resources (R), processes (P) and time (T). Management is carried out in time, at the level of processes P, with restrictions on the volumes and nature of the use of resources R. Let’s define the process

model as a functional connection between its state *x(t)*, intensity *u(t)* and resource consumption function *S (t)*. Let *x(t)* be a time function, while x(t) = 0 when the process is not started, x(t) = 1 when the process is complete. Then the process implementation speed can be written as:

$$v(t)=\frac{dX(t)}{dt}=\bar{x}(t), \tag{1}$$

and resources use model can presented as:

$$\begin{aligned}&\bar{x}(t)=f(x(t),u(t),t)\\&S(t)=W^0u(t),\end{aligned} \tag{2}$$

where $W^0$ – rated resources consumption, *u(t)* – management function.

Model (1)-(2) is called the model of the first kind. Its main disadvantage is that the rate of resource consumption is determined accurate to within a constant coefficient. And this, in turn, limits the flexibility of resource management in general. As a modification of (1)-(2) one can use a model of the second kind, which looks like:

$$\begin{aligned}&\bar{x}(t)=u(t)\\&S(t)=W^0g(u(t))=W^0f^{-1}(u(t)),\text{ або}\\&S(t)=W^0g(u(t))=W^0f_2^{-1}\left(\frac{u(t)}{f_1(x(t))}\right)\end{aligned} \tag{3}$$

Let *x* be the moment of start, *z* – the moment of the end of the process, so $\gamma = z\text{-}y$ is duration of the process.

Then $y=sup\{t\mid x(t)=0\}$, $z=inf\{t\mid x(t)=1\}$.

By adding the constraint $\gamma = \gamma^0 = const$, we obtain a problem with a fixed intensity of process implementation, where only one variable – *z* or *y* – is represented as management, i.e. $u(t)=1/\gamma^0$ provided that $y<=t<=y+\gamma^0$. The problem with varying intensity of processes will be understood as such where *z*, *y* are fixed, and the management is represented as:

$$u(t)=\begin{cases}\geq 0, if\ y\leq t\leq z\\0, in\ other\ cases,\end{cases}$$

$$\int_y^z u(t)dt=1.$$

Let's limit the region of variation *u(t)* by the following relations: $u^{min}<=u(t)<=u^{max}$. Constraints on the timing of processes can be represented as:

$$y_j^{min}<=y_j<=y_j^{max},\ \ z_j^{min}<=z_j<=z_j^{max}, j=1,..,n,$$

where *n* – the number of processes.

To ensure synchronization of processes (by time), let's introduce a partial order relation ρ, which in a special case reduces to constraint $z_j<=y_l$. Accordingly, the quantization of time in the model can be represented as:

$$X_j^k=X_j^{k+1}+u_j^k(t^k-t^{k-1}), k=1,2,...,S.$$

Then the resource consumption in the model will have the following form:

$$\delta_{ij}^k=W_{ij}\int_{X_j^{k-1}}^{X_j^k}g_{ij}(x_j)dx_j, k=1,2,...S,\ i=1,2,...,n,\ j=1,2,...,n.$$

Given that $\int_0^T u(t)dt=1$, the normalization conditions will have the following form:

$$\sum_{k=1}^{S}u_j^k(t^k-t^{k-1})=1,\ j=1,2,...,n.$$

Then the statement of resource allocation problem with variable intensities and asynchronous implementation of processes can be written in the following form:

Find:

$$\min_u\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{S}\left(\frac{\delta_i^k}{r_i^k}\right)^2$$

under constraints:

$$\delta_i^k<=\sum_{j=1}^{n}\delta_{ij}^k<=r_i^k,$$

$$\sum_{k=1}^{S}u_j^k(t^k-t^{k-1})=1,\ j=1,2,...,n,$$

$$X_j^k=X_j^{k+1}+u_j^k(t^k-t^{k-1}),k=1,2,...,S,$$

$$y_j^{min}<=y_j<=y_j^{max},\ \ z_j^{min}<=z_j<=z_j^{max},$$

where $r_i^k$ – the limit of resource *k* for the process *j*.

The proposed model is implemented in VBA language in MS Project environment. It allows for optimization of the use of resources for projects with an extensive hierarchical structure and a large number of processes. Testing of the software confirmed the computational efficiency of the model and is used in the educational process at the Department of Applied Mathematics and Information Technologies of O. M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economy.

## REFERENCES


[1] Economic and mathematical modeling: Tutorial / Edited by O. T. Ivashchuk. – Ternopil: TNEU "Economichna Dumka", 2008. – 704 p.

[2] A.V. Parkhomenko Economic and mathematical models of controlling at an industrial enterprise / A. V. Parkhomenko, L. V. Parkhomenko, B.I. Gerasimov. – Tambov: TGTU, 2005. – 66 p.

[3] V.V. Gangori Decomposition, aggregation and approximate optimization / V. V. Gangori. – M.: Binom, 2005. – 344 p.

[4] S.A. Zhdanov Economic models and methods in management / S. A. Zhdanov. – M.: Publishing house "Delo i Servis", 1998. – 176 p.

[5] M. Gary Computing machines and intractable problems / M. Gary, D. Johnson. – M.: Mir, 1982. – 146 p.

# Особливості Використання Архівних Баз Геопросторових Даних у Сучасній Концепції Інфраструктури Просторової Інформації

Олександр Костенко
Кафедра Прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
Харків, Україна
okostenko@ukr.net

Марина Булаєнко
Кафедра Прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
Харків, Україна
mbulaenko@gmail.com

Олександр Зарицький
Кафедра Прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
Харків, Україна
ozarytskyi@ ukr.net

# Features of the Use of Archival Databases of Geospatial Data in the Modern Concept of the Infrastructure of Spatial Information

Oleksandr Kostenko
Department of Applied Mathematics and Information Technology
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
okostenko@ukr.net

Maryna Bulaienko
Department of Applied Mathematics and Information Technology
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
mbulaenko@gmail.com

Oleksandr Zarytskyi
Department of Applied Mathematics and Information Technology
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
ozarytskyi@ukr.net

***Анотація*—У роботі розглянуто метод автоматизації конвертації об'єктів архівних баз геопросторових даних до стандартів оновлених класифікаторів. Запропонований алгоритм конвертування великих масивів даних, може бути реалізований за допомогою вбудованої мови програмування скриптів середовища розробки Digitals.**

***Abstract*—A method for automating the conversion of archival geospatial data base objects to the standards of updated classifiers is considered. The proposed algorithm for converting large data sets can be implemented using the built-in scripting language of the Digitals development environment.**

***Ключові слова—геопросторові об'єкти, база даних, стандарти класифікаторів, конвертація об'єктів, автоматизація, програмування, скрипти***

***Keywords—geospatial objects, database, standards of classifiers, objects conversion, automation, programming, scripts.***

З 2000 року в Україні накопичено значний обсяг геопросторових даних, однак, процеси наповнення та представлення просторової інформації проходили переважно без єдиних технічних регламентів та методичних засад. Вимоги до структури, складу та якості геопросторових даних не координувалися на державному рівні. Дані реєструвалися з використанням різних систем класифікації та програмно-технологічних засобів. Такі нескоординовані дії в результаті привели до неузгодженості інформаційних потоків і дублюванню дорогих та трудомістких вишукувальних робіт із збирання і формування даних, збільшення витрат при зниженні якості інформації [1]. Таким чином в органах державної влади, органах місцевого самоврядування збирається та оновлюється достатньо диференційована інформація (наприклад, відомості про нерухоме майно, інженерні комунікації та споруди, реєстри адрес, назв тощо).

Формуляри бази геопросторових даних (БГД) крупних масштабів (топографічних планів) в Україні реалізуються на підставі наступних документів:

- Основні положення створення топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500, Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України № 3 від 24.01.94 р.
- Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500, Наказ Мінекоресурсів України №295 від 03.08.01 р.

Аналогічний пакет документів забезпечує створення БГД дрібніших масштабів (топографічних карт). Також існують затверджені переліки умовних скорочень, які використовуються у топографічних матеріалах.

З 2009 по 2017 рік імплементовано 16 стандартів з-поміж комплексу міжнародних стандартів ISO 19100 "Географічна інформація / геоматика", які визначають моделі географічних даних, адміністрування цих даних та геоінформаційні сервіси.

У 2018 році Кабінетом Міністрів України схвалено законопроект, який має встановити правові основи діяльності зі створення, функціонування та розвитку Національної інфраструктури геопросторових даних [2]. Також 02.07.2018 прийнято стандарт ДСТУ 8774:2018 "Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних".

Комплекс галузевих стандартів Національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД) прийнятий 05.02.2018 забезпечує інформаційну та функціональну сумісність компонентів бази топографічних даних на основі уніфікованої структури бази топографічних даних (надалі БТД), єдиної системи класифікації і кодування топографічних об’єктів та їх атрибутів, правил цифрового опису векторних даних і цифрових моделей рельєфу, метаданих для топографічних об’єктів і наборів топографічних даних, форматів експорту/імпорту топографічних даних у процесах інформаційної взаємодії компонентів та систем БТД з іншими системами [3].

Отже, на теперішній час створено базис узгодженої технологічної політики, для єдиних методичних засад і технічних регламентів для створення геоіформаційних систем за новою структурою. В 2018 році активізувалася робота відомств на всіх рівнях з метою реалізації концепції Національної інфраструктури геопросторових даних та уніфікації загальноприйнятої структури бази геопросторових даних.

Але деякі питання практичного застосування залишаються не вирішеними. Так одне з підприємств, яке працює в сфері земельних відносин, за останні 6 років своєї діяльності тільки на геопросторі міста Харкова сформувало базу топографічних даних загальною кількістю більше 700 тис. просторових об'єктів зі своєю семантикою та унікальністю. Однак набір даних формувався за старими вимогами, крім того на ранніх етапах формування БГД деяка кількість інформації створювалась не комплексно або взагалі ігнорувалась.

Для прикладу розглянемо більш детально окрему групу об'єктів газотранспортної мережі. Порівняємо опис моделі даних одного і того ж об'єкта в трьох системах класифікації з урахуванням нових стандартів (табл. 1).

ТАБЛИЦЯ 1. ПОРІВНЯННЯ ІДЕНТИФІКАЦІЙНИХ ДАНИХ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДІВ В СТАРИХ ТА СТАНДАРТИЗОВАНИХ ПРАВИЛАХ ЦИФРОВОГО ОПИСУ ВЕКТОРНИХ ДАНИХ

| **Назва характе-ристики** | **Значення характеристики екземпляра класу** | | |
|---|---|---|---|
| | *старий опис (використовується рядом проектних організацій)* | *новий опис (згідно стандартів)* | *новий опис (пропонований місцевим департаментом згідно стандарту)* |
| Назва типу | Газопровід середнього тиску | Трубопроводи | Газопровід |
| Ідентифікатор типу | Газопровід середнього тиску | TD_TrubProv | GAS_PIPELINE |
| Код типу | 51314200 | 51310000 | Як домен:<br>51314100<br>51314200<br>51314300 |
| Посилання на список типів об’єктів каталогу | Не передбачено | 08.1 | 4.4.3 |

У відповідності до трьох випадків організації даних з таблиці 1 порівняємо класифікатори за кількістю просторових класів:

- за старими правилами реалізації класифікатора множина робочого набору для створення топографічної бази масштабу 1:500 COLD представлена 502 просторовими класами — COLD=[1,502];
- за новими правилами реалізації класифікатора множина робочого набору згідно стандартів для створення топографічної бази всіх масштабів CN1 представлена 110 просторовими класами — CN1=[1,110];
- за новими правилами реалізації класифікатора множина робочого набору згідно рекомендацій місцевого департаменту містобудування та архітектури для створення топографічної бази масштабу 1:500 CN2 представлена 73 просторовими класами — CN2=[1,73].

За кількістю класів концепція нової класифікації значно уніфікована.

За смисловим контекстом інформація про об’єкт суттєво не відрізняється. Чого не можна сказати про найменування, типізацію та кодування всіх даних одного й того ж просторового об’єкту в двох структурах подання класифікації.

За стандартами НІГД не встановлено ніяких обмежень або правил на відображення узагальненого абстрактного типу Геометрія (Geometrya) для подання геометричних даних конкретної СКБД, в середовищі якої реалізується БГД. Навіть при ідентичному графічному відображенні бази даних атрибутивної інформації істотно відрізняються. Без належної реорганізації інформації використання архіву інфраструктури геопросторових даних неможливе.

Перетворення одного екземпляру класів за новими стандартами може зайняти до 30 хв, що залежить від рівня обізнаності працівника, специфіки програмного забезпечення, складності опису просторового об’єкту та його геометричної локалізації. А якщо, наприклад, до класу «позначки висот» на території в 6 га. входять більше 800 екземплярів точкових об’єктів — пікетів, а всього просторових класів на ту ж територію задіяно 134. Загальна потужність такої робочої карти може сягати більше 5000 екземплярів. А робота з атрибутивними даними в БГД обсягом близька 700 тис. об'єктів — це не співмірні та не виправдані витрат для кожного підприємства. Тому досить актуальною є реалізація швидкого переходу до нових стандартів.

Таким чином, необхідно автоматизувати процес конвертації диференційованих БГД до оновлених правил цифрового опису всіх екземплярів геопросторових об’єктів. Дане дослідження відповідає принципам директиви про інфраструктуру просторових даних Європейського союзу (INSPIRE) від 2007 року [4, 5].

В результаті проведеного дослідження авторами запропоновано алгоритм автоматизованого конвертування геопросторових об'єктів до класифікаторів за оновленими стандартами.

Концептуально процес конвертування має проходити в такій послідовності:

1. Відкрити робочий набір даних на базі $C^{OLD}=[1,502]$.
2. Запустити процес конвертації за допомогою розробленого інструмента:
   1) викликати інструмент розширеного інтерфейсу користувача;
   2) витягти послідовно в буфер обміну всю атрибутивну інформації про об’єкти;
   3) відкрити у новому вікні чистий шаблон карти на базі нового класифікатора, нехай буде $C^{N2}=[1,73]$;
   4) об'єкти всіх просторових класів зі збереженням їх геометрії та геоприв’язки перенести в новий робочий набір $C^{N2}=[1,73]$;
   5) послідовно для кожного об’єкта в старій класифікації скрипт-код автоматично визначає новий перелік кодового опису даних і підключає відповідні правила переходу між старими та новими атрибутами, використовуючи буфер обміну.
3. Отримати робочу карту з набором даних на базі $C^{N2}=[1,73]$.

Даний підхід дозволяє конвертувати будь-які диференційовані набори БГД у простір єдиного цифрового опису всіх екземплярів геопросторових об’єктів.

Запропонований алгоритм конвертування великих масивів даних, може бути реалізований за допомогою вбудованої мови програмування скриптів середовища розробки Digitals.

Організована належним чином на нижньому рівні інформаційної взаємодії структура БГД дасть значний позитивний результат у разі реалізації концепції ДГІС Зонінг за умови ранжування її підсистем та автоматизації процесів відновлення пропущених даних на етапі проектних рішень.

В подальшому слід реалізувати перевірку на адекватність результатів конвертування масивів даних між класифікаторами, так як в результаті переносу дані можуть або відповідати правилам опису інформації, або не відповідати стандартам класифікації, або бути відсутніми через деякі причини. Тому питання відновлення втрачених даних особливо актуальні [6].

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Аналіз регуляторного впливу до проекту Закону України “Про Національну інфраструктуру геопросторових даних” [http://land.gov.ua/info/analiz-rehuliatornoho-vplyvu-do-proektu-zakonu-ukrainy-pro-natsionalnu-infrastrukturu-heoprostorovykh-danykh/].

[2] Проект закону України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» від 23.01.2018 р. N 7523.

[3] Стандарт Національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД) від 05.02.2018 р. [http://nsdi.land.gov.ua/ua/standarts]

[4] Директива 2007/2/ЄС Європейського парламенту та Ради Європи зі створення інфраструктури просторової інформації ЄС (INSPIRE) від 14 березня 2007 р.

[5] Spatial Data Infrastructure A Collaborative Network [Електронний ресурс] // Esri. – 2010. [http://www.esri.com/library/brochures/pdfs/spatial-data-infrastructure.pdf].

[6] О.Б. Костенко, М.В. Булаєнко, О.В. Зарицький. Аналіз математичних методів декомпозиції в системах відтворення втрачених даних // Математичні моделі та новітні технології управління економічними та технічними системами / за заг. ред. В.О. Тімофєєва, І.В. Чумаченко. – Харків: ФОП Мезіна В.В., 2017. – С. 261-267.


.

# Використання Темпоральних Правил в Задачах Захисту Інформації в Комп'ютерних Системах

Віктор Левикін
кафедра інформаційних управляючих систем
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
levykinvictor@gmail.com

Оксана Чала
кафедра інформаційних управляючих систем
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
oksana.chala@nure.ua

# Using Temporal Rules to Information Security Tasks in Computer Systems

Victor Levykin
Department of Informatiom Control Systems
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
levykinvictor@gmail.com

Oksana Chala
Department of Informatiom Control Systems
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oksana.chala@nure.ua

***Анотація*—Розглянуто проблему виявлення вторгнень в роботу комп'ютерної системи. Показано, що комбінація існуючих підходів виявлення аномалій та виявлення зловживань дає можливість підвищити ефективність виявлення атак. Запропоновано підхід до виявлення вторгнень в роботу комп'ютерної системи з використанням логічних фактів та темпоральних правил, що дозволяє комбінувати виявлення аномальних станів та переходів до цих станів, які свідчать про втручання. Кожен зважений факт відображає стан одного із процесів в комп'ютерній системі. Факт задається на основі вектору змінних, які містять значення атрибутів об'єктів предметної області. Темпоральні правила задають типові зв'язки між станами процесу. Виявлення аномалій виконується шляхом порівняння ваги поточного стану з вагами нормальних та аномальних станів для аналогічних векторів змінних. Виявлення втручань реалізовано шляхом порівняння ваг темпоральних правил, що поєднують нормальний та аномальний факти.**

***Ключові слова—вторгнення; аномальний стан; темпоральне правило; компьютерна система***

**Abstract—The problem of detecting intrusions in the computer system is considered. It has been shown that the combination of existing approaches to detecting abnormalities and detecting abuses enables to increase the effectiveness of detecting attacks. The approach to detecting intrusions into the work of a computer system with the use of logical facts and temporal rules is proposed, which allows combining the detection of abnormal states and transitions to these states that indicate intervention. Each weighted fact reflects the state of one of the processes in the computer system. The fact is set on the basis of a vector of variables that contain the values of the attributes of objects in the subject area. Temporal rules specify typical relationships between process states. Detection of anomalies is performed by comparing the weight of the current state with the weights of normal and abnormal states for similar vectors of variables. Detection of interventions is realized by comparing the weight of the temporal rules, which combine normal and abnormal facts.**

***Keywords—-intrusion; abnormal condition; temporal rule; computer system.***

## I. Вступ

Захист інформації в комп'ютерній системі здійснюється шляхом аналізу дій процесів, що в ній виконуються. Кожен процес є завантаженою у пам'ять програмою, яка має свій ідентифікаційний код та доступ до комп'ютерних ресурсів – процесору, пам'яті та зовнішніх приладів. Доступ до зовнішніх приладів реалізується через стандартизований інтерфейс, що дозволяє відобразити поточний стан цих приладів, дані, та команди які їм передаються. Це дає можливість зафіксувати доступ до даних та зовнішніх приладів у стандартизованій формі, а потім провести аналіз поведінки процесів в комп'ютерній системі на основі аналізу цих записів.

При проведенні аналізу дій процесу розглядається виконання вимог щодо доступності, конфіденційності та цілісності даних [1] та інших ресурсів комп'ютерної системи. Відповідно до цих вимог дані повинні бути доступними тільки для авторизованих користувачів і змінюватися тільки авторизованим способом.

Вторгнення – це спроба неавторизованого доступу до ресурсів комп'ютерної системи [1]. Для того, щоб виявити вторгнення, аналізується інформація щодо операцій, що виконуються в цій системі. Така інформація зазвичай представлена у вигляді послідовності станів процесів у комп'ютерній системі з зазначенням часу виникнення кожного стану.

Кожен стан характеризується вектором змінних, які містять інформацію як про поточний процес, так і про стан об'єктів, з якими цей процес взаємодіє. Останній будемо розглядати як контекст процесу. Слід відзначити, що ми розглядаємо контекст у широкому сенсі, з точки зору користувача, на відміну від традиційного регістрового контексту для процесу в комп'ютерній системі.

Контекст в широкому сенсі задається поточними значеннями властивостей об'єктів предметної області, з якими цей процес взаємодіє. Наприклад, поточний стан процесу може бути охарактеризований даними про мережеві пакети, IP-адреси, системні виклики тощо. Набір змінних, що містить інформацію про вторгнення в комп'ютерну систему, відрізняється від вектору змінних для типових станів, пов'язаних з її нормальною роботою. Такі стани містять нетипові значення атрибутів, наприклад IP-адресу, з якої здійснюється атака та яка не належить до поточної комп'ютерної мережі.

Виявлення аномального стану одного з процесів свідчить про можливе вторгнення в комп'ютерну систему. Для виявлення аномального стану виконується порівняльний аналіз послідовностей станів процесів і виявляються характерні ознаки або патерни цих станів. Використання таких патернів дозволяє виявити атаку. Після знаходження атаки виконується її класифікація та формується попередження із зазначенням типу атаки.

На сьогодні при виявленні вторгнень в комп'ютерну систему застосовуються два взаємодоповнюючі підходи: Виявлення аномалій (Anomaly Detection) і виявлення зловживань (Misuse Detection). Ілюстрацію відмінностей між цими підходами представлено на рис.1.

Відповідно до першого підходу при виявленні вторгнень виконується пошук відхилень від апріорно відомої нормальної поведінки процесів в комп'ютерній системі. Попередньо на основі масиву відомих послідовностей станів формуються патерни «нормальної» поведінки процесів. Тоді розпізнавання вторгнень реалізується шляхом порівняння вектору змінних для поточного (або підмножини останніх станів) з патерном нормальної поведінки та виявлення аномалій функціонування комп'ютерної системи.

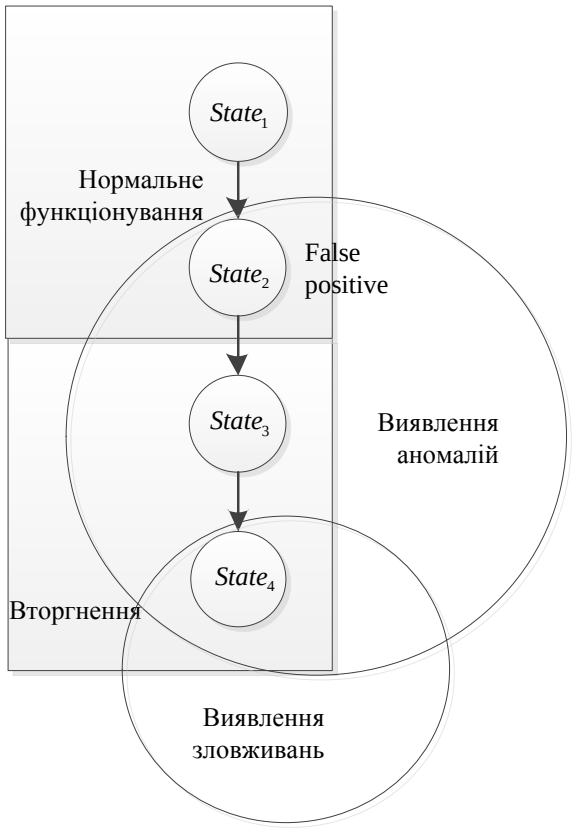



Рис. 1. Порівняння Підходів Виявлення Аномалій та Виявлення Зловживань для Послідовності Станів

Перевага підходу розпізнавання вторгнень на основі виділення аномальної поведінки процесів в комп'ютерній системі полягає в можливості виявити нові, невідомі раніше атаки. Однак дана парадигма має істотний недолік. Вторгнення може бути розпізнане помилково в разі зміни поточних завдань і появи нових програм, а також при зміни поведінки поточних процесів. В результаті при використанні даного підходу для динамічних процесів в комп'ютерній системі потрібно виконувати постійну адаптацію патернів нормальної поведінки. На рис. 1 проілюстровано приклад помилкового виявлення вторгнення на основі інформації про $State_2$, в той час як ця подія відповідає нормальній поведінці процесу в комп'ютерній системі.

Відповідно до другого підходу розробляються патерни вторгнень на основі відомих послідовностей станів. Тому такі системи розпізнають відомі атаки з невеликою кількістю помилок. Недолік цього підходу полягає в тому, що не виявляються невідомі атаки, тобто такі атаки, для яких ще не побудовані патерни. На рис.1 представлений приклад помилки у виявленні вторгнення згідно даного підходу: $State_3$ не виявляється як вторгнення, в силу відсутності відомого патерну для такої атаки. В той же час $State_4$ визначається як вторгнення на основі відомого патерну.

Для того, щоб компенсувати недоліки обох підходів, необхідно одночасно проводити аналіз нових станів з тим, щоб зіставити їх і з аномаліями і відомими атаками. Однак при безпосередньому порівнянні доведеться враховувати значне число різних патернів. Ми можемо вирішити цю проблему на основі порівняння інтегральних характеристик процесів нормальної роботи і процесів, пов'язаних з вторгненням.

В якості інтегральних характеристики можуть бути використані логічні факти [2, 3], які задають стан кожного процесу в комп'ютерній системі, та темпоральні правила, які задають поведінку цього процесу [4, 5]. Темпоральне правило має вагу, яка залежить від ймовірності його виникнення для процесів в комп'ютерній системі [6].

Дана робота містить такі результати. Ми пропонуємо підхід до порівняння і класифікації станів для виявлення вторгнень з використанням логічних фактів та темпоральних правил. Кожен факт визначає стан процесу в комп'ютерній системі на основі вектору змінних, які містять значення атрибутів об'єктів предметної області. Темпоральні правила задають типові зв'язки між станами процесу. В якості вхідних даних для запропонованого підходу використовується журнал, що містить події всіх процесів в комп'ютерній системі. Кожна подія описує поточний стан системи та час виникнення цього стану. Ці події розмічені: вказані нормальні стани та стани, що пов'язані із вторгненням.

Відповідно до запропонованого підходу, журнал розбивається на дві підмножини станів. Перший містить впорядковані за часом події для нормального функціонування комп'ютерної системи, а друга – події, які пов'язані з вторгненням. Для станів на кожній із трас обчислюються ваги як фактів, так і правил. Детектування вторгнень здійснюється на основі порівняння ваг фактів та правил. Запропонований підхід дозволяє об'єднати переваги підходів Anomaly and Misuse Detection.

## II. Використання темпоральних правил

### *A. Темпоральні залежності на послідовностях станів*

В якості об'єкта аналізу ми розглядаємо сукупність процесів, що виконуються в комп'ютерній системі. Вказані процеси при роботі взаємодіють з використанням загальних ресурсів і даних цієї системи. Тому при аналізі вторгнень доцільно об'єднати всю сукупність системних процесів в один інтегральний процес. Цей процес характеризується єдиною послідовністю станів, упорядкованих у часі.

Для опису поведінки такого інтегрального процесу можуть бути використані темпоральні правила трьох типів: Next, Future, Until. Правило першого типу задає темпоральний зв'язок між послідовними станами поєднаного процесу. Це означає, що перший стан завжди передуватиме другому. Друге правило задає упорядкованість у часі між парою станів процесу в комп'ютерній системі, причому між цими станами можуть бути проміжні стани. Третє правило задає зв'язок між станами процесу з урахуванням змін значень у векторі змінних, що характеризують ці стани.

В даній роботі розглядаються правила першого типу, оскільки мета полягає в тому, щоб виявити перехід до аномального стану. Правило другого типу об'єднує декілька правил Next. Правило третього типу при вирішенні поставленої в роботі задачі доцільно розглядати як уточнююче відносно правила типу Next.

Упорядкована послідовність станів $S = s_1,...,s_j,s_{j+1}...$ процесів в комп'ютерній системі відображає відповідні події вхідного журналу. Ця послідовність може бути представлена у вигляд послідовності логічних фактів на векторі змінних кожного стану: $ft_1,...,ft_j,ft_{j+1}...$, причому кожен факт $ft_j$ задається як предикат на значенні змінних, що характеризують відповідний стан $s_j$:

$$ft_j = (a_j^1 = \alpha_j^{1,l}) \wedge ... \wedge (a_j^k = \alpha_j^{k,l}) \wedge ... \wedge (a_j^K = \alpha_j^{K,l}), \quad (1)$$

де $a_j^k$ – змінна, що характеризує стан $s_j$; $\alpha_j^{k,l}$ – значення змінної $a_j^k$ для поточного стану $s_j$.

Тоді послідовність станів інтегрального процесу представимо такою послідовністю темпоральних правил типу Next:

$$S = ft_1 X ft_1 X ... X ft_j X ft_{j+1} ... ft_J, \quad (2)$$

де $X$ – оператор темпоральної логіки Next.

У відповідності до виразу (2) правила першого типу задають допустимі послідовності переходів між станами в часі. Послідовність (2) розбивається на окремі правила, що мають вигляд $ft_{j-1} X ft_j$, $ft_j X ft_{j+1}$.

При вирішенні задачі виявлення вторгнень інтегральний процес в комп'ютерній системі розділяється на два підпроцеси:

- нормального функціонування;
- аномальної роботи, яка виникає в результаті зовнішніх впливів.

Тоді задача виявлення вторгнень зводиться до задачі поділу послідовності станів на дві непересічні підмножини. Перша підмножини містить впорядковані стани, які відповідають нормальній роботі комп'ютерної системи. Друга підмножина містить стани, які відповідають аномальній поведінці, в результаті непередбачених впливів, причому для будь-якої пари станів перший стан може відповідати нормальній поведінці, а другий - аномальній:

$$S = S_{norm} \bigcup S_{\text{int}r} \,|\, \exists s_j \in S_{normi}, s_{j+1} \in \Pi_{\text{int}r}, \quad (3)$$

де $S_{norm}, S_{\text{int}r}$ – множини станів, що відповідають типовій та аномальній поведінці, $S_{norm} \bigcap S_{\text{int}r} = \varnothing$.

Основна ідея пропонованого підходу згідно (3) заснована виявленні таких темпоральних правил виду $ft_{norm} X ft_{abnorm}$, що перший факт кожного правила відповідає нормальному стану, а другий – аномальному.

Іншими словами, необхідно знайти такі темпоральні залежності для пар станів, які дозволяють при фіксації поточного стану як другого стану правила віднести його до підмножини $S_{norm}$ або до $S_{\text{int}r}$. Якщо поточний стан віднесено до підмножини $S_{\text{int}r}$, то це означає що ми виявили вторгнення.

*B. Підхід до виявлення вторгнень*

Кожен процес в комп'ютерній системі включає в себе послідовність дій і станів, що виникають в результаті цих дій. Кожна подія вхідного журналу характеризує стан інтегрального процесу через множину значень змінних, що і встановлюється відповідними фактами $ft_j$. Тому при порівнянні подій доцільно порівнювати значення відповідних змінних, що відповідають значенням атрибути об'єктів предметної області. В якості атрибутів виступають, наприклад, IP адреса, порт, тощо.

Дії процесу відповідають переходам між станами. Вказані дії представлені темпоральними правилами $ft_j Xft_{j+1}$. Це дозволяє порівнювати пари атрибутів аналогічних об'єктів, що відображають старий і новий стан процесу, наприклад пару IP адрес: (192.168.220.51; 192.168.100.11). Тобто зміна стану пов'язана з тим, що для двох послідовних в часі подій відбулося перемикання на роботу з іншою адресою.

Тоді доцільно припустити, що відмінності між підмножинами значень атрибутів для двох послідовних станів будуть більш значними для різних процесів. Наприклад, при порівнянні атрибутів двох станів для процесу нормальної роботи, у них можуть повторюватися IP-адреси, порти і т.п. Аномальний процес матиме інші підмножини адрес і портів.

Наведене дає можливість сформувати темпоральні правила типу Next для нормальної роботи, для зловживань та для переходу від нормальної до аномальної поведінки.

Запропонований підхід базується на ідеї побудови темпоральної бази знань, представленій в роботі [4], та складається з трьох фаз. На першій фазі розраховуються характеристики логічних фактів, що відображають стани, та правил, що відображають дії. Вони визначаються для відомих підмножин станів з нормальною та аномальною поведінкою. На другій фазі розраховуються характеристики логічного факту та правила для нового (поточного) стану з використанням результатів робіт [4-6]. На третій фазі виконується класифікація нового стану. Тобто визначається, відповідає він нормальній роботі чи аномальній поведінці. Класифікація виконується на основі порівняння правил та фактів.

## III. Експериментальні Результати

Запропонований підхід експериментально перевірено шляхом аналізу штучного розміченого журналу комп'ютерної системи [7], який моделює послідовність роботи процесів та втручань в системі. Кожен стан системи характеризується множиною значень таких змінних: IP–адреси джерела та отримувача; порти джерела та отримувача; Інтернет-протокол; мітка втручання.

Антецеденти та консеквенти кожного правила представлені у вигляді логічних фактів – кон'юнкції змінних із зданими значеннями, наприклад Протокол = «ICMP» ∧ Порт_джерела = «441» ∧ … Такі логічні факти визначаються окремо для підмножин $S_{norm}$ та $S_{\text{int}r}$. Потім формуються правила із антецедентом із $S_{norm}$ та консеквентом із $S_{\text{int}r}$. При формуванні цих правил використовуються пари логічних фактів, які є послідовними в часі та відповідають станам з підмножини $S_{norm}$ та $S_{\text{int}r}$. Ваги фактів та правил розраховуються за методом [6]. Альтернативний варіант розрахунку ваг – за частотною характеристикою комбінацій атрибутів та послідовностей фактів, відповідно. Проведений аналіз показав, що ваги фактів відрізняються зазвичай на один – два порядки, а правила – на два й більше порядків для нормальної роботи та для втручань. Така різниця ваг дозволяє класифікувати кожний новий стан комп'ютерної системи. Зазначимо, що для опису нормальної роботи використовувались правила, в яких і антецедент, і консеквент відображають стани із $S_{norm}$. Однак такі результати пов'язані, на нашу думку, з тим, що вхідний журнал був згенерований штучно.

## IV. Висновки

Запропоновано підхід до побудови й використання темпоральних правил для розпізнавання атак в комп'ютерних системах. Підхід передбачає послідовне формування бази зважених темпоральних правил для нормальної та аномальної роботи комп'ютерної системи, а потім класифікацію поточного стану на основі порівняння ваг цих правил. Підхід дозволяє поєднати переваги виявлення аномалій та вторгнень і тим самим підвищити ефективність виявлення втручань у роботу комп'ютерної системи.

## Література REFERENCES


[1] R. G. Bace, Intrusion Detection. USA: MacMillan Technical Publishing, 2000.

[2] O. Chala, "Logical-probabilistic representation of casual dependencies between events in business-process management", *Науково-технічний журнал, Сучасні інформаційні системи*, Том 2, № 2, с. 40-44. 2018.

[3] О. В. Чала, "Розробка представлення знань на основі марківських логічних мереж в системі процесного управління", *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*, № 22 (1298), с. 22-26. 2018.

[4] V. Levykin, O. Chala, "Method of automated construction and expansion of the knowledge base of the business process management system", *EUREKA: Physics and Engineering*, Vol. 4. pp. 29-35. 2018. DOI: http://dx.doi.org/ 10.21303/ 2461-4262. 2018.00676.

[5] В. М Левикін, О. В. Чала, "Розробка представлення причинно-наслідкових залежностей для бази знань системи процесного управління", *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*, № 21 (1297). с. 48-53. 2018.

[6] V. Levykin, O. Chala, "Method of determining weights of temporal rules in markov logic network for building knowledge base in information control system", *EUREKA: Physics and Engineering*, 2018. Vol. 5. pp. 3-10. DOI: http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018. 00713.

[7] M. Ring, S. Wunderlich, D. Gr udl, D. Landes, A. Hotho, "Flow-based benchmark data sets for intrusion detection" in *Cyber Warfare and Security*: 16th European Conference ECCWS, 2017, pp. 361-369.

# Особливості Архітектури Централізованого Інформаційного Сервісу для Обліку Природного Газу в Газотранспортній Системі

Віктор Луценко, Сергій Бондарев
відділ метрологічного та програмно-технічного
забезпечення експлуатації газовимірювальних систем
Інститут транспорту газу АТ "Укртрансгаз"
Харків, Україна
lutcenko-va@utg.ua, bondarev-sa@utg.ua

Юрій Пономарьов
заступник директора з наукової роботи
к.т.н.
Інститут транспорту газу АТ "Укртрансгаз"
Харків, Україна
ponomarev-yv@utg.ua

# Features of the Architecture of a Centralized Information Service for the Accounting of Natural Gas in the Gas Transmission System

Viktor Lutsenko, Serhii Bondarev
department of metrological and programmatic maintenance
of operation of gas measuring systems
Institute of Gas Transportation JSC "Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
lutcenko-va@utg.ua, bondarev-sa@utg.ua

Yurii Ponomarov
deputy director for scientific work
PhD
Institute of Gas Transportation JSC "Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
ponomarev-yv@utg.ua

***Анотація*—У цій статі розглянуті особливості архітектури централізованого сервісу для отримання, зберігання та використання газовимірювальної інформації в газотранспортній системі.**

***Abstract*—In this article features of the architecture of the centralized service for receiving, storing and using gas measuring information in the gas transmission system are considered.**

***Ключові слова—газовимірювальна інформація; вузол обліку газу; газовимірювальний об'єкт; централізований інформаційний сервіс***

***Keywords—gas measuring information; gas accounting unit; gas measuring object; centralized information service***

Згідно вимог законодавства України в частині організації постачання природного газу споживачам, зокрема забезпечення місячних (та перехід до добових) номінацій споживачів [1], надійний оперативний облік витрати газу є запорукою успіху комерційної та функціональної діяльності АТ «Укртрансгаз» (компанія).

В компанії для обліку природного газу задіяні такі засоби вимірювальної техніки: вузли обліку газу (ВОГ) та потокові газові хроматографи (ПГХ), які розташовані на газовимірювальних об'єктах компанії (наприклад газорозподільча станція або газовимірювальна станція тощо).

У складі ВОГ первинні перетворювачі вимірюють температуру, тиск й інші параметри та автоматичний обчислювач або коректор (АО) обчислює об'єм газу і зберігає отриманні дані в пам'яті.

ПГХ вимірює склад газу, обчислює якісні параметри природного газу, наприклад: густину, температуру згоряння та число Воббе, та зберігає отриманні дані в своєї пам'яті.

Для збирання, архівування та подальшого використання газовимірювальної інформації з ВОГ та ПГХ використовується сервер опитування – це програмно-технічний комплекс до складу якого входять комп'ютер, перетворювачі інтерфейсів, модеми, блок безперебійного живлення та сервісне програмне забезпечення для опитування приладів обліку.

Наразі в компанії налічується біля 1800 ВОГ та декілька десятків ПГХ, які розташовані по всій території України. Газовимірювальна інформація з ВОГ та ПГХ отримується з відповідним регламентом серверами

опитування в структурних підрозділах компанії. Для зв'язку серверу опитування з ВОГ та ПГХ використовуються різні типи ліній зв'язку: дротове і модемне з'єднання та корпоративна комп'ютерна мережа.

Для реалізації оперативного обліку витрати газу в компанії було прийнято рішення про комплексну модернізацію мережі передавання газовимірювальної інформації (для з'єднання серверу опитування з ВОГ та ПГХ використовується тільки корпоративна комп'ютерна мережа), а також розробка програмного комплексу центрального опитування приладів обліку.

Для забезпечення зв'язку між сервером опитування з однієї сторони та ВОГ і ПГХ з іншої сторони по корпоративній комп'ютерній мережі використовують оптичний кабель або 2G/3G-роутер для бездротового з'єднання, а також перетворювачі інтерфейсів при необхідності.

В компанії для комерційного обліку газу використовуються біля десятка типів АО та декілька типів ПГХ різних виробників як вітчизняних так і зарубіжних.

Для опитування ВОГ і ПГХ та збереження отриманої газовимірювальної інформації (такої як витрата, об'єм газу, покази первинних вимірювальних перетворювачів, фізико-хімічні показники тощо) в єдиній центральній базі даних розроблено та впроваджено в дослідну експлуатацію «Програмний комплекс центрального опитування автоматичних обчислювачів та потокових хроматографів, які експлуатуються у підрозділах компанії» [2]. Програмному комплексу присвоєно умовне позначення ПК CentralAsk.

ПК CentralAsk забезпечує опитування всього парку приладів комерційного обліку газу компанії, які під'єднанні до корпоративної комп'ютерної мережі, та збереження отриманої газовимірювальної інформації в центральній базі даних (ЦБД-ГВІ), в якості якої обрано – Oracle.

ПК CentralAsk складається з таких основних частин:

- Окрема схема в СКБД Oracle;
- «Служба обміну даними» - сервіс для обміну даними між базою даних та іншими частинами ПК CentralAsk;
- Web-сайт для формування «Каталогу газовимірювальних об'єктів» (використовується для однозначної ідентифікації газовимірювальних об'єктів та вимірювальних трубопроводів) конфігурації параметрів зв'язку з приладами обліку, керування головним модулем та перегляду газовимірювальної інформації;
- Головний модуль з основною функцією – опитування приладів відповідно до встановлених регламентів з використанням протоколу TCP/IP. До складу головного модулю входять драйвери на кожний тип приладу обліку (рис. 1).

ПК CentralAsk розгорнуто на віртуальних машинах (рис. 2):

- БД Oracle (таблиці для газовимірювальної інформації та «Каталогу газовимірювальних об'єктів»);
- «Служба обміну даними» та головний модуль опитування (основна);
- Web-сайт для формування «Каталогу газовимірювальних об'єктів» та перегляду газовимірювальної інформації (рис. 3 та 4);
- «Служба обміну даними» та головний модуль опитування (резервна).

Складові ПК CentralAsk на резервній машині автоматично починають роботу у разі непрацездатності основної машини більше однієї години.

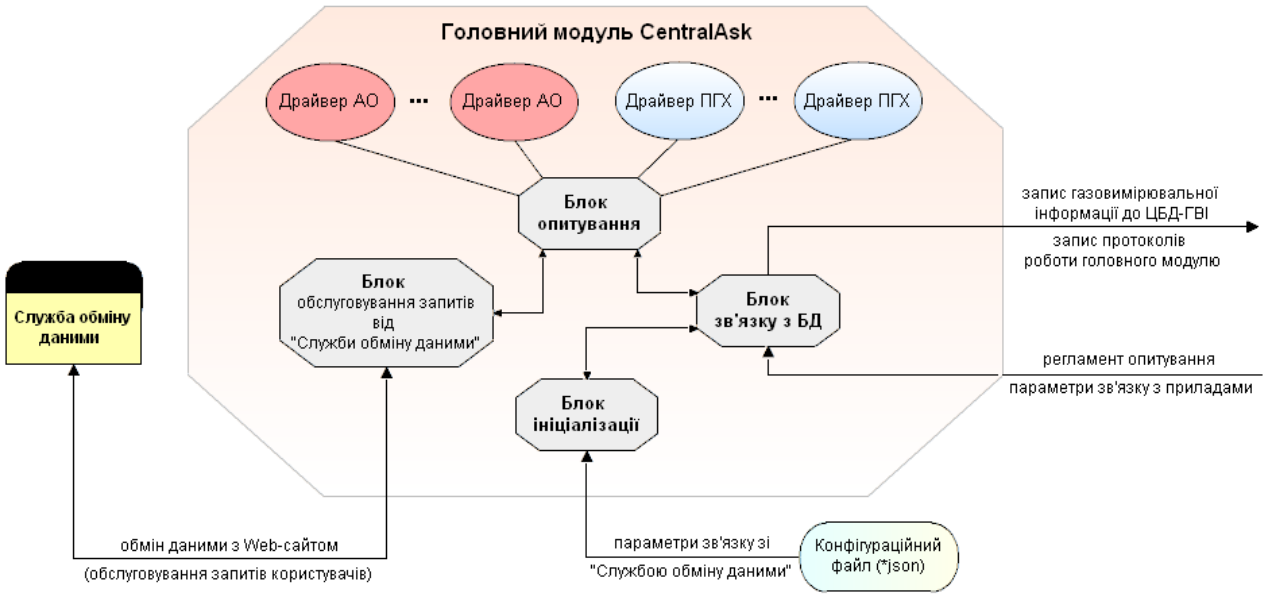



Рис. 1. Структурна схема головного модуля ПК CentralAsk.

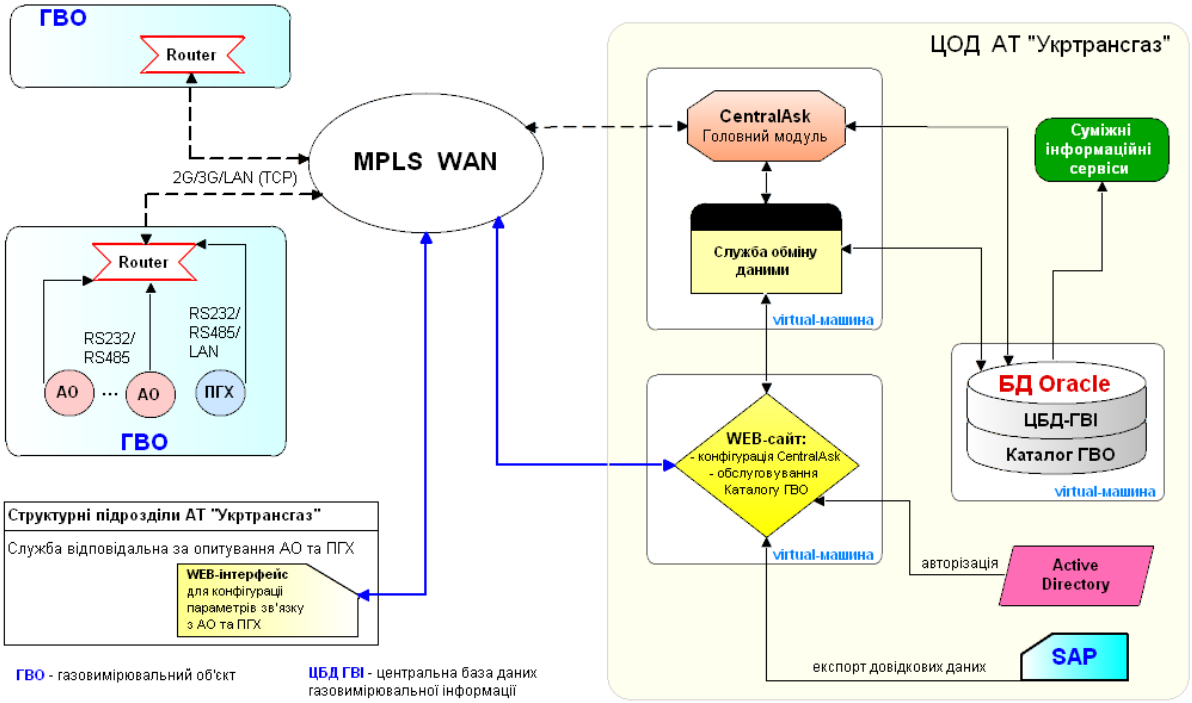



Рис. 2. Структурна схема ПК CentralAsk.

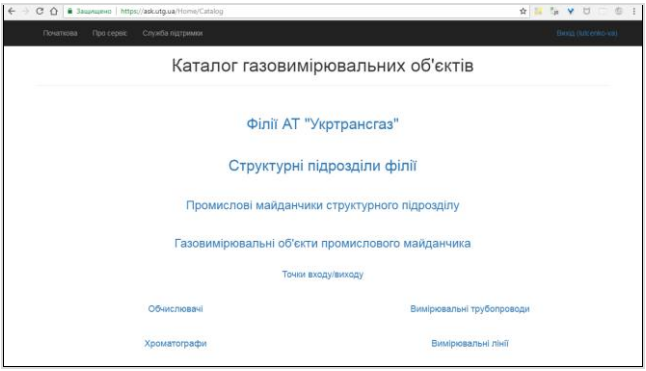



Рис. 3. Web-сторінка «Каталогу газовимірювальних об'єктів»

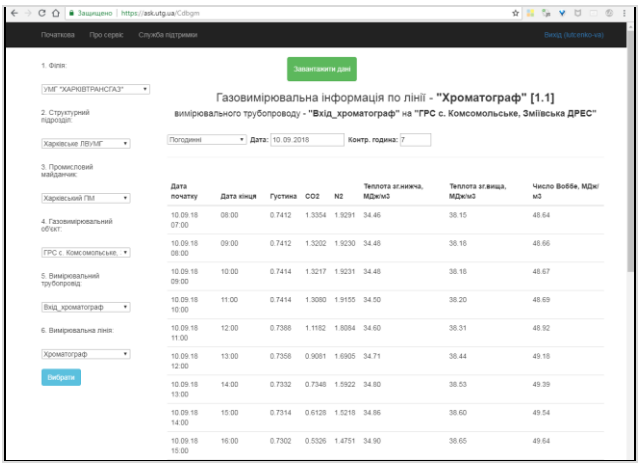



Рис. 4. Web-сторінка перегляду газовимірювальної інформації

Доступ до газовимірювальної інформації в ЦБД-ГВІ суміжними інформаційними сервісами можливий як безпосередньо з таблиць Oracle, так і з використанням REST-підходу в запитах до «Служби обміну даними».

ПК CentralAsk розроблений з використанням мови програмування C# та кросплатформенного .Net Core 2.0.

Подальше вдосконалення ПК CentralAsk полягає в розширенні переліку драйверів для опитування нових типів приладів обліку, а також розвинення функціоналу відображення газовимірювальної інформації з аналітичними складовими, використовуючи Web-інтерфейс.

## Література References


[1] «Кодекс газотранспортної системи», затверджений Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 30.09.2015 № 2493.

[2] Програмний комплекс центрального опитування автоматичних обчислювачів та потокових хроматографів. Технічне завдання. - Харків, ІТГ АТ"Укртрансгаз" – 37с.

# Инструментально-Методическое Обеспечение Аудита Информационной Инфраструктуры Организации

Галина Подгорная
кафедра экономической информатики
Белорусский государственный экономический университет
Минск, Республика Беларусь
galpodgornaya@gmail.com

# Instrumental and Methodical Support of the Audit of Information Infrastructure of the Organization

Galina Podgornaya
Department of Economic Informatics
Belarusian State Economic University
Minsk, Republic of Belarus
galpodgornaya@gmail.com

***Аннотация*–данная статья посвящена определению места и важности аудита информационной инфраструктуры в общей системе аудита организации и предложению авторской концепции инструментально-методического обеспечения аудита информационной инфраструктуры.**

***Abstract*–present article is devoted to determining of a place and importance of the audit in overall audit system of the oraganization and proposing of the author's concept of instrumental and methodical support of the audit of information infrastructure of the organization.**

***Ключевые слова*–информационная инфраструктура; аудит; рационализация; инструментально-методическое обеспечение аудита.**

***Keywords*–information infrastructure; audit; rationalization; instrumental and methodological support of the audit.**

## I. ВВЕДЕНИЕ

Информационные технологии с каждым годом все более усложняются и сильнее внедряются во все сферы народного хозяйства. Качество ведения бизнеса и его способность адаптироваться к изменяющимся внешним экономическим условиям во многом зависит от выбранной информационной инфраструктуры (ИИ). Для ее совершенствования требуются огромные финансовые и временные вложения, которые не всегда гарантируют соответствующий затратам эффект. Но, несмотря на это, ИТ является неотъемлемой частью современного бизнеса, дающей возможность организации представлять услуги и товары на мировом рынке. В то же время все положительные аспекты, связанные с упрощением и усовершенствованием процессов внутреннего управления, влекут необходимость в постоянном контроле над ИИ со стороны менеджмента организации. В этой связи возрастает роль аудита информационной инфраструктуры в рамках проводимого внутреннего операционного аудита с целью определения уровня существующей ИИ. Аудит позволяет получать не только адекватную информацию для оценки ИИ, но и принимать адекватные оперативные меры по их управлению.

Целью данной работы является определение места и важности аудита информационной инфраструктуры в общей системе аудита организации для подтверждения достоверности отчета финансового состояния и предложению авторской концепции инструментально-методического обеспечения аудита информационной инфраструктуры.

## II. АУДИТ КАК КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ ПРОЦЕДУР СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТРЫ МИКРО- И МАЛЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Определим в рамках данного исследования, что именно будем понимать под аудитом информационной инфраструктуры. Американские ученые Аренс и Лоббек дали следующее определение понятию «аудит» [1]: «процесс, посредством которого компетентный независимый работник накапливает и оценивает свидетельства об информации, поддающейся количественной оценке и относящейся к специфической хозяйственной системе, чтобы определить и выразить в своем заключении степень соответствия этой информации установленным критериям». В словаре терминов и

аббревиатур ITIL [2] дано следующее определение аудиту – формальное обследование и проверка на предмет соблюдения какого-либо стандарта или рекомендаций, точности ведения записей или достижения целевых значений эффективности и результативности. Аудит может проводиться внутренними или внешними службами. В данных определениях отсутствует ограничение относительного самого проводимого аудита, его узкого направления. Из вышеприведенных дефиниций аудита можно понять, что в настоящее время сложилось две основные концепции понимания того, что же следует считать аудитом.

Первая концепция – это аудит в узком смысле слова, под которым понимается проверка бухгалтерской деятельности на соблюдение положенных норм, стандартов и правильность представления финансовой отчетности.

Вторая концепция (в широком смысле слова): аудит – это не только проверка правильности отчетности, но и аудит всего бизнеса, т.е. приемов и методов управления, целей функционирования организаций, планирования и эффективного использования оборудования, диагностика организационной системы управления персоналом, процесса поступления информации в ИС, ее обработки посредством ИТ. Всему этому дает оценку соответствия компетентное лицо, проведя количественный и качественный анализ.

В связи с растущим интересом и необходимостью проведения ИТ-аудита подход к его проведению начал приобретать упорядоченный вид. Из-за отсутствия стандартов в данном направлении и деятельности при поддержке крупных аудиторских компаний была организована ассоциация профессионалов, компетентных в области ИТ, которыми создаются и сопровождаются стандарты по ИТ-аудиту. Но в связи с тем, что данные стандарты были закрыты для общего пользования, а интерес у общества возрастал, в 1967 г. была создана Ассоциация аудита и контроля информационных систем (Information Systems Audit and Control Association, ISACA), которая координировала действия аудиторов и объединяла знания по управлению ИС. Основная цель ISACA – исследование, разработка, публикация и продвижение стандартизированного набора документов по управлению ИТ для ежедневного использования администраторами и аудиторами ИТ [0].

Стандарт Cobit является синтезом 40 международных стандартов в области аудита, контроля, управления ИТ и информационной безопасности. Основной его целью является ликвидация разрыва в понимании и достижении единой задачи бизнеса между руководством субъекта хозяйствования и отделом ИТ субъекта хозяйствования.

Нормы стандарта Cobit позволяют оптимизировать инвестиции в ИТ, определить уровень предоставляемых сервисов по разработанным аудиторами показателям, на которые необходимо ориентироваться при проведении внутреннего ИТ-аудита в составе операционного аудита субъекта хозяйствования

Созданный в 1901 г. Британский институт стандартов (British Standards Institution, BSI) в середине 1990-х г.г. начал разрабатывать стандарт, при помощи которого можно было оценить эффективность предоставления ИТ-услуг, а также обеспечить их соответствие критериям качества. К 2000 г. работы были завершены – появился стандарт BS 15000:2000, который определял требования к поставщику услуг. В 2005 г. уже обновленный стандарт BS 15000:2002 был преобразован в международный стандарт ISO/IEC 20000:2005[0].

Во второй половине 1980-х стало понятно, что технологическая разрозненность применяемых КИТ и подходов к их построению и обслуживанию в дальнейшем неизбежно станет тормозить развитие промышленности. В 1986 г. была начата работа над «Библиотекой инфраструктуры информационных технологий» (IT Infrastructure Library, ITIL). ITIL была создана по заказу британского правительства. Это произошло после того, как по мере развития компьютерной техники стала очевидна ключевая роль ИТ-сектора в управлении современными предприятиями.

Все вышеприведенные международные стандарты по проведению ИТ-аудита являются рекомендациями и библиотеками лучших практик, на которые нужно ориентироваться при проведении аудита, и не представляют собой последовательной методики проведения аудита. Также данные стандарты ориентированы на проведение процессного аудита в сфере ИТ, а не проведение аудита ИТ и ИИ с точки зрения зависимости технической наполняемости от требований ИС для микро- и малых организаций.

Основываясь на мировых стандартах и методологии проведения информационного аудита можно описать в общем виде с помощью нотации EPC этапы проведения аудит и рационализации ИИ любого типа организации, представленного на рис. 1.

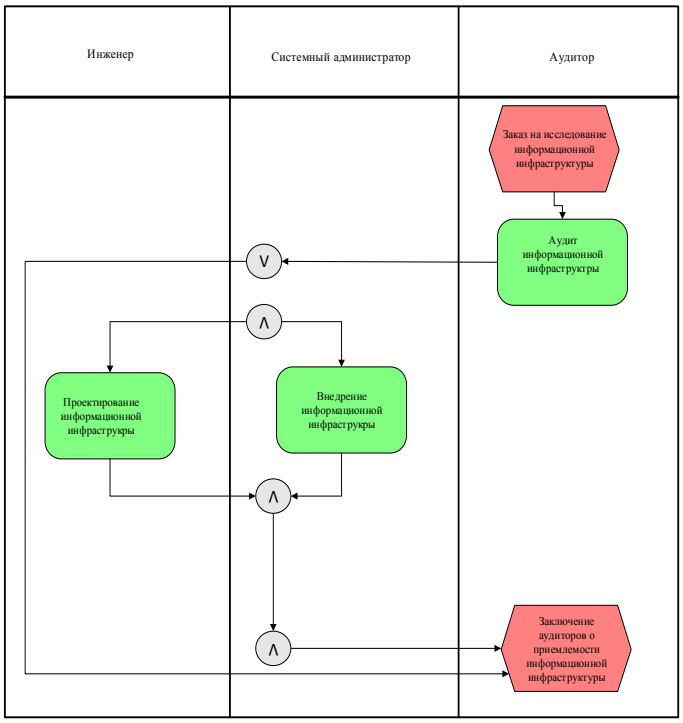



Рис.1. – Этапы проведения аудита и рационализации информационной инфраструктуры

Этап 1. Происходит событие на проведение исследования ИИ, которое курирует аудитор.

Этап 2. Выполнение аудита ИИ организации.

Этап 3. После получения рекомендаций аудитора возможно два варианта развития событий:

– выдается «положительное» заключение аудита без рекомендаций ее обновления, если по итогам аудита существующая информационная инфраструктура является рациональной для целей конкретных бизнес-процессов;

– рекомендуется спроектировать и внедрить новую информационную инфраструктуру, если по итогам аудита существующая информационная инфраструктура недостаточно рациональна для целей конкретных бизнес-процессов.

Этап 4. Этап проектирования информационной инфраструктуры курируют инженеры и системные администраторы, руководствуясь бизнес требованиями организации или ГОСТ 34 серии «Разработка технической документации».

Этап 5. Внедрение информационной инфраструктуры, выполняемое техниками, с последующей отладкой. При необходимости возможно проведение обучения персонала организации работе с новым аппаратно-программным комплексом.

Этап 6. Событие, подтверждающее, что все процессы были выполнены, существующая ИИ организации была исследована, получены рекомендации по ее усовершенствованию, проверены внедрённые сервисы и их компоненты.

Представленная схема проведения информационного аудита применяется не только в малых и микро-организациях, а также в более крупных организациях. Разница проведения заключается только в сложности бизнес-процессов организаций, а, следовательно, в пропорциональной сложности построения архитектуры информационной инфраструктуры.

Необходимость проведения аудита ИИ в составе внутреннего организационного аудита на любом из типов предприятия вне зависимости от ее размера является очевидной. В рамках законодательства Республики Беларусь можно определить обязательный аудит системы компьютерной обработки данных с целью оценки риска искажения бухгалтерской (финансовой) отчетности как часть аудита ИИ. Вопрос о том, как именно проводить ИТ-аудит, остается открытым, и каждый из руководителей должен решить его для себя наилучшим и требующим минимальных затрат способом. Применение мировых стандартов без привлечения квалифицированной помощи невозможно, ибо они не несут четко сформулированной последовательности действий для получения ответов на вопросы о соответствии задачам бизнеса ИИ. Поэтому практическая аудиторская деятельность на уровне проведения аудита силами ИТ-отделов организации не результативна без создания методических рекомендаций по проведению исследования рациональности информационной инфраструктуры [5].

## III. КОНЦЕПЦИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

В Республике Беларусь распространенной формой проведения аудита является внешний аудит по проверке финансовой отчетности и соответствия отчетности для предоставления в государственные органы контроля. Данный вид аудита как предоставляемой услуги соответствия бухгалтерской отчетности востребован среди юридических лиц, так как прозрачность финансовой деятельности регламентирована на законодательном уровне. Одновременно с этим от организаций, ведущих хозяйственную деятельность требуется отчетность об информационных системах обработки бухгалтерской деятельности и, в соответствии с Постановлением Министерства финансов Республики Беларусь 18.12.2002г. № 163 «Национальные правила аудиторской деятельности «Аудит в условиях компьютерной обработки данных», в рамках обязательного аудита предусмотрен аудит компьютерной системы обработки данных с целью оценки риска искажения бухгалтерской (финансовой) отчетности, где данная система является частью информационной инфраструктуры организации.

В связи с этим, полный аудит информационной инфраструктуры, а не информационной системы обработки бухгалтерской деятельности организаций, проводится только по личной инициативе руководства. В масштабах крупных и средних организаций аудит ИИ можно проводить на основании мировых методологий и библиотек лучших практик, а для анализа и аудита ИИ микро- и малых организаций, как правило данные методики не доступны в частности из-за стоимости проведения аудита сертифицированным аудитором.

Предоставление консалтинговых услуг по проведению реинжиниринга бизнес-процессов также является актуальным направлением при проведении оптимизации бизнес-процессов и сопровождающих их информационных систем и ИИ. Одним из предложений НАН Республики Беларусь по приоритетным направлениям развития ИТ-отрасли в Республике Беларусь на 2014 г. было предложение о необходимости выделения отдельной статьи расходов на информатизацию, а именно – затрат на обследование предприятия:

– услуг консалтинговых компаний для реинжиниринга бизнес-процессов деятельности предприятия;

– совместимости предложений поставщиков ИТ (если программные продукты для решения задач поставляются разными разработчиками);

– разработки технического задания на проект построения информационных систем.

В развитие сказанного, автором предложено инструментально-методическое обеспечение многокритериального аудита ИИ, представленное на Рис. 2.

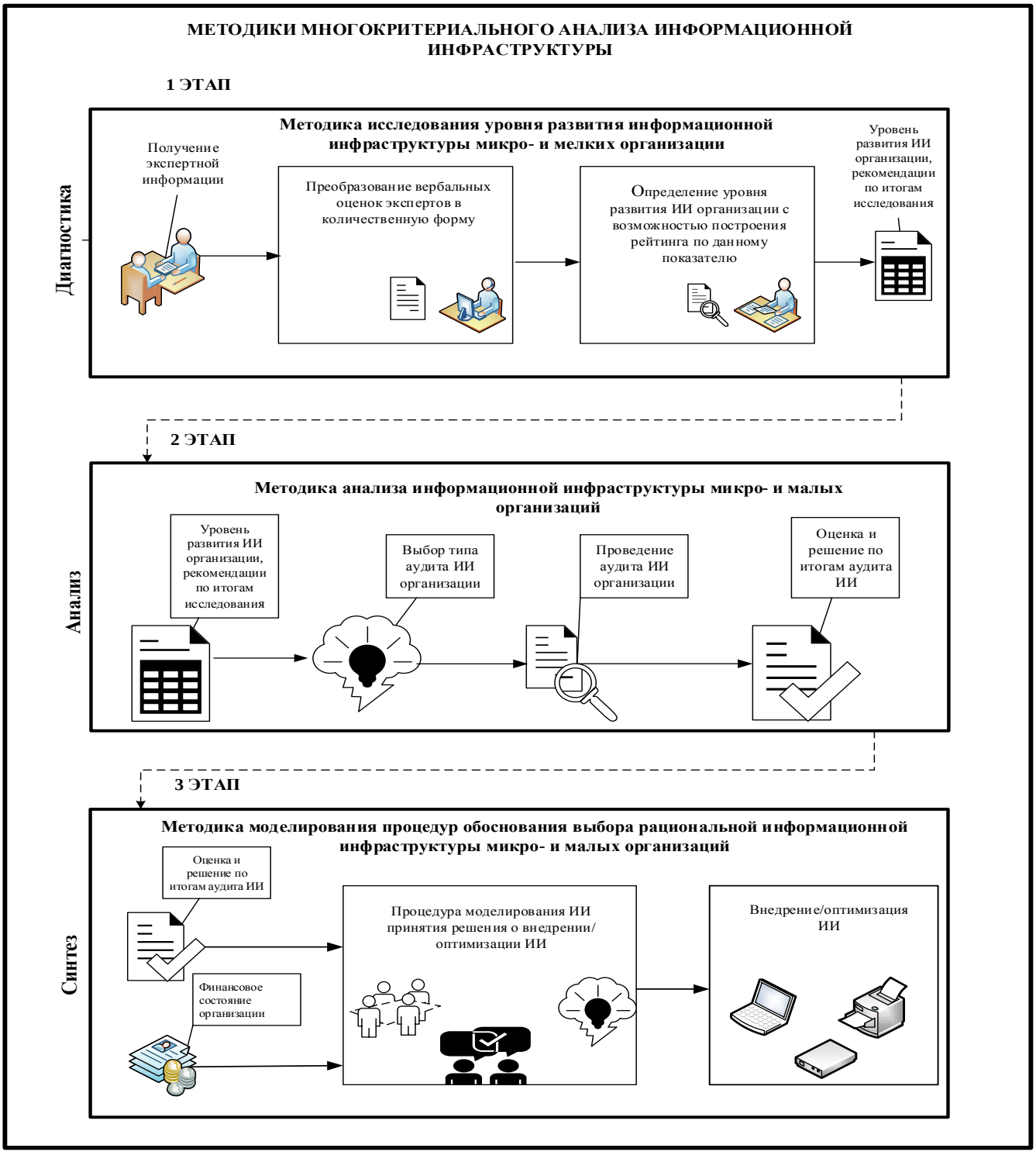



Рис. 2 – Инструментально-методическое обеспечение аудита информационной инфраструктуры

При помощи данного инструментально-методического обеспечения можно провести аудит информационной инфраструктуры микро- и малых организаций без дополнительных затрат на консалтинг аудиторов. Данный инструментальный метод состоит из трех методик, которые объединены в методики многокритериального анализа информационной инфраструктуры

Данные методики разработаны для анализа существующей информационной инфраструктуры микро- и малых организаций, с возможностью построение рейтинга отраслей или регионов исследованных организаций по уровню развития информационной инфраструктуры организаций на *первом этапе* в рамках методики исследования уровня развития информационной инфраструктуры микро- и малых организаций.

На *втором этапе* по результатам исследования уровня развития ИИ предлагаются рекомендации в зависимости от класса рейтинга по дальнейшим действиям по проведению аудита информационной инфраструктуры организации в рамках методики анализа информационной инфраструктуры микро- и малых организаций.

На *третьем этапе* по итогам аудиторского заключения подразумевается прохождение процедуры моделирования ИИ и принятия решения о внедрении или оптимизации существующей ИИ, основанной на методе анализа иерархий Т. Саати, которая изложена в методике моделирования процедур обоснования выбора рациональной информационной инфраструктуры микро- и малых организаций[6].

## IV. ВЫВОДЫ

Выделены основные международные стандарты проведения ИТ-аудита, возможные направления их применения. Определен сегмент аудита информационной инфраструктуры и перспективы его развития.

Предложен авторский инструментально-методическое обеспечение многокритериального аудита информационной инфраструктуры, который позволят без привлечения сертифицированного аудитора информационной инфраструктуры организации провести анализ существующей ИИ, при должных рекомендациях осуществить углубленный аудит ИИ, выбрать и оценить эффективность инвестиционного проекта рационализации информационной инфраструктуры микро- и малой организации.

## ЛИТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Аренс, Э.А., Лоббек, Дж.К. Аудит: Пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1995. – 398 с.

[2] ITIL: «Библия» IT-специалиста [электронный ресурс] – 2007. Режим доступа : http://www.nestor.minsk.by/sr/2007/10/sr71009.html – дата доступа: 13.02.2015

[3] Ситнов, А.А. Аудит информационных систем: монография для магистрантов / А.А. Ситнов, А.И. Уринцов. – М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2014. – С. 69.

[4] Описание и назначение стандарта ISO/IEC 20000 [Электронный ресурс] – 2014. Режим доступа: http://www.omniway.ru/news/ISO_IEC_20000 – дата доступа: 13.02.2015

[5] Подгорная, Г.Н. Информационный аудит в общей системе аудита / Подгорная Г.Н. // Вестник Белорусского государственного экономического университета. – 2015. – №4(111). – С. 30–42.

[6] Подгорная, Г.Н. Оценка эффективности внедрения инфраструктурного ИТ-проекта / Б.А. Железко, И.И. Станкевич, Г.Н. Подгорная // Актуальные проблемы науки XXI века. Сборник научных статей молодых ученых. – 2016. – №5. – С. 15–20.

# Методи Побудови Прикладних Кібернетичних Систем

Сергій Рудик
Кафедра соціальних технологій
Вінницький інститут Університету "Україна"
Вінниця, Україна
rudyk_s@ukr.net

Олександр Герцій
Кафедра телекомунікаційних технологій та автоматики
Державний університет інфраструктури та технологій
Київ, Україна
agertsiy@gmail.com

# Methods of Construction of Applied Cybernetic Systems

Sergey Rudyk
Dept. of social technologys
Vinnytsia Institute of University “Ukraine”
Vinnytsa, Ukraine
rudyk_s@ukr.net

Alexander Gertsiy
Dept. of Telecommunications and Automatics
State University of Infrastructure and Technology
Kyiv, Ukraine
agertsiy@gmail.com

***Анотація*—Розглянуто загальні методи побудови та моделювання прикладних кібернетичних систем. Наведено загальну характеристику комп’ютерних систем контролю і управління різними складними об’єктами. Оцінено ступінь невизначеності стану об’єкта контролю. Розглянуто комп’ютерний комплекс диспетчерської централізації «Каскад».**

***Abstract*—The general methods of modeling and application of cybernetic systems are considered in the article. An overall description of the automated monitoring and control systems of various complex objects is given. Uncertainty of the object of control was estimated. The computer complex of dispatching centralization "Cascade" is considered.**

***Ключові слова—кібернетичні системи, автоматизовані системи контролю і управління, ентропія, інформація, ефективність.***

***Keywords—computer systems, automated monitoring and control systems, entropy, information, efficiency.***

## I. ВСТУП

Інформаціологія як єдина наука про всі інформаційні явища, мікро- та макродинамічні процеси у Всесвіті, яка базується на фундаменті інформатики, виникла в 1989 р. Тобто, інформаціологія вивчає інформаційні основи виникнення та розвитку природи і суспільства. Як природні, так і штучні інформаційні системи (ІС), відповідно і кібернетичні системи (КС) включають в себе інформаційні ресурси (ІР) та інформаційні процеси (ІП). Н. Вінер визначив кібернетику як науку про управління в тварині і машині. Академік А. І. Берг, зусиллями якого при АН СРСР було створено наукову раду з проблеми «Кібернетика», характеризував кібернетику як науку про оптимальне, цілеспрямоване управління складними динамічними системами [1].

Якщо теоретична кібернетики вивчає проблеми математичного опису процесів управління, а технічна кібернетика розробляє керовані ІС, то прикладна кібернетика з’ясовує можливості її застосування в життєдіяльності людини.

Інформаційні ресурси в кібернетичних системах представлені теорією інформації, теорією автоматичного регулювання, теорією моделювання та теорією обчислювальних машин.

На практиці використовуються експертні системи різних типів: інтерпретація (опис ситуації згідно інформації, яка надходить із сенсорів, рецепторів), прогноз (визначення вірогідних наслідків ситуацій), діагностика (виявлення причин неправильного функціонування системи за результатами спостереження), проектування (побудова конфігурації об’єктів при заданих обмеженнях), планування (визначення послідовності дій), спостереження (порівняння результатів спостережень з очікуваними результатами), налагодження (складання рецептів виправлення неправильного функціонування системи), ремонт (виконання послідовності необхідних

виправлень), навчання (діагностика, налагодження та виправлення поведінки системи, що самонавчається), управління (управління поведінкою системи в цілому) [2].

Теорія автоматичного регулювання (управління) призначена для розробки проблем, пов'язаних із забезпеченням автоматичного регулювання в апаратах, пристроях, комплексах та системах.

Теорія автоматичного управління розглядає прості (одноконтурні) та складні (багатоконтурні) системи. В свою чергу, як прості, так і складні системи можуть бути детермінованими, такими, що працюють за жорсткою програмою та імовірностними системами, які самонавчаються.

Системи з автоматичним управлінням можуть працювати в трьох режимах:

- компенсаційному, коли кібернетична система безперервно виключає (нівелює) неузгодженість між заданим програмою станом і тим станом, в який система введена тією чи іншою дією (наприклад, термостат, в якому автоматично підтримується певна температура);
- моніторинг (спостереження), коли відбувається автоматичне управління за певною, попередньо заданою програмою (наприклад, робота автомата);
- саморегулювання відбувається в складних кібернетичних системах, як правило біологічних, починаючи від окремої клітини і завершуючи цілісним організмом [3].

Робота систем із зворотним зв'язком піддається точному опису і розрахунку. Теорія автоматичного регулювання займається математичним формулюванням цих описів.

У зв'язку з тим, що принципи управління для технічних та інших систем єдині, теорія автоматичного управління успішно використовується і в прикладних кібернетичних системах (біологічних, економічних, соціальних та ін.).

На початку розвитку прикладної кібернетики користувалися методом «чорної скриньки» — опис систем у вигляді перетворення вхідних сигналів у вихідні із прихованою внутрішньою структурою, який виявився незадовільним для опису динамічних систем. «Скринька» була замінена «простором станів» (рис. 1) [2].




Рис. 1. Блок-схема управління в прикладній КС.

Таким чином, прикладна КС характеризується входом, станом та виходом. Метою керуючих впливів можуть бути будь-які задані програми, збереження структури, підтримання заданих параметрів, показників тощо. Управління, що здійснюється за участі людини та використання технічних засобів називається автоматизованим, а те ж саме, але без участі людини - автоматичним.

Метою моделювання можуть бути формулювання та обґрунтування гіпотез про властивості об'єктів, оцінка та прогноз впливу на них різноманітних зовнішніх факторів; відпрацювання моделей розвитку подій тощо.

Зворотний зв'язок в КС може бути позитивним, коли зворотний сигнал збільшує ефект входу, що сприяє втраті стійкості до збурення системи, або негативним, який підвищує їх стійкість та забезпечує підтримку рівноваги.

## II. Загальна характеристика комп'ютерних систем контролю і управління

Для того, щоб правильно судити про хід процесу контролю і управління, а також про стан і положення об'єкта, який контролюється і управляється, необхідно контролювати велику кількість параметрів різної фізичної природи. Тому багато вимірювальних і керуючих пристроїв доводиться сконцентровувати в одному місці. Використання централізованих комп'ютерних систем контролю і управління (КСКУ) позбавляє необхідності користування показниками численних пристроїв [2].

Основне призначення КСКУ — правильно визначити протягом заданого інтервалу часу стан і положення об'єкта та управляти ним з урахуванням стану. У випадку появи відхилення або неполадок КСКУ має забезпечувати виявлення відхилення або відмови місця неполадки з заданою точністю.

Все частіше останнім часом КСКУ використовується також для прогнозування працездатності і положення об'єкта в цілому або його функціональних елементів.

КСКУ дозволяє, крім ефективного контролю і управління, проводити оптимізацію цих процесів, а також накопичувати інформацію для прогнозування відмов системи контролю і управління об'єктом.

За цільовим призначенням КСКУ можна розділити на системи: стабілізації, програмного управління, спостережні, оптимальні і змішані.

Багатовимірні КСКУ стабілізації призначені для одночасної підтримки з визначеною точністю багатьох вихідних параметрів. Багатовимірні КСКУ програмного управління призначені для автоматичного управління декількома фізичними процесами за заданого програмою з визначеною точністю. Багатовимірні спостережні КСКУ призначені для одночасного відтворення всіма вихідними параметрами невідомих наперед різних законів управління. Оптимальні багатовимірні КСКУ мають оптимізатор, який дозволяє отримувати оптимальні значення вихідних параметрів. Багатовимірні змішані КСКУ можуть одночасно спостерігати, стабілізувати,

управляти за програмою і оптимізувати множину параметрів.

Багатовимірні КСКУ — це складні інформаційні системи, які характеризуються інтенсивними потоками інформації. У зв'язку з цим становить інтерес проведення оцінювання стану і функціонування КСКУ використанням положень теорії інформації.

## III. Оцінка ступеня невизначеності стану об'єкта контролю

При контролі і управлінні об'єкт можна розглядати як багатовимірну динамічну систему, на яку водночас із закономірними і випадковими керуючими впливами або сигналами контролю впливають різні випадкові завади у вигляді зовнішніх і внутрішніх збурень. Стан такої системи визначається деякими вихідними параметрами, певним чином пов'язаними з впливами на систему через вектор-оператор системи.

У зв'язку з випадковим характером різних впливів і збурень вихідні параметри об'єкта будуть також випадковими функціями часу.

Повними ймовірнісними характеристиками як вихідних параметрів, так і самого об'єкта, є диференціальні багатовимірні закони розподілу, а також рівняння для визначення ймовірності стану виходів системи при різних ймовірностях стану вхідних сигналів. Однак вони не дають інтегральної якісної і кількісної оцінки невизначеності об'єкта при контролі і управлінні, а також інтегральної оцінки зміни невизначеності об'єкта в процесі контролю і управління. Цей недолік усувається при використанні інформаційних характеристик об'єкта в процесі контролю і управління. Для інтегральної оцінки невизначеності об'єкта з неперервною множиною станів у процесі контролю і управління, зручно застосовувати диференціальну ентропію стану об'єкта.

Контроль — це один з різновидів процесу отримання, перетворення, передачі і накопичення інформації. Під контролем в усіх випадках практики розуміється процес отримання людиною або машиною інформації про дійсний стан об'єкта контролю.

Інформація, отримана в результаті контролю, кількісно оцінюється зменшенням ентропії від значення $h(X)$, яке характеризує невизначеність об'єкта контролю перед контролем, до значення $h(X / Y)$, яке залишається після отримання результату контролю $Y$, тобто:

$$I = h(X) - h(X/Y) \qquad (1)$$

Апостеріорна ентропія $h(X/Y)$ визначається розподілом ймовірностей похибок контролю. Оскільки апостеріорна ентропія $h(X/Y)$ обумовлює зменшення кількості інформації, отриманої при контролі, то говорять, що похибки контролю здійснюють дезінформаційну дію [4].

Дезінформаційна дія похибки у загальному випадку визначається законом розподілу останньої, причому при різних законах розподілу отримують різні значення $h(X/Y)$ навіть у тому випадку, якщо дисперсії похибок однакові.

Рівномірним законом розподілу, яке вносить таку ж дезінформаційну дію, що і похибка з даним законом розподілу ймовірностей.

Потрібно зауважити, що викладене стосується випадку, коли контроль параметрів здійснюється за критерієм кількісної оцінки, тобто по суті зводиться тільки до вимірювання величини параметрів. У тих випадках, коли контроль здійснюється за допускним критерієм, тобто коли метою контролю є встановлення, знаходиться чи не знаходиться величина параметру, що контролюється, в межах допуску, ентропія похибки контролю має визначатися співвідношенням:

$$H(X / Y) = -\{P_{er}\log_2 P_{er} + (1 - P_{er})\log_2(1 - P_{er})\}, \qquad (2)$$

де $P_{er}$ - загальна безумовна ймовірність помилкового розв'язку відносно стану контрольованого параметру.

Під інформаційною здатністю пристрою контролю мається на увазі еквівалентне число різних інтервалів, яке визначає кількість інформації, отримуваної від пристрою контролю.

Таким чином, згідно з визначенням інформаційна здатність пристрою контролю $N$ може бути встановлена зі співвідношення:

$$I = \log_2 N, \qquad (3)$$

де $I$ — кількість інформації, отримуваної при контролі.

## IV. Ентропія та інформація у системах комп'ютерного управління

Поняття ентропії та інформації є зручними узагальненими характеристиками при описуванні складних систем автоматичного управління.

Будь-який процес, який належить автоматичному управлінню, можна охарактеризувати сукупністю координат $x_1$, $x_2$,...,$x_t$. Ці координати практично завжди мають розкид відносно номінальних значень. Цей розкид обумовлений численними факторами і має випадковий характер. Для оцінювання невизначеності процесу може бути використана ентропія розподілу ймовірностей координат керованого процесу, яка виражається такою ж формулою, що й ентропія.

Незважаючи на спільність математичних виразів, ентропія процесу суттєво відрізняється від інформаційної ентропії. У системах передачі інформації після отримання інформації ентропія об'єкта зменшується. Ентропія ж процесу, після отримання спостерігачем інформації про його стан, не змінюється. Отже, ентропію розподілу ймовірності координат процесу не можна змінити вимірюванням цих координат. Дія зміни ентропії процесу необхідне управління або відновлення [2].

Якщо проводити аналогію з процесом контролю параметрів як процесом передачі інформації, то введене поняття ентропії процесу відповідає при контролі ентропії параметрів за рахунок їх флуктуації внаслідок зовнішніх збурюючих впливів.

Ентропія процесу може бути змінена тільки за рахунок впливу на цей процес. Основним призначенням автоматизованого управління процесом є зменшення відхилень процесу від заданого, зменшення невизначеності перебігу процесу, тобто зменшення ентропії процесу. Отримана інформація опрацьовується обчислювальним пристроєм. Опрацьована інформація надходить в систему виконання, яка формує керуючі впливи, які впливають на керований процес в напрямку зменшення його ентропії. Управління процесом може бути неперервним або дискретним в часі, коли управляючі впливи надходять на керований процес через інтервали часу *T*.

## V. Комп'ютерна система диспетчерської централізації «Каскад»

На залізниці широко застосовують комп'ютерні системи управління для підвищення ефективності управління перевезеннями. На рис. 2 наведено комплекс диспетчерської централізації «Каскад», який виконує функції обробки, збереження, формування, захисту інформації, людино-машинного інтерфейсу, підтримки глобальних та локальних мереж зв'язку [5].

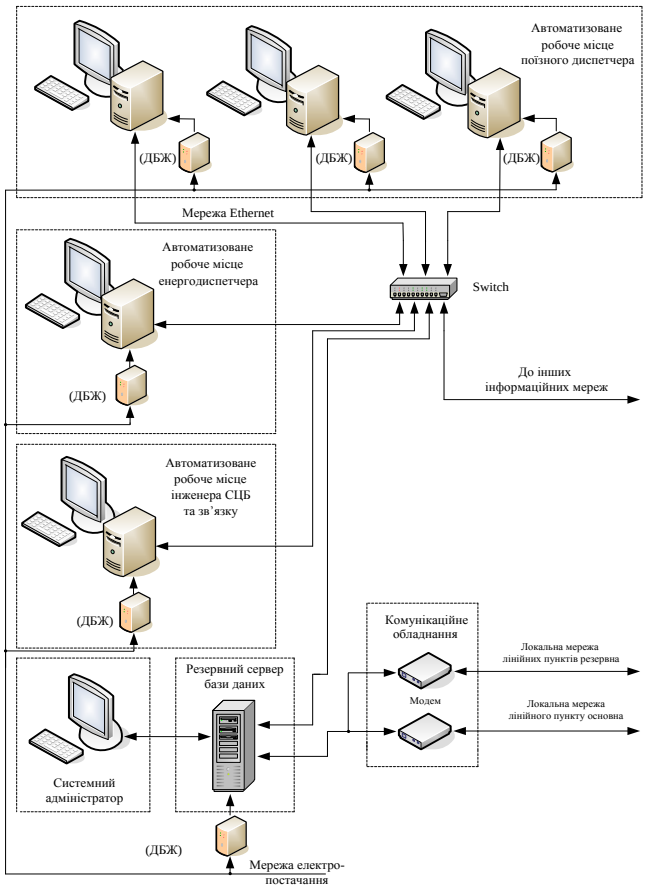



Рис. 2. Структурна схема «ДЦ Каскад»

До складу програмно-апаратного комплексу «Каскад», розташованого в центрі управління перевезеннями, належать:

- автоматизоване робоче місце поїзного диспетчера;
- автоматизоване робоче місце енергодиспетчера;
- автоматизоване робоче місце інженера;
- локальна мережа зв'язку між АРМами;
- сервер бази даних з робочим місцем системного адміністратора;
- каналоутворювальна апаратура, до якої входять модеми та локальна мережа зв'язку;
- джерела безперебійного живлення;
- системне та прикладне програмне забезпечення для функціонування системи.

Для відображення контролю перевізного процесу, контрольної інформації від пристроїв СЦБ та іншої необхідної інформації в режимі реального часу та за заданий період, використовують монітори. Також монітори встановлено у інженера енергопостачання та СЦБ і зв'язку, для контролю стану та управління, підпорядкованих їм пристроями. Для введення змін в схематичний стан станцій та іншої потрібної інформації на дільниці диспетчерської централізації, передбачено встановлення на центральному посту «системного адміністратора».

## VI. Висновки

Кібернетика встановлює загальні принципи й закони, згідно з якими як живі організми, так і різні системи виконують цілеспрямовані дії на основі процесів передачі, перетворення й використання інформації. Кібернетика насамперед цікавиться логічною структурою, формалізацією інформаційних процесів, а не їхньою фізичною, біологічною або якою-небудь іншою природою. Таке абстрагування надає кібернетиці спільність, дозволяє їй застосовувати для дослідження інформаційних процесів, незалежно від того, до якої категорії явище ставиться (біологічної, фізіологічної, технічної, економічної т.д.), методи точних наук, увесь сучасний математичний апарат.

## Література References


[1] I.V. Kuzmin. Teoreticheskie osnovy iformatsionnoy tekhniki. [Theoretical Fundamentals of information engineering technology.]. - Kharkov, USSR: KVKIY, 1969. - in Russian.

[2] I.V. Kuzmin. Otsenka effektivnosti i optimizatsiya ASKU [Evaluating the effectiveness and optimization of AMCS]. - Moscov, USSR: Sovetskoe Radio, 1971. - in Russian.

[3] A.O. Golyachenko, I.V. Kuzmin, V.S. Kilivnik and oth. Matematychne modelyuvannya protcesiv upravlinnya okhoronoyu zdorov'ya. [Mathematical modeling of health management.], - Ternopil: Lileya, 2015. - 96 p. - in Ukrainian.

[4] I.V. Kuzmin, V.A. Kedrus. Osnovyi teorii informatsii i kodirovaniya. [Fundamentals of information theory and coding.]. - Kiev, USSR: Vyischa shkola, 1977. - in Russian.

[5] Dan'ko M.I., Moyseyenko V.I., Rakhmatov V.Z., Trotsenko V.I., Cheptsov M.M. Mikroprotsesorna dyspetchers'ka tsentralizatsiya "KASKAD" [Microprocessor dispatch centralization "CASCADE]: Navch. posib. – KH.: UkrDAZT, 2005. – 176 p. - in Ukrainian.

# Компоненти Інформаційної Системи Моніторингу Якості Освіти у Харківському Національному Університеті Радіоелектроніки

Валерій Семенець
ректор
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
valery.semenets@nure.ua

Володимир Кобзєв
доцент кафедри прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.kobziev@nure.ua

Валентин Філатов
завідувач кафедри штучного інтелекту
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
valentin.filatov@nure.ua

# Components of the Information System for Monitoring the Quality of Education at Kharkiv National University of Radio Electronics

Валерій Семенець
ректор
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
valery.semenets@nure.ua

Володимир Кобзєв
доцент кафедри прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.kobziev@nure.ua

Валентин Філатов
завідувач кафедри штучного інтелекту
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
valentin.filatov@nure.ua

***Анотація*—Розглянуті основні принципи, завдання та компоненти інформаційної системи моніторингу якості освіти фахівців у Харківському національному університеті радіоелектроніки.**

***Abstract*—The main principles, tasks and components of the information system for monitoring the quality of education of specialists at the Kharkov national university of radio electronics are considered.**

***Ключові слова—якість освіти, показники, моніторинг, інформаційна система***

***Keywords— quality of education, indicators, monitoring, information system***

## I. Вступ

Питання автоматизації керування вищим навчальним закладом та проектування відповідних інформаційних систем розглядалися у багатьох публікаціях, наприклад [1-4).

На підставі вимог стандартів вищої освіти, положення про організацію навчального процесу у вищих навчальних закладах (ВНЗ), а також наказу Міністерства освіти і науки України від 30.12.2005р. №774, у Харківському національному університеті радіоелектроніки розроблена концепція організаційного та науково-методичного забезпечення системи внутрішнього моніторингу якості підготовки фахівців.

Моніторинг якості підготовки фахівців в університеті – це системна задача, вирішення якої базується на систематичному аналізі основних показників з головних напрямів діяльності університету, факультетів, кафедр, наукових та інших підрозділів, соціологічних дослідженнях серед учасників навчально-виховного процесу (студентів, викладачів) і розробленні на цій основі відповідних заходів з метою забезпечення якості підготовки фахівців на рівні міжнародних вимог. Вирішення взаємопов'язаних задач моніторингу можливе за умови створення сучасної інформаційної системи за участі багатьох користувачів з визначеними функціями.

## II. Головні засади внутрішнього моніторингу

Система внутрішнього моніторингу якості підготовки фахівців в основному зорієнтована на виконання вимог галузевих стандартів вищої освіти і стандартів вищої освіти ВНЗ.

В такій системі обов'язково повинні постійно відстежуватися множини показників, які з різних боків характеризують навчальний процес. Їх вибір, аналіз та використання для оцінки поточного стану, прогнозу та виробки необхідних коригувальних впливів проілюстровано на Рис. 1.

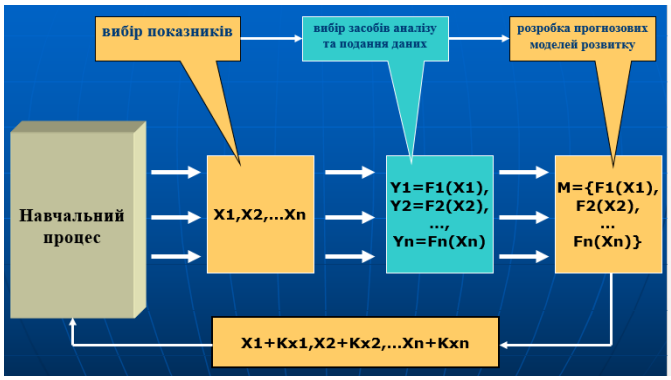



Рис.1. Схема обробки даних у процесі моніторингу

Ці вимоги викладені в освітньо-кваліфікаційній характеристиці (ОКХ), освітньо-професійній програмі підготовки (ОПП) і засобах діагностики (ЗД) якості вищої освіти на основі певного переліку показників (Рис. 2).

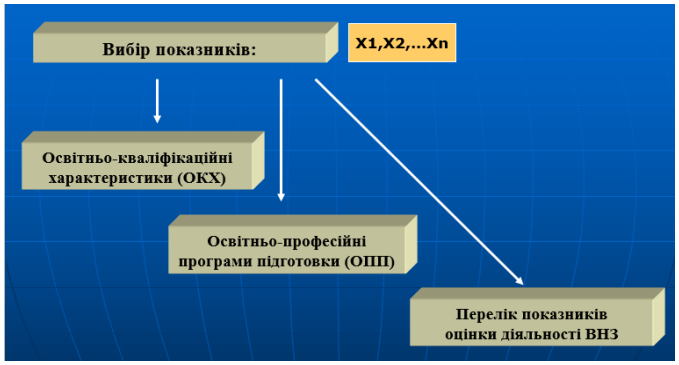



Рис.2. Джерела показників для процесу моніторингу

ОКХ випускників ВНЗ є нормативним докумекнтом, в якому узагальнюється зміст вищої освіти, тобто видображаються цілі вищої освіти та професійної підготовки, визначається місце фахівця в структурі галузей економіки держави і вимоги до його компетентності, інших соціально важливих властивостей та якостей. В ОКХ узагальнюються вимоги до змісту вищої освіти з боку держави, світового співтовариства та споживачів-випускників.

Відповідно до посад, які можуть займати випускники університету, вони здатні виконувати виробничі функції (здійснення певних типів діяльності) та типові для даної функції задачі діяльності. Кожній задачі відповідає система умінь. Університет має забезпечити опанування випускниками системи умінь вирішувати типові задачі діяльності під час здійснення певних виробничих функцій.

В ОПП визначається нормативний термін та зміст навчання, нормативні форми державної атестації, встановлюються вимоги до змісту, обсягу й рівня освіти та професійної підготовки фахівця відповідного освітньо-професійного рівня певної спеціальності.

ОПП використовується під час:

- розроблення та коригування засобів діагностики якості вищої освіти;

- розроблення та коригування її варіативної частини та засобів діагностики якості вищої освіти, навчальних планів, програм навчальних дисциплін і практик.

У ЗД якості вищої освіти встановлюються вимоги до стандартизованих методик, що призначені для кількісного та якісного оцінювання ступеня досягнення особами, які навчаються у ВНЗ, цілей (змісту) освіти.

ЗД використовуються під час визначення відповідності досягнутого особою, яка навчається у ВНЗ за певною освітньо-професійною програмою підготовки, рівня сформованості умінь, що визначений в ОКХ. ЗД застосовуються під час установлення відповідності визначених під час атестації випускників ВНЗ показників якості вищої освіти показникам, що вказані у галузевому стандарті вищої освіти.

У ЗД установлюються вимоги до забезпечення уніфікації, сумісності та взаємозамінності засобів діагностики рівня освіти і професійної підготовки осіб, які навчаються у ВНЗ, та надійності об'єктивного контролю.

ЗД використовується під час:

- розроблення та коригування їх варіативної частини, навчальних планів, програм навчальних дисциплін;

- атестації науково-педагогічних кадрів;

- визначення ефективності методик професійної підготовки та навчання;

- професійної орієнтації здобувачів фаху та визначення критеріїв професійного відбору.

Моніторинг якості підготовки фахівців у Харківському національному університеті радіоелектроніки відслідковує стан і основні показники діяльності університету з відповідних напрямків.

## III. Основні напрямки моніторингу діяльності

1. Робота з випускниками навчальних закладів системи загальної середньої освіти з метою формування якісного контингенту студентів відповідно до ліцензованих обсягів і державного замовлення.

2. Виховна робота зі студентами, зокрема використання виховного потенціалу навчальних дисциплін з гуманітарної, природничої і професійної підготовки.

3. Розробка навчальних планів, робочих програм навчальних дисциплін, засобів діагностики якості навчання. Результати оцінювання знань студентів з огляду на вимоги ECTS в умовах кредитно-модульної системи організації навчального процесу. Оптимізація структурно-логічної схеми підготовки фахівців, інтенсифікація викладання навчальних дисциплін.

4. Контроль знань, умінь та навичок випускників університету у сфері їх майбутньої професійної діяльності в умовах Болонського процесу.

5. Науково-методичне та організаційне забезпечення навчального процесу в усіх його формах:

- навчальні заняття (лекційні, лабораторні, практичні, семінарські, індивідуальні заняття, консультації);
- виконання індивідуальних завдань;
- самостійна робота студентів;
- практична підготовка;
- контрольні заходи.

6. Забезпечення навчально-виховного процесу відповідними фінансовими, матеріальними, кадровими, організаційними та інформаційними ресурсами для досягнення високого рівня якості освітньої діяльності та якості вищої освіти.

7. Міжнародне співробітництво університету в галузі освіти та науки. Створення належних умов для навчання іноземних студентів в університеті, сприяння навчанню студентів університету за кордоном.

Рівнень академічної мобільності студентів, викладачів і науковців у напрямі активізації їх участі у міжнародних наукових та освітніх програмах, конференціях. Стипендії та гранти міжнародних організацій та зарубіжних університетів.

8. Планування та підготовка кадрів вищої кваліфікації. Робота аспірантури та докторантури. Заходи щодо добору та прийому на роботу висококваліфікованих науково-педагогічних кадрів, формування кадрового потенціалу через підвищення мотивації діяльності та престижу праці викладача, удосконалення механізму творчого, „кар'єрного" зростання, створення умов перепідготовки та підвищення кваліфікації викладачів, їх соціального захисту.

9. Наукова діяльність університету. Рівень наукових досліджень. Виявлення, експертиза та відбір інноваційних розробок і впровадження їх в економічну діяльність держави. Впровадження в навчальний процес сучасних досягнень науки, інформаційних технологій та програмного забезпечення, використання новітньої навчально-методичної літератури.

Зв'язок тематики кваліфікаційних робіт (дипломних проектів, робіт) з науковими дослідженнями, участь студентів у науково-дослідній роботі.

10. Працевлаштування випускників як кінцевого результату діяльності університету. Удосконалення професійно-практичної підготовки студентів, технології надання їм сучасних знань, умінь і навичок, що забезпечать випускникам конкурентоспроможність на ринку праці.

Соціальне партнерство з роботодавцями, їх участь у формуванні змісту вищої освіти, професійно-практичній підготовці, дипломному проектуванні студентів, стажуванні викладачів університету.

## IV. Структура системи моніторингу

У діяльності системи моніторингу задіяна більшість структурних підрозділів університету, кожний з яких виконує визначені функції обліку, аналізу та подання специфічної інформації про хід освітнього процесу. До переліку цих підрозділів входять: АСУ ВНЗ, деканати, кафедри, відділ кадрів, НДЧ, інформаційно-аналітичний центр „Кар'єра", центр технологій дистанційної освіти, навчальний та методичний відділи, наукова бібліотека, тестовий центр, планово-фінансовий відділ. Узагальнена схема системи наведена на Рис. 3.




Рис.3. Структура системи моніторингу

Кафедра є основною ланкою університету з питань підготовки висококваліфікованих фахівців, яка здійснює навчально-виховну, наукову, методичну та організаційну діяльність. Кожна кафедра має свою специфіку відповідно до освітніх та наукових напрямків діяльності.

Кафедра метрології та технічної експертизи, крім своєї функціональної діяльності, забезпечує науковий супровід процесу моніторингу відповідно до вимог вітчизняних і міжнародних стандартів.

З метою подальшого удосконалення роботи по впровадженню системи внутрішнього моніторингу якості підготовки фахівців на базі єдиного інформаційного простору університету центром накопичення і обробки інформаційних ресурсів, які надаються учасниками реалізації концепції моніторингу визначений Центр інформаційних систем та технологій (ЦІСТ).

Інформація, що оброблюється у системі моніторингу має величезні обсяги та різноманітні форми – таблиці, графіки, діаграми тощо (див. Рис.4). Вона відображує як набори даних в окремі моменти часу, так і їх розвиток за певний відрізок часу (навчальний семестр, навчальний рік, календарний рік).

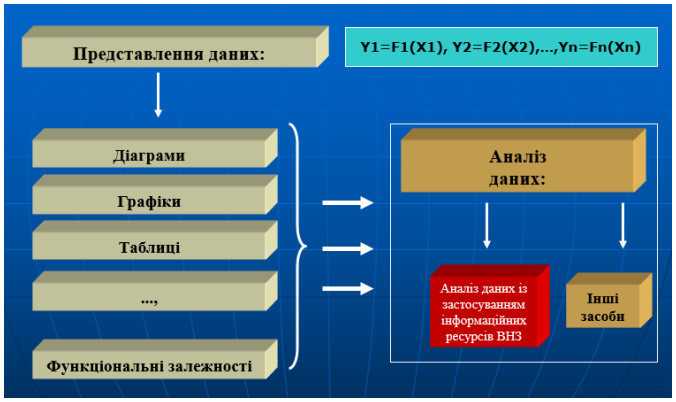



Рис.4. Форми подання моніторингових даних

Основними задачами ЦІСТ є:

- інформаційна підтримка навчального процесу в Університеті;

- накопичення та обробка інформаційних ресурсів Університету;

- координація впровадження інформаційних систем Університету на підставі концептуальної платформі побудови єдиного інформаційного простору.

Для розв'язання своїх задач ЦІСТ здійснює такі види діяльності:

- розробка, впровадження, супровід інформаційно-аналітичної системи «Університет» (ІАС «Університет»);

- розробка, впровадженні та супровід інформаційних підсистем: «Деканат», «Розрахунок навантаження та штатів», «Формування розкладу занять», «Відділ кадрів», «Аспірантура», «Навчальний план», «Електронний журнал» та інших;

- розробка та впровадження автоматизованої системи «Рейтинг кафедр та факультетів» за основними показниками діяльності кафедр та факультетів, моніторинг результатів діяльності, ведення первинної інформаційної бази;

- оперативна обробка інформаційних ресурсів з метою моніторингу якості освіти, комплексного планування діяльності Університету, координації діяльності підрозділів університету, направленої на підвищення ефективності підготовки фахівців на сучасному рівні і прийняття ефективних управлінських рішень.

ЦІСТом створено та впроваджено рейтингову систему оцінювання освітньої та науково-технічної діяльності кафедр і факультетів [5]. Навчальний і науковий потенціал кафедр визначають потенціал університету. З метою визначення і заохочення кафедр, що зробили найбільший внесок у підвищення якості підготовки фахівців, наукові дослідження, розвиток інноваційних технологій навчання щорічно проводиться порівняльна оцінка ефективності діяльності, тобто визначення рейтингів кафедр і факультетів відповідно переліку тематичних напрямів та рейтингових індикаторів за підсумками навчального року.

Центр здійснює оперативну обробку інформаційних ресурсів та передає їх до ректорату, навчально-методичної ради, Вченої ради університету, де на підставі існуючих моделей моніторингу за основними напрямками діяльності університету проводиться їх аналіз.

Результати аналізу є основою для прийняття відповідних рішень з метою координації діяльності усіх підрозділів університету, яка направлена на підвищення ефективності підготовки фахівців на сучасному рівні.

## V. Висновки

Розглянуті основні принципи, завдання та компоненти інформаційної системи моніторингу якості освіти фахівців на прикладі Харківського національного університету радіоелектроніки.

Наведені основні задачі та види діяльності Центру інформаційних систем та технологій університету, як головного координатора діяльності усіх компонент інформаційної системи моніторингу якості освіти.

## Література References

[1] Левыкин, В.М. Автоматизация управления вузом / В.В. Свиридов, В.В. Семенец, В.М. Левыкин, В.И. Саенко // АСУ и приборы автоматики, 1998. – Вып. 108. – С. 3-13.

[2] Филатов, В.А. Методы и средства проектирования информационных систем и распределенных баз данных / В.А. Филатов, Р.В. Семенец. // Вестник Херсонского национального технического университета № 4(27) – 2007. – С. 203-207.

[3] Семенець, В.В. Впровадження технологій дистанційного навчання у навчальний процес / В.В. Семенець, В.І. Каук, О.Г. Аврунін // Вища школа. – 2009. – № 5. – С. 40–51.

[4] Филатов, В.А. Мультиагентный подход к идентификации пользователей в системе дистанционного образования / О.Ф. Козырь, В.А. Филатов // Образование, наука, производство и управление. Сборник трудов региональной научной конференции. в 2-х томах. - Старый Оскол ООО "ТНТ", 2005 - том 1. - С. 284-290.

[5] Филатов, В.А. Информационная подсистема рейтингового оценивания кафедр и факультетов в составе «ИАС Университет» ХНУРЭ / З.Л. Костина, В.А. Филатов // VI Международная научно-практическая конференция «Наука и социальные проблемы общества: информатизация и информационные технологии». Сб. научн. Трудов. – Харьков: ХНУРЭ, 2011. – С. 110-111.

# Модель Автоматизированного Выбора Маршрутов Электронных Документов

Александр Скрыль
Кафедра информационно-управляющих систем
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
Кременчуг, Украина
endlesskwazar@gmail.com

Игорь Шевченко
Кафедра информационно-управляющих систем
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
Кременчуг, Украина
ius.shevchenko@gmail.com

# The Model of Automated Selection of Routes for Electronic Documents

Alexander Skryl
Department of Information Control Systems
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University
Kremenchuk, Ukraine
endlesskwazar@gmail.com

Igor Shevchenko
Department of Information Control Systems
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University
Kremenchuk, Ukraine
ius.shevchenko@gmail.com

***Аннотация*—Разработано модельное представление процесса выбора маршрута документа, включающее онтологию предметной области, формальное описание взаимосвязей ключевых слов документа, аспектов функциональности подразделений и критерия выбора маршрута.**

***Abstract*—A model representation of the document route selection process, includes a domain ontology, a formal description of the relationship of the document keywords, aspects of the unit functionality and route selection criteria.**

***Ключевые слова—электронный документооборот; маршрутизация документов; модель выбора маршрута; тематический критерий выбора адресов.***

***Keywords—electronic document managemen;, document routing; route selection mode; thematic criterion for selecting addresses.***

## I. Введение

На большинстве предприятий существует сложившаяся система документооборота, со своими правилами и устоявшимся регламентом. Во многом повышение производительности офисных подразделений зависит от особенностей документооборота на предприятии, но нельзя исключать и человеческий фактор. Анализ особенностей работы сотрудников с системами электронного документооборота (СЭД) свидетельствует, что могут возникать проблемы и задержки, связанные с неопределенностью выбора маршрута документа, особенно для молодых сотрудников. Неправильно выбранный маршрут приводит к коллизиям и заметным задержкам в прохождении документа по точкам согласования [1– 3]. Следовательно, автоматизация процесса выбора маршрута будет способствовать повышению скорости и надежности работы управленческих подразделений.

В работе [4] поставлен вопрос о чувствительности систем электронного документооборота к коллизиям при прохождении маршрута. Приведена графовая модель и метод анализа чувствительности СЭД, который позволяет анализировать устойчивость систем по отношению к коллизиям. Но в работе нет примеров коллизий, анализа их причин и способов устранения.

В работах [5–7] представлены модели движения документов, ориентированные на применение графов и сетей Петри. Однако не уделено внимания проблеме автоматизации процедуры маршрутизации.

Анализ перечисленных работ показал, что ни в одной из них не уделено внимание надежности работы СЭД при выполнении операции выбора маршрута, от которой во многом зависит весь жизненный цикл документа.

Таким образом, проблема состоит в том, что в настоящее время практически нет электронных систем документооборота, имеющих в своем составе инструментальные средства поддержки процесса маршрутизации с использованием контекста документа и других данных, опираясь на которые можно сформировать необходимое множество подразделений, участвующих в согласовании и доработке документа.

Цель работы – минимизация количества коллизий в процессе обработки документа на маршруте путём разработки и внедрения моделей автоматизированного выбора маршрутов электронных документов на уровне подразделений.

## II. Модельное представление процесса маршрутизации

Для решения задачи автоматизированной маршрутизации требуется разработать комплекс моделей, преобразующих значения первичных параметров документа в подмножество предполагаемых адресов рассылки. Системный подход к разработке комплекса моделей предполагает на первом этапе построение онтологии.

Поскольку онтология предметной области (ПрО) «Документооборот предприятия» содержит множество аспектов, связанных с полномочиями и функциями отдельных подразделений, представим онтологию в виде [8]:

$$O = <E(AT), ER, AS, EA, F, AR> , \quad (1)$$

где $E$ – набор сущностей, имеющих значение в разных аспектах ПрО; $AT$ – множество атрибутов сущностей; $ER \subseteq E \times E$ – множество отношений сущностей; $AS$ – множество аспектов предметной области; $EA \subseteq E \times AS$ – проекция сущностей на аспекты; $F: E \times ER$– функции интерпретации отношений и сущностей: $AR \subseteq AS \times AS$ – пересечение аспектов.

Тогда многоаспектное семантическое пространство можно выразить набором:

$$SS = <O, M>, \quad (2)$$

где $M$ – набор метрик для вычисления степени близости сущностей и аспектов.

Пространство $SS$ условно разделено на пересекающиеся подпространства, каждое из которых соответствует одному аспекту ПрО.

Задача автоматизированного выбора маршрута должна решаться, как задача критериального выбора подмножества адресов согласования и визирования документа на основе имеющейся информации о содержании документа, источнике документа, адресате и функциональности подразделений. Сформируем критерий отбора адресов согласования и визирования документа.

## III. Формирование тематического критерия для выбора маршрута

Пусть $T$ – текст, выражающий краткое содержание документа, занесенное в регистрационную карточку. В этом тексте имеются слова и словосочетания из множества $X = \{x_1,...,xi,...,x_m\}$, $i=1...m$, имеющие скрытые отношения с аспектами предметной области. Будем считать, что все эти слова (за исключением стоп-слов) являются выражениями сущностей и их отношений, то есть, ключевыми словами (КС). Общая задача тематической поддержки маршрутизации документа может быть решена при использовании некой функции ассоциации $\varphi: X \rightarrow SR$, где $SR$ – суперпозиция отношений $EA$.

Построим матрицу-отношение $H = \|h_{ij}\|$ «ключевые слова–аспекты», где $h_{ij}$=1, если $i$-е ключевое слово встречается в $j$-м аспекте, и $h_{ij}$ =0, в противном случае.

Построим структурную матрицу взаимосвязей текста $T$, модели выявления ассоциаций, и аспектов ПрО (табл. 1). Модель преобразования $M$ должна обрабатывать текст $T$, и вычислять степень ассоциации текста $T$ с каждым аспектом ПрО.

ТАБЛИЦА I. Структурная матрица взаимосвязей ключевых слов, модели преобразования и аспектов

| Входы | Модель | Выходы | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $F_1$ | $F_2$ | .. | $F_j$ | .. | $F_n$ |
| $x_1$ | $M$ | $Y_{11}$ | $Y_{12}$ | .. | $Y_{1j}$ | .. | $Y_{1n}$ |
| $x_2$ | | $Y_{21}$ | $Y_{22}$ | .. | $Y_{2j}$ | .. | $Y_{2n}$ |
| .. | | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| $x_i$ | | $Y_{i1}$ | $Y_{i2}$ | .. | $Y_{ij}$ | .. | $Y_{in}$ |
| .. | | .. | .. | .. | .. | .. | .. |
| $x_m$ | | $Y_{m1}$ | $Y_{m2}$ | .. | $Y_{mj}$ | .. | $Y_{mn}$ |

Выходы системы $F_j$, $j = \overline{1,n}$ – степени значимости $j$-х аспектов, полученные как суперпозиции степеней значимости КС $x_i$ относительно аспектов $A_j$ .

Модель $M$ , описывающая связь КС $x_i$ и выходной величины $Y_{ij}$ , представима отображением:

$$M: x_i \rightarrow Y_{ij} , \quad (3)$$

Величину $Y_{ij}$ можно интерпретировать, как весовой коэффициент, учитывающий значимость $i$-го слова в $j$-м аспекте:

$$Y_{ij} = \left(1 - \frac{n_i}{n}\right) h_{ij} , \quad (4)$$

где: $n_i$ – число аспектов, в которых фигурирует слово $x_i$, $n$ – общее число аспектов.

Значение $Y_{ij}$ , полученное по формуле (4), является начальным и может быть скорректировано во время настройки системы в пределах [0,1].

Вернемся к функции ассоциации $\varphi$, которая, как теперь ясно, должна осуществлять суперпозицию величин $Y_{ij}$ и играть роль тематического критерия отбора аспектов. Раскроем содержание функции $\varphi$:

$$\varphi_j(x) = F_j(Y_{ij}) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} Y_{ij} \quad (5)$$

Выражение (5) есть тематический критерий для выбора маршрута, который позволяет вычислить интегральное значение степени тематической ассоциации содержания документа с каждым $j$-м аспектом ПрО.

Ранжирование аспектов по степени ассоциации позволяет выбрать наиболее важные аспекты, определить соответствующие полномочия подразделений и выбрать подмножество подразделений для параллельной адресации. Критерием адекватности модели является наличие в вершине списка подразделений подразделения-получателя. Из подмножества близких по ассоциативным связям подразделений формируется список для предъявления пользователю в режиме диалога.

Общая последовательность действий по выбору подразделений для параллельной маршрутизации с использованием предложенной выше модели состоит из нескольких этапов.

Этап 1. Подготовка тезауруса с выделенными аспектами ПрО.

Этап 2. Предварительная обработка анализируемого текста, включающая удаление стоп-слов и стемминг.

Этап 3. Определение значимых аспектов. Это делается путем проверки КС на их наличие в аспектных тезаурусах ПрО. Происходит формирование подмножества значимых аспектов по критерию максимального числа совпадений в тезаурусах.

Этап 4. Построение матрицы проекции множества выявленных из контекста документа аспектов/ полномочий на множество подразделений и выделение множества $S$ значимых подразделений.

Этап 5. Ранжирование элементов множества $S$ и предъявление списка подразделений, потенциально участвующих в согласовании и обсуждении документа, пользователю.

## IV. Выводы

Предложен подход к автоматизации процедуры выбора промежуточных адресов согласования для подсистемы маршрутизации системы электронного документооборота.

Разработано модельное представление процесса выбора маршрута документа, включающее онтологию проблемной области, формальное описание взаимосвязей ключевых слов документа, аспектов функциональности подразделений и критерий выбора маршрута по тематическому принципу.

## Литература References


[1] Кипенко А. А. Аналитика системы электронного документооборота / А. А. Кипенко. – Новосибирск. – Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2010. – Том 8, выпуск 2. – с. 69 – 77.

[2] Шевченко І. В. Моделі оперативного моніторингу бізнес-процесів у підрозділах підприємств / І. В. Шевченко., О. О. Скриль, Я. Р. Захарченко, Ю. М. Самойленко // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2016. – Випуск 6 (101). – с. 86 – 93.

[3] Поліновський В.В., Огурцов М.І. Впровадження системи електронного документообігу в науковій організації // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 4. – с. 60 – 69.

[4] Круковский М. Ю. Метод анализа чувствительности систем электронного документооборота / Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика (СППР 2015). – Тезы доповідей. – Київ. – 2010. – с. 127–128.

[5] Е.В. Малахов, Т.В. Филатова, С.Г. Ахремчук. Блочная модель маршрутизации документа. Труды Одесского политехнического университета. – вып. 2(30). – 2008. – с. 125-129.

[6] Van der Aalst, W. The Application of Petri Nets to Workflow Management / W. van der Aalst// The J. of Circuits, Systems and Computers. – 1998. – №8. – p. 21 – 66.

[7] Завозкин С. Ю. Прототип системы движения документов в системе электронного документооборота КемГУ / С. Ю. Завозкин // Сб. тр. молодых ученых Кемеров. гос. ун-та, посвящен. 60 летию Кемеров. обл. / Кемеров. госуниверситет. – Кемерово: Полиграф, 2003. – с. 67–72.

[8] Тертышный В. А., Шевченко И. В. Модель и метод многоаспектного поиска фактографических данных для поддержки принятия решений. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2016. Вип. 5/2016 (100). С. 19–25.

# Optical Information And Measurement System for Polygon Testing of Small-Dimensional Aircraft

Igor Shostko
Department of Infocommunication Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
E-mail: ihor.shostko@nure.ua

Mykhaylo Neofitnyi
Vice-Rector for Scientific Work
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
E-mail: mykhailo.neofitnyy@nure.ua

Andrew Tevyashev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
E-mail: tad45ua@gmail.com

Sergiy Gulak
NII Laser Technology
Kharkiv, Ukraine
E-mail: s_gulak@ukr.net

# Оптична Інформаційно-Вимірювальна Система для Полігонних Випробувань Малорозмірних Літальних Апаратів

Ігор Шостко
Кафедра інфокомунікаційної інженерії
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
E-mail: ihor.shostko@nure.ua

Михайло Неофітний
Проректор з наукової роботи
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
E-mail: mykhailo.neofitnyy@nure.ua

Андрій Тевяшев
Кафедра прикладної математики
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
E-mail: tad45ua@gmail.com

Сергій Гулак
АТ «НДІ Лазерних технологій»
Харків, Україна
E-mail: s_gulak@ukr.net

***Abstract*—The work is devoted to the development of recommendations for the construction of an optical information and measurement system that provides the detection and support of small-sized aircraft in their field testing**

***Анотація*—Робота присвячена розробці рекомендацій, щодо побудови оптичної інформаційно-вимірювальної системи, яка забезпечує виявлення і супровід малорозмірних літальних апаратів при їх полігонних випробуваннях**

***Keywords—optical-electronic station of trajectory measurements; field testing; small-sized aircraft***

***Ключові слова—оптико-електронна станція траєкторних вимірювань; польові випробування; малогабаритні літаки***

## I. INTRODUCTION

In the context of the intensive development of modern samples of small-sized aircraft (SSA) of special purpose, to test their characteristics at the landfill, there is a need for the development of a modern model of the optical-electronic station of trajectory measurements (OESTM).

OESTM provides detection of air targets in the visible and infrared spectrum range, tracking and issuing coordinates in real time.

Homes can be used for various flight experiments, attestation of flight characteristics of the air target.

OESTM provides information on the trajectory and video information to control the characteristics of small-sized aircraft, with further analysis of their technical characteristics.

For measurements of external trajectory flight parameters of test objects in the whole range of heights and speeds of their flight, registration, processing, transmission of results of trajectory measurements and video images of objects or their operation in real time, maintenance of test objects in any time of the day it is necessary to combine several OESTM into a single information and measuring system (IMS) of the landfill [1, 2].

The authors carried out a patent search and analysis of the existing developments of the IMS [3, 4] and separately considered over 200 designs of USA, France, Britain, Israel, Canada, Russia, Belarus, and others. On this basis, it is concluded that at this time the possibilities of the known analogues of the IMS do not allow to provide growing requirements:

- to the accuracy of the measurement of external trajectory parameters of the flight SSA;
- to the conditions of maintenance of objects of testing throughout the range of heights and speeds of their flight at any time of day;
- before registration, processing and transfer of results of trajectory measurements and video objects of objects during their real-time operation.

Thus, there is a problem regarding the insolvency of the testing ground to provide testing of modern samples of specially designed SSA. To solve this problem, a new solution is proposed for the methodology of constructing the IMS, its components and working algorithms are new and consistent with the world level.

## II. JUSTIFICATION OF THE RELEVANCE OF RESEARCH

The main objective of the testing ground is to measure the external-flight parameters of the flight of objects (coordinates, velocity vector, angular position in space, etc.). The values of these parameters assess the quality of the operation of objects and identify the reasons for the emergence of abnormal situations. OESTM are used to measure these parameters. However, despite the large assortment of OESTM offered by the modern market, such systems are not suitable for field testing of modern SSA.

This is due to the following reasons:

1. Large mass and dimensions of the considered measuring systems do not allow to speak about their mobility in the conditions of the testing ground. The disadvantage of transportation and the complexity of service (in many respects as a consequence of large masses and dimensions) in field conditions during field trials makes it impractical, and sometimes impossible, to use them in principle.

2. Dependence on the conditions of illumination and on weather, as well as the limited range of maintenance of SSA.

Consequently, the use of existing optical measuring equipment is not possible, therefore, for the measurement of foreign-trajectory parameters of the SSA movement, the development of specialized OESTM should be developed and their integration into a single testing center of the testing ground.

Thus, the task for solving this study is relevant.

## III. THE PURPOSE AND TASKS FOR WHICH THE RESEARCH WAS DIRECTED

Object of study. Processes of the functioning of the IMS during external-dimensional measurements of the parameters of the SSA movement during field-testing.

Subject of study. The analysis of the limitations of the IMS based on OESTM for the detection and high-precision maintenance of SSA.

The purpose of the work is to develop recommendations for the construction of an automated optical IMS, which provides support for SSA.

In order to achieve this goal a solution of the following scientific and technical tasks is necessary:

1. Determination of the limitations of OESTM in detecting and providing high-precision SSA support.

2. Determination of the error of trajectory measurements of SSA.

3. Comparison of trajectory measurements of SSA using the angle-distance-finding method or the direction finding method.

## IV. COMPOSITION OF OPTOELECTRONIC STATION OF TRAJECTORY MEASUREMENTS

In the course of research, an experimental sample of OESTM will be used. The structure of which includes:

- high-precision support-turning device;
- a thermal imager;
- a television camera;
- rangefinder.

The support-turning device (STD) is intended for installation of an opto-electronic module (OEM), which includes television and thermal imaging channels, as well as a laser rangefinder. The mean square error of the angular coordinates of the STD is 10 angle sec.

Optoelectronic module:

1. Television channel. FCB-EV7520 Modular, integrated with lens camera, 2.13 MP.

ТАБЛИЦЯ II. THE MAIN CHARACTERISTICS OF THE TELEVISION CHANNEL

| | |
|---|---|
| **Sensor size (optical)** | 1/2.8" |
| **The ratio of S / N** | 50 dB |
| **Total pixels (H × V)** | 1920×1080 pixel |
| **Sensitivity** | 0,01 Lk |
| **Zuma** | 4.3 mm – 129.0 mm |
| **Focus, f** | F1,6 – F4,7 |
| **Horizontal field of view** | 63.7° – 2.3° |

2. Thermal imaging channel.

ТАБЛИЦЯ III. THE MAIN CHARACTERISTICS OF THE THERMAL IMAGING CHANNEL

| | |
|---|---|
| **Detector type** | FPA, 640x480 pixel |
| **Pixel size** | 17 microns |
| **Temperature sensitivity** | 65 K |

3. Laser range finder.

ТАБЛИЦЯ IV. THE MAIN CHARACTERISTICS OF THE LASER RANGE FINDER

| | |
|---|---|
| **Detector type** | 0.5±0.2 mrad |
| **Pixel size** | ~8-10 mJ |
| **Temperature sensitivity** | ~15±4 ns |
| **Range measuring** | 20.000 meters |

## V. ERROR OF TRAJECTORY MEASUREMENTS

The OEM television channel includes: TVS – TV sensor; MB – measuring block; IRD – indication and registration device; CSG – control signal generator; AA – actuator (servo drive STD). Television sensor TVS has in its composition a lens O, photomatrix FM, electronic module EM (video amplifier, clock generator, etc.). The television sensor forms an image of the SSA located in the field of view of the lens and transmits it as an electrical signal to the measuring unit. The measuring block serves to preprocess the image. An executive device, based on signals from the control signal generator, changes one or more parameters of the television sensor (for example, the direction of the optical axis, the exposure time, the degree of opening of the lens aperture) so as to optimize the monitoring conditions of the SSA.

According to the functional scheme of the OEM TV channel, you can determine the contribution of the blocks to the overall error. All without exception, the blocks are sources of errors in the measuring system. One of the main sources of errors is a pair of lenses – a photographic matrix.

The error introduced by a pair of lens/photodetector, in angle, is evaluated as:

$$\otimes\langle T\varsigma\Sigma = 2\alpha\rho\chi\tau\alpha\nu\,[\lambda\pi\iota\chi/2\phi], \quad (1)$$

where: *lpic* is the geometric size of the pixel; *f* is focal length of the lens.

The angle error of the TVS in accordance with the parameters of cameras and lenses used in OESTM is given in Table 4.

ТАБЛИЦЯ V. ERROR TVS

| **Channel** | $\Delta\alpha_{TVS}$, angle sec |
|---|---|
| **Long-focal TV channel** | 0.756 |
| **Heat-visional channel** | 2.813 |

Errors occurring in MB and CSG affecting the measurement result are largely determined by the methodology and mathematical algorithms chosen for their work. The calculation of the position of a point object on each video frame occurs at an accuracy of not less than 1 pixel. However, in case of a short-term disruption of escort due to overlapping of the target with other objects (tree, cloud, etc.), in conditions of obstacles (meteorological conditions, solar glare) the error will increase.

In video systems installed on mobile platforms, taking into account the error of the AA (angle sensors, servo drives) is an extremely important task, since at the present level of the development of the element base, the errors of the rotary platform, as a rule, dominate the errors of the optoelectronic component of the measuring system. AA error for OESTM is equal to 5 angular seconds.

The following factors contribute to the additional error in the measurement of OESTM:

1. Errors due to discrepancy between the centers of the rotary platform and elements of the optical system. With any deviation of the constructive placement of the optical system on the platform from the idealized true angle α, the direction to the target will be different from that actually fixed by the photomatrix of the optical system of the angle ά. The error $\Delta\alpha = \alpha - \acute{\alpha}$ depends on ΔD, the distance between the centers of rotation and the fixing point of the video system, and D, the distance to the SSA.

2. Errors due to the choice of the design of the STD and the placement of the platform for the OEM. Errors of this kind are connected with the accuracy of the installation of the platform plane for fixing the optical system relative to the axes of rotation of the STD and with the possibilities of its alignment. When qualitatively aligned, they can be reduced to zero. They are evaluated only in an experienced way, in the so-called calibration of the zero point of the measuring system.

3. Mistakes related to the non-synchronization of frame registration moments with the corresponding registration of the angular position of the rotary platform. This situation occurs when the fixation of the angular position occurs at the signal of opening the electronic shutter of the optical system or, conversely, when the optical system shutter opens when the corresponding signal from the platform arrives when its position is known. It should be borne in mind that the passage of such signals takes some time, because on their way there are logical elements with a certain speed. Typically, the total delay they make does not exceed hundreds of nanoseconds, so this kind of error can be neglected.

4. Errors caused by the physical state of the atmosphere. Atmospheric Earth Refraction can greatly distort the measurement of the angles of the place ($\varepsilon_m$) performed by the OESTM in the surface air layers. In addition to the effect on the magnitude of the total error, the atmosphere causes a weakening of the intensity of the electromagnetic (light) wave, which leads to a decrease in the range of optical measuring instruments. Corrections for refraction to the value of the angles of the place are taken into account by the expression:

$$\sum_{\delta} = \sum_{\mu} \pm \otimes\sum, \qquad (2)$$

where $\varepsilon_d$ is the real angle of the place of the SSA; $\Delta\varepsilon$ is depends on the temperature, humidity and pressure of the atmosphere, as well as on the angle of the place and the distance of the SSA from OESTM.

Fluctuations in the SSA image due to the turbulence of the atmosphere do not cause a systematic error in the measurements of vertical angles, but random errors increase to 40...45" and more and can only be evaluated qualitatively.

5. Methodical regular error, which is caused by the chosen method of trajectory measurements. Static treatment, based on the use of structural and temporal redundancy when using three (two) OESTM simultaneously, can increase the accuracy of the results of trajectory measurements in comparison with the one-point method.

6. Instrumental random errors of measuring instruments. In order to assess the accuracy of the measuring instruments at the measuring point and the measuring line, they undergo periodic metrological certification (certification).

7. Square-to-right deviations of a single time service (STS) 1 microsecond;

8. Geodetic binding of the points of installation. The geodetic coordinates (latitude, longitude, height) of the points of its standing, as well as the orientation of the measuring axes in relation to "their" local meridians and the horizon, should be determined for the OESTM. The geodetic binding of the points of the OESTM facility is carried out with errors not exceeding 30 cm.

Measurement errors in angle (at an angle of azimuth or at the angle of a place) for one $\Delta\alpha 1$ according to the structural scheme can be represented as:

$$\otimes\langle_1 = \otimes\langle_{T\varsigma\Sigma} + \otimes\langle_{MB,\ X\Sigma\Gamma} + \otimes\langle_{AA}, \qquad (3)$$

where $\Delta\alpha_{TVS}$ is the error of the TVS, $\Delta\alpha_{MB,\ CSG}$ is the errors of MB and CSG, $\Delta\alpha_{AA}$ is the errors of blocks AA.

Error of measurement of range $\Delta r$ is determined by tactical technical characteristics laser range finder.

Thus, the total error of measurement of the coordinates of a point goal using one OESTM, depending on the channel involved, is given in Table 5.

ТАБЛИЦЯ VI. ERROR OF ONE OESTM

| **Channel** | **$\Delta\alpha_1$, angle sec** | **$\Delta R(\Delta\alpha 1)$, m at distances to the object 5 km** | **$\Delta R(\Delta\alpha 1)$, m at a distance of 20 km** | **$\Delta r$, m** |
|---|---|---|---|---|
| Long-focal TV channel | 6.513 | 0.158 | 0.632 | 2 |
| Heat-visional channel | 10.626 | 0.258 | 1.03 | 2 |

In addition to the errors inherent in each OESTM separately, with sequential arrangement of video systems along the route of the SSA flight there are specific errors. In the general case, the moments of the exposure time of the frames of the first video system do not coincide with the moments of exposure of the frames second, and sometimes the video recording frequency may be different. To compensate for time mismatch, a linear interpolation method is used. Since the time interval between the moments of exposure is small enough, we can assume that the angular change in this segment is linear in time.

The total error of measurement in the use of two OESTM can be expressed in the form:

$$\otimes\langle = \otimes\langle_1 + \otimes\langle_{1.2}, \qquad (4)$$

$$\otimes® = \otimes®_1 + \otimes®_{1.2}, \qquad (5)$$

where $\Delta\alpha_{1.2}$, $\Delta\beta_{1.2}$ – respectively error azimuth and angle of the target's with the joint processing of information from two stations.

When properly positioned OESTM on the road on the route SSA can minimize the measurement error of coordinates. To do this, it is necessary to be able to estimate the potentially achievable measurement accuracy in each particular case of equipment placement at the landfill.

## VI. CONDUCTING TRAJECTORY MEASUREMENTS USING AN ANGLE-DISTANCE DETECTION METHOD

Conducting trajectory measurements using an angle-distance detection method.

For conducting trajectory measurements on the territory of a polygon, it is necessary to create a network of geographically dispersed OESTM, forming a single IMS. Each OESTM in its area of responsibility is programmed to support the target in the predicted trajectory. The programming process is automated and carried out simultaneously for all OESTM. For the purpose of issuing a target for each OESTM, it is proposed to use the technology of the sensory infocommunication network [6-13]. It is suggested to use

IEEE 1588 Precision Time Protocol (PTP) to synchronize OESTM. The number of simultaneously involved OESTM depends on the type of target (aircraft, helicopter, quadcopter), the length of the trajectory, which requires the registration of its flight coordinates, meteorological conditions and permissible error of construction of the trajectory. If the listed conditions of trajectory measurements can be carried out using the angle-distance-finding method, one or more of the OESTM located along the target's path are working. In this case, OESTM are arranged so that, during trajectory measurements, the range from OESTM to the target does not exceed the range allowed by the laser range finder for the given data, and the minimum distance to the target is limited to the permissible angular velocity of the target maintenance for the STD and the flight altitude of the target.

For unambiguous determination of the position of a goal in a three-dimensional space, the OESTM must be measured:

- the range of *Dt*;
- the angle of the place of the target ε and its azimuth β;
- the radial velocity of the target *Vr*.

The values of the measured coordinates *Dt*, ε, β essentially form a three-dimensional spherical coordinate system, tied to the horizon and northward to the center at the point of standstill.

To obtain information about the trajectories of the target movement, it is necessary to measure the values of the coordinates of the target repeatedly in time, and then link the resulting points to a single line.

The accuracy of measurements of OESTM is characterized by median error of measurable quantities: azimuth β, angle ε, inclined range of *Dt*, angular rate, velocity *Vr*.

## VII. Conducting trajectory measurements using the direction detection method

If the application of the angle-distance detection method does not allow conditions or it does not provide the necessary parameters of trajectory measurements, then the direction detection method is used. Two (or three) OESTM simultaneously track the movement of one object and determine its coordinates in the function of time. The work of all OESTM synchronizes the service of a single time.

Typically, the IMS consists of three OESTM. One of them performs an auxiliary function and can be used to control the determination of the coordinates of the object. In addition, the simultaneous tracking of three OESTM allows to exclude random errors of measurements when accompanied by the object under sharp angles, as well as in the case when the sun falls in the field of view of one of the OESTM.

When placing OESTM for measurements by directional method, the following considerations should be followed:

1. The location of all OESTM should provide direct visibility within the entire area of the trajectory measurements of the flight of the airspace.

2. Overlap of measuring zones with neighboring OESTM for obtaining continuous measurements of the SSA trajectory.

3. OESTM are placed on both sides of the airplane's flight trajectory (preferably on even distances) in order to reduce methodological errors. The methodological error of trajectory measurements depends on the choice of flight directions for a pair of geographically dispersed OESTM. It is recommended to choose the direction of flight perpendicular to the measuring base closer to its middle.

4. The angular velocity of movement of SSA for OESTM should not exceed the permissible angular tracking speeds for these measuring instruments.

5. In order to achieve high accuracy of trajectory measurements, the length of the measuring base must be in the appropriate relation to the airship's height, the line of sighting by its measuring instruments must intersect at right angles. Reducing this angle increases the methodological error.

6. Arrangement of OESTM should take into account the position of the sun (against the sun, measurements are not carried out) in the hours when it is necessary to use them.

To determine the location of the target in the space by a triangulation algorithm, three independent measurements (or two azimuths and a point of the space, or azimuth, and two angles of the place) must be carried out, which requires two OESTM. Then, the position of the target will be defined as the point of intersection of the three planes specified by these angles.

The accuracy of the measurements by the triangulation algorithm is characterized by median error of the measured values: azimuth, angle of the place.

The accuracy of determining the coordinates of a target is usually estimated with the following assumptions:

- systematic errors are detected and eliminated;
- the random error has a normal distribution law;
- the curvature of the earth's surface is not taken into account;
- the inaccuracy of the time-bound binding of the measurement results of two measuring points to the STS does not exceed $2 \cdot 10^{-6}$ s;
- the measurement errors of the primary parameters are independent.

## VIII. Main results

- the general requirements for the IMS are substantiated, as well as the specific requirements that are presented to individual OESTM during foreign-sector measurements of the parameters of the SSA movement during landfill tests;
- the errors of trajectory measurements of SSA are determined for the experimental sample of OESTM;
- for a network of geographically dispersed OESTM, forming a single IMS, a comparison of the trajectory characteristics of SSA with the use of the angle-distance detection method and the direction detection method.

## REFERENCES

[1] N.A. Rubichev *Izmeritel'nye informacionnye sistemy* [*Measuring information systems*]. M. Russia: Drofa, 2010. (In Russian).

[2] A.A. Zori, S.I. Klevcov and V.D. Korenev. *Informacionno-izmeritel'nye sistemy. Primenenie intellektual'nyh modulej, metodov i sredstv povyshenija tochnosti fizicheskih izmerenij: monografija* [*Information-measuring systems. Application of intelligent modules, methods and tools to improve the accuracy of physical measurements: monograph*]. Doneck, Ukraine: DVNZ «DonNTU», 2011. (In Russian).

[3] V.L.Rudenko. *Metody izmerenij i izmeritel'naja apparatura, primenjaemye pri poligonnyh ispytanijah artillerijskih boepripasov* [*Measuring methods and measuring equipment used for polygon tests of artillery munitions*]. N. Tagil, Russia: FKP «NTIIM», 2015. (In Russian).

[4] S.B. Ivanov. *Oruzhie i tehnologii Rossii: Jenciklopedija. XXI vek T. XI. Optiko-jelektronnye sistemy i lazernaja tehnika* [*Arms and Technologies of Russia: Encyclopedia. XXI century. T. XI. Optoelectronic systems and laser technology*]. M. Russia: dom «Oruzhie i tehnologii», 2005. (In Russian).

[5] H. Kopetz and W. Ochsenreiter. "Clock synchronization in distributed real-time systems", *Computers, IEEE Transactions on*, vol.100(8), pp.933–940, 1987.

[6] S.P. Chaudhuri, A.K. Saha and D.B. Johnson. "Adaptive clock synchronization in sensor networks," in *Proceedings of the 3rd international symposium on Information processing in sensor networks*, ACM, 2004, pp. 340–348.

[7] G Panfilo and P Tavella. "Atomic clock prediction based on stochastic differential equations." *Metrologia*, vol.45(6), pp.108, 2008.

[8] S. Ping. "Delay measurement time synchronization for wireless sensornetworks." *Intel Research Berkeley Lab*, vol.6, 2003.

[9] F. Ren, C. Lin and F. Liu. "Self-correcting timesynchronization using reference broadcast in wireless sensor network." *Wireless Communications, IEEE*, vol.15(4), pp.79–85, 2008.

[10] I.K. Rhee, J. Lee, J. Kim, E. Serpedin and Y.C. Wu. "Clock synchronization in wireless sensor networks: An overview", *Sensors*, vol.9(1), pp.56–85, 2009.

[11] B. Sundararaman, U. Buy and A. D. Kshemkalyani. "Clock synchronization for wireless sensor networks: a survey," *Ad Hoc Networks*, vol.3(3), pp.281–323, 2005.

[12] J.Paek and R.Govindan "RCRT: Rate controlled reliable transport for wireless sensor network," in *Proce. ACM Conf. on Embedded Networked Sensor Systems. Sydney, Australia*, pp. 305–319, 2007.

[13] S. Tao, M.C.Chan, S.V.Muravyov and E.V. Tarakanov. "A Prioritized Converge cast Scheme using Consensus Ranking in Wi reless Sensor Networks," *in Proc. of SAS 2010. Limerick, Ireland*. pp. 251–256, 2010.

# An Statistical Analysis of Queries Receipt Flows in E-Governance Systems

Kyrylo Sazonov
Applied Mathematics Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
kir1218@hotmail.com

Mohamed Alkilani
Applied Mathematics Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
moh_alkilani@yahoo.com

Volodymyr Kobziev
Applied Mathematics Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.kobziev@nure.ua

# Статистичний Аналіз Потоків Надходження Запитів у Системах Електронного Урядування

Кирило Сазонов
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
кir1218@hotmail.com

Мохамед АлКілані
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
moh_alkilani@yahoo.com

Володимир Кобзєв
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.kobziev@nure.ua

***Abstract*—The statistical approach to analyzing the flow of requests in e-governance systems is described. The function and density of the generalized distribution of the time interval between the receipt of requests is given. Two of the three possible boundary distributions do not allow the scale parameter to be evaluated as a dispersion.**

***Анотація*—Описаний статистичний підхід до аналізу потоків запитів у системах електронного урядування. Наведено функцію та щільність узагальненого розподілу інтервалу часу між надходженням запитів. Два з трьох можливих граничних розподілів не дозволяють оцінювати параметр масштабу у вигляді дисперсії.**

***Keywords— e-government systems; flow of requests; statistical distribution of requests characteristics***

***Ключові слова—системи електронного урядування; потоки запитів; статистичний розподіл характеристик запитів***

## I. INTRODUCTION

The current state of information and communication technologies provides rich opportunities for the creation and development of e-government systems in many countries around the world [1]. Increasingly, information, administrative and other services at the state and local level are provided with the use of specialized information systems. The productivity of such systems depends on the qualitative organization of their information space and the coordinated work of qualified personnel and a complex of modern computer and communication equipment in the conditions of constantly growing flows of requests for services.

A large number of simultaneous incoming queries requires a sufficient personnel number, which do pretreatment of requests, documenting the stages of their passage in the system, fulfilling queries for their content, as well as the control of the accuracy and timing of queries processing. That is why it is important to carefully analyze the nature of the queries flows in e-governance systems.

## II. A GENERAL DESCRIPTION OF THE QUERIES FLOWS

The work of E-gov systems with query flows can be considered on the model of the system of mass service (SMS), in which the unit of flow is called the application, and the service device is a channel. A characteristic feature of such systems is: the presence of a flow of applications coming from outside; transforming this flow in accordance with the current technological process in the system and the outflow of applications [2].

It is known that the formation of the SMS model consists of two subtasks: the formalization of structural transformation and the study of the structure and parameters of the input flow and flow of service. In accordance with the structural

structural transformation of information, such systems differ on several following features: the behavior of the application in the case when all channels are occupied (systems with failures and waiting systems); limited input flow (systems with limited or unlimited flow of applications); discipline of service applications (without prioritization, with relative or absolute priorities); consistent channel participation for a series of actions with applications (single or multiphase).

The analysis of the peculiarities of the flow of requests in e-government systems is based on the processing of pre-assembled arrays of relevant statistics. There are two fundamentally different analysis possibilities: to investigate the array of discrete random variables representing the number of requirements k distributed at intervals of time t or to investigate an array of continuous random variables representing the time intervals between the receipt of two neighboring applications in the SMS.

In the first (discrete) approach, the simplest flow model is most often considered (the probability that the arbitrary time interval t will be exactly k requirements) leads to the Poisson's law. In the second approach (in the case of the study of continuous random variables), the simplest flow is described by a continuous function (or density) of the distribution.

The most frequently considered stationary flow without aftereffects, for which the intervals between events are distributed according to the normal law (it is called the normal flow). However, the characteristic feature of real situations in E-gov systems is a combination of several stationary flows, that is, inflow of flows with different values of the parameters of continuous distribution.

## III. Statistical approach to estimating flows characteritics

The large number of incoming requests in real E-gov systems allows us to proceed to consider the behavior of the statistical parameters of requests with a significant increase in their number. In the theory of extremal values, this situation leads to one of three variants of the limiting distributions of the largest values.

In [3] it is established that there are three types of boundary distributions, each of which has a specific behavior of the largest absolute values of a random variable. The first of the established classes covers the group of distributions of output quantities of the exponential type. The second class is defined for distributions of the type of Cauchy with heavy tails, and the output variables are unlimited for the largest values from below, for the smallest values above, or in both directions. The third class is valid for distributions of quantities that are bounded up or down.

It is also known [3] that a linear random variable function in each of the three extreme distributions is also an extreme value.

The generalized distribution of extreme values has the form:

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}\right\},$$

where: $\mu$ - placement parameter, $\sigma$ - scale parameter, $\xi > 0$ - form parameter.

The density function is given by the expression:

$$f(\xi,\mu,\sigma) = e^{-\left(1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-1/\xi}\right)} \cdot \frac{1}{\sigma}\left(1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)^{-(1/\xi)-1}.$$

It is a generalization of the Humbel, Frechet, and Weibull distributions, which are used for the approximate modulation of the maxima of finite sequences of random variables.

By using the specified generalized distribution parameters, Euler constants and gamma functions, if necessary, one can determine the mathematical expectation, variance, median, mode, and the excess coefficient of the generalized distribution of extreme values.

Of the three mentioned types of limit distributions, only the first allows estimating the spread of values as a dispersion. The fact is that the integral, through which the variance is calculated, does not converge for other types of distributions.

Using these patterns, one can analyze the statistical distribution of request flows in E-gov systems. Moreover, the behavior of the average characteristics of the query flows can be estimated by standard methods, as a parameter of the scattering of values around the mean, you need to use the selective variation or the interval between the previously selected quantiles of the obtained distribution.

## IV. Conclusions

It is shown that in the case of a large number of requests received for processing in E-gov systems, it is possible to use a statistical description of their flows. Depending on the characteristics of the unknown distribution of the time of receipt of requests, it is necessary to analyze the limit distribution of extreme values and take into account its type to estimate the average parameters and parameters of values around the average when processing real flows of processing requests in E-gov systems.

## References


[1] AlKilani M. Almabrouk. Principles of accjnting requests in E-gov systems // Информационные системы и технологии: материалы 5-й Международ.науч.-техн. конф., Харьков, 12-17 сентября 2016 г.: тезисы докладов /[редкол.: А.Д. Тевяшев (отв. ред.)]. – Х.: НТМТ, 2016. – с.18.

[2] Хемди А. Таха. Глава 17. Системы массового обслуживания // Введение в исследование операций = Operations Research: An Introduction. — 7-е изд. — М.: «Вильямс», 2007. — С. 629—697.

[3] Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. – М.: Мир, 1965. – 450 с.

# Автоматизація Виявлення Надзвичайних Ситуацій на Потенційно Небезпечних Об'єктах

Вадим Яковенко, Юлія Ульяновська
кафедра інформаційних систем та технологій
Університет митної справи та фінансів
Дніпро, Україна
yakovenko@ua.fm yuliyauyv@gmail.com

# Automation of Emergencies Detection on Potentially Dangerous Objects

Vadym Yakovenko, Yuliya Ulianovska
Department of Information System and Tehnologies
University of Customs and Finance
Dnipro, Ukraine
yakovenko@ua.fm yuliyauyv@gmail.com

***Анотація*—Розглядається питання розробки автоматизованої системи раннього виявлення надзвичайних ситуацій техногенного характеру на підприємствах підвищеної небезпеки. Сформульовані вимоги та функціональні задачі системи.**

***Abstract*—The issue of the development of an automated system for the early detection of man-made emergencies at high-risk enterprises is considered. Formulated requirements and functional tasks of the system.**

***Ключові слова— надзвичайна ситуація; автоматизована система***

***Keywords— emergency situation, automated system***

## I. Вступ

Аналіз стану техногенної безпеки в Україні свідчить про наявність великої кількості об'єктів, аварії на яких можуть призвести до виникнення надзвичайних ситуацій (НС) різного характеру. В Україні існує високий рівень ризику виникнення НС, пов'язаних із аваріями з викидом або загрозою викиду небезпечних хімічних речовин. Він пов'язаний з функціонуванням 711 об'єктів, на яких зберігається або використовується у виробничій діяльності більше 285 тис. т небезпечних хімічних речовин, у тому числі: більше 3 тис. т хлору, 183 тис. т аміаку та близько 99 тис. т інших небезпечних хімікалій [1].

Враховуючи важливість захисту населення та природного середовища від НС на об'єктах підвищеної небезпеки Кабінетом міністрів України була розроблена та затверджена Методика визначення ризиків та їх прийнятих рівнів для декларування безпеки об'єктів небезпеки (ОПН), а також нормативи порогових мас небезпечних речовин [2].

На підприємствах підвищеної небезпеки для раннього виявлення надзвичайних ситуацій та, у випадку їх виникнення сповіщення людей, які знаходяться в зонах можливого ураження, впроваджуються автоматизовані системи (АС). У разі виявлення загрози або виникнення надзвичайної ситуації АС повинна автоматично здійснювати інформування про виявлену загрозу відповідальних осіб, на яких покладено виконання певних дій щодо недопущення виникнення НС або мінімізації негативних наслідків у разі її виникнення [3].

## II. Функціональні задачі автоматизованої системи раннього виявлення НС

На підприємствах підвищеної небезпеки для раннього виявлення надзвичайних ситуацій та, у випадку їх виникнення сповіщення людей, які знаходяться в зонах можливого ураження, впроваджуються автоматизовані системи (АС). У разі виявлення загрози або виникнення надзвичайної ситуації АС повинна автоматично здійснювати інформування про виявлену загрозу відповідальних осіб, на яких покладено виконання певних дій щодо недопущення виникнення НС або мінімізації негативних наслідків у разі її виникнення. Система раннього виявлення НС та оповіщення (СРВНСО) повинна виконувати такі функції:

- безперервно отримувати данні від джерел первинної інформації, контролювати в реальному вимірі часу відповідність поточних (граничних) значень параметрів проектним режимам технологічного процесу об'єкта та (або) унормованим значенням параметрів джерел НС природного характеру,

- інформувати працівників, відповідальних за функціонування технологічного обладнання,

- щодо виявлених фактів досягнення докритичних та критичних значень параметрів, які контролюють,

- інформувати посадових осіб, які відповідають за стан техногенної безпеки об'єкта, про факти досягнення критичних значень параметрами, які контролюють.

Сигнали від джерел первинної інформації передаються як за допомогою електричних сигналів так і за допомогою бездротового зв'язку у вигляді GSM повідомлень, радіосигналів та ін.

Система раннього сповіщення повинна забезпечувати:

- підвищення ефективності попереджень НС за рахунок своєчасного виявлення порушень в технологічному процесі;

- підвищення імовірності виявлення НС за рахунок використання якісно нових моделей представлення даних та знань а також методів їх обробки;

- простоту адаптації системи до можливих технологічних змін.

В процесі збору даних від ДПІ про поточний стан джерел техногенної небезпеки ПНО та природної небезпеки здійснюється формування відповідних сповіщень у випадку виявлення порушень працеспроможності технічних засобів системи, порівняння отриманих від ДПІ поточних значень параметрів, що контролюються з заздалегідь встановленими граничними значеннями та формування у випадку їх досягнення відповідних повідомлень, формування відповідних повідомлень у випадку порушення (відновлення) зв'язку з ДПІ, відмови (відновлення) працездатності ДПІ, блокування формування повідомлення у випадку відмовлення ДПІ або порушення зв'язку з ним.

Сигнал від датчиків передається на газоаналізатор, який обробляє сигнали і передає інформацію на модемний пристрій, з якого передаються дані до пульту центрального спостереження. На первинні сигнали та лінії передачі повідомлень можуть впливати перешкоди як зовнішні так внутрішні, що призводить до спотворення сигналу і передачі хибного повідомлення. Визначення випадків фізичного виходу з ладу пристроїв та ліній передачі даних (поломки, обриви кабелю) вирішується шляхом відправки зворотного сигналу. Задача розпізнавання помилкового сигналу, який виникає у наслідок атмосферних явищ, людського фактору та збоїв на сьогоднішній день вирішується «вручну» що є нераціональним. Саме тому задача автоматизованого визначення хибного сигналу є актуальною.

Сформулюємо постановку задачі. Нехай N джерел повідомлень передають повідомлення $x_1$, $x_2$,…, $x_n$ до пристрою (газоаналізатору). Необхідно перетворити сукупність $\{x_i\}$ в груповий сигнал $S_\Sigma(t)$. Груповий сигнал проходить по ущільненому каналу на пристрій з адитивною перешкодою $n(t)$ і приймач повідомлення отримує його від пристрою розділення у вигляді

$$U_\Sigma(t) = S_\Sigma(t) + n(t). \quad (1)$$

Задача пристрою розділення полягає в розділенні групового сигналу $U_\Sigma(t)$ і перетворені його у сукупність повідомлень $y_1, y_2, \ldots, y_n$.

Для цього необхідно здійснити вибір системи функції $\{S_i\}$ таким чином, щоб забезпечити відновлення $x_i$ через $y_j$ по прийнятому груповому сигналу $U_\Sigma(t)$.

Щоб виключити можливий вплив індивідуальних сигналів друг на друга вони повинні бути ортогональними [4]. Тобто для будь якої пари сигналів $S_i$, $S_j$, $i \neq j$ повинно виконуватись одна з умов

$$\int_{-T/2}^{T/2} S_i(\varpi,\Theta,t)\cdot S_j(\varpi,\Theta,t)dt = 0, \quad (2)$$

де: Т- тривалість елемента сигналу, ω – частота сигналу, Θ – просторовий кут нагляду за сигналом.

Для дискретних сигналів, які можуть бути представлені $N$ вимірним вектором $X = (x_0, x_1, \ldots, x_i, \ldots, x_{N-1})$, де $x_i$ – числове значення сигналу в і-й точці дискретного відліку, можуть бути застосовані методи перетворення, які дозволяють відтворювати вихідні сигнали з достатньою точністю при меншій кількості відліків [5].

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в україні за 2016 рік [електронний ресурс] http://undicz.dsns.gov.ua/ua/analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v-ukrayini.html

[2] Постанова Кабінету міністрів України «Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки» від 11 липня 2002 р. № 956 [Електронний ресурс] http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/956-2002-п

[3] Автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення. ДБН В.2.5.-76:2014. К.: Мінрегіон України.- 2014.- 38 с.

[4] Васильев, К.К. Теория электрической связи: учебное пособие [Text]// К.К. Васильев, В.А. Глушков, А.В. Дормидонтов, А.Г. Нестеренко; под общ. ред. К.К. Васильева / – Ульяновск: УлГТУ.- 2008. – 452 с.

[5] Филиппенко, И.Г. Многоуровневое прямое и обратное преобразование дискретных сигналов [Text] // И.Г. Филиппенко, О.И. Филиппенко / Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2010. - №4/3 ( 46 ). - С.29-32.

Секція 2

Математичне та комп’ютерне моделювання у інформаційних системах

Section 2

Mathematical and computer modelling in information systems

# Technological Chain Modeling to Control the Quality of New Product Manufacturing

Valery Semenets
Rector
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
valery.semenets@nure.ua

Volodymyr Beskorovainyi
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Olha Shevchenko
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
1375helga@gmail.com

# Моделювання Технологічних Ланцюгів для Контролю Якості Виробів Нової Техніки

Валерій Семенець
ректор
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна,
valery.semenets@nure.ua

Володимир Безкоровайний
кафедра системотехніки,
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Ольга Шевченко
кафедра системотехніки,
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
1375helga@gmail.com

***Abstract*—On the basis of the decomposition of the production technological processes optimization problem, the main tasks of their analysis and synthesis, which are solved at the main stages of their life cycles, were identified. A logical scheme of the system optimization as territorially distributed objects is proposed. As a detailed description of the logical scheme an information model of the technological chain is presented, which allows not only to reflect the process of finished products quality forming, but also to quantify the impact of each technological operation on its formation.**

***Анотація*—На основі декомпозиції проблеми оптимізації виробничих технологічних процесів виділено основні задачі аналізу та синтезу, що вирішуються на основних етапах їх життєвих циклів. Запропонована логічна схема системної оптимізації технологічних процесів як територіально розподілених об'єктів. Як деталізація логічної схеми наведена інформаційна модель технологічного ланцюга, яка дозволяє не тільки відобразити процес формування якості готової продукції, але й оцінити кількісно вплив кожної технологічної операції на її формування.**

***Keywords—technological process, life cycle, system optimization, technological chain, information model.***

***Ключові слова—технологічний процес, життєвий цикл, системна оптимізація, технологічний ланцюг, інформаційна модель.***

## I. INTRODUCTION

The design processes, the development, the modernization and a re-engineering of the modern manufactures planning expect resolving the set of the interconnected tasks of the technological processes (TP) optimization, which are applied on them [1, 2]. Modern TP of the new equipment creation can combine a complex technological chains (TC) and separate technological operations, have complex relationship between the elements, characterizing by a considerable not stationarity. This significantly complicate the task of the getting their adequate mathematical descriptions.

The manufacturing TP optimization consists of the best variants choosing from the set with the admissible one, that satisfy functional and cost restrictions of the rates set (quality, product cost, system efficiency, the equipment loading, etc.) [3]. One of the first tasks here is the system optimization task of TP, that is resolving at the all main stages of their life cycles and provides compatible synthesis of the manufacture and administrative subsystems. The resolving problem of the TP optimization is done with the help of mathematical modelling, that provides their system representation with the further analysis of their structure, mathematical description development and the studied parameters assessment.

## II. BACKGROUND

Generally, technological processes should be considered as territorially or spatially the dispersed objects (systems) $s = < E,R,G >$ (where $E$ – the set of TP elements; $R$ – the set of the relationships between the elements; $G$ - TP topology, that determines territorial or spatial elements' distribution and relations between them) [4]. The TP optimization purpose is its efficiency maximization (extent of effect ratio from its functioning $Q$ and the spent resources $C$). Effect from TP use is considered as not decreasing function from the resources spent for its achievement $\overline{Q} = F(\overline{C})$ (where $\overline{Q}$, $\overline{C}$ - the generalized scalar assessments of effect and expenses; $F$ – an operator, that displays a resources use strategy, spent for TP).

Optimization models of TP and TC should establish relation between effect rates and charges and their structural, parametrical, topological characteristics. At the same time close task interrelation of a structural, functional, parametrical and topological synthesis, which require their unite resolving, creates the problem, for which resolving a development of the corresponding system methodology is needed [5–6]. In a context of the aggregation-decomposition approach, it could be considered as metatask, that consists of the set of tasks, which are belong to different hierarchical levels, with their interrelations according to input data and resolving results:

$$MetaTask = \{ Task^l \},\ Task^l = \{ Task_i^l \},\ l = \overline{1,n_l},\ i = \overline{1,n_i}, \quad (1)$$

where $n_l$ – an amount of description levels, $n_i$ – a task amount on level $l$. At the low level a task complex of the system optimization is resolving: a construction principles selection; a structure selection; a definition of the elements topology and relations; a functional optimization; a definition of the elements parameters and relations; an efficiency and a decision choosing assessment. One of the important task in the efficiency assessment process процесі and decision choosing according to quality TP is a task of the control and equipment quality assessment at all its stages (operations).

The main source of information, that opens an essence of TP and TC, are their mathematical models. The main purpose of these models considers the interrelation structure of disclosure between components of processes (chains) and the development of algorithms for their controlling. In the same time in modelling process the tasks of interoperational relationships analysis (technological chains modeling) and establishment of dependences between parameters of preparations inside the operation (technological operation modeling) are resolved. The greatest spread for resolving such tasks have got methods of the theory of correlation, experiments planning and information modeling. During information modeling method using, TC is given in a form of information channel, which information about the one preparation parameter is moving at який надходить інформація про один параметр заготівки. Gradually such channel is changing to the information about the prepared detail [7].

The carried-out review of the current state of the TP system optimization problem found out the contradiction, which specifies that existent technologies allow conditionally independent task resolving of their structural, topological and parametrical optimization, that doesn't allow to provide efficiency and heredity of decisions, which are accepted at the different stages of their life cycles. This means the urgency of the task of TP system optimization methodology development, that provides the right problem decomposition to the task complexes, which are belong to different description levels and their optimization stages, the development of the complex of the corresponding mathematic models, methods and technologies.

## III. RESEARCH RESULTS

Technological chains modeling for quality control of the new equipment products performs together with the development of the other means of methodical, mathematical, information providing computer-aided engineering systems of TP [8–10]. From the information technologies point of view, each of these tasks represents itself the input data converter to output data:

$$Task_i^l : In_i^l \rightarrow Out_i^l,\ l = \overline{1,n_l},\ i = \overline{1,n_i}. \quad (2)$$

where $In_i^l$, $Out_i^l$ - input and output data correspondingly of the $i^{th}$ task of the $l^{th}$ level.

When systems concept is used according to TP optimization problem, a rational sequence of the whole task complex resolving is determined (1). The technology of TE system optimization task resolving is based on the ideas of aggregation-decomposition concept, of system analysis and of system design of a complex systems [11].

For the TP system optimization scheme creation $S_{TP}$ it's necessary to define the five sets:

$$S_{TP} = <Tasks, InDat, Res, DesDec, ProcDec>,$$

where $Tasks = \{ Task_i^l \},\ l = \overline{1,n_l},\ i = \overline{1,n_i}$ - the ordered set of tasks (1), *InDat* – the set of the input data of the task (1), *Res* – the set of the task's restrictions (1), *DesDec* – the set of the optimized decisions, *ProcDec* – the decisive procedure, that sets for each input data and restriction pare $< InDat_i^l, Res_i^l >$, nor empty subset of optimized decisions $\{ DesDec_i^{n_l} \}$, $i = \overline{1,n_i}$.

All tasks (1) from the *Tasks* set are completely solved, if for all tasks $Task_i^{n_l}$ optimization procedures $ProcDec_i^{n_l}$ are exist and each optimized decision $DesDec_i^{n_l}$ is the only one

$$\left| ProcDec_i^{n_l}( InDat_i^{n_l}, Res_i^{n_l} ) \right| = 1 \quad \forall i = \overline{1,n_i}.$$

During the process of the interrelations analysis of system optimization problems of TP (1) each of their models is given as:

$$ModTask_i^{n_l} : \{ InDat_{iE}^{n_l}, InDat_{iI}^{n_l}, Res_i^{n_l} \} \rightarrow$$

$$\rightarrow DesDec_i^{n_l},\ i = \overline{1,n_i},$$

where $InDat_{iE}^{n_i}$ - the set of an external input data in a relation to task complex (1), $InDat_{iI}^{n_i}$ - the set of an internal input data in a relation to task complex (1), $Res_i^{n_i}$ - the set of the restrictions of the $i^{th}$ task, $DesDec_i^{n_i}$ - the solution of the $i^{th}$ task.

After the results of the tasks complex analysis (1) it has been determined, that an external in a relation to them input data $InDat_{iE}^{n_i}$ for all tasks $i=\overline{1,n_i}$ are the same [11]. The analysis of the input and output data of the system optimization tasks models $ModTask_i^{n_i}$, $i=\overline{1,n_i}$ displayed, that they all are dependent between each other by internal input and output data. Proceeding from it, it's reasonable to build the technology of the total system optimization task resolving on the basis of the consecutive iterative scheme.

At the same time, from received optimized solution $DesDec_i^{n_i}$ of the immediate task $Task_i^{n_i}$, $i=\overline{1,n_i-1}$ input data $InDat_{i+1}^{n_i}$ and restrictions $Res_{i+1}^{n_i}$ in decisive procedures $ProcDec_{i+1}^{n_i}$ for future tasks $Task_{i+1}^{n_i}$ would form. In such a way "short circuit" of the consecutive scheme tasks would be done:

$$\exists\, DesDec_i^2 \in DesDec: Tr(\, InDat_{i+1}^2 \vee Res_{i+1}^2 \in DesDec_i^2\,),$$

$$i=\overline{1,n_i-1},$$

where *DesDec* – the set of optimized solutions, *Tr (True)* – validity of a statement $(InDat_{i+1}^{n_i} \vee Res_{i+1}^{n_i} \in DesDec_i^{n_i})$.

On the basis of formalization of the TP's creation purpose (3) and its decomposition to a complex with an interconnected tasks, a net model of the system optimization task is suggested. On the basis of a net model, a system optimization logical scheme is created, which allows to define a rational sequence of the resolving whole TP's system optimization task complex.

In the TC modelling process, the ideas of system task analysis [12] and ideas of the information modelling [7] have been used. Technological chain is given as information channel, where an information about preparations and accessories is coming at. That information consistently turns, to the information about the finished product (fig.1).

Let it designate as $X=\{X^{(i)}\}$, $i=\overline{1,n_I}$ the set of the parameters, that characterize preparations and accessories, and as $Y=\{Y^{(j)}\}$, $j=\overline{1,n_O}$ - the set of parameters, that characterize a finished product. Then: $H(X_1), H(X_2),..., H(X_n)$ - an information amount, that is put into preparations and accessories parameters $X$ after the first, the second and the, $n^{th}$ operations; $H(Y)$ - an information amount, that is put into a finished product parameters $Y$; $I(X_n) \Rightarrow Y/X_1, X_2,..., X_{n-1}$ - an information amount, that was transferred to a finished product parameters $Y$ from preparations and accessories after *n* operations.

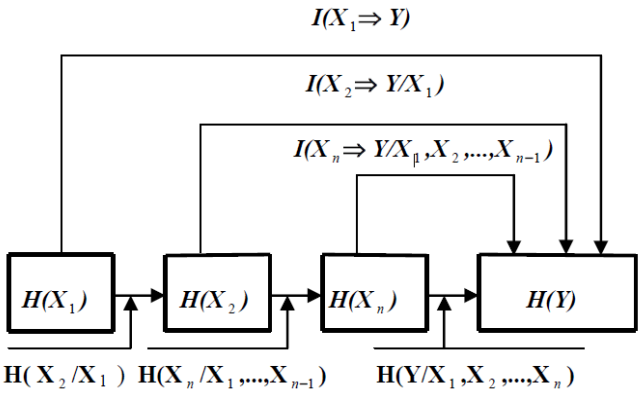



Fig. 1. The information scheme of the technological chain

On this basis a system of the equations is formed. This system allows to define a consecutive gain of information, that is transferred to input parameters after each operation in technological chain [7]:

$$\begin{cases} I(X_1 \to Y) = H(Y) - H(Y/X_1); \\ I(X_2 \to Y/X) = H(Y/X_1) - H(Y/X_1 X_2); \\ \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ I(X_n \to Y/X_1,...,X_{n-1}) = H(X_1,...,X_n), \end{cases} \quad (3)$$

where $I(X_n \to Y/X_1,...,X_{n-1})$ – an information amount about preparations and accessories parameters $X$ after the $n^{th}$ operation, which is a part of the output information, that characterizes $Y$; $H(Y)$ – an information amount (an entropy) about parameter $Y$, which contains in finished products; $H(Y/X_1 X_2)$ – an information amount (an entropy), got as a result of action at $Y$ unaccounted factors.

Components ration, that are a part of the information about $Y$, will depend from extent of influence as input parameters $X$, as unaccounted factors, which influence at output parameters $Y$.

If the input parameters influence $X$ after the $k^{th}$ operation at the output parameters $Y$ is absent, then

$$I(X_i) \to Y \mid X_1 X_2,...,X_{i-1}) = 0;$$

$$H(Y) = H(Y \mid X_1 X_2,...,X_{i-1}).$$

It corresponds a case of a full uncertainty of the obtained information according to the output parameters $Y$.

If information about the output parameters $Y$ is completely defined by parameters $X$ after the $i^{th}$ operation, then:

$$H(Y) = H(Y \mid X_1 X_2,...,X_{i-1});$$

$$I(X_i \to Y \mid X_1 X_2,...,X_{i-1}) = 0.$$

Considering that:

$$H(Y \mid X_1 X_2,...,X_n) = I(Y, X_1 X_2,...,X_n) -$$
$$-H(X_1 X_2,...,X_n),$$

system of the equations (3) could be represented as [7]:

$$\begin{cases} I(X_1 \to Y) = H(X_1) + H(Y) - H(X_1Y); \\ I(X_2 \to Y|X_1) = H(X_1X_2) - H(X_1X_2Y) - H(X_1) + H(X_1Y); \\ I(X_3 \to Y||X_1X_2) = H(X_1X_2X_3) - H(X_1X_2X_3Y) - \\ -H(X_1X_2) + H(X_1X_2Y); \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ I(X_n \to Y|X_1X_2...X_{n-1}) = H(X_1X_2...X_n) - \\ -H(X_1X_2...X_nY) - H(X_1X_2...X_{n-1}) + H(X_1X_2...X_{n-1}Y). \end{cases} \quad (4)$$

Extent of influence of the parameters $X$ that are turned to parameters $Y$ after each operation, in a context of the information modelling is possible to estimate with the information communication coefficient $R_I$:

$$\begin{cases} R_I(X_1 \to Y) = I(X_1 \to Y)/H(Y); \\ R_I(X_2 \to Y) = I(X_2 \to Y/X_1)/H(Y); \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ R_I(X_n \to Y) = I(X_n \to Y/X_1,...,X_{n-1}))/H(Y). \end{cases} \quad (5)$$

From a system of the equation (5) follows, that: information communication coefficient $R_I = 1$, if the information about the finished product is completely defined by the information about preparations and accessories; $R_I = 0$, if parameters of the finished product don't depend from preparations and accessories parameters; in a general case $0 < R_I < 1$.

## IV. Summary

Modern production technological processes are complex objects that are dispersed territorially or spatially. The problem of their system optimization provides the solution of a complex of tasks of structural, functional, parametrical and topological synthesis, which belong to different hierarchical levels of decomposition. The logical scheme of the technological processes system optimization as territorially distributed objects is suggested. As the scheme specification for efficiency assessment and decision choice, the information model of the technological chain is suggested, which allows not only display the formation process of the finished product quality, but also to estimate quantitatively the influence of each technological operation for its formation.

## Література References


[1] V. Shapovalov, A. Klochko, M. Gasanov, O. Antsyferova, A. Belovol, "Optimizing the technology of reconditioning large high precision gear rims", Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості, № 1 (3), с. 59–70, 2018.

[2] Н.Г. Стародубцев, Ф.В. Фомовский, В.В. Невлюдова, И.А. Малая, Н.П. Демская, "Математическое моделирование выбора информативных признаков для анализа состояния процессов жизненного цикла радиоэлектронных средств", Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості, № 1 (1), с. 82–89, 2017.

[3] С.В. Илюшина, "Методы оптимизации технологических процессов", *Вестник Казанского технологического университета,* т. 17, № 8, с. 323–327, 2014.

[4] В.В. Бескоровайный, "Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем", *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*, Вып. 120, с. 29-37, 2002.

[5] Дж. Клир, Системология. Автоматизация решения системных задач: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 544 с., 1990.

[6] А.А. Тимченко, Основи системного проектування та аналізу складних об'єктів: У 2-х кн. Кн. 1. Основи САПР та системного проектування складних об'єктів / За ред. В.І.Бикова. – К.: Либідь, 272 с., 2000.

[7] В.Г. Григорович, С.В. Юдин, Н.О. Козлова, В.В. Шильдин Информационные методы в управлении качеством.– М.: РИА «Стандарты и качество», 208 с., 2001.

[8] О.Ю. Шевченко, А.С. Котов, Д.Е. Лисенко, "Оценка полноты и достоверности информационного обеспечения технологической подготовки производства", Системи обробки інформації, № 4(78), с. 199-202, 2009.

[9] А.С. Котов, О.Ю. Шевченко, "Концептуальное моделирование информационного обеспечения автоматизированного проектирования технологических процессов", Системи управління навігації та зв'язку, № 3 (11), с. 211-215, 2009.

[10] А.С. Котов, О.Ю. Шевченко, "Иерархическая теоретико-множественная модель задачи выбора технологических решений", Радіоелектронні і комп'ютерні системи, №1, с. 149-153, 2010.

[11] В.В. Бескоровайный "Синтез логической схемы системного проектирования территориально распределенных систем", *Радиоэлектроника и информатика,* №. 3, с. 94 – 96, 2002.

[12] А.А. Тимченко, "Системний аналіз процесів та моделей взаємозвязків і взаємодій. Лінійні статичні системи", *Вісник Черкаського державного технологічного університету,* №. 1, с. 110 – 117, 2017.

[13] А.А. Тимченко, "Системний аналіз процесів та моделей взаємозвязків і взаємодій. Лінійні динамічні системи", *Вісник Черкаського державного технологічного університету,* №. 3, с. 65 – 71, 2017.

[14] А.А. Тимченко, "Системний аналіз математичної задачі. Задачі побудови моделей", *Вісник Черкаського державного технологічного університету,* №. 4, с. 74 – 81, 2017.

# Parametric Identification of Utility Functions in Multicriterion Task Model Models

Volodymyr Beskorovainyi
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Oksana Draz
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
oksana.draz@nure.ua

Veronika Yanush
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
nikayanush16@gmail.com

# Параметрична Ідентифікація Функцій Корисності в Моделях Задач Багатокритеріального Оцінювання

Володимир Безкоровайний
кафедра системотехніки,
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Оксана Драз
кафедра системотехніки
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
oksana.draz@nure.ua

Вероніка Януш
кафедра системотехніки
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
nikayanush16@gmail.com

***Abstract*—For models of multicriteria estimation of design and management decisions based on the Kolmogorov-Gabor polynomial, a modification of the function of the utility of variants by partial criteria is proposed. The mathematical model of the problem of parametric synthesis of known utility functions is formulated, the method of its solution is proposed, and estimates of their accuracy are obtained. It is established that the highest accuracy of approximation of DM estimates has been proposed modification of the utility function of partial criteria.**

***Анотація*—Для моделей багатокритеріального оцінювання проектних і управлінських рішень, що побудовані на основі полінома Колмогорова-Габора, запропонована модифікація функції корисності варіантів за частковими критеріями. Сформульована математична модель задачі параметричного синтезу відомих функцій корисності, запропоновано метод її розв'язання та отримано оцінки їх точності. Встановлено, що найвищу точність апроксимації оцінок ОПР має запропонована модифікація функції корисності часткових критеріїв.**

***Keywords—task of multicriteria assessment, model, utility function, parametric synthesis.***

***Ключові слова—задача багатокритеріального оцінювання, модель, функція корисності, параметричний синтез.***

## I. Introduction

The problem of decision-making is an integral part of all stages and stages of life cycles of anthropogenic objects. Traditionally, decisions are made by person or group of decision-makers (DM). The importance of adopting effective solutions in automated design or management systems leads to the need for formalization of these procedures and the creation of appropriate selection methods based on a plurality of indicators [1]. The methodology for solving such problems is based on the theory of decision-making [2–3]. In this case, the choice of the best solution from the set of effective only in the simplest situations can be DM without the use of formal methods or using the method of analysis of the hierarchy. To automate the procedures for evaluating alternative solutions, it is necessary to involve additional information on the value of individual formalized properties (partial criteria) and their meanings. At the same time, one of the priority tasks is the problem of synthesis of models for scalar multicriteria estimation of variants. This determines the relevance of the task of developing a mathematical model for evaluation and selection of solutions by a set of partial criteria.

## II. Analysis of the current state of the problem

The solution of optimization problems by a plurality of partial criteria is based on the theory of utility within the framework of the orthogonal (ordering of alternatives to DM) or cardinal (quantitative generalized efficiency criterion) approaches [4]. In systems of automated design and management there is a need for quantitative estimate $P(q,x)$ for each of the options $x$, belonging to the set of admissible $x \in X$ (where $q$ – vector of parameters of the general utility function). In this case, for all variants of the set of permissible $x,y \in X$ the conditions are satisfied: strict $x \succ y \leftrightarrow P(q,x) > P(q,y)$, non-strict $x \sim y \leftrightarrow P(q,x) = P(q,y)$ preferences or their equivalence $x \tilde{\succ} y \leftrightarrow P(q,x) \geq P(q,y)$.

Due to the incomplete certainty of the requirements for the properties of multicriteria solutions as a total utility function (TUF), use the function of belonging to the fuzzy set "Best option" $x^o$, which can be presented as a set of ordered pairs [5]:

$$x^o = \{< x, P(q,x) >\}, \quad (1)$$

where $x \in X$ - solutions from the set of permissible ones; $P(q,x)$ - value of the function (degree) of the decision of the $x \in X$ fuzzy set "Best option" (1).

Determination of the metric for ranking of solutions from the set of admissible $x \in X$ is carried out using additive, multiplicative, or combined functions $P(q,x)$ [6]. The most universal TUF $P(q,x)$ is a function built on the basis of the Kolmogorov-Gabor polynomial [7]:

$$P(q,x) = \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \cdot \xi_i(x) + \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=i}^{m} \lambda_{ij} \cdot \xi_i(x) \cdot \xi_i(x) + \ldots, \quad (2)$$

where $m$ - number of partial criteria; $\lambda_i, \lambda_{ij}$ - weight coefficients of partial criteria $k_i(x)$ and their multiplications, $\lambda_i \geq 0,\ \lambda_{ij} \geq 0$, $i = \overline{1,m}$; $\xi_i(x)$ - partial criterion utility function (PCUF) $k_i(x)$, $i = \overline{1,m}$.

At the same time to the (PCUF) $\xi_i(x)$, $i = \overline{1,m}$ a number of requirements are put forward [7–8]: monotony, dimensionality; same range of change (from 0 to 1); invariance to the type of extremum; realization of linear, convex, concave, *S*- and *Z*-like dependencies on the values of partial criteria $k_i(x)$, $i = \overline{1,m}$. In addition, it is desirable that the utility function of all partial criteria should have the same form and differ only in the values of the parameters. This would reduce the task of their choice to the parametric optimization problem.

If in the estimation model $P(q,x)$ (2) a vector $q^{(1)}$ is determined, the components of which are weighted coefficients of partial criteria $\lambda_i \geq 0,\ \lambda_{ij} \geq 0$, $i = \overline{1,m}$ and vector $q^{(2)}$, whose components are the parameters of the function of the utility of partial criteria $\xi_i(x)$, $i = \overline{1,m}$, then the task of choosing the best solution for a set of criteria can be reduced to the problem of optimizing the type:

$$x^o = arg \max_{x \in X,\, q \in Q} P(q,x), \quad (3)$$

where $Q$ - set of permissible values of model parameters (2).

Due to its complexity, the task of determining the vector of parameters of the model of multicriteria assessment $P(q,x)$ (2) is traditionally solved in two stages. In the first stage, by means of approximation of experts' assessments, the parameters are determined PCUF $q^{(1)}$. At the second stage by expert methods by means of comparative identification, ranking, ranking of attributes, successive advantages or pair comparisons, weight coefficients of partial criteria are determined $\lambda_i, \lambda_{ij}$, $i = \overline{1,m}$, which is the coordinates of the vector of model parameters To do this, in general, it is necessary to determine the similarity criterion, the set of informative input data, the structure and parameters of the function $P(q,x)$, assess its accuracy (adequacy to the benefits of DM). As the identification criteria (depending on the conditions of the task), a minimum of total, total quadratic, maximum, absolute or relative error of estimation of the general utility, the maximum of the function of correctness of choice or the minimum of the error of restoring the order of alternatives is used $x \in X$ [9]. A modern alternative to the expert evaluation of weighting factors of partial criteria $\lambda_i, \lambda_{ij}$, $i = \overline{1,m}$ is the technology of comparative identification, and one of the most common functions of utility of partial criteria is the function [7]:

$$\xi_i(x) = \left( \frac{k_i(x) - k_i^-}{k_i^+ - k_i^-} \right)^{\alpha_i}, \quad (4)$$

where $\alpha_i$ - parameter defining the type of dependence (4) (with $\alpha_i = 1$ realized linear, with $0 < \alpha_i < 1$ – convex, with $\alpha_i > 1$ – concave dependences).

The disadvantage of the PCUF $\xi_i(x)$ of the form (4) is its inability to realize *S*- and *Z*-like dependencies on the values of partial criteria $k_i(x)$, $i = \overline{1,m}$, that more adequately describe the situation of choice of multicriteria solutions using fuzzy mathematics. All the above-named requirements satisfy the functions given and investigated in the works [5, 8]. However, they have different accuracy of representing the advantages of DM, and the algorithms for their parametric synthesis and the calculation of values have significantly different time constraints.

An overview of the current state of the problem of multi-criteria evaluation automation and selection [1–9] shows that until now, the tasks of structural, parametric or structural-parametric synthesis in one of the classes of additive, multiplicative or mixed functions of general utility, constructed on the basis of universal PCUF (4) or similar to them, using heuristic or expert methods of their synthesis. This does not guarantee the receipt of adequate evaluation models for automated systems supporting the adoption of multicriteria management or design decisions.

## III. RESEARCH RESULTS

As a basis for the general utility function (2) proposed to use a universal PCUF, that allows for the implementation of linear, convex, concave, *S*- and *Z*-like dependencies on the values of partial criteria [10]:

$$\xi(x)=\begin{cases}\bar{a}\cdot\left(\dfrac{\bar{k}(x)}{\bar{k}_a}\right)^{\alpha_1}, & 0\le\bar{k}(x)\le\bar{k}_a;\\ \bar{a}+(1-\bar{a})\cdot\left(\dfrac{\bar{k}(x)-\bar{k}_a}{1-\bar{k}_a}\right)^{\alpha_2}, & \bar{k}_a<\bar{k}(x)\le 1,\end{cases} \tag{5}$$

$$\bar{k}(x)=\frac{k(x)-k^-}{k^+-k^-},\ i=\overline{1,m}, \tag{6}$$

where $\bar{k}_a$, $\bar{a}$ - normalized values of coordinates of the point of gluing PCUF (4), $0\le\bar{k}_a\le 1$, $0\le\bar{a}\le 1$; $\alpha_1,\alpha_2$ - coefficients determining the type of dependence on the initial and final segments; $k(x)$, $k^+$, $k^-$ - is the partial criterion for the solution $x$, the best and worst value of the criterion $k(x)$.

The main problem with the practical use of universal PCUF type (5) is the complexity of the procedure for selecting the values of its parameters $q^{(1)}$. The source of information for choosing $q^{(1)}$ values is experts. Assume that the expert (or any other way) has been able to determine for a number of *n* values of the *i*-th partial criterion $k_{i1}=k_i(x_1)$, $k_{i2}=k_i(x_2),\ldots,\ k_{in}=k_i(x_n)$ the value of their utility (value) from the point of view of DM $\xi_i[k_i(x_1)]=\tilde{\xi}_{i1}$, $\xi_i[k_i(x_2)]=\tilde{\xi}_{i2},\ldots,\ \xi_i[k_i(x_n)]=\tilde{\xi}_{in}$.

Perform the transformation of the values of partial criteria by the scheme (6), denoting the obtained values through $\bar{k}_{ij}=\omega[k_i(x_j)]$, $j=\overline{1,n}$. Then the choice of the best values of the parameters of the PCUF $q_i^{(1)}=[a_{1i},a_{2i},k_{ia},a]$, $i=\overline{1,m}$ can be done by one of the indicators of its deviations from the whole set of given points $\{<\bar{k}_{ij},\tilde{\xi}_{ij}>\}$, $j=\overline{1,n}$ (fig. 1):

$$R[a_{1i},a_{2i},k_{ia},a,K_i(x),\Xi_i(x)]\to\min_{a_{1i},a_{2i},k_{ia},a}, \tag{7}$$

where $K_i(x)=\{k_{ij}\}$, $\Xi_i(x)=\{\tilde{\xi}_{ij}\}$, $i=\overline{1,m}$, $j=\overline{1,n}$.

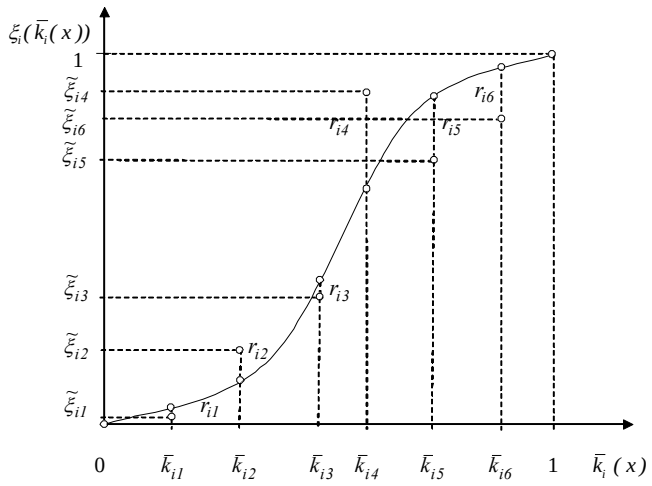



Fig. 1. Approximation of input data in the form (5): $r_{ij}$ – error of approximation at the point $\bar{k}_{ij}$ (option $x_j$ according to criterion $k_i$)

In the absence of information on the accuracy of determining the values of $\Xi_i(x)=\{\tilde{\xi}_{ij}\}$, $i=\overline{1,m}$, $j=\overline{1,n}$ for this purpose, the criteria of the minimum sum of the squares of deviations (8), the maximum deviation (9) and the sum of the deviations modules (10) can be used:

$$R=[\xi_{ij}(a_{1i},a_{2i},\bar{k}_{ia},a)-\tilde{\xi}_{ij}]^2\to\min_{a_{1i},a_{2i},k_{ia},a}, \tag{8}$$

where $\xi_{ij}(a_{1i},a_{2i},\bar{k}_{ia},a)$ - the value of the utility function of the partial criterion $k_i(x_j)$, $i=\overline{1,m}$ (5) with parameter values $[a_{1i},a_{2i},\bar{k}_{ia},a]=q_i^1$ for option $x_j$;

$$R=\max_{1\le j\le n}\left\{\left|\xi_{ij}(a_{1i},a_{2i},\bar{k}_{ia},a)-\tilde{\xi}_{ij}\right|\right\}\to\min_{a_{1i},a_{2i},k_{ia},a}, \tag{9}$$

$$R=\sum_{j=1}^{n}\left|\xi_{ij}(a_{1i},a_{2i},\bar{k}_{ia},a)-\tilde{\xi}_{ij}\right|\to\min_{a_{1i},a_{2i},k_{ia},a}. \tag{10}$$

Particular features of the parametric synthesis of PCUF (5) are the relatively low degree of accuracy of the output data (given by experts or DM) and the multi-extremity of the target function (7), which may take the form (8), (9) or (10). Proceeding from this, for its solution, the method of nets is chosen.

A series of experimental studies was carried out to approximate the estimates of DM on the usefulness of the values of partial criteria using the functions of Gauss (11), logistic (12), Harrington (13), modified Gauss function (14) [8], power gluing (15)–(16) [7, 11–12] and function (5):

$$\xi(x)=exp\left[-\frac{(\bar{k}(x)-1)^2}{c}\right], \tag{11}$$

$$\xi(x)=\frac{1}{1+exp\left[-\frac{(\bar{k}(x)-a)}{b}\right]}, \quad (12)$$

$$\xi(x)=exp\left\{-exp\left[(g\cdot\bar{k}(x)-a)\right]\right\}, \quad (13)$$

$$\xi(x)=exp\left[-\frac{(\bar{k}(x)-1)^{2\cdot\alpha}}{c}\right], \quad (14)$$

$$\xi(x)=\begin{cases}2^{p-1}\cdot\left[\bar{k}(x)\right]^{p}, & 0\le\bar{k}(x)\le 0.5;\\ 1-2^{p-1}\cdot\left[\frac{0.5-\bar{k}(x)}{0.5}\right]^{p}, & 0.5<\bar{k}(x)\le 1,\end{cases} \quad (15)$$

$$\xi(x)=\begin{cases}\bar{a}\cdot(b_1+1)\cdot\left(1-\left(b_1/\left(b_1+\frac{\bar{k}(x)}{\bar{k}_a}\right)\right)\right), & \\ 0\le\bar{k}(x)\le\bar{k}_a;\\ \bar{a}+(1-\bar{a})\cdot(b_2+1)\cdot\left(1-\left(b_2/\left(b_2+\frac{\bar{k}(x)-\bar{k}_a}{1-\bar{k}_a}\right)\right)\right), & \\ \bar{k}_a<\bar{k}(x)\le 1,\end{cases} \quad (16)$$

where $a,b,b_1,b_2,c,g,p$ - parameters that determine the appearance of function dependencies (11)–(16).

According to research results, the modified Gaussian function (14), the power gluing (15) and the Gaussian function (11) relatively quickly change their values when entering the zones of insensitivity (the approximation of the values of partial criteria to the best $\bar{k}(x)\to 1$ and the worst values of $\bar{k}(x)\to 0$, which can lead to significant errors in the multicriteria assessment of the properties of solutions; the highest accuracy of approximation of DM estimates has the function of the utility of partial criteria (5); the relatively low errors are the power gluing (16), the Harrington function (13), and the logistic function ( 12).

## IV. Conclusions

According to the results of the analysis of the current state of the problem of multicriteria assessment and choice of solutions, it is established that: the most adequate models of such problems are constructed on the basis of the Kolmogorov-Gabor polynomial; preferences of DM in many cases are described by S- and Z-like dependencies on the values of quality indices; To evaluate the utility of partial criteria in existing models, functions that do not allow S- and Z-like dependencies to be implemented are used. For the approximation of DM estimates regarding to the value of the values of partial criteria in the fuzzy set theory, Gauss, logistic, and Harrington functions and power gluing are used.

The mathematical model of the problem of parametric synthesis of utility functions is formulated, the method of its solution is proposed and estimates of their accuracy are obtained. It is established that the highest accuracy of approximation of DM estimates has been proposed modification of the utility function of partial criteria. The obtained results can be used in systems of designing, management, artificial intelligence. Their practical use will improve the quality of project or management decisions that are accepted for a variety of indicators.

## Література References


1. Дж. Хэммонд, Р. Кини, Г. Райффа, Правильный выбор. Руководство по принятию решений: пер. с англ, Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 254 с., 2014.
2. S. Greco, M. Ehrgott, J.R., Figueira Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys, New York: Springer, 1346 p., 2016.
3. I. Kaliszewski, T. Kiczkowiak, J. Miroforidis, “Mechanical design, Multiple Criteria Decision Making and Pareto optimality gap”, Engineering Computations, vol. 33(3), pp 876-895, 2016.
4. В.В. Крючковский, Э.Г. Петров, Н.А. Соколова, В.Е. Ходаков, Введение в нормативную теорию принятия решений, Херсон: Гринь Д.С., 284 с., 2013.
5. Л.Г. Раскин, О.В. Серая, Нечеткая математика. Основы теории. Приложения, Харьков: Парус, 352 с.,2008.
6. М.М. Маляр, Моделі і методи багатокритеріального обмежено-раціонального вибору: монографія, Ужгород: РА АУТДОР-ШАРК, 222 с., 2016.
7. О.А. Овезгельдыев, Э.Г. Петров, К.Э. Петров, Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации, К.: Наукова думка, 161 с., 2002.
8. В.В. Бескоровайный, Е.В. Соболева, “Идентификация частной полезности многофакторных альтернатив с помощью S-образных функций”, Бионика интеллекта, №1,с. 50-54, 2010.
9. В.В. Бескоровайный, И.В. Трофименко, “Структурно-параметрична ідентифікація моделей багатофакторного оцінювання”, Системи озброєння і військова техніка, № 3 (7), с. 56-59, 2006.
10. Э.Г. Петров, В.В. Бескоровайный, В.П. Писклакова, “Формирование функций полезности частных критериев в задачах многокритериального оценивания”, Радиоэлектроника и информатика, №1, с. 71-73, 1997.
11. Beskorovainyi, G. Berezovskyi, “Estimating the properties of technological systems based on fuzzy sets”, Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості, № 1 (1), с. 14–20, 2017.
12. Beskorovainyi, H. Berezovskyi, “Identification of preferences in decision support systems”, ECONTECHMOD, vol. 06, №4, pp. 15–20, 2017.
13. V. Beskorovainyi, “Parametric synthesis of models for multicriterial estimation of technological systems” Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості, №2 (2), с. С. 5–11, 2017.

# Анализ Систем с Распределенными Параметрами Методом Композиции

Виктор Бондаренко
Институт прикладного системного анализа
НТУУ «Киевский политехнический институт им. И.Сикорского»
Киев,Украина
bondarenvg@gmail.com

# The Analysis of Systems with Distributed Parameters by the Method of Composition

Victor Bondarenko
Institute of Applied System Analysis
NTUU "KPI"
Kiev, Ukraine
bondarenvg@gmail.com

***Аннотация*—Обоснован метод решения задачи Коши для систем уравнений типа реакция-диффузия, представляющий собой нелинейную версию формулы Троттера-Далецкого. Предложенный метод композиции способствует выбору адекватной математической модели для объекта с распределенными параметрами.**

***Abstract*—The method for a solution of reaction-diffusion equations, which is representing a nonlinear version of formula Trotter-Daletski, has been justified.The proposed method of composition contributes to the selection of an adequate mathematical model for an object with distributed parameters.**

***Ключевые слова*-полулинейное параболическое уравнение, теоремы сравнения, полугруппа операторов.**

**Keywords-Semi-Linear Parabolic Equation, Comparison Theorems, Semigroup of Operators**

## I. Постановка задачи

Эволюция объекта с *распределенными* параметрами описывается векторной функцией $u(t,x)=(u_1(t,x),...,u_N(t,x))$, где $x$ — пространственная переменная, $x\in R^d$. $x\in R^d$. Математической моделью таких объектов является система полулинейных параболических уравнений (система реакция-диффузия):

$$\frac{\partial u_i}{\partial t}=L_i u_i+f_i(u)\,,u=(u_1,...,u_N)$$

$$u(0,x)=\varphi(x)\,,\ x\in R^d\,, \qquad (1)$$

где $L_i$ — эллиптический оператор второго порядка:

$$L_i=\sum_{j,k}a_{i,jk}(x)\frac{\partial^2}{\partial x_j\partial x_k}+\sum_k b_{i,k}(x)\frac{\partial}{\partial x_k}$$

с гладкими коэффициентами.

Обозначим $p(t,x,y)=(p_1(t,x,y),...,p_N(t,x,y))$ фундаментальное решение соответствующей линейной системы

$$\frac{\partial q_i}{\partial t}=L_i q_i$$

$$q_i(t,x)=(e^{tL_i}q_i(0,\cdot))(x)\equiv\int q_i(0,y)\,p_i(t,x,y)dy\,.$$

Моделью соответствующего объекта с *сосредоточенными* параметрами является автономная система ОДУ $\frac{dr}{dt}=f(r)$ Обозначим через $r(t,a)$ решение задачи Коши: $\frac{dr}{dt}=f(r)$, $r(0,a)=a$, $r(t,a)=G_t a$ , где $G_t$ — фазовый поток.

Иначе, введение пространственной переменной учитывается диффузионным слагаемым $Lu$. Классический пример применения модели (1) — плотность популяций биологических особей с учетом их движения в ареале [1, 2]. Численное решение задачи Коши (1) выполнено для некоторых вариантов функции $f$: результат — некоторые свойства решений системы ОДУ сохраняются (например, наличие предельных циклов).

Объектом исследования данной работы являются свойства функции $u(t,x)$. Слагаемое $f(u)$ назовем возмущением линейной системы. Некоторые свойства систем (1) рассмотрены в работах [3,4].

Введем обозначения для композиции функций:

$$v(t,x) = r(t,q(t,x)) = G_t q(t,x),$$
$$w(t,x) = \int r\left(t,\varphi(y)\right)p(t,x,y)dy.$$

Функция $f$ предполагается гладкой и ограниченной (точные условия приведены ниже). Отсюда следует существование, единственность и ограниченность классического решения задачи Коши (1).

Цель работы — установить зависимость между $u(t,x)$, $v(t,x)$, $w(t,x)$. В частности, рассмотрена следующая задача теории возмущений. Пусть $A$, $B$, $A+B$ — генераторы сжимающих $C_0$-полугрупп $e^{tA}$, $e^{tB}$, $e^{t(A+B)}$ в некотором банаховом пространстве. В работах [5,6] (при различных условиях и разными методами) доказана формула:

$$e^{T(A+B)} = s-\lim_{n\to\infty}\left(e^{\frac{T}{n}A}\,e^{\frac{T}{n}B}\right)^n \qquad (2)$$

где $\left(\frac{T}{n},\ldots\frac{kT}{n},\ldots T\right)$ — разбиение отрезка $[0;T]$, $T>0$. В дальнейшем формулу (2) будем называть формулой Троттера-Далецкого.

Задача — обобщить этот результат для нелинейного возмущения $f$ оператора $L=(L_1,\ldots,L_N)$. Обозначим через $H(t)$ нелинейную полугруппу, порожденную генератором $L+f$: $(H(t)\varphi)(x)=u(t,x)$. При некоторых условиях для функции $f$ доказывается аналог формулы Троттера-Далецкого: $H(T)=s-\lim_n\left(G_{\frac{T}{n}}e^{\frac{T}{n}L}\right)^n$ в норме пространства $C(R^d)$.

**Скалярное уравнение**

Для одномерной задачи Коши ($N=1$) запишем уравнение в бескоординатной форме:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = trA(x)\nabla^2 u + (b(x),\nabla u) + f(u),$$
$$u(0,x)=\varphi(x),\ t>0, \qquad (3)$$

где $\nabla u = \left(\frac{\partial u}{\partial x_1};\ldots\frac{\partial u}{\partial x_N}\right)$, коэффициенты $A(x)$, $b(x)$ ограниченные и гладкие функции.

Изучим свойства решения задачи Коши (3), предполагая, что функция $f$ сохраняет постоянный знак на области значений $u(t,x)$, ограничена на этой области и удовлетворяет условию

$$\left|f'(z)\right| \le M,\ z\in D. \qquad (4)$$

Определим невязку для функции $v(t,x)$:

$$m = \frac{\partial v}{\partial t} - Lv - f(v).$$

**Лемма 1.** Невязка $m(t,x)$ задается равенством

$$m = \frac{f(v)}{f^2(q)}(A(x)\nabla q,\nabla q)(f'(q)-f'(v)).$$

Если выполнено условие (4) и $\left|f''(z)\right| \le M_1$, $z\in D$, то невязка $m$ удовлетворяет оценке

$$\left|m(t,x)\right| \le cM_1 te^{2Mt}\left|\nabla q(t,x)\right|^2,\ c=\sup\left\|A(x)\right\|. \blacksquare$$

При обобщении формулы Троттера-Далецкого для нелинейного скалярного возмущения $f$ оператора $L$, то есть для полулинейного уравнения (3), преобразуем

выражение $\left(G_{\frac{T}{n}} e^{\frac{T}{n}L}\right)^n$. Построим последовательности функций $\left(0 \le t \le \frac{T}{n}\right)$:

$$q_0(t,x) = \int \varphi(y)\, p(t,x,y)dy\,,\ v_1(t,x) = r(t, q_0(t,x))\,;$$

$$q_1(t,x) = \int v_1\left(\frac{T}{n}, y\right) p(t,x,y)dy\,,$$

$$q_k(t,x) = \int v_k\left(k\frac{T}{n}, y\right) p(t,x,y)dy\,,$$

$$v_{k+1}\left(t + k\frac{T}{n}, x\right) = r(t, q_k(t,x))\,, \quad 0 \le k \le n-1,$$

то есть $v_{k+1}\left(t + \frac{kT}{n}\right) = G_t e^{tL} v_k\left(\frac{kT}{n}\right)$.

**Теорема 1** . Пусть выполнены условия **Леммы 1**. Если производные $|\nabla q_k(t,x)| < c_1$, то последовательность $v_n(T,x) \to u(T,x)$, при $n \to \infty$ равномерно по $x \in R^d$. ■

**Система уравнений**

Рассмотрим частный случай системы (1):

$$\frac{\partial u_j}{\partial t} = \Delta u_j + f_j(u)\,,\ u(0,x) = \varphi(x)\,,\ x \in R^d$$

и обозначим $u(t,x) = (u_1(t,x),...,u_N(t,x))$ — классическое решение задачи Коши этой системы. Условия на функцию $f : f \in C^2$ и ее производные удовлетворяют оценкам:

$$\sigma_2(f'(\xi)) < M\,,$$

$$|f''(\xi)bc| = \left|\sum_{j,k=1}^{N} \frac{\partial^2 f_i}{\partial\xi_j \partial\xi_k}(\xi) b_j c_k\right| \le M_1 |b| \cdot |c| \quad (5),$$

где $\sigma_2$ — операторная норма Гильберта-Шмидта.

Пусть $q(t,x) = (q_1(t,x),...,q_N(t,x))$ удовлетворяет системе $\frac{\partial q_j}{\partial t} = \Delta q_j$ с начальными условиями $q(0,x)$.

Тогда функция $v(t,x) = r(t, q(t,x))$ является решением задачи Коши для системы

$$\frac{\partial v_j}{\partial t} = \Delta v_j + f_j(v) + m_j(t,x)\,,\ v(0,x) = q(0,x)\,,$$

где координаты $m_j(t,x)$ невязки имеют вид:

$$m_j(t,x) = \frac{\partial v_j}{\partial t} - \Delta v_j - f_j(v) =$$

$$= -\sum_{i,s,l} \frac{\partial q_s}{\partial x_i} \frac{\partial^2 r_j}{\partial a_l \partial a_s} \frac{\partial q_l}{\partial x_i} = -\sum_{i=1}^{d} r_j''(t,q)(\nabla_i q)(\nabla_i q)\,,$$

$$q = q(t,x)\,.$$

Из этого представления при выполнении условия (5) следует оценка:

$$|m(t,x)|^2 = \sum_{j=1}^{N} (m_j(t,x))^2 < dM_1^2 t^2 e^{4Mt} \sum_{i=1}^{d} |\nabla_i q(t,x)|^4$$

Положим $h(t,x) = v(t,x) - u(t+t_0,x)$, $\alpha = |h|^2$.

**Лемма 2.** Пусть выполнены следующие условия:

1. Производные начальной функции $q(0,x)$ удовлетворяют оценке

$$\int |\nabla_i q(0,y)|^2\, p(t,x,y)dy < c_3\,,\ t \le t_1\,,$$

где $p(t,x,y) = (4\pi t)^{-\frac{n}{2}} \exp\left\{-\frac{|x-y|^2}{4t}\right\}$.

2. $\alpha(0,x) = |q(0,x) - u(t_0,x)|^2 \le \bar{\alpha}$.

Тогда для $t \le t_1$ справедливо неравенство:

$$\alpha(t,x) \le \bar{\alpha} e^{c_2 t} + \frac{1}{3}(dc_3 M_1)^2 t^3 e^{c_2 t}\,,$$

где $c_2 = 2MN + 1$. ■

Аналогично скалярному случаю построим последовательность функций $v_k(t,x)$, $t \in \left[0; \frac{T}{n}\right]$:

$$q_0(t,x)=\int \varphi(y)\,p(t,x,y)dy\,,\qquad v_1(t,x)=r(t,q_0(t,x))\,;$$

$$q_k(t,x)=\int v_k\left(k\frac{T}{n},y\right)p(t,x,y)\,dy\,,$$

$$v_{k+1}(t,x)=r(t,q_k(t,x))\,,\qquad k=0,...,n-1;$$

$$v_k\left(\frac{T}{n},x\right)=v_{k+1}(0,x)=q_k(0,x)\,;$$

$$h(s,x)=v_{k+1}\left(s-k\frac{T}{n},x\right)-u(s,x)\,,$$

$$s\in\Delta_k=\left[k\frac{T}{n};(k+1)\frac{T}{n}\right];$$

$$\alpha(s,x)=\left|h(s,x)\right|^2,$$

где $u(s,x)$ — решение задачи Коши, $t=s-k\frac{T}{n}$.

**Теорема 2.** Пусть выполнены условия (5) и

$$\int(\nabla_i\varphi(y))^2\,p(t,x,y)dy<c_4\,.$$

Тогда справедливо неравенство:

$$\alpha(T,x)<C\frac{T^3}{n^2}\,,$$

то есть, $\sup_x\left|v_n(T,x)-u(T,x)\right|\to 0$. ■

## ВЫВОДЫ

Таким образом, предложенный метод исследования объектов с распределенными параметрами позволяет расширить класс моделей для таких объектов и сравнивать их адекватность.

## ЛИТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Murray, J.D., 2002, Mathematical Biology, Vol. 1, 2 (New York: Springer-Verlag), P.1362.

[2] A.B.Medvinsky. Spatiotemporal complexity of plankton and fish dynamics / A.B.Medvinsky, S.V.Petrovskii, I.A.Tikhonova, H.Malchow //SIAM Review, V. 44, No. 3 (2002). — PP. 311–370.

[3] D.G.Aronson. Multidimensional Nonlinear Diffusion Arising in Population Genetics /D.G.Aronson, H.F.Weinberger //Advances Mathematics. - V. 30 (1978). - PP. 33-76.

[4] H. Amann, Dynamic theory of quasilinear parabolic equations. II. Reaction-diffusion systems, Differential Integral Equations. V.3, No. 1 (1990). - PP. 13-75.

[5] Trotter T.F. Of the Product of Semi-Groups of Operators / Trotter T.F. // Pros. Am. Math. Soc. - 1959. - 10. - PP. 545-551.

[6] Далецкий Ю.Л. Континуальные интегралы, связанные с операторными эволюционными уравнениями /Далецкий Ю.Л. //Успехи математических наук. - 1962.- Т. 17. - № 5. - С. 3-115.

# Эквивалентные Представления и Декомпозиция Дескрипторных Систем Управления

Лариса Власенко, Анатолий Руткас
кафедра программной инженерии
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
lara@rutrus.com, anatoly@rutrus.com

# Equivalent Representations and Decomposition of Descriptor Control Systems

Larisa Vlasenko, Anatolii Rutkas
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
lara@rutrus.com, anatoly@rutrus.com

***Аннотация*—Устанавливаются условия, позволяющие представить дескрипторную систему управления как последовательное соединение систем меньших размерностей. Результаты иллюстрируются на примере дескрипторной системы, описывающей переходные режимы в радиотехническом фильтре.**

***Abstract*—We establish conditions to represent a descriptor control system as a series connection of systems of smaller dimensions. The results are illustrated on an example of a descriptor system which describes transient states in a radio technical filter.**

***Ключевые слова—дескрипторная система управления; регулярный пучок матриц; последовательная композиция; декомпозиция; эквивалентные системы; четырехполюсный фильтр***

***Keywords—descriptor controlled system; regular matrix pencil; sequential composition; decomposition; equivalent systems; two-port filter***

## I. Введение

Мы осуществляем разложение (декомпозицию) дескрипторной системы управления в цепочку более простых систем. В отличие от системы управления с входом (управлением) $u(t)$, состоянием $x(t)$, выходом $v(t)$ и начальным состоянием $x_0$ из классической монографии [1], динамика дескрипторной системы управления $\Phi = \Phi(u, x_0, x, v)$ описывается соотношениями более общего вида, не разрешенными относительно производной состояния:

$$\frac{d}{dt}(Ax) + Bx(t) = Fu(t),\ 0 \le t \le T, \tag{1}$$

$$v(t) = \frac{d}{dt}(Mx) + Nx + Ku,\ 0 \le t \le T, \tag{2}$$

$$x(0) = x_0. \tag{3}$$

Существует обширная литература по дескрипторным системам управления, см., например, [2,3] и библиографию в этих работах. Дескрипторная система управления, которая возникает при моделировании переходных режимов радиотехнических цепей, исследуется в работе [4]. В теории дифференциальных игр изучаются дескрипторные системы с двумя конфликтными управлениями [5]. Состояния дескрипторных систем управления также могут описываться дифференциальными уравнениями второго порядка, не разрешенными относительно старшей производной. Эти дескрипторные системы служат хорошими конечномерными аппроксимациями бесконечномерных систем управления типа Соболева [6].

В (1)-(3) мы предполагаем, что значения вектор-функций $u(t), v(t), x(t)$ принадлежат вещественным евклидовым пространствам $U, V, X$ соответственно, а коэффициенты в (2) есть линейные операторы $M, N : X \to V$, $K : U \to V$, где $\dim U = n$, $\dim V = p$. Области значений линейных операторов $A, B, F$ в (1) принадлежат евклидовому пространству образов $Y$, размерность которого совпадает с размерностью пространства состояний $X$: $\dim X = \dim Y = m$. Таким образом, $A, B : X \to Y$, $F : U \to Y$. Соотношения (1)-(3) также будем рассматривать в векторно-матричной форме, зафиксировав базисы в пространствах $X, Y, U, V$. Для

соответствующих векторов и матриц сохраняем прежние обозначения.

Будем использовать следующие обозначения: $\dim X$ – размерность пространства $X$, $Ker K$ – ядро оператора или матрицы $K$, $Im K$ – образ оператора $K$, $Lin\{\dots\}$ – линейная оболочка векторов, $E$ – единичный оператор или единичная матрица, $0$ – нулевой оператор или нулевая матрица.

В данной статье мы распространяем результаты работы [7] о декомпозиции дескрипторной системы $\Phi = \Phi(u, x_0, x, v)$ на случай необратимого оператора $K$ при управлении $u(t)$ в соотношении (2) для выхода $v(t)$. Поэтому в разделе II напоминаем некоторые определения и результаты из работы [7], которые понадобятся в дальнейшем.

## II. Предварительные сведения

Предполагаем, что дескрипторная система $\Phi = \Phi(u, x_0, x, v)$ и уравнение (1) являются *регулярными*, а именно регулярным является характеристический пучок матриц $\lambda A + B$, т.е. его определитель не есть тождественный нуль: $det(\lambda A + B) \not\equiv 0$. В *вырожденной* системе с необратимой матрицей $A$ начальное состояние $x_0$ и управление $u(t)$ не могут быть произвольными [8]. Описание множества допустимых пар $\{x_0, u(t)\}$ дает формула (10) из [7]. Для каждой допустимой пары $\{x_0, u(t)\}$ с помощью формулы (11) из [7] однозначно определяется состояние $x(t)$ и выход $v(t)$. В дальнейшем рассматриваем только регулярные дескрипторные системы с допустимыми парами $\{x_0, u(t)\}$.

*Последовательной композицией* систем $\Phi_1, \Phi_2$ называется система $\Phi = \Phi_1 \otimes \Phi_2$, полученная отождествлением выхода $v_1$ системы $\Phi_1$ со входом $u_2$ системы $\Phi_2$, вход $u$ системы $\Phi$ совпадает с входом $u_1$ системы $\Phi_1$, выход $v$ системы $\Phi$ совпадает с выходом $v_2$ системы $\Phi_2$. Относительно пространств входов $U_1, U_2, U$ и выходов $V_1, V_2, V$ систем $\Phi_1, \Phi_2, \Phi$ предполагаем, что $V_1 = U_2, U = U_1, V = V_2$. Пространства состояний $X$ и образов $Y$ системы $\Phi$ есть прямые суммы соответствующих пространств систем $\Phi_1, \Phi_2$:

$$X = X_1 \dot{+} X_2,\ Y = Y_1 \dot{+} Y_2. \qquad (4)$$

На рис. 1 изображен принцип последовательной композиции $\Phi = \Phi_1 \otimes \Phi_2$.

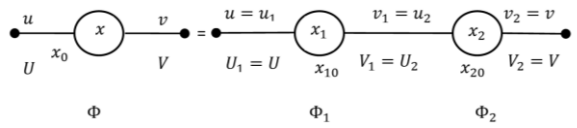



Рис. 1. Последовательная композиция.

Согласно [7] операторные коэффициенты представлений (1),(2) композиции $\Phi$ обладают свойствами: пара подпространств $X_2, Y_2$ из сумм (4) *инвариантна относительно пучка* $\lambda A + B$ ($AX_2 \subset Y_2, BX_2 \subset Y_2$), и если оператор $K : U \to V$ имеет обратный $K^{-1} : V \to U$, то пара дополнительных подпространств $X_1, Y_1$ инвариантна относительно возмущенного пучка $\lambda(A + FK^{-1}M) + (B + FK^{-1}N)$. Согласно теореме декомпозиции 2 из [7] любая система $\Phi$ (1)-(3), обладающая указанными парами инвариантных подпространств, допускает *декомпозицию* – представление $\Phi = \Phi_1 \otimes \Phi_2$ в виде композиции двух систем $\Phi_1, \Phi_2$ меньших размерностей.

## III. Основной результат

В теореме декомпозиции [7] предполагалось, что для системы $\Phi$ оператор $K$ имеет обратный. В реальных системах этот оператор может быть необратимым и даже нулевым, как в рассматриваемом далее примере радиотехнического фильтра. В этом случае теорема декомпозиции применяется не к исходной системе, а к эквивалентной $\tilde{\Phi}$, у которой уже оператор $\tilde{K}$ при управлении в выражении для выхода является обратимым.

Соотношения (1) и (2), описывающие систему $\Phi$, полностью определяются заданием блочного оператора:

$$\Gamma = \begin{bmatrix} A & B & -F \\ M & N & K \end{bmatrix} : X \oplus X \oplus U \to Y \oplus V. \qquad (5)$$

Для системы $\tilde{\Phi}$ зададим блочный оператор

$$\tilde{\Gamma} = \begin{bmatrix} \tilde{A} & \tilde{B} & -\tilde{F} \\ \tilde{M} & \tilde{N} & \tilde{K} \end{bmatrix} : X \oplus X \oplus U \to Y \oplus V. \qquad (6)$$

Тогда система $\tilde{\Phi} = \tilde{\Phi}(\tilde{u}, \tilde{x}_0, \tilde{x}, \tilde{v})$ описывается соотношениями

$$\frac{d}{dt}(\tilde{A}\tilde{x}) + \tilde{B}\tilde{x}(t) = \tilde{F}\tilde{u}(t),\ 0 \le t \le T, \qquad (7)$$

$$\tilde{v}(t) = \frac{d}{dt}(\tilde{M}\tilde{x}) + \tilde{N}\tilde{x} + \tilde{K}\tilde{u},\ 0 \le t \le T, \qquad (8)$$

$$\tilde{x}(0) = \tilde{x}_0. \qquad (9)$$

Две регулярные системы $\Phi$ (1)-(3) и $\tilde{\Phi}$ (7)-(9) называются *эквивалентными* ($\Phi \sim \tilde{\Phi}$), если они имеют одинаковые пространства управлений, одинаковые пространства состояний, одинаковые пространства образов, одинаковые пространства выходов, а из равенства начальных состояний $x_0 = \tilde{x}_0$ и управлений $u(t) = \tilde{u}(t)$ следует совпадение состояний $x(t) = \tilde{x}(t)$ и выходов $v(t) = \tilde{v}(t)$. Переход к эквивалентной системе $\tilde{\Phi}$ осуществляем с помощью следующей леммы.

*Лемма*. Пусть $Q: Y \to Y$ – произвольный линейный оператор, который имеет обратный $Q^{-1}: Y \to Y$, $\Lambda: Y \to V$ – произвольный линейный оператор. Тогда можно определить блочный оператор $\tilde{\Gamma}$ (6) из коэффициентов системы $\tilde{\Phi}$ (7)-(9), эквивалентной системе $\Phi$ (1)-(3), в виде

$$\tilde{\Gamma} = \begin{bmatrix} \tilde{A} & \tilde{B} & -\tilde{F} \\ \tilde{M} & \tilde{N} & \tilde{K} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Q & 0 \\ \Lambda & E \end{bmatrix} \Gamma : X \oplus X \oplus U \to Y \oplus V . \quad (10)$$

Для *доказательства* леммы устанавливается эквивалентность уравнений (1) и (7) при условии $u(t) = \tilde{u}(t)$. Тогда при совпадении начальных условий $x_0 = \tilde{x}_0$ в (3) и (9) совпадают состояния $x(t) = \tilde{x}(t)$. Непосредственно проверяется, что совпадают выходы $v(t) = \tilde{v}(t)$ в (2) и (8).

*Теорема*. Предположим, в регулярной системе $\Phi$ (1)-(3) с оператором коэффициентов $\Gamma$ (5) совпадают размерности $dim U = dim V$ и пересечение $H_0 = KerF \cap KerK$ аннуляторов операторов $F, K$ тривиально:

$$H_0 = KerF \cap KerK = \{0\}. \quad (11)$$

Тогда существует эквивалентная система $\tilde{\Phi}$ (7)-(9) с блочным оператором коэффициентов (10), в которой блок $\tilde{K}: U \to V$ имеет обратный $\tilde{K}^{-1}: V \to U$, и существует ее декомпозиция $\tilde{\Phi} = \Phi_1 \otimes \Phi_2$. Если совпадают пространства $U = V$ входов и выходов, то существуют эквивалентная система $\tilde{\Phi}$ (7)-(9) с $\tilde{K} = E$ и ее декомпозиция $\tilde{\Phi} = \Phi_1 \otimes \Phi_2$ с единичными операторами при управлениях в выражениях для выходов систем $\Phi_1, \Phi_2$.

*Доказательство*. Эквивалентную систему $\tilde{\Phi}$ выбираем согласно приведенной лемме. Из формулы (10) следует конструкция оператора $\tilde{K}: U \to V$:

$$\tilde{K} = K - \Lambda F . \quad (12)$$

Покажем, что линейный оператор $\Lambda: Y \to V$ в (12) можно выбрать так, чтобы обеспечить существование обратного оператора $\tilde{K}^{-1}: V \to U$.

Согласно ортогональным разложениям пространств

$$U = Im F^* \oplus KerF,\ V = Im K \oplus KerK^*,\ Y = Im F \oplus KerF^*$$

операторы $K: U \to V$, $F: U \to Y$ и $\Lambda: Y \to V$ исходной системы $\Phi$ имеют блочный вид:

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ 0 & 0 \end{bmatrix},\ F = \begin{bmatrix} F_0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \Lambda = \begin{bmatrix} \Lambda_1 & \Lambda_2 \\ \Lambda_3 & \Lambda_4 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

где существует обратный оператор $F_0^{-1}: Im F \to Im F^*$. С помощью (13) получаем блочный вид оператора $\tilde{K}$ (12):

$$\tilde{K} = \begin{bmatrix} K_{11} - \Lambda_1 F_0 & K_{12} \\ -\Lambda_3 F_0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (14)$$

В силу (11) ядро оператора $K_{12}: KerF \to Im K$ тривиально и найдутся блоки $\tilde{K}_1: Im F^* \to Im K$, $\tilde{K}_2: Im F^* \to KerK^*$ такие, что оператор

$$S = \begin{bmatrix} \tilde{K}_1 & K_{12} \\ \tilde{K}_2 & 0 \end{bmatrix}: U \to V$$

имеет обратный оператор $S^{-1}: V \to U$. Если у оператора $\Lambda$ в (13) выбрать блоки $\Lambda_1 = (K_{11} - \tilde{K}_1)F_0^{-1}$ и $\Lambda_3 = -\tilde{K}_2 F_0^{-1}$, то оператор $\tilde{K}$ (14) принимает вид $\tilde{K} = S$. Следовательно, существует обратный оператор $\tilde{K}^{-1}: V \to U$. Таким образом, искомая эквивалентная система $\tilde{\Phi}$ построена и теорема доказана.

*Замечание*. Если условие (7) не выполнено, то можно изменить пространство управлений $U$ исходной системы $\Phi$ так, чтобы в новой системе это условие выполнялось, а также не изменялись операторы $A, B, M, N$, состояние и выход системы. Понятно, что в качестве нового пространства управлений можно выбрать прямое дополнение в $U$ к подпространству $H_0$.

## IV. Иллюстративный пример радиотехнической системы

Проиллюстрируем полученные результаты на примере системы, которая возникает при описании переходных режимов фильтра нижних частот на рис. 2.

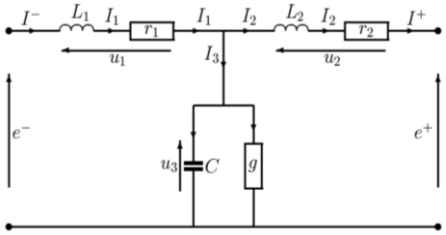



Рис. 2. Четырехполюсный фильтр.

Комбинируя уравнения Кирхгофа и колебаний элементов цепи, получим систему уравнений:

$$\frac{d}{dt}(L_1 I_1) + r_1 I_1 + u_3 = e^-,\ I_1 = I^-,\ \frac{d}{dt}(C u_3) + I_2 + g u_3 = I^-,$$

$$e^+ = -\frac{d}{dt}(L_2 I_2) - r_2 I_2 + u_3,\ I^+ = I^- - \frac{d}{dt}(C u_3) - g u_3 .$$

Эти уравнения записываются в векторно-матричной форме (1)-(2), если ввести векторы управления (входа) $u$, выхода $v$, состояния $x$ и матрицы $A,B,F,M,N,K$ как

$$u=\begin{pmatrix} e^- \\ I^- \end{pmatrix},\quad v=\begin{pmatrix} e^+ \\ I^+ \end{pmatrix},\quad x=\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ u_3 \end{pmatrix},$$

$$A=\begin{pmatrix} L_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C \end{pmatrix},\quad B=\begin{pmatrix} r_1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & g \end{pmatrix},\quad F=\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$M=\begin{pmatrix} 0 & -L_2 & 0 \\ 0 & 0 & -C \end{pmatrix},\ N=\begin{pmatrix} 0 & -r_2 & 1 \\ 0 & 0 & -g \end{pmatrix},\ K=\begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

В качестве пространств состояний $X$, образов $Y$, входов $U$, выходов $V$ выбираем $X=Y=\mathbf{R}^3$, $U=V=\mathbf{R}^2$. Матрицы записаны в канонических базисах указанных пространств. Матрица $K$ необратима, условие (11) выполняется. В силу теоремы можно перейти к эквивалентной системе $\tilde{\Phi}$ с обратимой матрицей $\tilde{K}$. Переход к эквивалентной системе осуществим с помощью леммы, в которой в качестве матриц $Q$ и $\Lambda$ выберем следующие:

$$Q=\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix},\quad \Lambda=\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Эквивалентная система $\tilde{\Phi}$ задается с помощью блочного оператора $\tilde{\Gamma}$ (10), в котором

$$\tilde{A}=\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C \\ L_1 & 0 & 0 \end{pmatrix},\quad \tilde{B}=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & g \\ r_1 & 0 & 1 \end{pmatrix},\quad \tilde{F}=\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$\tilde{M}=\begin{pmatrix} -L_1 & -L_2 & 0 \\ 0 & 0 & -C \end{pmatrix},\ \tilde{N}=\begin{pmatrix} -r_1 & -r_2 & 0 \\ 0 & 0 & -g \end{pmatrix},\ \tilde{K}=\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Здесь матрица $\tilde{K}$ обратима. Для системы $\tilde{\Phi}$, описывающей переходные режимы фильтра на рис. 2, условия теоремы 2 о декомпозиции из [7] выполнены. Поэтому существуют подсистемы $\Phi_1,\Phi_2$ такие, что имеет место декомпозиция $\tilde{\Phi}=\Phi_1\otimes\Phi_2$. Система $\Phi_1$ имеет одномерные пространства состояний и образов

$$X_1=Y_1=Lin\left\{\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}\right\},$$

а система $\Phi_2$ – двухмерные пространства состояний и образов $X_2=Y_2=Lin\left\{\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix},\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}\right\}$.

Двухмерные пространства входов и выходов этих систем совпадают: $U_1=V_1=U_2=V_2=U=V=\mathbf{R}^2$.

В канонических базисах матричные коэффициенты систем $\Phi_1,\Phi_2$ получены в формуле (35) в статье [7]. Система управления $\Phi_2$ в свою очередь также допускает декомпозицию $\Phi_2=\Phi_{21}\otimes\Phi_{22}$ на одномерные системы согласно теореме 2 из [7] с пространствами состояний и образов $X_{21}=Y_{21}=Lin\left\{\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}\right\}$, $X_{22}=Y_{22}=Lin\left\{\begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}\right\}$.

Вид матричных коэффициентов систем $\Phi_{21},\Phi_{22}$ приведен в формуле (36) из [7]. В результате трехмерная система управления $\tilde{\Phi}$ допускает декомпозицию в цепочку трех одномерных систем $\tilde{\Phi}=\Phi_1\otimes\Phi_{21}\otimes\Phi_{22}$. Эти три системы $\Phi_1,\Phi_{21},\Phi_{22}$ описывают переходные режимы трех четырехполюсников, изображенных в соответствующем порядке на рис. 3. Четырехполюсники содержат лишь по одному инерционному элементу $L_1,C,L_2$ соответственно. Их каскадное соединение дает исходный четырехполюсник, изображенный на рис. 2.

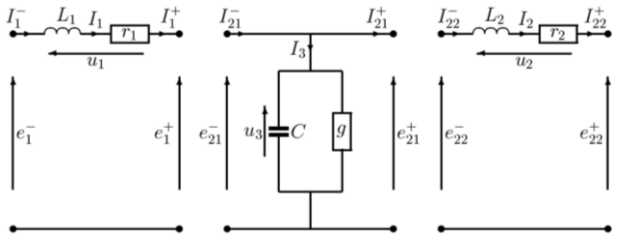



Рис. 3. Четырехполюсники, реализующие звенья декомпозиции $\Phi=\Phi_1\otimes\Phi_{21}\otimes\Phi_{22}$.

ЛИТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Р. Калман, П. Фалб, М. Арбиб, Очерки по математической теории систем, М.: Мир, 1971.

[2] D.J. Bender, A. Laub, "The linear-quadratic optimal regulator for descriptor systems", *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. AC-32, no. 8, pp. 672-688, 1987.

[3] G.R. Duan, Analysis and Design of Descriptor Linear Systems, New York, Dordrecht, Heidelberg, London: Springer, 2010.

[4] Л.А. Власенко, А.Г. Руткас, "Об оптимальном управлении переходными процессами в электрических цепях", *Радиоэлектроника и информатика*, N 1, с. 3-7, 2016.

[5] L.A. Vlasenko, A.G. Rutkas, A.A. Chikrii, "On a differential game in an abstract parabolic system", *Proceedings of the Steklov Institute of Mathematics*, vol. 293 (Suppl. 1), pp. 254-269, 2016.

[6] L.A. Vlasenko, A.G. Rutkas, "Optimal control of undamped Sobolev-type retarded systems" *Mathematical Notes*, vol. 102, no. 3, pp. 297-309, 2017.

[7] Л.А. Власенко, А.Г. Руткас, В.В. Семенец, "Последовательные композиция и декомпозиция дескриптрных систем управления", *Проблемы управления и информатики, Т. 50, № 5, с. 5-18, 2018.*

[8] Ф.Р. Гантмахер, Теория матриц, М.: Наука, 1966.

# Локалізація Автономного Робота Методом Фільтра Частинок

Юрій Гунченко, Катерина Любкевич
кафедра математичного забезпечення комп'ютерних систем
Одеський національний університет імені І.І.Мечнікова
Одеса, Україна
gunchenko@onu.edu.ua

Надія Казакова, Олексій Фразе-Фразенко
кафедра комп'ютерних та інформаційно-вимірювальних технологій
Одеська державна академія технічного регулювання та якості
Одеса, Україна
kaz2003@ukr.net

Сергій Шворов
кафедра автоматики та робототехнічних систем
Національний університет біоресурсів і природокористування України
Київ, Україна
sosdok@i.ua

# Localization of an Autonomous Robot by the Particle Filter Method

Yurii Gunchenko, Katerina Lyubkevich
Department of Mathematical Support of Computer Systems
Odessa I.I.Mechnikov National University
Odessa, Ukraine
gunchenko@onu.edu.ua

Nadiia Kazakova, Oleksii Fraze-Frazenko
dept. of computer, information and measurement technologies
Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality
Odesa, Ukraine
kaz2003@ukr.net

Sergey Shvorov
Department of Automation and Robotic Systems
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
sosdok@i.ua

***Анотація*—В роботі розглянута актуальна науково-практична задача – визначення місця розташування (локалізації) автономного робота на місцевості. Проведено аналіз методу фільтра частинок на основі фільтра Баєса, для практичної реалізації запропоновано алгоритм локалізації. Враховуються особливості сенсорів-далекомірів, вплив на них шумів, відхилень і відказів. Моделювання алгоритму показало його адекватність і можливість застосування в робототехніці.**

***Abstract*—The item discusses current scientific and practical problem - location (localization) autonomous robot on the locality. The analysis method of particle filter based on Bayesian for the practical implementation of an algorithm for localization. Takes into account features of sensors, range finders, the impact on them of noise, deviations and failures. Modeling algorithm has shown its value and could be used in robotics.**

***Ключові слова— робот, локалізація, фільтр частинок, далекомір, положення, ресемплінг (resampling).***

***Keywords—robot, localization, particle filter, range finder, a position resampling.***

## I. Вступ

Створення автономних роботів, які можуть самостійно вирішити поставлені завдання, є актуальною проблемою робототехніки.

Мобільна робототехніка – це одна з областей, що стрімко розвивається. Створюються алгоритми, що дозволяють здійснити перехід від мобільних роботів, дистанційно керованих оператором, до роботів, здатних виконувати рух в автоматичному режимі, без постійного контролю.

Локалізація – одна з найважливіших фундаментальних задач сприйняття в робототехніці, оскільки знання місця розташування об'єктів та самого діючого суб'єкта є основою успішної фізичної взаємодії. Існують три різновиди завдань локалізації зі зростаючою складністю: відстеження траєкторій, глобальна локалізація, завдання викрадення. В усіх випадках передбачається, що робот має модель навколишнього середовища, тобто карту [1].

Метою роботи є аналіз і синтез алгоритмів для глобальної локалізації мобільного робота з використанням вірогідного підходу.

Ця задача актуальна, тому що служить для навчання робота руху і орієнтації на місцевості.

## II. Постановка завдання локалізації та фільтра Байеса

Задача локалізації – це визначення кількості розподілів можливостей стану системи в кожний момент часу, основуючись на інформації від сенсорів та системи управління роботом. На відміну від інших відомих методів – фільтр Баєса представляє собою найбільш загальний механізм, який дозволяє рекурсивно обчислити вірогідний розподіл на основі спостережень та керування [2].

Стан системи оцінюється в дискретні моменти часу, які будемо позначати: t, t +1, t +2, ...

Для моделювання даної задачі введемо наступні випадкові змінні:

- $x_t$ - вектор описуваючого стану систем в момент часу t, або в нашому випадку, місцеположення та орієнтація робота у просторі;
- $z_t$ - вектор, що описує дані з сенсорів;
- $u_t$ - вектор керування, у нашому випадку описує дії робота, наприклад, обертання коліс, або поворот навколо своєї осі.

Процес руху робота в просторі може бути промодельований з допомогою будь-якого випадкового процесу, який представлений у графічному вигляді на рис. 1

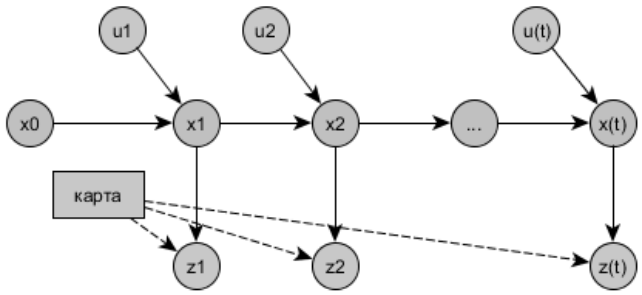



Рис. 4. Графічний вигляд представлення процесу руху робота в просторі

Стрілки показують залежності між випадковими змінами. Як видно, стан системи (положення робота) у моменти часу залежить від стану в попередній момент і від дії робота. Сам стан системи є невідомим (x0, x1, x2,… x(t)), і єдиним, що ми можемо спостерігати це змінні u и z. Інформація від сенсорів z, в свою чергу, залежить від положення робота і від оточення, в якому робот знаходиться (що ми будемо називати картою).

Іншими словами, будемо розглядати наступні умовні розподіли ймовірностей:

- $p(x_t \mid u_t, x_{t-1})$ - розподіл ймовірностей, який описує, як система еволюціонує в часі – модель руху.
- $p(z_t \mid x_t)$ - розподіл ймовірностей, який описує, як вимірювання сенсорів відповідають положенню робота – модель вимірювання.

Тоді завдання локалізації – це виявлення, в кожному моменті часу, наступного розподілу ймовірностей:

$$p(x_t \mid z_{1:t}, u_{1:t}, x_{0:t-1}) = p(x_t \mid z_t, u_t, x_{t-1}) \qquad (1)$$

В (1) ми відразу зробили важливе допущення про те, що положення робота в наступному моменту часу залежить тільки від поточного положення та від поточної інформації від сенсорів, але не залежить від попередніх положень або попередніх показників сенсорів. Це допущення - властивість Маркова, і це дуже важливе для ефективного вирішення задач.

Для визначення алгоритму рішення задачі, позначимо $bel(x_t) = p(x_t \mid z_{1:t}, u_{1:t})$ розмежування ймовірностей яке характеризує знання робота про своє місці розташування в момент часу t. Фільтр Баєса дозволяє рекурсивно обчислити $bel(x_t)$ на основі $bel(x_{t-1})$, а також даних про переміщення та даних з сенсорів.

У загальному вигляді модель алгоритму фільтрації Баєса виглядає наступним чином:

$$\overline{bel}(x_t) = \int p(x_t \mid u_t, x_{t-1}) bel(x_{t-1}) dx, \qquad (2)$$

$$bel(x_t) = \gamma p(z_t \mid x_t) \overline{bel}(x_t). \qquad (3)$$

У приведеній вище моделі можна виділити дві важливі компоненти:

- Крок 1: вираз (2) є прогнозуванням положення роботи після виконання дій $u_t$.
- Крок 2: з виразу (3) прогноз уточнюється за допомогою даних спостережень.

Початковий розподіл $bel(x_0)$ представляє наше знання про первинне положення робота. Наприклад, в разі повної відсутності будь-яких знань ми можемо використовувати рівномірний розподіл по всьому простору станів.

Фільтр Баєса (2, 3) надає нам загальний механізм для рекурсивної оцінки становища робота. Модель руху і модель вимірювань є вихідними даними, і зазвичай моделюються на етапі створення робота з урахуванням особливостей рушіїв і сенсорів. Модель вимірювання також містить інформацію про оточення робота, наприклад, карту місцевості або приміщення.

На жаль інтегрування в (2) і множення в (3) в явному вигляді можливо тільки для дуже простих моделей руху і моделей сенсорів, або для повністю дискретних середовищ. Тому на практиці застосовуються безліч наближених методів, одним з яких є перспективний метод фільтрації частинок.

## III. Метод фільтрації частинок

Основна ідея методу фільтрації частинок полягає в представленні апостеріорного розподілу положення робота $bel(x_t)$, за допомогою кінцевого числа семплів, замість того щоб представляти його розподіл в параметричному вигляді (наприклад експоненціальної функції в разі нормального розподілу) [3]. Таке уявлення є наближеним, але завдяки непараметричному вигляду дозволяє уявляти набагато складніші розподілення.

Позначимо $X = \{x^{(1)}, x^{(2)}, \ldots, x^{(N)}\}$ множину з N частинок. Кожна частинка представляє конкретну гіпотезу про місце розташування робота в даний момент. Також дамо кожній частинці вагу $w^{(1)}, w^{(2)}, \ldots, w^{(N)}$, яка буде позначати, наскільки дана гіпотеза про місце робота правдоподібна в даний момент.

Тоді псевдокод алгоритму фільтрації частинок для локалізації робота буде виглядати наступним чином:

```
particle_filter(X_{t-1}, u_t, z_t):
for n = 1 to N:
x_t^(n) = move(x_{t-1}^(n), u_t)          // Крок 1
w^(n) = sensor(x_t^(n), z_t, карта)       // Крок 2
end for
X_t = ∅
for n = 1 to N:
витягнути x_t^(i) з вер. w^(i) з X_{t-1}
                                          // Крок 3
X_t = X_t + x_t^(i)
end for
return X_t
```

Крок 1 є кроком прогнозування. На цьому кроці інформація про переміщення робота застосовується до кожної з частинок, за допомогою функції *move()*.Таким чином, ми використовуємо нову інформацію про рух, щоб оновити гіпотези про становище робота.

Візьмемо, наприклад, частинку $x_t$ = {10, 10, 90º}, Яка описує гіпотезу про те, що координати робота (10, 10) і він орієнтований строго на схід (0º це північ). Припустимо тепер, що ми знаємо, що робот проїхав вперед 10 метрів і повернувся вліво на 30º. Тоді нові координати частинки, або наша нова гіпотеза про становище робота, буде наступна $x_{t+1}$ = {20, 10, 60º}.

Після цього на Кроці 2 вага кожної частки обчислюється на підставі того як добре узгоджуються дані від сенсорів, карти і положення частинки. Іншими словами, вага частинки, повинна бути пропорційна ймовірності того що при даній карті, в положенні $x_t$ можуть бути отримані вимірювання $z_t$. Тут важливо розуміти, що вимірювання $z_t$ отримані від реального робота, в тому місці, де він дійсно розташований в даний момент. Далі ми намагаємося співвідносити ці виміри з положенням кожної частинки, і на підставі цього отримуємо її вагу. Наприклад, припустимо після попереднього кроку, частка $x_{t+1}$ виявилася в самому кутку кімнати на нашій карті. Також, припускаємо, наш робот обладнаний лазерним далекоміром, вимірювання $z_t$ з якого, в даний момент часу визначається, що найближчий об'єкт знаходиться на значній відстані в 10 м від робота. Таким чином, для частинки $x_{t+1}$ (яка знаходиться в кутку кімнати, а значить близько від стін), дані вимірювань погано співвідносяться з її положенням. З чого ми можемо зробити висновок що дана, частка представляє малоймовірну гіпотезу про становище робота. Таким чином, вага $w_{t+1}$ цієї частинки буде дуже маленькою.

Цикл, що містить Крок 3, називається ресемплінг (resampling) і є дуже важливим елементом методу фільтрації частинок. На цьому кроці частинки фільтруються. Це робиться шляхом вибірки з поверненням N частинок з початкової множини, причому ймовірність вибору конкретної частинки прямо пропорційна її вазі. Після вибірки вага частинки вже не має значення, і буде перерахованою при наступній ітерації алгоритму. Цей крок дозволяє сформувати нову безліч частинок, в якій інформація про щільність ймовірності представлена за допомогою щільності частинок, а не їх ваги. Після цього алгоритм готовий до наступної ітерації.

Метод фільтрації частинок дозволяє ефективно представляти непараметричні розподілення ймовірностей будь-якої складності, а також використовувати довільні нелінійні моделі руху і сенсорів. Це зумовило надзвичайну популярність цього методу на практиці. Проте необхідно враховувати, що цей метод є наближеним і ретельний підбір параметрів необхідний для забезпечення його стійкої роботи.

Наближеність методу обумовлена наступними причинами:

- кінцеве число використовуваних частинок;
- випадковість процесу ресемплінга. В ході ресемплінга ми видаляємо частки і тим самим зменшуємо різноманітність гіпотез;
- неточність апріорного розподілу. Так як метод, по суті, не генерує нові гіпотези (частинки), а лише оновлює або видаляє існуючі, то первинний розподіл має містити частинки близькі до реального стану робота. Ця проблема особливо актуальна в разі просторів станів з багатьма вимірами і зазвичай вимагає збільшення числа використовуваних частинок.

## IV. Модель руху

На кроці 1 в пропонованому алгоритмі всі частки переміщаються відповідно до моделі руху робота. Розглянемо одну з моделей руху робота на площині, яка часто використовується на практиці. Положення робота описується

двома координатами ( $x, y$ ) і кутом повороту $\theta$ . Припустимо, ми можемо використовувати датчики робота для отримання інформації про його відносне переміщення. Наприклад, в реальному додатку це може бути інформація виду:

- Робот повернувся на 15º,
- Робот проїхав 15 м,
- Робот повернувся на 30º.

Кожну зміну положення робота ми можемо описати за допомогою трьох компонентів:

- $\delta_{rot1}$ - початкового повороту,
- $\delta_{trans}$ - лінійного переміщення,
- $\delta_{rot2}$ - кінцевого повороту, як наведено на рис. 2.

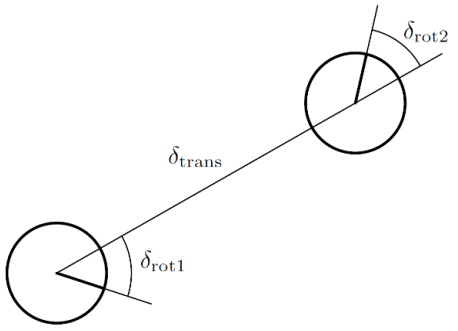



Рис. 5. Зміна положення робота

Таким чином, $u_t = < \delta_{rot1}, \delta_{trans}, \delta_{rot2} >$. Тоді алгоритм руху робота можна записати в наступному вигляді:

move($x_{t-1}$,$u_t$)

$$\tilde{\delta}_{rot1} = \delta_{rot1} + N(\alpha_1)$$

$$\tilde{\delta}_{trans} = \delta_{trans} + N(\alpha_2)$$

$$\tilde{\delta}_{rot2} = \delta_{rot2} + N(\alpha_3)$$

$$x' = x + \tilde{\delta}_{trans} \cos(\theta + \tilde{\delta}_{rot1})$$

$$y' = y + \tilde{\delta}_{trans} \sin(\theta + \tilde{\delta}_{rot1})$$

$$\theta' = \theta + \tilde{\delta}_{rot1} + \tilde{\delta}_{rot2}$$

return $x_t = \{x', y', \theta'\}$

Як бачимо, модель руху використовує відомі тригонометричні формули для обчислення кінцевого положення робота. Однак, важливим моментом є перші три рядки, де ми застосовуємо випадковий шум до всіх вхідних параметрів. Це дозволяє врахувати неточність датчиків і приводів робота. На рис. 3 показано розподіл кінцевого положення робота для різних показників шуму.

## V. Модель сенсору

На кроці 2 алгоритму ми використовуємо модель вимірювань робота для обчислення ваги кожної частинки в даний момент часу. Модель вимірювань являє собою функцію, яка на підставі даних від сенсорів $z_t$ і положення частинки, обчислює вагу частинки. Для цього модель сенсорів використовує інформацію про карту і визначає наскільки ймовірні поточні вимірювання для кожної частинки $x_i$.

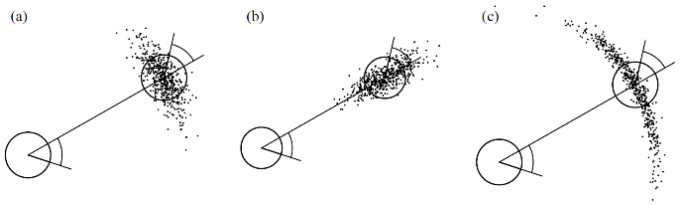



Рис. 6. Розподіл кінцевого положення робота з урахуванням показників шуму

Вид моделі руху і вектору $z_t$ багато в чому залежить від виду сенсора, використовуваного роботом. Наприклад, в разі якщо робот обладнаний стереокамерою, $z_t$ може являти собою пару зображень, а модель сенсорів буде намагатися розпізнати об'єкти на цих зображеннях і зіставити їх з реальними об'єктами на карті. Модель сенсорів проектується на етапі розробки робота і повинна бути ретельно відкалібрована і протестована.

Розглянемо модель сенсора на прикладі далекоміра – датчика, який визначає відстань до найближчого об'єкта на карті в певному напрямку. Припустимо, робот обладнаний K далекомірами, які рівномірно розташовані по колу. Тоді вектор вимірювань $z_t = \{z_t^1, z_t^2, \ldots, z_t^K\}$ буде містити K значень.

Вектор $z_t$ отриманий в результаті вимірів з поточного становища робота, це положення нам не відомо. Для того щоб обчислити вагу частинки, необхідно простимулювати вимірювання з тієї точки де знаходиться частинка. Це робиться за допомогою побудови променю в кожному напрямку і обчисленні відстані до найближчого об'єкта на карті. Таким чином, для кожної частинки ми отримаємо вектор $z_t^* = \{z_t^{1*}, z_t^{2*}, \ldots, z_t^{K*}\}$, який містить очікувані вимірювання для цієї частки. Завдання моделі сенсорів в даному випадку, порахувати вагу частинки на підставі того, наскільки сильно $z_t$ відрізняється від $z_t^*$, причому дуже важливо врахувати, що навіть самий якісний сенсор не видає абсолютно точних вимірювань, тобто необхідно врахувати помилки вимірювань.

Для спрощення моделі приймемо також важливе допущення про незалежність сигналів сенсорів від сусідніх сенсорів. На практиці це не завжди так, наприклад, якщо один з сенсорів «бачить» стіну, існує чимала ймовірність що сусідні сенсори також її «бачать». Проте, це припущення добре працює на практиці і істотно спрощує обчислення, так

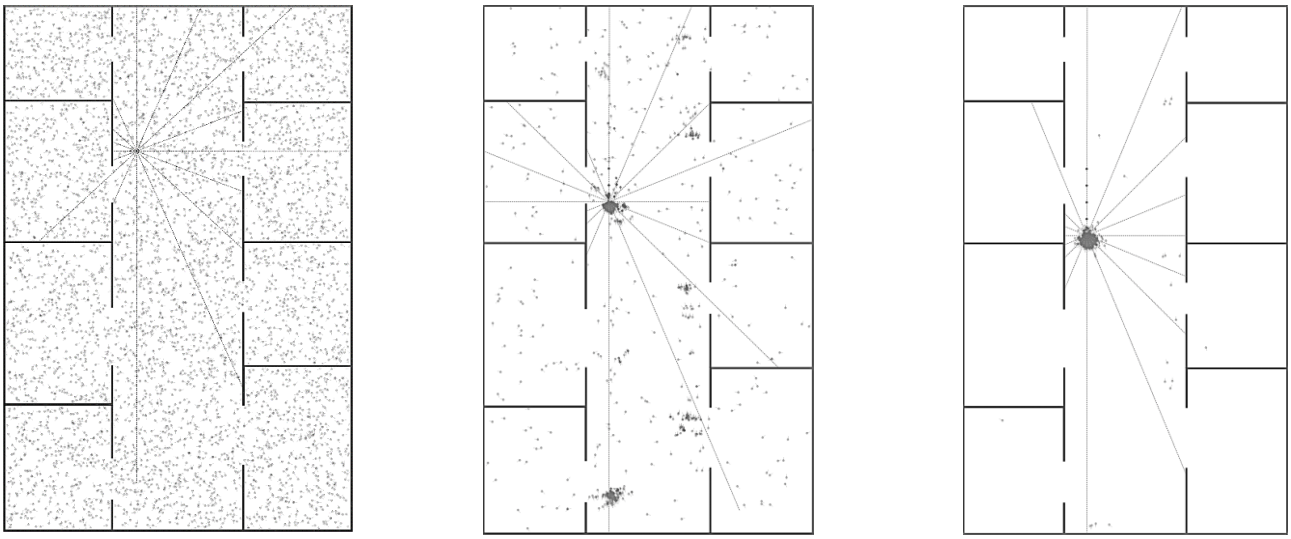
як умова незалежності дозволяє нам розглядати кожен далекомір окремо і потім просто перемножити результати.

Відмова сенсора може статися якщо промінь далекоміра потрапляє на поверхню під дуже гострим кутом, або поверхня взагалі не відображає сигнал. В такому випадку далекомір зазвичай повертає максимальну відстань. Ця ситуація може бути змодельована за допомогою точкового розподілу наступним чином:

$$p_{отк}\left(z_t^k \mid x_t, m\right) = \begin{cases} 1, & якщо\, z_t^k = z_{max} \\ 0, & інакше \end{cases}$$

## VI. Результати моделювання

Робота запропонованого алгоритму проілюстрована на рис. 7, де показано, як робот визначає своє місцезнаходження в будівлі.



а) б) в)

Рис. 7. Результати моделювання визначення місця розташування автономного робота в будівлі: а) робот генерує безліч припущень про своє місцезнаходження, б) формуються кластери з найбільш високими можливостями, в) робот визначив своє місце розташування

На рис. 7 а) частинки розподілені рівномірно згідно з розподілом апріорних ймовірностей, що показує наявність глобальної невизначеності відносно положення робота. На рис. 7 б) показано, як надходить перший ряд результатів вимірювань і частки формують кластери в областях з високим розподілом апостеріорно довірчих станів. На рис. 7 в) показано, що надійшла достатня кількість результатів вимірювань, щоб всі частинки зібралися в одному місці.

## VII. Висновки

Отримані в роботі результати моделювання запропонованого алгоритму локалізації робота підтверджують адекватність моделі і запропонованого алгоритму, який її реалізує. Для реалізації алгоритму на практиці не потрібно великих обчислювальних потужностей, що дозволяє його реалізувати на стандартних обчислювальних системах.

Запропонований алгоритм можна рекомендувати до використання в автономних роботах.

## Література References


[1] Юревич Е.И. Основы роботехники / Е.И. Юревич. – СПб, 2010. – 252 с.

[2] Thrun S. Probabilistic robotics / S. Thrun, W. Burgard, D. Fox – Seattle, 2000. – 492 p.

[3] Гунченко Ю.О. Локалізація робота на місцевості за допомогою фільтра частинок / Ю.О. Гунченко, А.В. Марченко, Л.В. Солодєєва // Тези доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції "Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє". — Київ, 2014. – С. 30.

[4] Python Интернет портал Википедия – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Python.

[5] Swaroop C.H. A Byte of Python: пер. с англ. / C.H. Swaroop – NY, 2013. – 159 p.

[6] PyQt Интернет портал Википедия – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/PyQt


.

# Математична Модель та Оптимізація для Задач Покриття Області Рівними Кругами

Олексій Антошкін
Кафедра автоматичних систем безпеки та інформаційних технологій
Національний університет цивільного захисту України
Харків, Україна
antoshkin@nuczu.edu.ua

Олександр Панкратов
Відділ математичного моделювання
Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України
Харків, Україна
pankratov2001@yahoo.com

# Mathematical Model and optimization for Problems Covering the Area with Equal Circles

Oleksiy Antoshkin
Department of automated security systems and information technologies
National University of Civil Protection of Ukraine
Kharkiv, Ukraine
antoshkin@nuczu.edu.ua

Alexander Pankratov
Department for Mathematical Modeling
A.N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems NAS of Ukraine
Kharkiv, Ukraine
pankratov2001@yahoo.com

***Анотація*— Дослідження присвячено задачі покриття області складної форми за допомогою рівних кругів. Покриваючі обмеження описуються за допомогою фі-функцій та функцій належності. Побудована математична модель у вигляді негладкої задачі оптимізації. Запропонована стратегія рішення задачі та розроблен метод її рішення.**

***Abstract*—The research is devoted to the problem of covering an area of complex shape by equal radius circles. Covering constraints are described by means of fi-functions and belonging functions. A mathematical model is constructed in the form of a nonsmooth optimization problem. The strategy of solving the problem is proposed and the method of its solution is developed.**

***Ключові слова—покриття; математична модель; нелінійне програмування; оптимізація***

***Keywords— covering; mathematical model; non-linear programming; optimization***

## I. Вступ

Задачі покриття є предметом дослідження обчислювальної геометрії, а методи їх вирішення – новим напрямком теорії дослідження операцій. На сучасному етапі стрімко зростає інтерес до ефективного вирішення задач оптимального покриття кругами областей різноманітних форм. Це пояснюється різноманітністю практичних застосувань і надзвичайною складністю математичних моделей і методів їх вирішення.

Одна з основних областей застосування завдань покриття, сенсорні мережі, є відносно новою сферою, де технологія швидко розвивається в останні роки, і використовуються для вирішення завдань в самих різних областях, які варіюються від безпеки музеїв до завдань захисту дикої природи.

## II. Аналіз літературних джерел

Останнім часом у зв'язку з розвитком різного виду сенсорних мереж дослідження задач кругового покриття стає все більш перспективним [1]. До таких задач відносяться: захист лісових масивів від пожеж [2], визначення необхідної кількості і розміщення станцій стільникового зв'язку; визначення радіуса дії і розміщення поливальних установок; побудова мережі призначених для контролювання діапазону кругових орбіт штучних супутників Землі [3]. До задач оптимального покриття також зводяться вибір оптимальної потужності двигунів малої тяги [4], і теоретичні завдання відновлення функцій, глобальної оптимізації та побудови оптимальних квадратур [5].

Незважаючи на дуже активний розвиток теорії сенсорних мереж, практично всі роботи присвячені бездротових мереж. У даній статті розглядається клас задач побудови оптимальних провідних сенсорних мереж для областей складної форми, що представляють інтерес,

наприклад, при забезпеченні протипожежного захисту приміщень.

Для побудови покриттів авторами запропоновано кілька підходів. Один з них – розміщення датчиків в детермінованих вузлах. Доведено [6], що правильна трикутна тесселяція є оптимальною з точки зору мінімальної кількості вузлів, необхідних для повного охоплення області. Деякі дослідники [7] досліджують використання шаблону у вигляді смуги. Ефективним варіантом такого підходу є запропонований в [8] метод секційно-регулярного покриття.

Другий підхід заснований на випадковому розміщенні сенсорних датчиків в [9]. В роботі [10] пропонується оригінальний стохастичний алгоритм генерації покриттів багатокутної області однаковими колами, заснований на перетвореннях гомотетії.

В роботі [11] розглядається безперервна задача покриття множини як задачу квазідиференційованої оптимізації і наводиться алгоритм її рішення. Для безперервної завдання оптимального кульового покриття компактної множини в [12] запропоновано і обґрунтовано алгоритм, заснований на використанні теорії оптимального розбиття множин та застосуванні алгоритму Шора для вирішення отриманої задачі оптимізації недиференційованої функції.

В роботі [13] запропоновано чисельні методи побудови покриттів, що базуються на розбитті множини на області Діріхле і знаходженні так званих характерних точок. Одним з ключових елементів методів є побудова чебишевского центру компактного опуклого безлічі. Особливістю приведеної модифікації методу є можливість вирішення задачі покриття для довільних областей з криволінійної кордоном.

В роботі [14] пропонується математична модель задачі покриття опуклою багатокутної області колами з урахуванням похибок вихідних даних в інтервальному вигляді с використанням класу інтервальних функцій, проте поки не пропонується метод її вирішення.

З аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що переважна більшість робіт, що мають відношення до задач кругового покриття, присвячена дослідженню евристичних методів їх вирішення. Наявні аналітичні моделі і методи рішення мають, як правило, недоліки і обмежену сферу застосування, що не дозволяє використовувати їх для вирішення задач кругового покриття складних областей $R^2$, тим більше вирішити за їх допомогою задачі побудови оптимальної провідний сенсорної мережі, якій і присвячено дане дослідження.

## III. Математична постановка задачі

Нехай задані замкнута обмежена область $\Omega \subset R^2$ з кусково-гладкою границею, сформованою $L$ фрагментами аналітично описаних кривих (наприклад, відрізками прямих і дугами кіл), і множина кругів $C = \{C_i, i = 1,2,...,n\}$. Кількість $L$ фрагментів може бути рівним одиниці (а $\Omega$ являти собою, наприклад, круг). Далі вважається, що $C_i = C_i(u_i) = C_i(x_i, y_i)$, де точка $u_i$ збігається з центром круга $C_i$. Вектор $u_i$ називається вектором трансляції або вектором параметрів розміщення круга $C_i$.

Побудуємо об'єднання $\Upsilon = \bigcup_{i=1}^{n} C_i$. Множина $\Upsilon$ називається круговим покриттям області $\Omega$, якщо $\Omega \subseteq \Upsilon$.

Постановка задачі. Знайти покриття $\Upsilon$ області $\Omega$, оптимальне відповідно до деякого критерію якості $F(u), u = (u_1, u_2, ..., u_n)$.

В роботі [2] на основі ідей з дослідження [10] сформульовано критерій кругового покриття довільного багатокутника, який може бути узагальнений на випадок покриття довільного множини $\Omega$.

Для того, щоб множина $\Upsilon = \bigcup_{i=1}^{n} C_i$ була не виродженим круговим покриттям множини $\Omega$, необхідно і достатньо, щоб:

1) для кожної точки $p_k \in P$ знайшовся хоча б один круг $C_i, i \in I_n$ такий, що $p_k \in \operatorname{int} C_i$;

2) для будь-якої точки $t_{ik}^* \in frC_i \bigcap fr\Omega, i \in I_n$, $k \in \{1,2\}$ знайшовся хоча б один круг $C_{j_k}, j \in I_n$, $i \neq j$, такий, що $t_{ik}^* \in \operatorname{int} C_{j_k}$ і, отже, точка $t_{ijk} \in frC_i \bigcap frC_j$ належить $\Omega^* = R^2 \setminus \operatorname{int} \Omega$;

3) для будь-якої точки, $t_{ijk} \in frC_i \bigcap frC_j, i, j \in I_n, i \neq j$, $t_{ijk} \in \operatorname{int} \Omega, k \in \{1,2\}$, існує круг $C_{s_k}$, $s \neq i$, $s \neq j$, такий, що $t_{ijk} \in \operatorname{int} C_{s_k}$.

При побудові математичної моделі виконання першого критерію забезпечується додаванням в систему обмежень задачі нерівностей виду $\varphi^{p_k C_i} \geq 0$, другого критерію – нерівностей виду $\varphi^{tC_j} \geq 0$, третього критерію – нерівностей виду $\varphi^{t'C_s} \geq 0$. Тут $\varphi^{p_k C_i} \geq 0$, $\varphi^{tC_j} \geq 0$ і $\varphi^{t'C_s} \geq 0$ – функції належності.

Нехай дано невироджене покриття $\Upsilon$ області $\Omega$ кругами однакового рівного радіусу і необхідно оптимізувати деякий критерій якості.

Побудуємо для покриття $\Upsilon$ індексні множини:

– множину $\Xi_1$, елементами якої є пари чисел: номера точок з множини $P$ і кругів, які відповідають умовам пункту 1 критерію покриття області;

– множину $\Xi_2$, елементами якої є трійки чисел: номера пар кругів і точок перетину, які відповідають умовам пункту 2 критерію покриття області кругами;

– множину $\Xi_3$, елементами якої є четвірки чисел: номера трійок кругів і точок перетину, які відповідають умовам пункту 3 критерію покриття області кругами.

Тоді досить загальна математична модель задачі покриття може бути записана у вигляді

$$\min_{u \in W \subset R^\delta} F(u), \tag{1}$$

$$\begin{aligned} W = \{u \in R^\delta : \varphi^{p_k C_i} \geq 0 \forall (k,i) \in \Xi_1, \varphi^{t_{ijk}\Omega^*} \geq 0, \\ \Phi_-^{C_i C_j} \geq 0 \forall (i,j,k) \in \Xi_2, \varphi^{t_{ijk} C_{s_k}} \geq 0, \\ \Phi_-^{C_i C_j} \geq 0 \forall (i,j,s) \in \Xi_3, k = 1,2, \Psi \geq 0\}, \end{aligned} \tag{2}$$

де

$\sigma = 2n + l$,

$u = (u_1, u_2, ...., u_n, t)$,

$u_i = (x_i, y_i)$, $i = 1,2,...,n$ – параметри розміщення $i$-го сенсора,

$\varphi^{p_k C_i}, \varphi^{t_{ijk}\Omega^*}, \varphi^{t_{ijk} C_{s_k}}$ – функції належності,

$t_{ijk}$ – точка перетину кіл $C_i$ і $C_i$.

$f(u_i, u_j, k)$ – функція, що обчислює координати точок перетину кіл $C_i$ и $C_i$,

$\Phi_-^{C_i C_j} = 4r^2 - (x_i - x_j)^2 - (y_i - y_j)^2$ – пседонормалізована phi-функція, що формалізує умови розміщення пари кругів на максимально допустимій відстані $\rho = 0$,

$t$ – вектор допоміжних змінних задачі розмірності $l$,

$\Psi(u)$ – система допоміжних обмежень (наприклад, умов належності центрів кругів області $\Omega$).

## IV. Пошук локального екстремуму

У загальному випадку задача (1)-(2) являє собою задачу негладкої оптимізації. Це пояснюється тим, що функція $\varphi^{t_{ijk}\Omega^*}$ в загальному випадку є мінімаксною.

Для моделювання задачі побудови провідної сенсорної мережі в модель (1)-(2) необхідно внести такі зміни:

– функція цілі є довжина траси (сума відстаней між центрами сенсорів, заданих в певному порядку);

– в систему додаткових обмежень вносяться умови належності сенсорів області з урахуванням мінімально допустимих відстаней до границі області (в загальному випадку описуються за допомогою мінімаксних функцій);

– в систему додаткових обмежень вносяться умови неналежності центрів сенсорів областям заборони (в загальному випадку описуються за допомогою мінімаксних функцій);

– в систему додаткових обмежень задачі вносяться мінімально допустимі відстані між центрами сенсорів (описуються за допомогою усюди гладкою phi-функції).

З урахуванням особливостей математичної моделі задачі покриття, пропонується використовувати стратегію вирішення задачі, що складається з наступних кроків:

1. Генеруємо набір стартових точок з області допустимих рішень задачі (1)-(2);

2. Для кожної з стартових точок будуємо модель виду (4) - (5) ;

3. Шукаємо локальний мінімум функції цілі задачі (1)-(2), стартуючи з точок, отриманих на кроці 1 і застосовуючи процедуру локальної оптимізації;

4. Вибираємо найкраще з отриманих на кроці 3 локальних рішень, як наближення до глобального вирішення задачі (1)-(2).

Для побудови стартового покриття в залежності від особливостей постановки задачі застосовувалися методи регулярного покриття на основі решіток, стохастичні зі зміною коефіцієнта гомотетії і оптимізації за групами змінних, т.зв. "послідовно-одиночного покриття". При застосуванні останнього методу результат істотно залежить від використовуваного локального критерію якості покриття. Порівняно непогані результати виходять, якщо при обчисленні локального критерію якості враховується зв'язність залишилася області і кількість кіл, необхідних для покриття решти області в околиці розміщується круги.

Слід зазначити, що побудована стартова точка часто не належить області допустимих рішень задачі (наприклад, круги мають більший радіус після збільшення коефіцієнта гомотетії) або її можна поліпшити, видаливши деякі з кругів (така ситуація часто виникає при використанні регулярного розміщення). Це можна зробити, вирішивши допоміжні завдання виду (1)-(2). Так, наприклад, для мінімізації радіусу покривають кругів (однакового для всіх об'єктів) можна прийняти його в якості додаткової змінної і мінімізувати цю змінну.

При трасуванні дротових з'єднань дуже важливим є врахування технологічних обмежень, бо використовуються два основних види дротяних з'єднань: кільцеве з великою кількістю сенсорів і шлейфове, коли з однієї точки може виходити кілька шлейфів з обмеженою кількістю датчиків на кожному. Бажано отримати мінімальну довжину дротових з'єднань.

Якщо перша задача є класичною задачею комівояжера, то другу можна представити у вигляді модифікованої задачі маршрутизації (без повернення в стартову точку).

Для вирішення цих задач була використана написана на C ++ бібліотека VPRH [15] з відкритим вихідним кодом, що реалізує набір евристичних методів для вирішення і оптимізації існуючих рішень задачі маршрутизації (і, як окремого випадку, задачі комівояжера). Бібліотека була ретельно перевірена багатьма дослідниками на тестових завданнях і в середньому генерує рішення в межах 3% від оптимального. Бібліотека VPRH легко модифікується для включення додаткових обмежень. Так, в даній роботі була здійснена модифікація, що дозволяє вибрати переважний напрямок для трас, що дозволяє підвищити технологічність рішення.

У загальному випадку пропонується вирішувати завдання (1)-(2) у вигляді послідовності підзадач нелінійного програмування.

Навіть якщо модель (1)-(2) описує задачу нелінійного програмування, то після процесу локальної оптимізації може виявитися, що, наприклад, деякі з функцій $\Phi_{-}^{C_i C_j} \geq 0$ в точці локального екстремуму дорівнюють нулю. Це може свідчити про те, що локальний екстремум вихідної задачі не досягнуть і необхідно перебудувати індексні множини для нової точки і продовжити процес вирішення задачі.

Якщо (1)-(2) описує завдання недиференційованої оптимізації, то область рішення $W$ вихідної задачі представляється у вигляді об'єднання підобластей $\bigcup_{g=1}^{G} W_g$, вибирається одна з підгалузей, що містять стартову точку $u^0$, і здійснюється пошук локального екстремуму на обраній підобласті стартуючи з точки. Отримана в результаті рішення підзадачі точка оголошується стартовою, і процес повторюється до тих пір, поки відбувається поліпшення функції мети.

Пошук локальних екстремумів здійснюється за допомогою програми IPOPT [16], яка знаходиться на відкритому некомерційному ресурсі (https://projects.coin-or.org/Ipopt).

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] B. Wang. Coverage problems in sensor networks: A survey. ACM Comput. Surv. – 2011. – 43. – P. 1–56.

[2] V. Komyak, A. Pankratov, V. Patsuk, A. Prikhodko. The problem of covering the fields by the circles in the task of optimization of observation points for ground video monitoring systems of forest fires. Econtechmod. An international quarterly journal – 2016. – Vol.5. No.2. – P. 133-138.

[3] С.А. Пиявский. Об оптимизации сетей. Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. — 1968. — № 1. С. 68-80.

[4] В.С. Брусов. С.А. Пиявский Вычислительный алгоритм оптимального покрытия областей плоскости. Журн. вычисл. математики и мат. физики. — 1971. — 11, № 2. — С. 304-312.

[5] А.Г. Сухарев. Минимаксные алгоритмы в задачах целочисленного анализа. — М.: Наука, 1989. — 300 с.

[6] R. Kershner. The number of circles covering a set. Amer. J. Math. – 1939. –61. –3. – P. 665–671.

[7] R. Lyengar, K. Kar, S. Banerjer. Low-Coordination topologies for redundancy in sensor networks. In Proc. 6th ACM MobiHoc. – 2005. – P. 332–342.

[8] А. В. Панкратов, В. Н. Пацук, Т.Е. Романова. Метод регулярного покрытия прямоугольной области кругами заданного радиуса. Радиоэлектроника и информатика № 1 (18). 2002, — С. 50-52.

[9] L. Lazos, R. Poovendran Stochastic coverage in heterogeneous sensor networks. ACM Trans. Sensor Netw. 2006. 2,3, – P. 325–358.

[10] Ю.Г. Стоян, В.Н. Пацук. Покрытие многоугольной области минимальным количеством одинаковых кругов заданного радиуса. Доп. НАН України. — 2006. — № 3. — С. 74-77.

[11] H. Jandl, K. Wieder A continuous set covering problem as a quasidifferentiable optimization problem. Optimization. – 1988. – 19. – № 6. – P. 781-802.

[12] Е. М. Киселева, Л. И. Лозовская, Е. В. Тимошенко. Решение непрерывных задач оптимального покрытия шарами с использованием теории оптимального разбиения множеств. Кибернетика и системный анализ. – 2009. – № 3. – С. 98-117.

[13] В. Н. Ушаков, П. Д. Лебедев, Алгоритмы оптимального покрытия множеств на плоскости $R^2$. Вестн. Удмуртск. ун-та. Матем. Мех. Компьют. науки, 26:2 (2016), 258–270.

[14] А.А. Антошкин, Т.Е. Романова Математическая модель задачи покрытия выпуклой многоугольной области кругами с учетом погрешностей исходных данных // Пробл. машиностроения. — 2002. — 5, № 1. — С. 56-60 .

[15] C. Groër, B. Golden, E. Wasil. A library of local search heuristics for the vehicle routing problem. Mathematical Programming Computation. – 2010. –2. –2. – P. 79-101.

[16] A. Wachter, L. T.Biegler. On the implementation of an interior-point filter line-search algorithm for large-scale nonlinear programming. Mathematical Programming. – 2006. – V. 106. – Issue 1. – P. 25–57.

# Критерії Побудови Оптимальної Системи Прогнозування Параметрів Роботи Підземних Сховищ Газу

Володимир Воловецький
провідний інженер відділу науково-технічної підтримки експлуатації підземних сховищ газу
Інститут транспорту газу АТ "Укртрансгаз"
Харків, Україна
volovetckiy-vb@utg.ua

Андрій Бугай
начальник відділу науково-технічної підтримки експлуатації підземних сховищ газу
Інститут транспорту газу АТ "Укртрансгаз"
Харків, Україна
bugay-ao@utg.ua

Юрій Пономарьов
заступник директора з наукової роботи
Інститут транспорту газу АТ "Укртрансгаз"
Харків, Україна
ponomarev-yv@utg.ua

# Criteria for Developing the Optimal Parameter Prediction System for the Underground Gas Storage Facilities Operation

Volodymyr Volovetskyi
Scientific and Technical Support Department of Underground Gas Storage Facilities Operation,
Institute of Gas Transportation of JSC "Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
volovetckiy-vb@utg.ua

Andrii Buhai
Scientific and Technical Support Department of Underground Gas Storage Facilities Operation,
Institute of Gas Transportation of JSC "Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
bugay-ao@utg.ua

Yurii Ponomarev
deputy director for scientific work
ITG JSC "Ukrtransgaz"
Institute of Gas Transportation JSC "Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
ponomarev-yv@utg.ua

***Анотація*—У роботі розглянуто актуальне питання щодо визначення основних параметрів експлуатації підземних сховищ газу із використанням комплексних програмних рішень. Сформовано основні критерії до розроблення інтегрованої системи прогнозування параметрів роботи підземних сховищ газу. Розроблення програмного забезпечення відповідно до визначених критеріїв дозволить оперативно розраховувати оптимальний режим експлуатації підземних сховищ газу та прогнозувати параметри їхньої роботи.**

*Abstract*—**The article investigates the topical issue of defining key operation parameters for underground gas storage facilities with the use of complex software solutions. Major criteria for developing the integrated parameter prediction system for the underground gas storage facilities operation have been developed. Software development in accordance with certain criteria will help to quickly and efficiently calculate the optimal operational mode for underground storage facilities and predict their operation parameters.**

***Ключові слова—підземне сховище газу, параметри роботи підземного сховища газу, режим експлуатації, модель технологічного процесу, програмне забезпечення***

***Keywords—underground gas storage facility, parameters of underground storage facility operation, operational mode, workflow model, software.***

## I. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Комплекс підземних сховищ газу (ПСГ) України входить до складу газотранспортної системи та забезпечує стабільність поставок газу споживачам, регулює сезонні коливання у споживанні газу і забезпечує транспортування газу в Європу. В Україні побудовані

тринадцять підземних сховищ газу, які розміщені по всій території та характеризуються значним активним об'ємом (близько 32 млрд. м$^3$ ) [1].

Режим роботи газосховищ визначається великою кількістю факторів і безпосередньо залежить від режиму роботи окремих сегментів газотранспортної системи (ГСТ), який у свою чергу визначається попитом на газ.

Підземні сховища газу містять підземну та наземну інфраструктуру, за допомогою якої забезпечуються різні технологічні процеси, наприклад очищування, осушування, обліковування, компримування газу та подавання у наявні підключені газопроводи споживачам згідно з Кодексом ГТС [2]. Газосховища можуть мати різну кількість підключень до магістральних газопроводів та окремих споживачів, що з одного боку підвищує гнучкість регулювання, а з іншого – значно ускладнює вибір оптимального режиму їх експлуатації. Фактичні режими експлуатації газосховищ характеризуються непостійними параметрами роботи та інерційністю окремих технологічних процесів. У таких умовах виникає необхідність оперативного визначення оптимальних параметрів роботи ПСГ, що потребує використання сучасної обчислювальної техніки та розроблення спеціального програмного забезпечення для моделювання та прогнозування режимів експлуатації газосховищ.

Існують різні методики та алгоритми для моделювання режиму експлуатації газосховища, які характеризуються різним рівнем деталізації та переліком вирішуваних задач, однак всі підходи мають свої переваги та недоліки. Відсутність комплексних рішень серед наявного на ринку програмного забезпечення для моделювання окремих технологічних процесів підземного зберігання газу вказує на необхідність формування критеріїв, що висувають до таких програмних продуктів, в тому числі перелік задач, що необхідно вирішувати.

## II. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Наявне на ринку програмне забезпечення для моделювання технологічних процесів підземного зберігання газу розроблене здебільшого для окремого обладнання або елементів технологічної схеми. Багато випадків, коли на газосховищах є моделі його елементів, але немає програмного продукту, який би об'єднав усі підсистеми і вирішував задачу з пошуку оптимального режиму комплексно.

Моделювання окремих підсистем може бути реалізоване за багатьма варіантами. Досить часто точність моделювання одного вузла системи в рази перебільшує точність розрахунків для іншого, що призводить до нераціональних витрат на дослідження та розроблення програмного забезпечення. Тому перед розробленням комплексного програмного забезпечення необхідно провести аналіз усіх алгоритмів та методик для їх оптимального компонування.

Підземне сховище газу є складним об'єктом, який включає багато технологічних процесів. Технологічний процес підземного зберігання газу умовно можна поділити на такі періоди:

– закачування газу;

– нейтральний період;

– відбирання газу.

Контроль за відбиранням газу із газосховища здійснює диспетчерська служба. У разі збільшення споживання газу або різкого зниження температури навколишнього середовища, відповідно збільшують відбір газу для забезпечення необхідного балансу тиску в системі трубопроводів газотранспортної системи.

Кожне ПСГ має певні характерні особливості, якими і відрізняється: геологічною будовою, пластовими тисками, фільтраційними параметрами пластів, глибиною продуктивних горизонтів, проектним об'ємом буферного та активного газу, кількістю свердловин, характеристиками обладнання тощо. Всі ці фактори визначають індивідуальну технологічну схему ПСГ.

Підземне зберігання газу передбачає певну послідовність різних технологічних процесів, основні з яких доцільно моделювати окремими блоками в складі інтегрованої системи. До основних технологічних об'єктів газосховища, для яких передбачається побудова індивідуальних моделей, відносять:

– пластову систему;

– свердловини;

– шлейфи (газопроводи);

– сепараційне обладнання;

– компресорну станцію.

На рис. 1 наведено принципову технологічну схему відбирання та закачування газу в ПСГ.

У період відбирання газ від свердловини шлейфом (газопроводом) надходить на газозбірний пункт (рис. 1), де відбувається очищування від механічних домішок та рідини. Далі газ надходить на осушування, облікування та компримування, звідки його подають у газопровід споживачам. У період закачування газ із газопроводу надходить на установку очищування для запобігання потрапляння різного роду забруднень в нагнітач або циліндри компресора, далі його обліковують, компримують та подають на вузол від'єднувальних пристроїв і по шлейфу – до свердловин у продуктивний горизонт.

Залежно від наявної інфраструктури газосховищ, що наведено на рис.1, принципова технологічна схема може дещо відрізнятися, наприклад, наявним обладнанням та процесом. Як відбір газу, так і закачування у газосховище, може відбуватися компресорним та безкомпресорним способом, що залежить від величини пластових тисків та тиску в магістральному газопроводі.

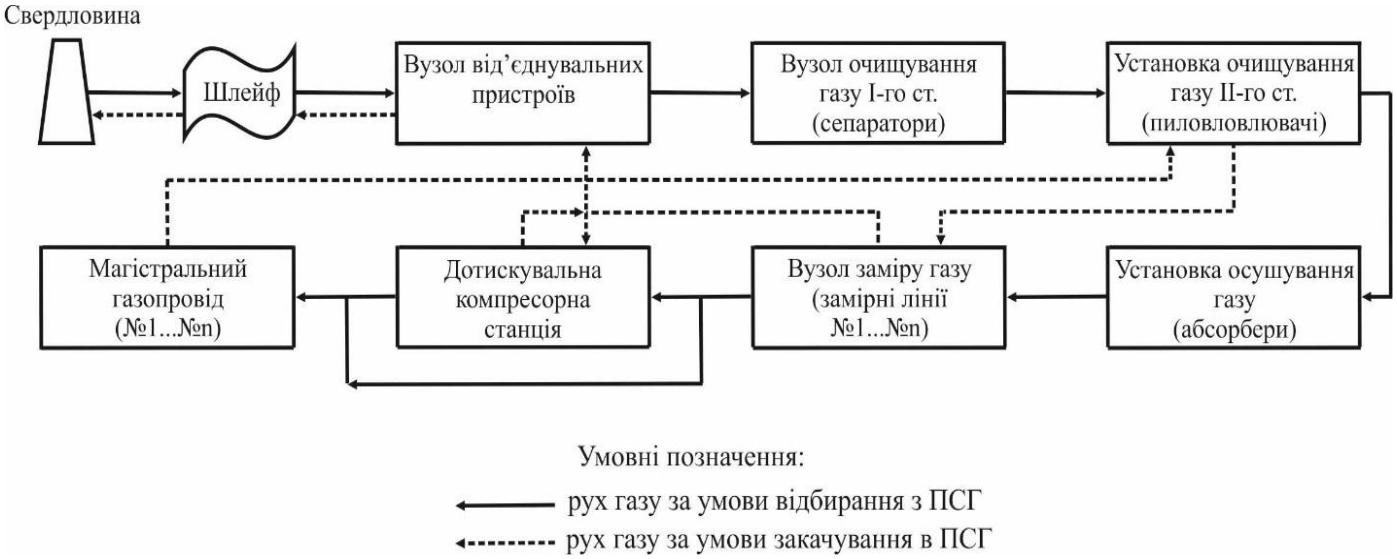



Рис. 1. Принципова технологічна схема відбирання та закачування газу в ПСГ.

Сьогодні газотранспортна система надійно забезпечує транспортування газу як закордонним споживачам, так і на внутрішній ринок. У цьому велику роль відіграють газосховища, з яких своєчасно подається необхідний об'єм газу – чим забезпечується баланс тисків у системі газопроводів. Для ефективного керування газосховищем доцільно розробити комплексний програмний продукт для оперативного прогнозування оптимального режиму роботи ПСГ. З урахуванням особливостей технологічної схеми ПСГ функціональні можливості програмного продукту повинні забезпечувати вирішення таких основних задач:

– прогнозування параметрів роботи ПСГ на визначений термін;

– розрахунок максимальних "пікових" продуктивностей ПСГ за різних умов;

– визначення оптимальних режимів роботи ПСГ.

Для забезпечення подальшого розширення функцій програмного продукту доцільно передбачити можливість його інтегрування із різними базами даних та періодичної актуалізації геологічної інформації та параметрів свердловин.

## III. ВИСНОВКИ

Побудову інтегрованої системи прогнозування параметрів роботи ПСГ планується розпочати з визначення оптимальної компоновки алгоритмів для побудови моделей основних елементів технологічної схеми газосховища.

В перспективі, розроблення програмного продукту буде виконуватись шляхом створення індивідуальних моделей технологічних об'єктів, що передбачається використовувати, як окремо, так і в складі інтегрованої системи прогнозування параметрів експлуатації газосховищ.

Для забезпечення надійної та безаварійної експлуатації ПСГ необхідно впроваджувати сучасні автоматизовані системи керування технологічним процесом, а також розробляти програмне забезпечення, що дозволить контролювати технологічний процес, як під час закачування, так і відбирання газу.

## Література References

[1] Сторчак С.О. Підземні сховища газу України – надійна основа для створення Східноєвропейського газового хабу / С.О. Сторчак, В.О. Заєць // Нафтогазова галузь України. – 2016. – № 3. – С. 24–25.

[2] Кодекс газотранспортної системи, затверджений постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 30.09.2015 № 2493 та зареєстрований у Мін'юсті України 06.11.2015 за № 1378/27823.

# Про Одну Задачу Оптимального Керування Вимушеними Коливаннями Однорідної Пластинки

Надія Гибкіна
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки)
Харків, Україна
nadiia.gybkina@nure.ua

Максим Сидоров
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки)
Харків, Україна
maxim.sidorov@nure.ua

# On one optimal control problem of forced oscillations of a homogeneous plate

Nadiia Gybkina
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
nadiia.gybkina@nure.ua

Maxim Sidorov
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
maxim.sidorov@nure.ua

***Анотація*—Розглядається задача оптимального керування вимушеними коливаннями прямокутної однорідної пластинки. Математичною моделлю процесу коливань є неоднорідне двовимірне хвильове рівняння з заданими початковими та крайовими умовами. Необхідно підібрати таку зовнішню силу, під дією якої у кінцевий момент часу пластинка набуде положення, якомога близького до бажаного.**

***Abstract*—The optimal control problem of forced oscillations of a rectangular homogeneous plate is considered. A mathematical model of the oscillation process is an inhomogeneous two-dimensional wave equation with given initial and boundary conditions. It is necessary to find such external force, under the action of which at the final moment of time the plate will take a position, as close as possible to the desired.**

***Ключові слова—хвильове рівняння; оптимальне керування; однорідна пластинка; вимушувальна сила; керуючий вплив***

***Keywords—wave equation; optimal control; homogeneous plate; driving force; control influence***

## I. Вступ

*Актуальність дослідження.* Великий клас фізичних процесів, пов'язаних з коливальними системами, моделюється диференціальними рівняннями у частинних похідних, зокрема, хвильовим рівнянням. На практиці часто виникають задачі керування, у яких, наприклад, потрібно згенерувати коливання потрібної частоти, зменшити амплітуду коливань, стабілізувати коливання або повністю заспокоїти систему. Керовані коливальні системи широко розповсюджені у промисловості, техніці, механіці та інших галузях науки та виробництва [1].

Математичне моделювання керованих коливальних процесів призводить до задач оптимального керування гіперболічними двовимірними системами. Важливий клас теорії оптимального керування складають задачі мінімізації термінального квадратичного функціоналу на розв'язках лінійного двовимірного хвильового рівняння. Дослідженню задач оптимального керування коливальними системами присвячено багато робіт, зокрема [2, 4 – 9].

На цей час актуальною є розробка наближених аналітичних методів розв'язання задач оптимального керування, що дає можливість отримати прості і наочні формули, які можна застосовувати у практичних інженерних розрахунках.

*Цілі та задачі дослідження.* Метою роботи є розробка математичних методів оптимального керування процесом вимушених коливань однорідної пластинки з метою встановлення у кінцевий момент часу такого положення цієї пластинки, що є якомога близьким до заданої форми. Дана робота продовжує дослідження, розпочаті у [3].

## II. Постановка задачі

Розглянемо закріплену на кінцях пластинку, що знаходиться під дією зовнішніх вимушувальних сил. Математична модель процесу вимушених коливань однорідної пластинки має вигляд:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)+ f(x,y,t)+g(x,y,t), \qquad (1)$$

$$0<x<l_1,\ 0<y<l_2,\ t>0,$$

$$u\big|_{t=0} = \varphi(x,y),\ \ 0<x<l_1,\ 0<y<l_2, \qquad (2)$$

$$\left.\frac{\partial u}{\partial t}\right|_{t=0} = \psi(x,y),\ \ 0<x<l_1,\ 0<y<l_2, \qquad (3)$$

$$u\big|_{x=0}=0,\ \ u\big|_{x=l_1}=0,\ \ u\big|_{y=0}=0,\ \ u\big|_{y=l_2}=0. \qquad (4)$$

де $a^2$, $l_1$, $l_2$ – задані константи, $\varphi(x,y)$, $\psi(x,y)$ – задані функції з $L_2((0;l_1)\times(0;l_2))$, $g(x,y,t)$ – відома зовнішня вимушувальна сила, що діє на пластинку протягом часу, $f(x,y,t)$ – оптимальний вплив, що підлягає визначенню.

Функція $u=u(x,y,t)$ у (1) описує відхилення точки $(x,y)$ пластинки від положення рівноваги у момент часу $t$.

Розглянемо одну з можливих задач оптимального керування вимушеними коливаннями однорідної пластинки: необхідно шляхом підбору зовнішньої сили $f(x,y,t)$, яка діє на тіло пластинки протягом часу $t\in[0,T]$, досягнути у заданий момент часу $T>0$ такого положення пластинки, що буде якомога близьким до заданого бажаного положення $z(x,y)$, $0<x<l_1$, $0<y<l_2$. Витрати на реалізацію керування можна врахувати за допомогою так званих енергетичних обмежень. Формально наведені вище умови можна записати у вигляді функціоналу якості:

$$J(f)=\int_0^{l_1}\int_0^{l_2}\left(u(x,y,T;\,f)-z(x,y)\right)^2 dxdy+\beta\int_0^{T}\int_0^{l_1}\int_0^{l_2} f^2(x,y,t)dtdxdy. \qquad (5)$$

де $u(x,y,t)=u(x,y,t;\,f)$ є розв'язком початково-крайової задачі (1) – (4), $\beta$ – певний ваговий коефіцієнт, $\beta>0$.

Далі вважатимемо, що $f=f(x,y,t)$ – керування з множини

$$\mathrm{F}=\{f(x,y,t)\in L_2((0;l_1)\times(0;l_2)\times(0,T)),\quad f^{\min}\le f(x,y,t)\le f^{\max} \qquad (6)$$

майже всюди на $[0;l_1]\times[0;l_2]\times[0,T]$,

де $f^{\min}<f^{\max}$.

До обмежень (6) на функцію $f$ можна також додавати й інші обмеження, які визначаються постановкою конкретної задачі та умовами перебігу реальних процесів, що в ній моделюються.

## III. Розв'язання задачі оптимального керування

Наведемо алгоритм розв'язання задачі оптимального керування (1) – (6). Для цього необхідно визначити $u=u(x,y,t)$ як розв'язок задачі (1) - (4) у припущенні відомого зовнішнього впливу $f(x,y,t)$.

Розв'язуючи задачу (1) - (4) методом відокремлення змінних Фур'є, дістанемо наступне співвідношення для функції $u=u(x,y,t)$:

$$u(x,y,t)=\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\Bigg[\varphi_{nm}\cos\left(a\sqrt{\lambda_{nm}}t\right)+\frac{\psi_{nm}}{a\sqrt{\lambda_{nm}}}\sin\left(a\sqrt{\lambda_{nm}}t\right)+ \\ +\frac{1}{a\sqrt{\lambda_{nm}}}\int_0^t\left(f_{nm}(\tau)+g_{nm}(\tau)\right)\sin\left(a\sqrt{\lambda_{nm}}(\tau-t)\right)d\tau\Bigg]\Phi_{nm}(x,y), \qquad (7)$$

де $\lambda_{nm}=\left(\frac{\pi n}{l_1}\right)^2+\left(\frac{\pi m}{l_2}\right)^2$, $n,m=1,2,\ldots$, – власні значення задачі (1) – (4);

$$\Phi_{nm}(x,y)=\sin\frac{\pi k x}{l_1}\sin\frac{\pi n y}{l_2},\ n,m=1,2,\ldots, \qquad (8)$$

– відповідні їм власні функції;

$$\varphi_{nm}=\frac{(\varphi,\Phi_{nm})_{L_2((0,l_1)\times(0,l_2))}}{\|\Phi_{nm}\|^2_{L_2((0,l_1)\times(0,l_2))}},\quad \psi_{nm}=\frac{(\psi,\Phi_{nm})_{L_2((0,l_1)\times(0,l_2))}}{\|\Phi_{nm}\|^2_{L_2((0,l_1)\times(0,l_2))}},$$

$$f_{nm}(t)=\frac{(f,\Phi_{nm})_{L_2((0,l_1)\times(0,l_2))}}{\|\Phi_{nm}\|^2_{L_2((0,l_1)\times(0,l_2))}},\quad g_{nm}(t)=\frac{(g,\Phi_{nm})_{L_2((0,l_1)\times(0,l_2))}}{\|\Phi_{nm}\|^2_{L_2((0,l_1)\times(0,l_2))}},$$

$$n,m=1,2,\ldots,$$

– коефіцієнти розкладання функцій $\varphi(x,y)$, $\psi(x,y)$, $f(x,y,t)$, $g(x,y,t)$ у ряди за системою власних функцій (9).

Для розв'язання задачі оптимального керування необхідно вибрати апроксимуючий вираз для зовнішнього керуючого впливу $f(x,y,t)$. З огляду на те, що функція $f(x,y,t)$ розкладається у ряд Фур'є за системою власних функцій $\Phi_{nm}(x,y)$, $n,m=1,2,\ldots$, задачі Штурма-Ліувілля:

$$f(x,y,t)=\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty} f_{nm}(t)\Phi_{nm}(x,y)\ , \qquad (9)$$

шукатимемо апроксимацію цієї функції у вигляді часткової суми ряду (9):

$$f(x,y,t)=\sum_{n=1}^{M}\sum_{m=1}^{M} f_{nm}(t)\Phi_{nm}(x,y)\ , \qquad (10)$$

коефіцієнти якого наближатимемо тригонометричними поліномами вигляду:

$$f_{nm}(t) \approx r_0^{nm} + \sum_{j=1}^{S}\left( r_j^{nm} \sin\frac{\pi i t}{T} + q_j^{nm} \cos\frac{\pi j t}{T}\right),\ n,m = 1,2,\ldots. \quad (11)$$

Тоді задача пошуку оптимального керуючого впливу (11) зводиться до визначення коефіцієнтів $r_0^{nm}$, $r_j^{nm}$, $q_j^{nm}$, $j = 1,2,\ldots,S$, у (11). Для визначення цих параметрів використовується функціонал якості (5).

Вважаючи функцію $f(x,y,t)$ невідомою і такою, що має структуру вигляду (10), (11), та підставляючи у формулу (7), яка дає положення пластинки у момент часу $t$, співвідношення (11) при $t = T$, дістанемо

$$u(x,y,T) = \sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}\left[ \varphi_{nm}\cos\left(a\sqrt{\lambda_{nm}}T\right) + \frac{\psi_{nm}}{a\sqrt{\lambda_{nm}}}\sin\left(a\sqrt{\lambda_{nm}}T\right) + \right.$$
$$+\frac{1}{a\sqrt{\lambda_{nm}}}\int_0^T\left\{ r_0^{nm} + \sum_{j=1}^{\infty}\left( r_j^{nm}\sin\frac{\pi i\tau}{T} + q_j^{nm}\cos\frac{\pi j\tau}{T}\right) + \right.$$
$$\left.\left. + g_{nm}(\tau)\right\}\sin\left(a\sqrt{\lambda_{nm}}(\tau - T)\right)d\tau\right]\cdot\Phi_{nm}(x,y).$$

Повертаючись до позначень, зроблених у (5), дістанемо, що $u(x,y,T)$ є функцією від $\{r_0^{nm}\},\{r_j^{nm}\},\{q_j^{nm}\}$. Тоді задача оптимального керування (1) – (6) зводиться до задачі оптимізації:

$$J(\{r_0^{nm}\},\{r_j^{nm}\},\{q_j^{nm}\}) =$$
$$= \int_0^{l_1}\int_0^{l_2}\left(u(x,T;\{r_0^{nm}\},\{r_j^{nm}\},\{q_j^{nm}\}) - z(x,y)\right)^2 dxdy + \quad (12)$$
$$+\beta\int_0^T\int_0^{l_1}\int_0^{l_2} f^2(x,y,\{r_0^{nm}\},\{r_j^{nm}\},\{q_j^{nm}\})dtdxdy \to \min_{\substack{r_0^{nm},r_j^{nm},q_j^{nm},\\ j=1,2,\ldots,S;\\ n,m=1,2,\ldots,M}}.$$

за умов (6).

## IV. Обчислювальні експерименти

Наведемо результати обчислювальних експериментів, що демонструють запропонований метод оптимального керування вимушеними коливаннями пластинки (1) – (6). У всіх проведених експериментах було використано наступні параметри $l_1 = 1$, $l_2 = 1$, $T = 1$, $a = 1$. Положення і швидкість точок пластинки у початковий момент часу $t = 0$ зафіксовано $\varphi(x,y) = 0$, $\psi(x,y) = 0$. Відома вимушувальна сила та бажаний режим у кінцевий момент часу $T = 1$ задані функціями

$$g(x,y,t) = 500xy(x - l_1)^2(y - l_2)^2 e^{T-t},$$
$$z(x,y) = xy(x - l_1)(y - l_2)x^2 y.$$

Графіки функцій $z(x,y)$ та $g(x,y,t)$ при $t = T$ наведено на рис. 1 та 2.

Оберемо $\beta = 0,00005$. Обмежившись відрізком ряду Фур'є (11) довжини $S = 2$ та дев'ятьма доданками ($M = 3$) у сумі (10), дістанемо оптимальний зовнішній керуючий вплив на пластинку $f(x,y,t)$ з розв'язання задачі мінімізації (12) за наведених вище умов. Графіки цієї функції у різні моменти часу наведено на рис. 3 – 7.

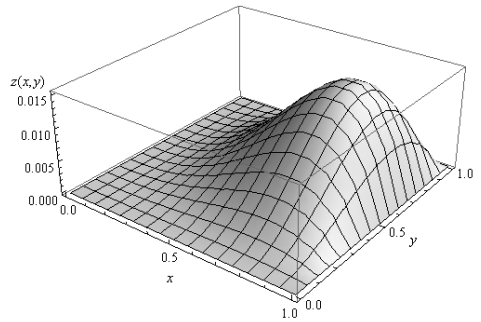



Рис. 1. Бажаний режим $z(x,y)$ при $t = T$

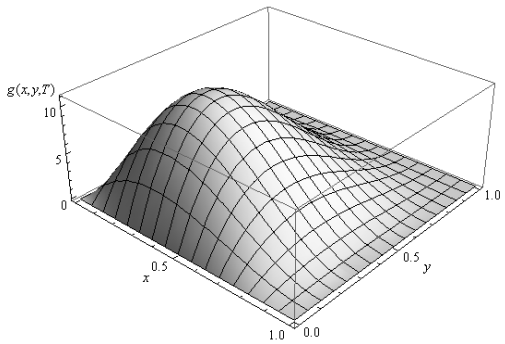



Рис. 2. Вимушувальна сила $g(x,y,t)$ при $t = T$

Графік відхилення між фактичним та бажаним положенням пластини у кінцевий момент часу $T = 1$ наведено на рис. 8. При цьому

$$\Delta = \left\|u(x,y,T) - z(x,y)\right\|_{L_2((0,l_1)\times(0,l_2))} = 0,78\cdot 10^{-3},$$
$$\delta = \frac{\left\|u(x,y,T) - z(x,y)\right\|_{L_2((0,l_1)\times(0,l_2))}}{\left\|z(x,y)\right\|_{L_2((0,l_1)\times(0,l_2))}} = 0,127.$$

Змінюючи значення вагового коефіцієнта $\beta$, можна варіювати точність досягнення бажаного положення пластинкою у кінцевий момент часу $T$. У табл. 1 наведено результати обчислення мінімального значення функціоналу якості та пов'язаних з ним величин для різних значень $\beta$. Як видно, урахування другого доданка, що відповідає за так звані «енергетичні» витрати на керування, приводить до зниження точності керування.

## V. Висновки

У роботі розв'язано одну з можливих постановок задач оптимального керування коливаннями однорідної пластинки, яка протягом часу дослідження знаходиться під дією зовнішньої вимушувальної сили. До переваг розглянутого методу розв'язання поставленої задачі відноситься те, що початково-крайова задача для

гіперболічного рівняння розв'язується аналітично, а оптимальний керуючий вплив також будується у аналітичному вигляді. Отримані результати можуть бути використані під час дослідження реальних коливальних систем та розрахунку програм їх оптимального функціонування.

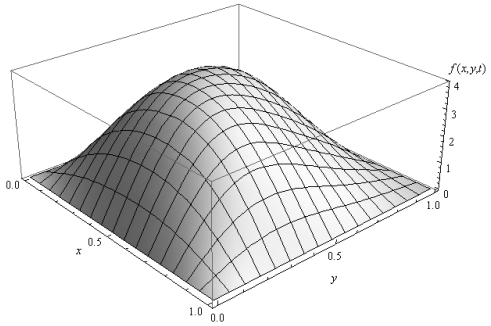



Рис. 3. Оптимальний керуючий вплив $f(x,y,t)$ при $t=0$

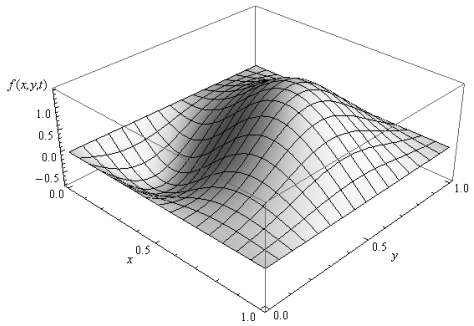



Рис. 4. Оптимальний керуючий вплив $f(x,y,t)$ при $t=0,25$

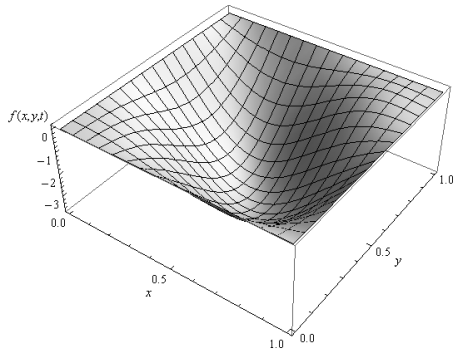



Рис. 5. Оптимальний керуючий вплив $f(x,y,t)$ при $t=0,5$

ТАБЛИЦЯ I. РЕЗУЛЬТАТИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

| β | $J$ | Δ | δ |
|---|---|---|---|
| 0,0005 | $0,11\cdot10^{-2}$ | $0,52\cdot10^{-2}$ | 0,841 |
| 0,0001 | $0,23\cdot10^{-3}$ | $0,12\cdot10^{-2}$ | 0,195 |
| 0,00005 | $0,11\cdot10^{-3}$ | $0,78\cdot10^{-3}$ | 0,127 |
| 0,00001 | $0,23\cdot10^{-4}$ | $0,58\cdot10^{-3}$ | 0,095 |
| 0 | $0,33\cdot10^{-6}$ | $0,57\cdot10^{-3}$ | 0,093 |

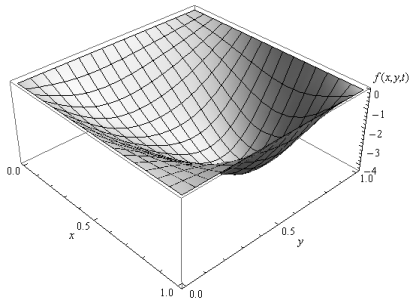



Рис. 6. Оптимальний керуючий вплив $f(x,y,t)$ при $t=0,75$

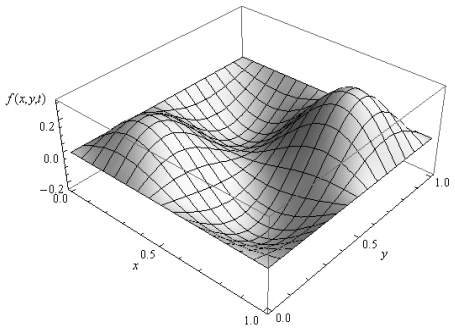



Рис. 7. Оптимальний керуючий вплив $f(x,y,t)$ при $t=1$

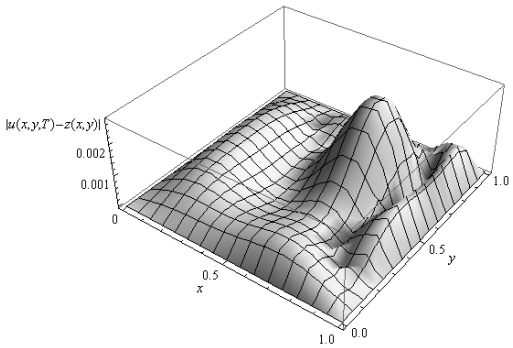



Рис. 8. Відхилення $|u(x,y,T)-z(x,y)|$

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Бутковский А.Г. Методы управления системами с распределенными параметрами. М.: Наука, 1975. 588 с.

[2] Васильев Ф.П., Куржанский М.А., Разгулин А.В. "О методе Фурье для решения одной задачи управления колебанием струны," *Вестник МГУ*, сер. 15, вычисл. матем. и киберн, № 2, с. 3-8, 1993.

[3] Гибкина Н.В., Сидоров М.В., Стадникова А.В. "Оптимальное граничное управление колебаниями однородной струны," *Радиоэлектроника и информатика*, № 2 (73), с. 3-11, 2016.

[4] Егоров А.И. "Управление упругими колебаниями," *ДАН УССР*, сер. физ-мат. и техн. наук, № 5, с. 60-63, 1986.

[5] Ильин В.А., Моисеев Е.И. "Оптимизация граничных управлений колебаниями струны," *УМН*, Т. 60, вып. 6 (366), с. 89-114, 2005.

[6] Комков В. Теория оптимального управления демпфированием колебаний простых упругих систем. М.: Мир, 1975.

[7] Копец М.М. "Оптимальное управление колебаниями прямоугольной мембраны," *Кибернетика и вычисл. техника*, Вып. 177, с. 28-42, 2014.

[8] Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 2004. 798 с.

[9] Фурсиков А.В. Оптимальное управление распределенными системами. Теория и приложения. Новосибирск: Научная книга, 1999. 352 с.

# Метод Чисельного Аналізу Процесу Перемішування В'язкої Суміші

Надія Гибкіна
кафедра прикладної математики
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
nadiia.gybkina@nure.ua

Максим Сидоров
кафедра прикладної математики
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
maxim.sidorov@nure.ua

Ганна Стаднікова
кафедра прикладної математики
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
hanna.stadnikova@nure.ua

# Numerical Analysis Method for Mixing the Viscous Mix

Nadiia Gybkina
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
nadiia.gybkina@nure.ua

Maxim Sidorov
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
maxim.sidorov@nure.ua

Hanna Stadnikova
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
hanna.stadnikova@nure.ua

***Анотація*—Розглядається задача чисельного аналізу перемішування в'язкої суміші, яке викликане дією деякої зовнішньої сили. Математичною моделлю задачі є початково-крайова задача для функції течії. Для її розв'язання запропоновано використати метод *R*-функцій з апроксимацією невизначеної компоненти структури методом Гальоркіна для нестаціонарних задач. Аналіз траєкторій руху частинок суміші проводиться за допомогою методів розв'язання задачі Коші. Обчислювальний експеримент проведено для тестової задачі у одиничному квадраті.**

***Abstract*—The problem of numerical analysis of the mixing of a viscous mix, which is caused by the action of some external force, is considered. The mathematical model of the problem is an initial-boundary problem for the stream function. To solve it, it is proposed to use the method of R-functions with the approximation of an indefinite component of the structure by the Galerkin method for non-stationary problems. The analysis of trajectories of motion of particles of a mixture is carried out with the help of methods for solving the Cauchy problem. A computational experiment was conducted for a test problem in a unit square.**

***Ключові слова—течія в'язкої рідини; задача перемішування; функція течії; метод R-функцій; метод Гальоркіна***

***Keywords—viscous fluid flow; mixing flow; stream function; Galerkin's method; the R-function method***

## I. Вступ

*Актуальність дослідження.* У хімічній, фармацевтичній, харчовій промисловості і других прикладних галузях часто зустрічається проблема математичного моделювання процесів перемішування в'язких сумішей [1 –3]. Також проблема перемішування є фундаментальною науковою проблемою, пов'язаною з сучасними концепціями хаотичної і регулярної динаміки [9, 10]. Більшість методів, які використовуються при чисельному аналізі процесів перемішування, не мають властивості універсальності і їх неможливо застосовувати до «некласичних» областей. Звільнитися від цього недоліку можна, використовуючи конструктивний апарат теорії *R*-функцій [8], що дозволяє точно враховувати в обчислювальних алгоритмах геометрію досить довільних областей. Тому розробка нових методів чисельного аналізу задачі перемішування в'язких сумішей на основі застосування методу *R*-функцій є актуальною науковою проблемою.

*Цілі та задачі дослідження.* Метою даної роботи є розробка на основі методів *R*-функцій і Гальоркіна методу чисельного аналізу процесу перемішування в'язкої суміші, викликаного дією зовнішніх сил.

Дана робота продовжує дослідження авторів, розпочаті у [4, 5].

## II. Постановка задачі

Розглядатимемо плоскопаралельну течію в'язкої нестисливої рідини і вважатимемо, що рідина заповнює плоску область $\Omega$. Нехай рух рідини в області $\Omega$ викликаний вектором зовнішніх сил $\mathbf{f} = (f_x, f_y)$. Розв'язання задачі перемішування складається з двох етапів:

1) визначення поля швидкостей течії рідини (формалізм Ейлера):

2) дослідження траєкторій руху окремих частинок рідини (формалізм Лагранжа).

Розглянемо кожну з цих задач.

Розв'язання першої частини задачі перемішування полягає в отриманні поля швидкостей $(v_x, v_y)$ в області течії $\Omega$. Вважатимемо, що розглядувана течія є повзучою і нелінійними доданками в рівняннях Нав'є-Стокса можна знехтувати, тобто використати наближення Стокса [6]. Плоскопаралельну стоксову течію описуватимемо за допомогою функції течії $\psi(x, y, t)$, що вводиться співвідношеннями

$$v_x = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v_y = -\frac{\partial \psi}{\partial x}.$$

Початкові і крайові умови для функції течії можуть бути отримані з умов, що накладаються на вектор $\mathbf{v} = (v_x, v_y)$. Якщо рідина примикає до нерухомої стінки, то в цих точках швидкість рідини перетворюються на нуль. Це означає, що на нуль перетворюється нормальна і тангенціальна складова швидкості (умова прилипання). Якщо ж рідина примикає до рухомої твердої стінки, то в таких точках швидкість рідини повинна за величиною і напрямком збігатися зі швидкістю відповідної точки стінки. Виходячи з цього, на межі $\partial\Omega$ області $\Omega$ можна задати значення функції течії $\psi$ та її нормальної похідної $\frac{\partial \psi}{\partial \mathbf{n}}$, де $\mathbf{n}$ – зовнішня нормаль до $\partial\Omega$. Крім того, для функції течії повинна бути поставлена початкова умова $\psi|_{t=0}$.

Нехай межа $\partial\Omega$ області $\Omega$ є нерухомою і непротічною. Тоді для функції течії $\psi(x, y, t)$ можна поставити початково-крайову задачу вигляду:

$$-\frac{\partial \Delta \psi}{\partial t} + \nu \Delta^2 \psi = F(x, y, t) \text{ у } \Omega, \ t > 0, \tag{1}$$

$$\psi|_{\partial\Omega} = 0, \ \left.\frac{\partial \psi}{\partial \mathbf{n}}\right|_{\partial\Omega} = 0, \tag{2}$$

$$\psi|_{t=0} = 0, \tag{3}$$

де $\nu$ – кінематична в'язкість, $\Delta^2$ – бігармонічний оператор, $\Delta^2 = \frac{\partial^4}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4}{\partial y^4}$, $F(x, y, t) = \frac{\partial f_x}{\partial y} - \frac{\partial f_y}{\partial x}$ – ротор вектора зовнішніх сил $\mathbf{f}$.

Розв'язання другої частини задачі перемішування полягає в розв'язанні рівнянь руху лагранжевої частинки

$$\dot{x} = \frac{\partial \psi}{\partial y}(x, y, t), \quad \dot{y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x}(x, y, t), \tag{4}$$

$$x(t_0) = x_0, \quad y(t_0) = y_0, \tag{5}$$

та в побудові і аналізі траєкторій руху.

## III. Метод чисельного аналыза

Для розв'язання початково-крайової задачі (1) – (3) використаємо структурний метод (метод *R*-функцій) [8]. Структура розв'язку задачі

$$\Delta^2 \psi = F \text{ у } \Omega,$$

$$\psi|_{\partial\Omega} = \tilde{f}(s), \ \left.\frac{\partial \psi}{\partial \mathbf{n}}\right|_{\partial\Omega} = \tilde{g}(s), \ s \in \partial\Omega,$$

має вигляд

$$\psi = f - \omega(D_1 f + g) + \omega^2 \Phi, \tag{6}$$

де $f = \mathrm{EC}\,\tilde{f}$, $g = \mathrm{EC}\,\tilde{g}$ – продовження функцій $\tilde{f}$, $\tilde{g}$ у $\Omega$, оператор $D_1$ визначається рівністю

$$D_1 = \frac{\partial \omega}{\partial x}\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial y}\frac{\partial}{\partial y},$$

$\Phi$ – невизначена компонента структури, а функція $\omega(x, y)$ має такі властивості

а) $\omega = 0$ на $\partial\Omega$;

б) $\omega > 0$ у $\Omega$;

в) $\frac{\partial \omega}{\partial \mathbf{n}} = -1$ на $\partial\Omega$, $\mathbf{n}$ – зовнішня до $\partial\Omega$ нормаль.

Тоді відповідно до (6) структура розв'язку початково-крайової задачі (1) – (3) має вигляд

$$\psi(x, y, t) = \omega^2(x, y)\Phi(x, y, t),$$

де $\Phi = \Phi(x, y, t)$ – невизначена компонента структури.

Для апроксимації невизначеної компоненти $\Phi$ використаємо метод Гальоркіна для нестаціонарних задач [7]. Для цього подамо $\Phi$ у вигляді

$$\Phi(x,y,t) \approx \Phi_n(x,y,t) = \sum_{k=1}^{n} c_k(t)\tau_k(x,y), \qquad (7)$$

де $c_k(t)$, $k=1,...,n$, – невизначені поки що функції, $\{\tau_k\}$ – будь-яка повна у просторі $L_2(\Omega)$ система функцій.

Подання $\Phi$ у вигляді (7) проводить до того, що наближений розв'язок задачі (1) – (3) ми шукатимемо у вигляді

$$\psi_n(x,y,t) = \sum_{k=1}^{n} c_k(t)\varphi_k(x,y), \qquad (8)$$

де $\varphi_k = \omega^2\tau_k$, $k=1,...,n$.

Зауважимо, що за зроблених припущень $\{\varphi_k\}$ – координатна послідовність, тобто:

1) для будь-якого $k$ $\varphi_k \in H_{\Delta^2}$;

2) для будь-якого $n$ $\varphi_1,...,\varphi_n$ лінійно незалежні;

3) $\{\varphi_k\}$ є повною в $H_{\Delta^2}$.

Відповідно до методу Гальоркіна невідомі функції $c_k(t)$, $k=1,...,n$, знайдемо з умови ортогональності відхилу, одержуваного при підстановці (8) у рівняння (1), першим $n$ координатним функціям $\varphi_1,...,\varphi_n$. Це призводить до системи звичайних диференціальних рівнянь відносно невідомих $c_k(t)$, $k=1,...,n$,

$$\sum_{k=1}^{n} \dot{c}_k(t)[\varphi_k,\varphi_j]_{-\Delta} + \nu\sum_{k=1}^{n} c_k(t)[\varphi_k,\varphi_j]_{\Delta^2} = (F,\varphi_j)_{L_2(\Omega)}, \quad (9)$$

$$j=1,2,...,n,$$

де

$$[\varphi_k,\varphi_j]_{-\Delta} = \iint_{\Omega}\left(\frac{\partial\varphi_k}{\partial x}\frac{\partial\varphi_j}{\partial x} + \frac{\partial\varphi_k}{\partial y}\frac{\partial\varphi_j}{\partial y}\right)dxdy,$$

$$[\varphi_k,\varphi_j]_{\Delta^2} = \iint_{\Omega}\left(\frac{\partial^2\varphi_k}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi_k}{\partial y^2}\right)\left(\frac{\partial^2\varphi_j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\varphi_j}{\partial y^2}\right)dxdy,$$

$$(F,\varphi_j)_{L_2(\Omega)} = \iint_{\Omega} F(x,y,t)\varphi_j(x,y)dxdy.$$

Систему (9) необхідно доповнити початковими умовами, що отримуються з (3):

$$c_k(0) = 0,\ k=1,2,...,n.$$

Зауважимо, що розв'язок першої задачі перемішування дістається в явному аналітичному вигляді, що полегшує його подальше використання при розв'язанні другої частини задачі.

Для розв'язання другої частини задачі перемішування необхідно скласти і розв'язати (використовуючи чисельні методи розв'язання задачі Коші [11]) систему рівнянь руху лагранжевої частинки (4), (5). Далі, отримані траєкторії руху необхідно дослідити на наявність і характер хаотичної поведінки за допомогою методів нелінійної динаміки (визначити стаціонарні точки, побудувати фазові портрети, дослідити еволюції лінійного і плоского елементів).

## IV. Результати обчислювального експерименту

Обчислювальний експеримент було проведено для прямокутної області $0 \le x \le 1$, $0 \le y \le 1$ за умови, що течія викликана двома точковими вихорами, розташованими в точках $(0,23;0,23)$ і $(0,73;0,73)$. Вважалося, що вихори обертаються в різних напрямках з постійною інтенсивністю, що дорівнює 1. У цьому випадку:

$$F(x,y,t) = \delta(x-0,23, y-0,23) - \delta(x-0,73, y-0,73),$$

де $\delta(x,y)$ – двовимірна дельта-функція Дірака.

Для розглянутого режиму перемішування були знайдені стаціонарні точки. Встановлено, що існує по дві стаціонарні точки, координати яких співпадають з координатами вихорів. Обидві стаціонарні точки – точки типу «центр».

На рис. 1, 2 наведено отримані лінії рівня функції течії і поля швидкостей рідини.

На сітці з кроком 0,25 було побудовано фазові траєкторії маркерів (рис. 3). Видно, що траєкторії руху частинок стягуються до околів вихору і залишаються там до кінця перемішування, що свідчить про неефективне перемішування в цьому випадку.

## V. Висновки

В роботі запропонований метод чисельного аналізу перемішування в'язкої суміші, викликаного дією зовнішньої сили. Метод заснований на використанні методу *R*-функцій з апроксимацією невизначеної компоненти структури методом Гальоркіна для нестаціонарних задач. Завдяки цьому наближений розв'язок задачі для функції течії дістається в аналітичному вигляді і може бути побудований для досить геометрично складних областей, що робить запропонований метод більш універсальним в порівнянні з існуючими. Розв'язання другої частини задачі перемішування дозволяє моделювати процес перемішування, аналізувати його ефективність, грунтуючись на вивченні поведінки окремих частинок.

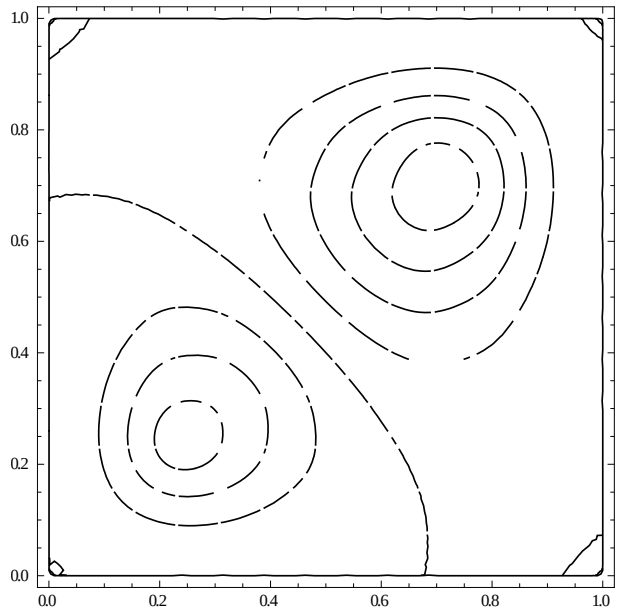



Рис. 1. Лінії рівня функції течії.

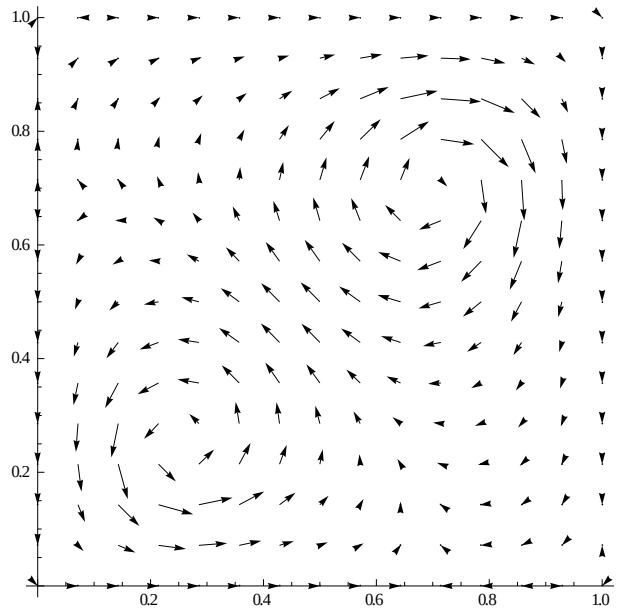



Рис. 2. Поле швидкостей.

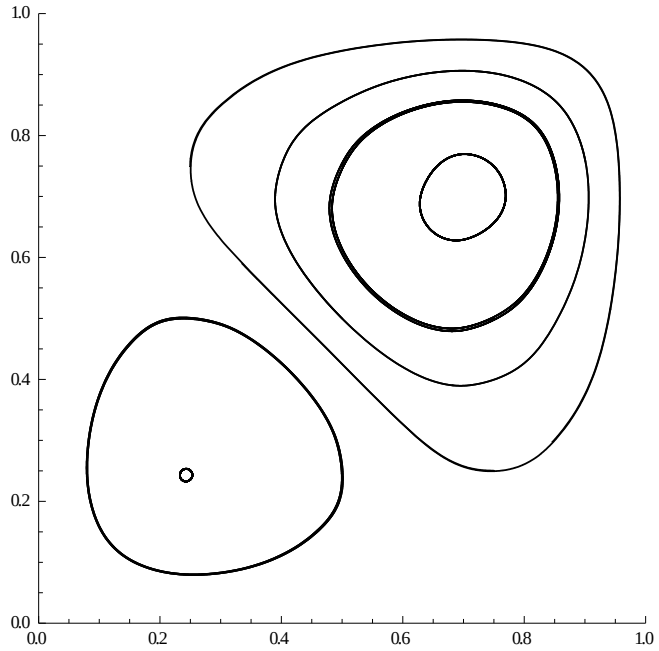



Рис. 3. Фазові траекторії.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. “Управление хаосом: методы и приложения. I. Методы”, *Автоматика и телемеханика*, № 5, с. 3 – 45, 2003.

[2] Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. “Управление хаосом: методы и приложения. II. Приложения”, *Автоматика и телемеханика*, № 4, с. 3 – 34, 2004.

[3] Ареф Х. “Развитие хаотической адвекции”, *Нелинейная динамика*, т. 2, № 1, с. 111 – 133, 2006.

[4] Артюх А.В., Гибкина Н.В. Сидоров М.В. “Об одном методе математического моделирования некоторых процессов перемешивания с помощью метода R-функций”, *АСУ и приборы автоматики*, вып. 143, с. 67 – 73, 2008.

[5] Гибкина Н.В., Роговой Н.С., Сидоров М.В., Стадникова А.В. “Численный анализ процессов перемешивания методом R-функций”, *Радиоэлектроника и информатика*, № 3 (58), с. 28 – 34, 2012.

[6] Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 840 с.

[7] Михлин С.Г. Численная реализация вариационных методов. М.: Наука, 1966. 432 с.

[8] Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые её приложения. К.: Наук. думка, 1982. 552 с.

[9] Табор М. Хаос и интегрируемость в нелинейной динамике. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 320 с.

[10] Фундаментальные и прикладные проблемы теории вихрей / Под. ред. А.В. Борисова, И.С. Мамаева и М.А. Соколовского. Москва-Ижевск: Ин-т комп. исслед., 2003. 704 с.

[11] Хайрер Э., Нёрсетт С., Ваннер Г. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Нежесткие задачи. М.: Мир, 1990. 512 с.

# Про Побудову Послідовних Наближень для Однієї Задачі про Вибір Моделі Міграції в Популяційній Генетиці

Юлія Границя
студент
Кафедра Прикладної математики
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
yulia.hranytsia@nure.ua

Світлана Колосова
професор
Кафедра Прикладної математики
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
lanakol@ukr.net

Владислав Юхименко
студент
Кафедра Прикладної математики
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
vladyslav.yukhymenko@nure.ua

# On the Construction of the Method of Successive Approximation as Applied to the Solution of the Problem in Selection Migration Model in Population Genetics

Yuliya Granica
student
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
yulia.hranytsia@nure.ua

Svitlana Kolosova
professor
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
lanakol@ukr.net

Vlad Uhimenko
student
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
vladyslav.yukhymenko@nure.ua

***Анотація*—У роботі розглядаються питання про існування, єдиність та можливість побудови послідовних наближень до розв'язку однієї задачі про вибір моделі міграції популяції у генетиці, математичною моделлю якої є крайова задача Діріхле для нелінійного еліптичного рівняння. Дослідження цієї задачі проводиться методами теорії нелінійних операторних рівнянь у напівупорядкованих просторах. Отримано умови, яким повинні задовольняти параметри, що входять у постановку задачі, щоб можна було побудувати послідовні наближення до додатного розв'язку.**

***Abstract*—The paper deals with the question of the existence, uniqueness and the possibility of constructing successive approximations to the solution of one problem on the choice of population migration model in genetics, the mathematical model of which is the Dirichlet boundary value problem for a nonlinear elliptic equation. The research of this problem is carried out by methods of the theory of nonlinear operator equations in semi-ordered space. Conditions are obtained that must satisfy the parameters included in the statement of the problem so that it is possible to construct a successive approximations to a positive solution.**

***Ключові слова—додатний розв'язок, крайова задача, функція Гріна, двобічні наближення, інваріантний конусний відрізок, угнутий оператор.***

***Keywords—positive solution, boundary value problem, Green's function, two-sided approximations, invariant cone segment, concave operator.***

## I. Вступ

На сьогодні у сучасній науці спостерігається велика зацікавленість до процесів, що мають місце у нелінійних середовищах. Математичними моделями таких процесів найчастіше є крайові задачі для нелінійних еліптичних рівнянь. Точні розв'язки таких задач відомі лише у поодиноких випадках. Крім того, доволі складною є проблема вирішення питання про існування та єдиність розв'язку. Дослідження розглядуваної задачі будемо проводити методами теорії нелінійних операторних

рівнянь у напівупорядкованих просторах. Крім того, метою дослідження є отримати умови, яким повинні задовольняти параметри, що входять у постановку задачі, щоб можна було довести існування єдиного додатного розв'язку та побудувати послідовні наближення до нього.

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У скінченній області $\Omega \subset R^N$ розглянемо крайову задачу для нелінійного еліптичного рівняння:

$$-\Delta u = \lambda(1+u)^q \ \forall x \in \Omega,\ u > 0, u|_{0\Omega} = 0, \qquad (1)$$

тут $N \geq 2$, $\lambda > 0$. Параметр $q$ може бути як додатним, так і від'ємним. Багато фізичних задач, зокрема, задача вибору моделі міграції популяції у генетиці, приводить до задачі (1) [1, 2].

Математичною моделлю задачі (1) є задача Діріхле для нелінійного еліптичного рівняння з двома параметрами. Задача (1) є частковим випадком більш загальної задачі:

$$\begin{aligned} &-\Delta u = f(\lambda, x, u)\ \forall x \in \Omega \subset R^N, \\ &u > 0, u|_{0\Omega}, \lambda = (\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n). \end{aligned} \qquad (2)$$

Вважаємо, що $f(\lambda, x, u) \geq 0$ в $\bar{\Omega}$. Відомо [3–5], що у класі неперервних у $\Omega$ функцій задача (2) еквівалентна операторному рівнянню:

$$u(x) = \int_{\Omega} G(x,s) f(\lambda, s, u(s)) ds, \qquad (3)$$

$G(x,s)$ – функція Гріна оператора $\Delta$ задачі Діріхле у області $\Omega$, $x = (x_1, x_2, ..., x_N)$, $s = (s_1, ..., s_N)$. Дослідження питань, що пов'язані з додатними розв'язками задачі (1), отже, й еквівалентного їй операторного рівняння (3), будемо проводити методами теорії нелінійних операторних рівнянь у напівупорядкованих просторах. Наведемо деякі основні означення та висновки цієї теорії [3–5].

Нехай $E$ – дійсний банахів простір. Замкнута опукла множина $K \subset E$ називається конусом, якщо з $u \in K, u \neq 0$, випливає $au \in K$ $(a \geq 0)$ та $-u \notin K$. За допомогою конусу $K$ у $E$ вводиться напівупорядкованість за правилом: $u < v$, якщо $v - u \in K$, $u$, $v \in E$.

Конус $K$ називається нормальним, якщо існує таке число $N(K)$, що з $0 \leq u \leq v$ випливає $\|u\| \leq N(K)\|v\|$. Відомо, що конус неперервних у $\Omega$ функцій є нормальний.

Оператор $T : E \to E$ називається додатним, якщо $TK \subset K$.

Оператор $T : E \to E$ називається гетеротонним, якщо супровідний оператор $\hat{T}(v,w)$ зростає за першим аргументом і спадає за другим, крім того, $T(u) = \hat{T}(u,u)$.

Монотонний оператор (тобто такий, що з $u_1 \leq u_2$ випливає $Tu_1 \leq Tu_2$) та антитонний оператор (тобто такий, що з $u_1 \leq u_2$ випливає $Tu_1 \geq Tu_2$) є частковими випадками гетеротонного оператора. Для монотонного оператора супровідним може бути $\hat{T}(v,w) = T(v)$, для антитонного оператора $\hat{T}(v,w) = T(w)$.

Множину $\langle v_0, w_0 \rangle = \{u | v_0 \leq u \leq w_0\}$ називають конусним відрізком.

Конусний відрізок $\langle v_0, w_0 \rangle$ називається сильно інваріантним для гетеротонного оператора $T$, якщо $\hat{T}(v_0, w_0) \geq v_0$ та $\hat{T}(v_0, w_0) \leq w_0$.

Нехай $u_0 \in K$ деякий фіксований ненульовий елемент. Через $K(u_0)$ позначимо множину таких відмінних від нуля елементів $u \in K$, для яких виконуються нерівності:

$$A(u)u_0 \leq u \leq B(u)u_0 \ \ (A > 0, B > 0). \qquad (4)$$

Додатний у $K$ гетеротонний оператор називається псевдоугнутим, якщо $\hat{T}(v,w) \in K(u_0)$ для будь-яких $v, w \in K, v \neq 0, w \neq 0$, та для будь-яких $v, w \in K$ й $\forall t \in (0,1)$:

$$\hat{T}\left(tv, \frac{w}{t}\right) \geq t\hat{T}(v,w). \qquad (5)$$

Псевдоугнутий оператор називається $u_0$-псевдоугнутим, якщо умову (5) замінити більш жорсткою, а саме: $\forall t \in (0,1)$ можна вказати таку $\eta(v,w,t) > 0$, що:

$$\hat{T}\left(tv, \frac{w}{t}\right) \geq (1+\eta)t\hat{T}(v,w). \qquad (6)$$

Зауваження 1. Для монотонного оператора $T$ з супровідним $\hat{T}(v,w) = T(v)$ терміни сильно інваріантний конусний відрізок, псевдоугнутість, $u_0$-псевдоугнутість переходять у терміни інваріантний конусний відрізок, угнутість, $u_0$-угнутість.

Мають місце наступні теореми.

Теорема 1 [4, теорема 2.4]. Нехай $u_0$-псевдоугнутий оператор $T$ має сильно інваріантний конусний відрізок $\langle v_0, w_0 \rangle \in K(u_0)$, конус $K$ є нормальний, оператор $T$

цілком неперервний. Тоді оператор $T$ має єдину нерухому точку $u^* \in K(u_0)$.

Теорема 2 [4, теорема 2.5]. Нехай $u_0$ -псевдоугнутий, оператор $T$ є неперервним, має сильно інваріантний конусний відрізок $\langle v_0, w_0 \rangle \in K(u_0)$, конус $K$ є нормальний та оператор $\hat{T}$ є цілком неперервний. Тоді оператор $T$ має єдину нерухому точку $u^* \in K(u_0)$, до якої збігаються за нормою простору $E$ послідовні наближення, побудовані за схемою:

$$v_{n+1} = \hat{T}(v_n, w_n), w_{n+1} = \hat{T}(w_n, v_n),$$

$$n = 0,1,2,\ldots, \qquad (7)$$

при будь-якому $u \in K, u \neq 0$.

Зауваження 2. Для монотонного оператора формули (5), (6), (7) набувають відповідно вигляду: $T(tu) \geq tTu$, $T(tu) \geq (1+\eta)tTu$, $u_{n+1} = Tu_n$, $n = 0,1,2,\ldots$.

## III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведемо дослідження властивостей відповідного задачі (1) оператора:

$$Tu = \lambda \int_\Omega G(x,s)\left(1+u(s)\right)^q ds, \; D(T) = K. \qquad (8)$$

1) Розглянемо випадок $q > 0$. Вочевидь, оператор $T$ є монотонний. Крім того, оператор $T$ є цілком неперервний [3, 4].

Для побудови конусного відрізка $\langle v_0, w_0 \rangle$ покладемо у (8) $u = v_0 = 0$ та складемо елемент:

$$v_1(x) = \lambda \int_\Omega G(x,s)\, ds \geq v_0 = 0.$$

Маючи елемент $v_1$, будуємо елемент:

$$v_2(x) = \lambda \int_\Omega G(x,s)\left(1+v_1(s)\right)^q ds \geq v_1.$$

Продовжуючи процес, приходимо до співвідношень $0 = v_0 \leq v_1 \leq v_2 \leq \ldots \leq v_n$. Якщо у (8) покласти $u = w_0 = \beta = const > 0$, отримаємо елемент:

$$w_1(x) = \lambda \int_\Omega G(x,s)\left(1+\beta\right)^q ds.$$

Параметри $\lambda$ та $\beta$ обираємо таким чином, щоб $w_1 \leq w_0 = \beta$, це призводить до умови:

$$\lambda(1+\beta)^q \int_\Omega G(x,s)\, ds \leq \beta, \quad \forall x \in \Omega,$$

звідки маємо:

$$\max_{x \in \Omega} \int_\Omega G(x,s)\, ds \leq \frac{\beta}{\lambda(1+\beta)^q}. \qquad (9)$$

Продовжуючи процес побудови елементів $w_i$ аналогічно процесу для $v_i$, отримаємо нерівності:

$$0 \leq v_0 \leq v_1 \leq \ldots \leq v_n \leq \ldots \leq w_n \leq \ldots \leq w_1 \leq w_0 = \beta.$$

Отже, конусний відрізок $< v_0, w_0 > = < 0, \beta >$ є інваріантний для оператора $T$ вигляду (8) з $q > 0$.

Для дослідження оператора $T$ на угнутість складаємо:

$$T(tu) - tTu = \lambda \int_\Omega G(x,s)\left[(1+tu)^q - t(1+u)^q\right] ds.$$

Щоб ця різниця була додатною, достатньо, щоб $(1+tu)^q - t(1+u)^q > 0 \;\; \forall t \in (0,1), u > 0$, або, щоб:

$$q < \frac{\ln t}{\ln \frac{1+tu}{1+u}}. \qquad (10)$$

Якщо ввести у розгляд функцію:

$$\varphi(t) = \ln t \left( \ln \frac{1+tu}{1+u} \right)^{-1}, \; u \in < 0, \beta >,$$

неважко перевірити, що $\forall t \in (0,1)$ маємо $1 < \varphi(t) < \infty$, тому приходимо до висновку, що нерівність (10) виконується, якщо $0 < q < 1$. Виконання нерівностей (4) для $Tu$ з $u_0 = \int_\Omega G(x,s)\, ds$ випливає з того факту, що $u \in < v_0, w_0 >$.

Маючи на увазі зауваження 1, легко зробити висновок про $u_0$ -угнутість оператора $T$.

Таким чином, доведені властивості оператора $T$ дозволяють зробити висновок про існування єдиного додатного розв'язку у задачі (1), якщо параметри $\lambda$, $q$ та введений нами параметр $\beta$ задовольняють умову (9) та $0 < q < 1$.

Ітераційний процес будуємо за схемою:

$$u_{n+1}(x)=\int_{\Omega}G(x,s)\left[1+u_n(s)\right]^q ds,\ n=0,1,...,$$

при цьому:

$$0\le \nu_0 \le \nu_1 \le ... \le \nu_n \le ... \le u^* \le ... \le w_n \le ... \le w_0 = \beta,$$

де $u^*$ – точний розв'язок задачі (1), тобто маємо двобічні наближення до розв'язку $u^*$ задачі (1) з $q>0$.

2) Розглянемо випадок $q<0$. Позначимо $q=-p,\ p>0$. Оператор $T$ вигляду (8) можна переписати таким чином:

$$Tu=\lambda\int_{\Omega}\frac{G(x,s)}{\left(1+u(s)\right)^p}ds. \qquad (11)$$

У даному разі оператор $T$ є антитонний, тому що з $u_1\le u_2$ випливає $Tu_1\ge Tu_2$. Пропонуємо наступну процедуру побудови сильно інваріантного конусного відрізка $<\nu_0,w_0>=\{u\mid \nu_0\le u\le w_0\}$, такого, що $T<\nu_0,w_0>\subset<\nu_0,w_0>$, яка використовує саме антитонність оператора. Супровідним для антитонного оператора (11) беремо:

$$\hat{T}(\nu,w)=T(w)=\int_{\Omega}\frac{\lambda G(x,s)}{\left(1+w(s)\right)^p}ds.$$

Скористаємось схемою послідовних наближень:

$$w_{n+1}(x)=\lambda\int_{\Omega}\frac{G(x,s)}{\left(1+w(s)\right)^p}ds,\ n=0,1,2,... \qquad (12)$$

та покладемо у (12) $w_0=\gamma=const>0$, отримаємо елемент:

$$w_1(x)=\lambda\int_{\Omega}\frac{G(x,s)}{(1+\gamma)^p}ds=\lambda\frac{u_0(x)}{(1+\gamma)^p},$$

де $u_0=\int_{\Omega}G(x,s)ds.$

Нашою метою є завдяки вибору $\gamma$ досягти виконання нерівності $w_1\le w_0$, або $\lambda\frac{u_0(x)}{(1+\gamma)^p}\le\gamma$, звідки отримаємо умову:

$$\max_{x\in\bar{\Omega}}\int_{\Omega}G(x,s)ds\le\frac{\gamma(1+\gamma)^p}{\lambda}. \qquad (13)$$

Далі будуємо елемент:

$$w_2(x)=\lambda\int_{\Omega}\frac{G(x,s)}{\left(1+w_1(s)\right)^p}ds,$$

який завдяки антитонності оператора $T$ задовольняє нерівності $w_1\le w_2\le w_0=\gamma$.

Продовжуючи процес (12), отримаємо нерівності $w_1\le w_3\le ...\le w_{2n-1}\le w_{2n}\le ...\le w_2\le w_0=\gamma$, а тому можна покласти $\nu_0=w_1(x)$. Побудова сильно інваріантного конусного відрізка $<\nu_0,w_0>$, де $\nu_0$ та $w_0$ є обмежені функції, доводять справедливість виконання нерівності (4).

Розглянемо умову (5), для цього визначимо знак наступної різниці в залежності від $t\in(0,1)$:

$$\lambda\int_{\Omega}G(x,s)\frac{t^p ds}{\left(1+w(s)\right)^p}-\lambda t\int_{\Omega}\frac{G(x,s)ds}{\left(1+w(s)\right)^p}=$$

$$=\lambda\left(t^p-t\right)\int_{\Omega}\frac{G(x,s)ds}{\left(1+w(s)\right)^p}>0,$$

звідки випливає, що $t^p-t>0$, або $t^{p-1}>1$. Остання нерівність виконується, якщо $p-1<0$, а тому, $0<p<1$.

$u_0$ -псевдоугнутість оператору $T$ повинна забезпечити умова (6). Складаємо:

$$\lambda\int_{\Omega}G(x,s)\frac{t^p ds}{\left(1+w(s)\right)^p}-(1+\eta)\lambda t\int_{\Omega}\frac{G(x,s)ds}{\left(1+w(s)\right)^p}=$$

$$=\lambda\int_{\Omega}\frac{G(x,s)ds}{\left(1+w(s)\right)^p}\left[t^p-(1+\eta)t\right]ds\ge 0.$$

Для виконання цієї нерівності достатньо, щоб виконувалась умова $t^p-(1+\eta)t\ge 0$, звідки маємо, що $\eta\le t^{p-1}-1$. Таким чином, умова (6) виконується для будь-якої $\eta(\nu,w,t)$, що задовольняє умову $0<\eta<t^{p-1}-1$. Отже, оператор $T$ є псевдоугнутий.

Доведені властивості оператора $T$ вигляду (8) дозволяють зробити висновок, що задача (1) з $q<0$ має єдиний додатний розв'язок $u^*$, послідовні наближення до якого можна отримати за схемою (12), при цьому мають місце нерівності:

$$v_0 = w_1 \le w_3 \le \ldots \le w_{2n+1} \le \ldots \le u^* \le \ldots$$

$$\ldots \le w_{2n} \le \ldots \le w_2 \le w_0 = \gamma ,$$

тобто отримали двобічні наближення до точного розв'язку задачі (1) у випадку $q < 0$.

Однак, скористатись схемами побудови двобічних наближень для задачі (1) практично можливо лише тоді, коли область, у якій розглядається задача, є такою, що для неї відома функція Гріна. Якщо функція Гріна невідома або має складний вигляд, пропонуємо застосовувати наближений метод розв'язання задачі (1), що використовує квазіфункцію Гріна, яка була введена у розгляд Рвачовим В. Л. для крайових задач для лінійних еліптичних рівнянь [6]. У роботах [7, 8] застосування методу квазіфункцій Гріна поширено на крайові задачі для нелінійних еліптичних рівнянь. Суть цього методу полягає в тому, що вихідна задача (1) на класі функцій $W_2^1(\Omega)$ зводиться до еквівалентного нелінійного інтегрального рівняння:

$$u(x) = \int_\Omega G_{кв}(x,s) f(\lambda, s, u(s)) ds + \int_\Omega u(s) K(x,s) ds, \quad (14)$$

де

$$G_{кв}(x,s) = \frac{1}{2\pi}\left[ ln\frac{1}{r} - \psi(x,s) \right],$$

$$\psi(x,s) = -\frac{1}{2} ln\left[ r^2 + 4\omega(x)\omega(s) \right],$$

$$K(s,x) = -\frac{1}{2\pi}\Delta_s \psi(x,s)$$

для $\Omega \subset R^2$,

$$G_{кв}(x,s) = \frac{1}{4\pi}\left[ \frac{1}{r} - \psi(x,s) \right],$$

$$\psi(x,s) = \left( r^2 + 4\omega(x)\omega(s) \right)^{-\frac{1}{2}},$$

$$K(s,x) = -\frac{1}{4\pi}\Delta_s \psi(x,s)$$

для $\Omega \subset R^3$. В обох випадках:

$$r = |x - s|, \quad \Delta_s = \sum_{i=1}^{w} \frac{\partial^2}{\partial s_i^2}, \quad s \in \Omega \subset R^n,$$

$$\omega(x) = \begin{cases} > 0, \forall x \in \Omega, \\ 0, \quad \forall x \in \partial\Omega. \end{cases}$$

Така функція $\omega(x)$ може бути побудована практично для області будь якої геометрії за допомогою конструктивного апарату R-функцій [6], $W_2^1(\Omega)$ – простір функцій, що дорівнюють нулю на $\partial\Omega$ та мають квадратично сумовні в $\Omega$ похідні першого порядку.

Для розв'язання рівняння (14) пропонуємо скористатись методом послідовних наближень за Свирським [9], що дозволяє звести його до послідовності лінійних інтегральних рівнянь, кожне з яких можна розв'язати методом Бубнова-Гальоркіна [10].

## IV. ВИСНОВКИ

У роботі доведено існування єдиного додатного розв'язку та можливість побудови послідовних, а саме, двобічних наближень до нього для розглядуваної задачі, математичною моделлю якої є задача Діріхле для нелінійного еліптичного рівняння з двома параметрами, при цьому розглянуто можливості одного з параметрів набувати як додатні, так і від'ємні значення. Отримано умови, які гарантують збіжність двобічного ітераційного процесу. Крім того, нам вдалось накласти умови на два параметри $\lambda$ та $q$, які входять до постановки задачі, з введеним при дослідженні параметром $\beta$, що є правим кінцем конусного відрізка, при яких існує єдиний додатний розв'язок розглядуваної задачі. Побудувавши інваріантний конусний відрізок (для $q > 0$) та сильно інваріантний конусний відрізок (для $q < 0$), ми отримали апріорну оцінку шуканого розв'язку в обох випадках.

## Література References


[1] G. A. Afrouzi, S. Khademloo, «Some numerical results on a convex nonlinear elliptic problem». Applied Mathematicies and Computation. 175(2006). P. 465–471.

[2] D. D. Joseph, T. S. Lundgren, «Quasilinear Dirichlet problems driven by positive sources», Arch. Rat. Mech. Anal. 49(1973). P. 241–269.

[3] Красносельский М. А. Положительные решения операторных уравнений. М.: ГИФМЛ, 1962. 394 с.

[4] Опойцев В. И. Обобщение теории монотонных и вогнутых операторов. Труды Московского математического общества. 1978. Том 36. С. 237–273.

[5] Опойцев В. И., Хуродзе Т. А. Нелинейные операторы в пространствах с конусом. Тбилиси. Издательство Тбилисского университета, 1984. 270 с.

[6] Рвачев В. Л. Теория R-функций и некоторые её приложения. К.: Наук. думка, 1982. 552 с.

[7] Колосова С. В., Луханин В. С., Сидоров М. В. О построении двусторонних приближений к положительному решению уравнения Лане-Эмдема. Вісник Запоріжського національного університету.Серія: фізико-математичні науки. 2015. № 3. С. 107–120.

[8] Колосова С. В., Луханін В. С. Про додатні розвязки однієї задачі з гетеротонним оператором та про побудову послідовних наближень. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління. 2016. Випуск 31. С. 59–72.

[9] Свирский И. В. Методы типа Бубнова-Галеркина и последовательных приближений. М.: Наука, 1968. 199 с.

[10] Михлин С. Г. Вариационные методы в математической физике. М.: Наука, 1970. 512 с.

# Комп'ютерне Моделювання Розриву Трубопроводу Методом Характеристик

Іріна Гусарова
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
gusar55555m@gmail.com

Дмитро Абрамов
студент магістр
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
abramov.dmitry21@gmail.com

# Computer Modeling of Pipeline Rupture Using Characteristics Method

Iryna Husarova
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
gusar55555m@gmail.com

Dmytro Abramov
Graduate Student
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
abramov.dmitry21@gmail.com

***Анотація*—Розглядається задача моделювання розриву трубопроводу на ділянці трубопроводу методом характеристик. Математичною моделлю режимів течії газу при розриві трубопроводу є квазілінійна система диференціальних рівнянь у частинних похідних гіперболічного типу з заданими початковими та крайовими умовами. Наведений алгоритм розрахунку параметрів газового потоку при розриві трубопроводу методом характеристик.**

***Abstract*— The problem of modeling the pipeline rupture in the pipeline section by the method of characteristics is considered. The mathematical model of the gas flowing mode pipeline rupture is a quasi-linear system of differential equations in partial derivatives of a hyperbolic type with given initial distribution and boundary conditions. The algorithm of calculation the gas flowing parameters with a pipeline rupture by the method of characteristics is given.**

***Ключові слова— квазілінійна система диференціальних рівнянь; частинні похідні; ділянка трубопроводу; розрив трубопроводу; метод характеристик; моделювання; нестаціонарний неізотермічний режим течения газа***

***Keywords— quasi--linear system of differential equations; partial derivatives; pipeline section; pipeline rupture; method of characteristics; modeling; non-stationary non-isothermal gas flowing mode***

## I. Вступ

*Актуальність дослідження.* Актуальною проблемою для нафтогазових компаній України залишається транспортування газу до споживача без втрат.

Цю проблему можна вирішити при використанні оперативного управління транспортом газу, яке, в свою чергу, неможливо без повної автоматизації технологічних процесів. А остання неможлива без попереднього створення математичних моделей і підбору найбільш раціональних чисельних методів, які дозволяють врахувати всі особливості режимів течії газу (РТГ), особливо в аварійних ситуаціях, а також проводити розрахунок з найбільшою точністю і швидкодією. Таке доповнення технологій експлуатації газопроводів гарантовано забезпечує вироблення науково обгрунтованих рекомендацій щодо підвищення безпеки та ефективності роботи трубопровідної системи.

В роботі розглядаються режими течії газу в разі розриву трубопроводу. Такі РТГ є нестаціонарними неізотермічними.

Актуальність даних досліджень визначається необхідністю наукової розробки і аргументування нових чисельних методів, які б дозволили проводити моделювання нестаціонарних процесів течії газу і на їх основі управління в позаштатних і аварійних ситуаціях в

газотранспортній системі (ГТС) з урахуванням граничних умов. Був проведений аналіз чисельних методів розв'язання системи гіперболічних диференціальних рівнянь в частинних похідних, за допомогою якої описується математична модель (ММ) РТГ при розриві трубопроводу. Для чисельного розв'язання таких систем часто використовуються такі методи як метод скінченних різниць з використанням різних рівномірних і нерівномірних скінченно-різницевих сіток [1-7], метод характеристик [8-11], метод скінченого об'єму [5], метод скінченних різниць з використанням методу Лагранжевих частинок [6], інтегро-інтерполяційний метод [5] та ін. Кожен з цих методів має як переваги, так і недоліки, але ми зупинимося на методі характеристик.

*Цілі та задачі дослідження.* Метою роботи є вибір математичної моделі нестаціонарних неізотермічних режимів течії газу в разі розриву наприкінці ділянки трубопроводу (ДТ), застосування методу характеристик і розробка алгоритму для вирішення системи диференціальних рівнянь гіперболічного типу з відомим початковим розподілом і граничними умовами, аналіз отриманих результатів.

## II. Постановка задачі

В роботі досліджується ДТ довжиною L постійного діаметру. Вважаємо, що, наприкінці ДТ у мить часу $t_0$ відбувається розрив трубопроводу, далі у мить часу $t_1$ з'ясовується, що відбувся розрив і на початку ДТ закривається засувка. Таким чином, на границях трубопроводу відбувається різка зміна граничних умов, тому режими течії газу по ДТ є нестаціонарними і неізотермічними.

Будемо описувати нестаціонарний неізотермічний режим течії газу (ННРТГ) за допомогою функцій масової витрати $G(x,t)$, тиску $P(x,t)$, температури $T(x,t)$, заданих в області $G' = \{(x,t): 0 \le x \le L,\ 0 \le t \le T_к\}$, де $T_к$ – час закінчення процесу.

Для загального випадку ННРТГ по ДТ, яка представляє собою циліндричну трубу постійного діаметра, описується квазілінійною системою диференціальних рівнянь в частинних похідних, отриманої із загальних рівнянь Нав'є-Стокса газової динаміки для одновимірного випадку [1,8]

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + B(x,t,\phi)\frac{\partial \phi}{\partial x} = \Phi(x,t,\phi), \qquad (1)$$

де $B = \begin{pmatrix} 2\alpha TS\dfrac{W}{p} & 1-\alpha TS\dfrac{W^2}{p^2} & 0 \\ \alpha TS & 0 & 0 \\ \alpha S\dfrac{T^2}{p}(\gamma-1) & 0 & \alpha TS\dfrac{W}{p}\gamma \end{pmatrix}$,

$$\Phi = \begin{pmatrix} -\beta TS\dfrac{W|W|}{p} - \dfrac{gp}{\alpha TS}\dfrac{dh}{dx} \\ 0 \\ -\dfrac{4K}{D}(\gamma-1)\dfrac{T}{p}(T-T_{гр}) - g(\gamma-1)\dfrac{TW}{p}\dfrac{dh}{dx} \end{pmatrix}$$

матриці, елементи яких задані безперервно диференціюються в деякій області зміни своїх аргументів функції змінних $x,t,\ W, P, T;\ \phi = (W(x,t), P(x,t), T(x,t))$ – деякий безперервно диференційований в області розв'язок рівняння (1).

Розглянемо аварійну ситуацію при розриві трубопроводу. Першим етапом буде відсутність розриву і аварійної ситуації, математичною моделлю буде система (1) з заданими початковими умовами і з граничними умовами. Граничні умови при $0 \le t < t_0$ матимуть вид

$$\begin{cases} P(0,t) = P^0(t), \\ T(0,t) = T^0(t), \end{cases} \quad G(L,t) = G^0(t), \qquad (2)$$

де $P^0(t),\ T^0(t), G^0(t)$ – задані функції.

Початкові умови матимуть вид

$$\begin{aligned} &W(x,0) = W_0(x),\ P(x,0) = P_0(x), \\ &T(x,0) = T_0(x),\ x \in [0,L], \end{aligned} \qquad (3)$$

де $W(x,t)$ – питома масова витрата газу;

$W_0(x),\ P_0(x),\ T_0(x)$ – відомі функції.

Зазвичай, в якості початкового розподілу береться розподіл параметрів газового потоку при стаціонарному режимі.

Другим етапом буде моделювання розриву труби до моменту закриття аварійної засувки. Тоді попередні граничні умови змінюються на

$$\begin{cases} P(0,t) = P^0(t); \\ T(0,t) = T^0(t),\ якщо\ W(0,t) > 0, \end{cases} \quad W(L,t) = \frac{P(L,t)}{\sqrt{ZgRT}},\ t_0 \le t < t_1, \qquad (4)$$

де $t_1$ – час, коли закрилася аварійна засувка, тобто визначили, що трапився розрив трубопроводу.

Третім етапом буде моделювання розриву труби з моменту закриття аварійної засувки. Тоді попередні граничні умови змінюються на

$$\begin{cases} W(L,t) = \dfrac{P(L,t)}{\sqrt{ZgRT}},\ якщо\ P(L,t) \ge P_{am}, \\ P(L,t) = P_{am},\ якщо\ W(L,t) < \dfrac{P(L,t)}{\sqrt{ZgRT}}, \end{cases} \qquad (5)$$

$$W(0,t)=0,\ t_1\le t\le T_к, \tag{6}$$

де $P_{am}$ – атмосферний тиск.

## III. МЕТОД ТА АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ РОЗРИВУ ТРУБОПРОВОДУ

Застосовуючи метод характеристик до системи (1), доповненої початковими умовами (3) і граничними умовами або (2), або (4), або (5),(6), в залежності від того, якому проміжку часу належить часова змінна $t$, та знайдемо її розв'язок.

Рівняння напрямків характеристик мають вигляд: $dt=\bar{\lambda}_i(x,t,\phi)dx$, $i=1,2,3$, де $\bar{\lambda}_i$ – корені рівнянь

$$\Delta=\begin{vmatrix} 1-2\alpha TS\frac{W}{p}\bar{\lambda} & -\bar{\lambda}(1-\alpha TS\frac{W^2}{p^2}) & 0\\ -\bar{\lambda}\alpha TS & 1 & 0\\ -\bar{\lambda}\alpha S\frac{T^2}{p}(\gamma-1) & 0 & 1-\bar{\lambda}\alpha TS\frac{W}{p}\gamma \end{vmatrix}=0.$$

Звідси, позначимо за $a^2=\alpha ST$, отримаємо

$$\bar{\lambda}_1=\frac{1}{a+a^2\frac{W}{p}},\ \bar{\lambda}_2=\frac{p}{a^2W\gamma},\ \bar{\lambda}_3=\frac{1}{-a+a^2\frac{W}{p}}.$$

При даному в області $G'$ розв'язку системи (1) ми маємо три сімейства характеристик і на кожному з цих сімейств маємо своє диференціальне співвідношення:

$$-\frac{a^2T(-1+\gamma)}{P}dW+\frac{aT(-P+aW)(-1+\gamma)}{P^2}dP-$$
$$-\frac{aST^2W\beta(-1+\gamma)|W|}{P(P+aW)}dx=0.$$
$$-\frac{a^2T(-1+\gamma)}{P}dW+\left(-\frac{T(P^2-a^2W^2)(-1+\gamma)}{P^2W\gamma}\right)dP+$$
$$+\frac{(P^2-a^2W^2(-1+\gamma)^2)}{PW\gamma}dT+$$
$$+\frac{a^2TW(-1+\gamma)\gamma\Phi_1+(-P^2+a^2W^2(-1+\gamma)^2)\Phi_2}{a^2W^2\gamma^2}dx=0,$$
$$-\frac{a^2T(-1+\gamma)}{P}dW+\frac{aT(P+aW)(-1+\gamma)}{P^2}dP+$$
$$+\frac{aST^2W\beta(-1+\gamma)|W|}{P(P-aW)}dx=0.$$

Або у скороченому виді [8]:

$$dt=\bar{\lambda}_i dx,\ M_i dW+N_i dP+P_i dT-C_i dx,\ i=1,2,3.$$

Для чисельного розв'язання отриманих диференціальних рівнянь характеристик застосовується метод Массо (ММА) [8,9]. В якості алгоритму ММА розрахунку параметрів газового потоку для вузлів сітки ( рис. 1), які залежать від початкового розподілу береться алгоритм, наведений в роботі [8], у роботі [9] наведений алгоритм, який дозволяє враховувати граничні умови (2).

Наведемо алгоритм, який дозволяє враховувати граничні умови (4) або (5) , при умові $P(L,t)\ge P_{am}$, наприкінці ДТ. Зауважимо, тому що $a=\sqrt{\alpha ST}=\sqrt{\frac{ZgR}{S}\cdot ST}=\sqrt{ZgRT}$, то на границі наприкінці ділянки ми маємо рівняння $W(L,t)-\frac{P(L,t)}{a}=0$, де $a=\sqrt{ZgRT(L,t)}$.

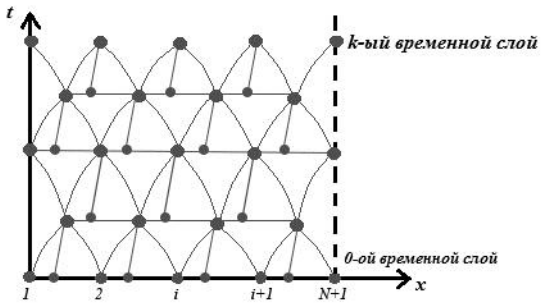


Рис. 1 – Сітка для розрахунку параметрів газового потоку.

Розглянемо алгоритм для знаходження параметрів $(N+1)$-ї точки $(x_{N+1},t_{N+1},W_{N+1}(x_{N+1},t_{N+1}),P_{N+1}(x_{N+1},t_{N+1}),T_{N+1}(x_{N+1},t_{N+1}))$ на парному часовому шарі ($k+1=2,4,...$), по параметрам $(N+1)$-ї точки $(x_{N+1},t_{N+1},W_{N+1}(x_{N+1},t_{N+1}),$ на попередньому непарному $k-$у часовому шарі і по параметрам $(N+1)$-ї точки $(x_{N+1},t_{N+1},W_{N+1}(x_{N+1},t_{N+1}),\ P_{N+1}(x_{N+1},t_{N+1}),$ $T_{N+1}(x_{N+1},t_{N+1}))$ на попередньому парному $(k-1)$-у часовому шарі з урахуванням граничних умов в кінці ділянки:

1) Беремо параметри точки т.1 $(x_1,t_1,W_1(x_1,t_1),P_1(x_1,t_1),T_1(x_1,t_1))$ на $k-$у часовому шарі, і параметри т.2 $(x_2,t_2,W_2(x_2,t_2),P_2(x_2,t_2),T_2(x_2,t_2))$ на $(k-1)$-у часовому шарі, знаходимо параметри третьої точки т.3 $(x_3,t_3,W_3(x_3,t_3),P_3(x_3,t_3),T_3(x_3,t_3))$ на наступному $(k+1)-$у (парному) часовому шарі (рис.2). Т.3 знаходиться на осі ординат, тому $x_3=L$.

2) Позначимо через 0 середину відрізка, що з'єднує точки 1 і 2. Координати цієї точки обчислюються за формулами

$$x_0=\frac{1}{2}(x_1+x_2);\ t_0=\frac{1}{2}(t_1+t_2).,$$
$$P_0=\frac{1}{2}(P_1+P_2);\ T_0=\frac{1}{2}(T_1+T_2);\ W_0=\frac{1}{2}(W_1+W_2).$$

3) Так як т.3 знаходиться на осі ординат, тому $x_3 = L$. Знаходимо другу координату т.3 $t_3^{(1)}$: $t_3^{(1)} = t_1 + \overline{\lambda_{11}}(L - x_1)$, яка є точкою перетину прямої, проведеної з точки 1 і віссю ординат.

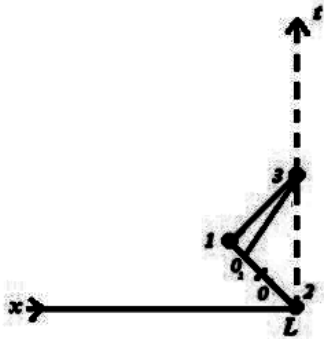



Рис. 2 – Розрахунок параметрів газового потоку наприкінці ділянки

4) Знайдемо нові координати точки $O_1 = (x_0^{(1)}, t_0^{(1)})$:

$$\begin{cases} t_3^{(1)} - t_0^{(1)} = \overline{\lambda_{20}}(L - x_0^{(1)}), \\ t_1 - t_0^{(1)} = \dfrac{t_2 - t_1}{x_2 - x_1}(x_1 - x_0^{(1)}). \end{cases}$$

5) Вводимо позначення виду

$$\nu^{(1)} = \frac{x_0^{(1)} - x_1}{x_2 - x_0^{(1)}} = \frac{t_1 - t_0^{(1)}}{t_0^{(1)} - t_2}$$

6) Визначаємо значення $W(x,t), P(x,t), T(x,t)$ у точці $O_1$ по формулі

$$\begin{cases} W_0^{(1)} = \dfrac{W_1 + \nu^{(1)} W_2}{1 + \nu^{(1)}}; \\ P_0^{(1)} = \dfrac{P_1 + \nu^{(1)} P_2}{1 + \nu^{(1)}}; \\ T_0^{(1)} = \dfrac{T_1 + \nu^{(1)} T_2}{1 + \nu^{(1)}}. \end{cases}$$

7) Покладемо $T_3^{(0)} = T_2(X_2, t_2), a^{(0)} = \sqrt{ZgRT_3^{(0)}}$.

8) Беручи відрізки 13 і $0_1 3$ за характеристики і використовуючи диференціальні співвідношення уздовж характеристик, пишемо систему рівнянь для визначення перших наближень $W(x,t)P(x,t), T(x,t)$ у точці 3, використовуючи при цьому граничну умову на кінці трубопроводу:

$$\begin{cases} -\frac{a^2 T_1(-1+\gamma)}{P_1}(W_3^{(1)} - W_1) + \frac{aT_1(-P_1 + aW_1)(-1+\gamma)}{P_1^2}(P_3^{(1)} - P_1) - \frac{aST_1^2 W_1 \beta(-1+\gamma)|W_1|}{P_1(P_1 + aW_1)}(L - x_1) = 0, \\ W_3^{(1)} - \frac{P_3^{(1)}}{a^{(0)}} = 0, \\ -\frac{a^2 T_0^{(1)}(-1+\gamma)}{P_0^{(1)}}(W_3^{(1)} - W_0^{(1)}) + \left(-\frac{T_0^{(1)}(P_0^{(1)2} - a^2 W_0^{(1)2})(-1+\gamma)}{P_0^{(1)2} W_0^{(1)} \gamma}\right)(P_3^{(1)} - P_0^{(1)}) + \\ + \frac{(P_0^{(1)2} - a^2 W_0^{(1)2}(-1+\gamma)^2)}{P_0^{(1)} W_0^{(1)} \gamma}(T_3^{(1)} - T_0^{(1)}) + \frac{a^2 T_0^{(1)} W_0^{(1)}(-1+\gamma)\gamma \Phi_1 + (-P_0^{(1)2} + a^2 W_0^{(1)2}(-1+\gamma)^2)\Phi_2}{a^2 W_0^{(1)2} \gamma^2}(L - x_0^{(1)}) = 0. \end{cases}$$

Покладемо $l = 1$.

9) Знайшовши параметри точки 3: $(L, t_3^{(l)}, W_3^{(l)}, P_3^{(l)}, T_3^{(l)})$, зробимо її уточнення в такий спосіб, обчислимо значення $\overline{\lambda_{13}^{(l)}}$, $\overline{\lambda_{23}^{(l)}}$:

$$\overline{\lambda_{13}^{(l)}} = \frac{1}{\sqrt{\alpha ST_3^{(l)}} + ST_3^{(l)} \dfrac{W_3^{(l)}}{P_3^{(l)}} \alpha}, \quad \overline{\lambda_{23}^{(l)}} = \frac{P_3^{(l)}}{\alpha ST_3^{(l)} W_3^{(l)} \gamma}.$$

10) Знаходимо величини

$$\overline{\lambda_{11}^{(l+1)}} = \frac{1}{2}(\overline{\lambda_{11}} + \overline{\lambda_{13}^{(l)}}), \quad \overline{\lambda_{20}^{(l+1)}} = \frac{1}{2}(\overline{\lambda_{20}^{(l)}} + \overline{\lambda_{23}^{(l)}}).$$

11) Для точки т.1, отримаємо:

$$M_1^{(l+1)} = \frac{1}{2}\left(-\frac{a^2 T_1(-1+\gamma)}{P_1} - \frac{a^2 T_3^{(l)}(-1+\gamma)}{P_3^{(l)}}\right), \quad ,$$

$$N_1^{(l+1)} = \frac{1}{2}\left(\frac{aT_1(-P_1 + aW_1)(-1+\gamma)}{P_1^2} + \frac{aT_3^{(l)}(-P_3^{(l)} + aW_3^{(l)})(-1+\gamma)}{P_3^{(l)2}}\right),$$

$$PP_1^{(l+1)} = 0,$$

$$C_1^{(l+1)} = \frac{1}{2}\left(-\frac{aST_1^2 W_1 \beta(-1+\gamma)|W_1|}{P_1(P_1 + aW_1)} - \frac{aST_3^{(l)} W_3^{(l)} \beta(-1+\gamma)|W_3^{(l)}|}{P_3^{(l)}(P_3^{(l)} + aW_3^{(l)})}\right).$$

12) Для точки т. $O_1$, отримаємо:

$$M_{0_1}^{(l+1)} = \frac{1}{2}\left(-\frac{a^2 T_0^1(-1+\gamma)}{P_0^1} - \frac{a^2 T_3^{(l)}(-1+\gamma)}{P_3^{(l)}}\right),$$

$$N_{0_1}^{(l+1)} = \frac{1}{2}\left(-\frac{T(P_0^{12} - a^2 W_0^{12})(-1+\gamma)}{P_0^{12} W_0^1 \gamma} - \frac{T_3^{(l)}(P_3^{(l)2} - a^2 W_3^{(l)2})(-1+\gamma)}{P_3^{(l)2} W_3^{(l)} \gamma}\right),$$

$$PP_{0_1}^{(l+1)} = \frac{1}{2}\left(\frac{(P_0^{12} - a^2 W_0^{12}(-1+\gamma)^2)}{P_0^1 W_0^1 \gamma} + \frac{(P_3^{(l)2} - a^2 W_3^{(l)2}(-1+\gamma)^2)}{P_3^{(l)} W_3^{(l)} \gamma}\right),$$

$$C_{0_1}^{(l+1)} = \frac{1}{2}\left(\frac{a^2 T_0^1 W_0^1(-1+\gamma)\gamma \Phi_1 + (-P_0^{12} + a^2 W_0^{12}(-1+\gamma)^2)\Phi_2}{a^2 W_0^{12} \gamma^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{a^2 T_3^{(l)} W_3^{(l)}(-1+\gamma)\gamma \Phi_1 + (-P_3^{(l)2} + a^2 W_3^{(l)2}(-1+\gamma)^2)\Phi_2}{a^2 W_3^{(l)2} \gamma^2}\right).$$

13) Знайдемо координати уточнених точок $O_1$ та 3 за формулами:

$$t_3^{(l+1)} = t_1 + \overline{\lambda_{11}^{(l+1)}}(L - x_1),$$

$$\begin{cases} t_3^{(l+1)} - t_0^{(l+1)} = \overline{\lambda_{20}^{(l+1)}}(x_3^{(l+1)} - x_0^{(l+1)}), \\ t_1 - t_0^{(l+1)} = \dfrac{t_2 - t_1}{x_2 - x_1}(x_1 - x_0^{(l+1)}). \end{cases}$$

14) Обчислимо значення $\nu^{(l+1)}, W_0^{(l+1)}, P_0^{(l+1)}, T_0^{(l+1)}$ за формулами, які аналогічні формулам з п. 5 та п. 6.

15) Використовуючи попередні формули, знаходимо значення $W_3^{(l+1)}, P_3^{(l+1)}, T_3^{(l+1)}$, вирішуючи систему рівнянь

$$\begin{cases} M_1^{(l+1)}(W_3^{(l+1)} - W_1) + N_1^{(l+1)}(P_3^{(l+1)} - P_1) + PP_1^{(l+1)}(T_3^{(l+1)} - T_1) + C_1^{(l+1)}(L - x_1) = 0, \\ W_3^{(l+1)} - \dfrac{P_3^{(l+1)}}{a^{(l)}} = 0, \\ M_{0_i}^{(l+1)}(W_3^{(l+1)} - W_0^{(l+1)}) + N_{0_i}^{(l+1)}(P_3^{(l+1)} - P_0^{(l+1)}) + PP_{0_i}^{(l+1)}(T_3^{(l+1)} - T_0^{(l+1)}) + C_{0_i}^{(l+1)}(L - x_0^{(l+1)}) = 0. \end{cases}$$

16) Якщо

$\left|W_3^{(l+1)} - W_3^{(l)}\right| < \varepsilon, \left|P_3^{(l+1)} - P_3^{(l)}\right| < \varepsilon, \left|T_3^{(l+1)} - T_3^{(l)}\right| < \varepsilon,$

$\left|t_3^{(l+1)} - t_3^{(l)}\right| < \varepsilon$, то параметри т.3

$(L, t_3^{(l+1)}, W_3^{(l+1)}, P_3^{(l+1)}, T_3^{(l+1)})$ знайдені, це буде $(N+1)$-а точка на $(k+1)$-у часовому шарі, і переходимо до п. 16 основного алгоритму, в іншому випадку

$a^{(l+1)} = a(W_3^{(l+1)}, P_3^{(l+1)}, T_3^{(l+1)})$, $l = l+1$ переходимо до п. 9.

## IV. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

В ході розв'язання задачі моделювання аварійної ситуації розриву трубопроводу був створений програмний продукт в математичному пакеті Mathematica 11.2, який дозволив провести ряд обчислювальних експериментів.

Розглянемо аварійну ситуацію розриву на кінці трубопроводу довжиною *L=112 км*. Розрив стався одразу після початку розглядання такої ситуації. Одразу після початку розриву він виявився. Початкові умови: $q = 92.266$ *млн м³ / добу,* $P_H = 84.6364456$ *атм,* $t_H = 40C^0$, $N = 10$. Зауважимо, що при $t = 0$ наприкінці ДТ були такі параметри: $q_N = 102.266$ *млн.м³ / добу* , $P_N = 60.748977$ *атм.* , $T_N = 31.2762546$ *град.*

Побудуємо таблицю порівняння параметрів газового потоку в залежності від кількості точок розбиття в останній точці розбиття на кінці ДТ.

Таблиця 1 – Порівняння параметрів газового потоку в залежності від кількості точок розбиття

| | $t_N$ | $q_N$ | $P_N$ | $T_N$ |
|---|---|---|---|---|
| $N = 5$ | 53.479 | 1561.776 | 30.465 | 4.735 |
| $N = 10$ | 26.725 | 1561.529 | 30.454 | 4.638 |
| $N = 20$ | 13.358 | 1560.902 | 30.439 | 4.582 |
| $N = 100$ | 2.670 | 1560.127 | 30.421 | 4.534 |

З аналізу параметрів газового потоку після ряду проведених експериментів можна зробити висновок, що при збільшенні кількості точок розбиття точність розрахунків стає вищою, але при цьому приходиться витрачати більше машинно-обчислювального часу, тому в залежності від потреби необхідне обирати таку кількість точок розбиття, щоб забезпечити необхідну точність обчислень.

## V. ВИСНОВКИ

У даній роботі побудовано математичну модель ННРТГ при розриві на кінці трубопроводу, яка задається системою диференціальних рівнянь в частинних похідних гіперболічного типу з заданими початковими і граничними умовами; для розв'язання системи рівнянь ММ був використаний метод характеристик, а для чисельного розв'язання отриманої системи звичайних диференціальних рівнянь - метод Масо. На підставі проведеного дослідження були зроблені висновки, що метод характеристик може бути застосований для моделювання розриву трубопроводу. Був проведений аналіз по вибору шагу по просторової змінної.

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Трубопроводные системы энергетики: Методические и прикладные проблемы моделирования/ Новицкий Н.Н., Сухарев М.Г., Тевяшев А.Д. и др. Новосибирск: Наука, 2015, Разд. 3.3, С.193-204.

[2] Селезнев В.Е., Прялов С.Н. Методы построения моделей течений в магистральных трубопроводах и каналах: монография. М.-Берлин: Директ-Медиа, 2014, 557с.

[3] Ермолаева, Н. Н. "Нестационарные модели теплообмена и транспортировки газа по морским газопроводам," *Труды Карельского научного центра РАН.* Серия Математическое моделирование и информационные технологии*, №8. с. 3–10, 2016.*

[4] Гусарова И.Г.,Каминская А.В. Математическое моделирование и анализ аварийных ситуаций при разрыве участка трубопровода. *Восточно-Европейский журнал*,№ 4/4 (58), С.19-24, 2012.

[5] Селезнев В.Е., Алешин В.В., Прялов С.Н. Основы численного моделирования магистральных трубопроводов / Под. ред. В.Е. Селезнева. Изд. 2-е, перер. и доп. М.: МАКС Пресс, 2009, 436с.

[6] Карпович Д.С., Суша О.Н., Коровкина Н.П., Кобринец В.П. "Аналитический и численный методы решения уравнения теплопроводности," *Труды БГТУ*, №6(179), с.122-127, 2015.

[7] Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике / Б. Л. Рождественский, Н. Н. Яненко; изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Наука, 1978, 688 с.

[8] Гусарова И.Г., Ягупова Ю.В. "Численное моделирование нестационарных режимов течения газа методом характеристик," *Системи обробки інформації, № 4(129), с.16-19, 2015.*

[9] Гусарова И.Г., Коротенко А.Н. "Результаты численного моделирования переходных режимов течения газа по участку трубопровода методом характеристик," *Системи обробки інформації,* № 2(153), С.18-26, 2018.

[10] Helgaker, J. F. Modeling Transient Flow in Long Distance Offshore Natural Gas Pipelines, Thesis for — PhD. Trondheim, 2013.

[11] Милехин Ю. М., Ключников А. Н., Попов В. С., Пелипас Н. Д. "Расчет методом характеристик нестационарных внутрибаллистических параметров выхода РДТТ на рабочий режим," *Физика горения и взрыва,* N◦6 (50, с.61-74, 2014.

# Алгоритм Визначення Параметрів L-системи, що Моделює Структуру Геометричного Фрактального Об’єкта

Наталя Кравець
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
kravets2017n@gmail.com

# Algorithm for Definition of L-System's Parameters that Modeling the Geometric Fractal Object's Structure

Natalia Kravets
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
kravets2017n @gmail.com

***Анотація*—Представлено алгоритм визначення параметрів L-системи, яка моделює структуру геометричного фрактального об’єкта.**

***Abstract*—An algorithm for determining the parameters of an L-system that simulates the structure of a geometric fractal object is presented.**

***Ключові слова—алгоритм; геометричний фрактал; L-системи***

***Keywords—algorithm; geometric fractal; L-system***

## I. Вступ

Багато природних об’єктів мають фрактальні властивості. Фрактальні об’єкти застосовуються для стиснення даних, моделювання процесів та структур у фізиці та біології. У комп’ютерній графіці фрактали використовують для генерації реалістичних зображень природних об’єктів. Метою роботи є побудова алгоритму визначення параметрів L-системи, яка моделює структуру геометричного фрактального об’єкта.

Для цього необхідно вирішити наступні завдання:

- обрати тип L-систем, які є найкращими для моделювання структури геометричних фрактальних об’єктів,
- сформулювати вимоги до вхідних даних для побудови моделі геометричного фрактального об’єкта,
- розробити алгоритм визначення параметрів моделі у вигляді L-системи.

Рекурсивна природа правил L-систем дозволяє успішно моделювати самоподібні структури, до яких належать і геометричні фрактальні об’єкти.

## II. Властивості геометричних фракталів

Фракталом зазвичай називають геометричну фігуру, яка має одну чи кілька з наступних властивостей:

- нетривіальна структура, що не спрощується масштабуванням,
- самоподібність,
- дробова розмірність,

- можливість генерації за допомогою рекурсивної процедури.

Існує кілька класифікацій фракталів, за одною з них виділяють детерміновані (геометричні, алгебраїчні) та недетерміновані (стохастичні) фрактали.

### *A. Геометричні фрактали*

Найбільш наочними є геометричні фрактали, вони будуються на основі базової фігури шляхом її дроблення і виконання афінних та логічних перетворень. Алгоритм побудови фрактального об'єкта геометричного типу може бути як ітеративним так і рекурсивним. За один крок алгоритму кожен з відрізків, що становлять базову ламану, замінюється на ламану-генератор, у відповідному масштабі. Прикладами є Сніжинка Коха, Дерево Піфагора, Дракон, Трикутник Серпінського.

### *B. Алгебраїчні фрактали*

Алгебраїчні фрактали отримують за допомогою нелінійних процесів у n-мірних просторах. Найбільш вивчені двомірні процеси. Прикладами є Множина Мандельброта, Множина Жюліа, Фрактал Галлея, Фрактал Ньютона.

### *C. Стохастичні фрактали*

Стохастичні фрактали будують шляхом зміни випадковим чином будь-яких параметрів ітераційного процесу створення фрактального об'єкта. Отримані об'єкти дуже схожі на природні, тому вони часто використовуються для моделювання рельєфу місцевості, рослин та ін.

## III. Класифікація L-систем

Угорський біолог Аристид Ліндемайєр розробив L-системи як математичну модель опису процесу зростання рослин [1]. Зараз L-системи використовуються для моделювання складних розгалужених структур. Детерміновану контекстно-вільну L-систему визначають як кортеж:

$$G = (V, \omega, P), \tag{1}$$

де $V$ - алфавіт, набір символів (змінних та констант); $\omega$ - аксіома або ініціатор, рядок символів із $V$, що завдає початковий стан системи; $P$ - набір правил, які визначають, як змінні можуть бути замінені комбінаціями констант та інших змінних.

Під час чергової ітерації алгоритму кожна змінна замінюється набором символів у відповідності з правилами. Якщо кожній змінній відповідає лише одно правило — L-система називається детермінованою. Якщо для одної змінної з алфавіту існують кілька правил, та обрання правила для застосування залежить від контексту (оточення змінної, яка оброблюється алгоритмом), L-система зветься контекстно-залежною, якщо правило обирається з певною ймовірністю — стохастичною.

Таким чином детермінована контекстно-вільна L-система, DOL-система є найкращою для моделювання геометричних фрактальних об'єктів.

## IV. Алгоритм визначення параметрів L-системи

Вхідними даними для роботи алгоритму є модель геометричного фрактала, яка представлена у вигляді ламаної лінії, завданої послідовністю вершин виду[2]:

$$\langle P_1(x_1, y_1), .., P_n(x_n, y_n) \rangle, \tag{2}$$

де $n \geq 3$, $n \in Z$.

Щоб отримати послідовність символів, аналогічну L-системі необхідно замінити кожен відрізок $P_iP_{i+1}$ із набору $P_1P_2, P_2P_3, .., P_{n-2}P_{n-1}$ послідовністю

$$\{F\} \ldots \{X\} \ldots, \tag{3}$$

де:

$$X = \begin{cases} "-", (y_i - y_{i+1}) < (y_{i+2} - y_{i+1}), \\ "+", (y_i - y_{i+1}) > (y_{i+2} - y_{i+1}). \end{cases} \tag{4}$$

$F$ - інтервал, що відповідає відрізку ламаної, позначається літерою латинського алфавіту, інтервали із рівною довжиною позначаються однаковими літерами; «+» або «–» відповідають куту повороту ламаної проти годинникової стрілки або за годинниковою стрілкою; розмір кута обчислюється як кут $\alpha_i$ між векторами $\overline{P_iP_{i+1}}$ та $\overline{P_{i+1}P_{i+2}}$; кількість повторень «+» або «–» дорівнює $\alpha_i/\alpha_{min}$ , де $\alpha_1, \alpha_2, .., \alpha_{n-2}$ - кути між відрізками ламаної $P_1P_2..P_n$.

Отримана послідовність $S$ (3), що мітить літери та символи «+» , «–» є вхідними даними для роботи алгоритму.

Алфавітом майбутньої L-системи буде набір символів, що входять до послідовності $S$. «+» та «–» — константи, літери латиниці — змінні.

Кількість шуканих правил дорівнює кількості змінних алфавіту $V_S$.

Треба визначити правила (ліва частина — змінна, права — вираз) та аксіому.

*1) Виділення підрядків:* Виділити всі різні підрядки довжиною більше 1 та менше $Length_S/2$, що починаються та закінчуються літерою.

*2) Пошук набору правил:* Формуємо з виділених на попередньому кроці підрядків всі можливі набори з $V_S$ правил, з них відбираємо ті, в яких хоча б одне з правил починається з першого символу послідовності $S$ та хоча б одне з правил закінчується останнім символом послідовності $S$.

*3) Перевірка наборів правил:* Із отриманих на кроці 2 наборів правил відбираємо той, що відповідає обом наступним вимогам:

*a) Повнота:* Із обраного набору правил-підрядків розташованих у довільному порядку можна сформувати послідовність *S*.

*b) Можливість рекурсивного використання:* Для обраного набору правил-підрядків можна підібрати набір змінних з алфавіту *V*, такий що рядок, отриманий у результаті заміни можна знову зібрати з правил як у вимозі a).

*4) Пошук аксіоми:* Проводити заміну у відповідності до визначеної системи правил доки не отримаємо рядок, для якого це виконати не можливо, цей рядок і буде аксіомою.

Алгоритм не є універсальним, позитивний результат можна отримати лише для геометричних фрактальних об'єктів, що відносяться до не менш ніж другого покоління.

Розглянемо використання розробленого алгоритму для побудови L-системи кривої Коха рис. 1.

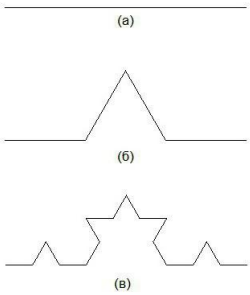



Рис. 4. Крива Коха, (в) - друге покоління

Для другого покоління кривої Коха маємо алфавіт: *F* - одиничний відрізок ламаної; «+» - поворот за годинниковою стрілкою на 60°; «–» - поворот ламаної проти годинникової стрілки на 60°. Кількість шуканих правил дорівнюватиме 1. Послідовність *S* має вигляд (5):

$$F-F++F-F-F-F++F-F++F-F++F-F- \\ F-F++F-F. \quad (5)$$

Виконуючи кроки алгоритму маємо:

*1) Виділення підрядків:* Виділяємо всі різні підрядки довжиною більше 1 та менше *36/2=18*, що починаються та закінчуються літерою. Отримуємо 23 правила (рис. 2).

1) F–F
2) F++F
3) F–F–F
4) F–F++F
5) F++F–F
6) F–F–F–F
7) F–F++F–F
8) F++F–F–F
9) F–F–F++F
10) F–F ++F–F–F
11) F++F–F–F–F
12) F–F–F–F++F
13) F–F–F ++ F–F
14) F–F++ F–F++ F–F
15) F–F–F–F++ F–F
16) F++ F–F–F–F++F
17) F–F–F++F–F++F
18) F–F++F–F–F–F++F
19) F++F–F–F–F++F–F
20) F–F–F–F++F–F++F
21) F–F–F ++F–F++F–F
22) F–F++F–F–F–F++F–F
23) F–F–F–F ++F–F++F–F

Рис. 5. Набори правил

*2) Пошук набору правил:* Формуємо 23 набори лише з одного правила.

*3) Перевірка наборів правил:* Із отриманих на кроці 2 23-х наборів правил відбираємо той, що відповідає вимогам повноти та можливості рекурсивного використання:

*a) Повнота:* Послідовність *S* можна сформувати із наступних правил-підрядків: $p_1$,$p_7$,$p_{22}$.

*b) Можливість рекурсивного використання:* Для набору $p_1$:*F–F* в результаті згортання послідовності *S* отримуємо послідовність: *F++F–F++F++F++F–F++F,* яка не підлягає подальшому згортанню з використанням набору $p_1$. Для набору $p_7$:*F–F++F–F* в результаті згортання послідовності *S* отримуємо послідовність: *F–F++F–F,* яка у результаті подальшого згортання з використанням набору $p_7$ дає послідовність *F*. Для набору $p_{22}$:*F–F++F–F–F–F++F–F* в результаті згортання послідовності *S* отримуємо послідовність: *F++F,* яка не підлягає подальшому згортанню з використанням набору $p_{22}$. Таким чином за результатами перевірки наборів правил отримуємо набір, що містить правило $F\rightarrow F–F++F–F$.

*4) Пошук аксіоми:* Після проведення заміни у відповідності до визначеного правила отримаємо рядок *F*, який і буде аксіомою.

Результатом роботи алгоритму є детермінована контекстно-вільна L-система:

- Алфавіт *V*: змінні: *F*; константи: +, –;
- Аксіома $\omega$: *F* ;
- Правила *P*: $p_1$: $F\rightarrow F–F++F–F$.

Для даного алгоритму мається на увазі, що всі змінні і константи вхідної послідовності мають геометричну інтерпретацію. Тобто L-систему для фракталу Дракон:

- Алфавіт *V*: змінні: *X, Y*; константи: *F* - одиничний відрізок ламаної; «+» - поворот за годинниковою стрілкою на 90°; «–» - поворот ламаної проти годинникової стрілки на 90°;
- Аксіома $\omega$: *FX* ;
- Правила *P*: $p_1$: $X\rightarrow X+YF+$, $p_2$: $Y\rightarrow –FX–Y$.

за допомогою цього алгоритму побудувати неможна.

Складність наведеного алгоритму приблизно дорівнює $O(n^2)$ та залежить не тільки від довжини вхідної послідовності, а й від кількості змінних в алфавіті майбутньої системи. Більш складними завданнями є ідентифікація та побудова контекстно-залежної або стохастичної L-системи за вхідною послідовністю.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] P. Prusinkiewicz, A. Lindenmayer, The algorithmic beauty of plants, – Springer Science & Business Media, 2012.

[2] Н. С. Кравец, Использование метода секвенциального анализа для исследования структуры фрактальных объектов// Радиоэлектроника и информатика, №4 декабрь 2015 С. 61-64.

# Ймовірнісна Модель Підсистеми Збору Даних Системи Реального Часу

Анатолій Литвинов
професор кафедри прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університетміського господарства імені О. М. Бекетова
Харків, Україна
litan6996@gmail.com

# Probabilistic Model of Data Collection Subsystem of Real Time System

Anatoliy Litvinov
Professor of Applied Mathematics and Information Technology Department
O.M. Beketov National Universityof Urban Economy in Kharkov
Kharkiv, Ukraine
litan6996@gmail.com

***Анотація*—Досліджується імовірнісна модель підсистема нижнього рівня системи реального часу, на яку надходять запити від різних джерел. Запити є орієнтованими і обробляються на відповідних каналах.**

***Abstract*—The probabilistic model of a subsystem of the lower level of a real-time system in which requests arrival from different sources is investigated. The requests are oriented and processed on the appropriate channels.**

***Ключові слова—збір даних, запит, контролер, система масового обслуговування***

***Keywords—data collection, request, controller, queuing system***

## I. Вступ

Досліджується підсистема збору даних системи реального часу (СРВ), яка здійснює збір даних, що надходять від об'єктів, які входять в систему. При цьому кожен об’єкт видає множину сигналів, які надходять для обробки на ***n*** спеціалізованих контролерів. Для підвищення ефективності обробки інформації використовується загальний буферний запам'ятовуючий пристрій асоціативного типу, який виконує функції прийому інформації від об’єктів, сортування, тимчасового зберігання та видачі на відповідний контролер. Повідомлення, що знімаються з датчиків ***j***-го об’єкта (***j*** = 1, 2, ..., m) утворюють ***j***-й інформаційний потік. Будемо вважати інформаційні потоки в системі стаціонарними і незалежними, а обсяг асоціативної пам’яті обмеженим і рівним ***N***. В якості моделі функціонування системи можна використовувати ***n***-лінійну систему масового обслуговування (СМО) з числом місць очікування ***N***, заявками в якій є повідомлення, що утворюють ***m*** вхідних потоків запитів ***n*** видів (по числу спеціалізованих контролерів), причому запити є орієнтованими, тобто повинні стати предметом обробки на відповідних каналах.

## II. ПОБУДОВА МОДЕЛІ ТА ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

Нехай задана прямокутна матриця інтенсивностей повідомлень, які надходять в контролери від джерел інформації.

$$F = \begin{Vmatrix} f_{11} & f_{121} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdots & f_{mn} \end{Vmatrix}.$$

Підсумовуючи однойменні потоки заявок, що надходять у складі всіх вхідних потоків, отримаємо СМО, в яку надходить ***n*** потоків однорідних запитів. Використовуємо граничну теорему для сумарного потоку [1]. Тоді кожен з ***n*** сумарних потоків однорідних запитів наближається до пуассонівського з інтенсивністю

$$\lambda_j = \sum_{i=1}^{m} f_{ij},\ j = 1,2,\ldots,n.$$

Таким чином задача знаходження характеристик досліджуваної системи зводиться до аналізу

багатолінійної СМО з обмеженим числом місць очікування загальних для всіх запитів. На вхід системи надходять пуассонівські потоки однорідних запитів, причому число потоків дорівнює числу каналів обслуговування. Будемо вважати функцію розподілу часу обслуговування в кожному каналі експоненціальною, тобто

$$B_i(t) = 1 - \exp(-\mu_i t), i = 1,2,\ldots,n,$$

де $\mu_i$ – інтенсивність обслуговування запитів ***i***-го виду. В результаті отримаємо СМО з марківським процесом зміни станів системи. Поведінка даної системи описується ***n***-мірним графом станів і переходів. Для $n = 2, N = 3$ граф станів і переходів зображений на рис. 1.

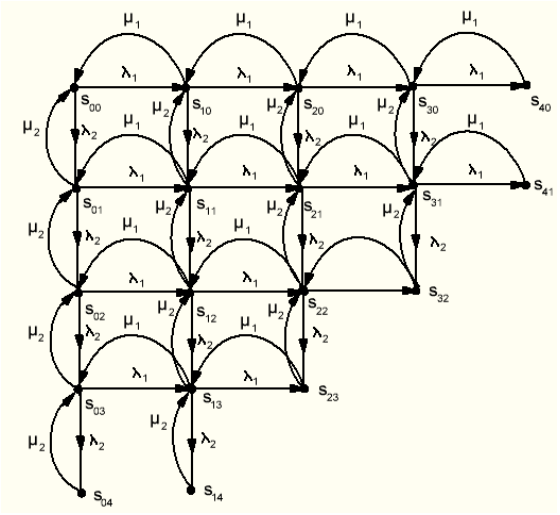


Рис. 1. Граф станів і переходів досліджуваної системи у випадку $n = 2, N = 3$

Позначимо через $p_{i,j..kr}$ ймовірність того, що в стаціонарному стані в системі будуть знаходитися ***i*** запитів першого виду, ***j*** запитів другого виду, ..., ***r*** запитів ***n***-го виду. У стаціонарному стані поведінка системи описується наступною системою лінійних рівнянь

$$\begin{aligned} &- p_{i,j..kr}\sum_{i=1}^{n}(\lambda_i + \mu_i) + \lambda_1 p_{i-1,j..kr} + \lambda_2 p_{i,(j-1)..kr} + \ldots \\ &+ \lambda_n p_{i-1,j..k(r-1)} + + \mu_1 p_{i+1,j..kr} + \mu_2 p_{i,(j+1)..kr} + \ldots \\ &+ \mu_n p_{i,j..k(r+1)} = 0, \qquad (1) \\ &i = 0,1,\ldots; \; j = 0,1,\ldots,N-i; \ldots; \\ &r = 0,1,\ldots,N-i-j-\ldots-k, \end{aligned}$$

причому завжди виконується $p_{i,j..kr} \equiv 0,$ при $N < i, j, \ldots, r < 0.$

Система рівнянь (1) доповнюється умовою нормування

$$\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0}^{N-i}\ldots\sum_{r=0}^{N-i-j-\ldots-k} p_{i,j..kr} = 1. \qquad (2)$$

Розв'язок системи рівнянь (1) спільно з умовою нормування (2) знайдемо при таких передумовах:

1. Розподіл ймовірностей стану системи масового обслуговування, в якій діють пуассонівські потоки подій для заявок тільки одного виду, підпорядковується геометричному розподілу.
2. Потоки подій в досліджуваній системі взаємонезалежні.

Тоді відносини ймовірностей станів, що відрізняються числом запитів тільки одного виду, не залежать від числа запитів будь-якого іншого виду, що знаходяться в СМО, причому має місце рівність:

$$\begin{aligned} &p_{(i+a)(j+b)\ldots(k+c)(r+d)} = \rho_1^a \rho_2^b \ldots \rho_{n-1}^d p_{i,j..kr}, \; i = 1,2,\ldots,n; \\ &a,b,\ldots,d = 0,1,\ldots, \end{aligned} \qquad (3)$$

де $\rho_i = \lambda_i / \mu_i$ – завантаження системи за запитами ***i***-го виду.

Для випадку $n = 2$ розв'язок системи рівнянь (1) спільно з умовою нормування (2) і співвідношення (3) має вид:

$$p_{ij} = \frac{(1-\rho_1)(1-\rho_2)(\rho_2-\rho_1)\rho_1^{i+1}\rho_2^{j+1}}{(1-\rho_1^{N+1}-\rho_2^{N+1})(\rho_2-\rho_1)-(1-\rho_2)\rho_1^2\rho_2^{N+1}+(1-\rho_1)\rho_1^{N+1}\rho_2^2}.$$

У разі рівного розподілу величин навантажень по всіх каналах системи ($\rho_1 = \rho_2 = \ldots = \rho_n = \rho$) вирази для ймовірностей станів спрощуються:

$$p_{ij} = \frac{(1-\rho)^2\rho^{i+j}}{(1-\rho^{N+1})[(2+N\rho)-N\rho^2]}.$$

Ймовірність простою для першого обслуговуючого пристрою задається виразом

$$p_{pr1} = \frac{(1-\rho_1)(\rho_2-\rho_1)(1-\rho_2^{N+1})}{(1-\rho_1^{N+1}-\rho_2^{N+1})(\rho_2-\rho_1)-(1-\rho_2)\rho_1^2\rho_2^{N+1}+(1-\rho_1)\rho_1^{N+1}\rho_2^2}.$$

Якщо навантаження по другому обслуговуючому пристрою знизиться до нуля, то запити другого виду не впливатимуть на проходження по системі запитів першого виду, тобто система переходить в однолінійну СМО з обмеженим числом місць очікування. Відповідно

$$\lim_{\rho_2 \to 0} p_{pr1} = \frac{1-\rho_1}{1-\rho_1^{N+1}}.$$

Зі збільшенням величини $\rho_2$ все більш буде позначатися присутність запитів другого виду на проходження запитів першого виду. Звідси випливає, що розглянута СМО може працювати в режимі регулювання еквівалентного числа місць очікування для $n-1$ каналів шляхом зміни величини навантаження по одному якому-небудь каналу.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Л.А. Овчаров. Прикладные задачи теории массового обслуживания. Москва: Машиностроение, 1969.

# Метод Відновлення Розривних Функцій Спеціального Вигляду з Використанням Проекцій і Скінченних Сум Фур'є

Олег М. Литвин
кафедра вищої та прикладної математики
Українська інженерно-педагогічна академія
Харків, Україна
academ_mail@ukr.net

Олександра Литвин
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
litvinog@ukr.net

# The Method of Reconstructing Discontinuous Functions of a Special Form with the Use of Projections and Finite Fourier Sums

Oleg M. Lytvyn
Department of High and Applied Mathematics
Ukrainian engenering-pedagogical academy
Kharkiv, Ukraine
academ_mail@ukr.net

Oleksandra Litvin
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
litvinog@ukr.net

***Анотація* — Досліджується метод наближення розривних функцій, що описують внутрішню структуру 2D тіла з допомогою проекцій, які поступають з комп'ютерного томографа. Пропонується використовувати розривні сплайни двох змінних для автоматичного знаходження ліній розриву та метод О. М. Литвина обчислення коефіцієнтів Фур'є функцій двох змінних з допомогою періодичних розривних сплайнів однієї змінної і проекцій.**

***Abstract* — The method of approaching of bursting functions, which describe the underlying structure of 2D body with the help of projections which act from a computer tomograph, is probed. It is suggested to use bursting splines two variables for the automatic finding of lines of break and method of O. M. Lytvyn's calculation of coefficients of Fourier functions two variables with the help of periodic bursting splines of one variable and projections.**

***Ключові слова — комп'ютерна томографія, реконструкція, зображення, розривна функція, розривний сплайн, сума Фур'є***

***Keywords — computer tomography, reconstraction, image, discontinuous function, discontinuous spline, sum Fourier***

## I. ВСТУП

Як відомо [2, 3, 4], наближення розривних функцій однієї і багатьох змінних скінченними сумами Фур'є призводить до явища Гіббса. Це явище виникає також в комп'ютерній томографії [3, 4, 6]. Для цього випадку в працях Готліба і Густавсона [3, 4] наведені різні методи побудови скінченних сум Фур'є, коефіцієнти Фур'є у яких помножаються на визначені відповідним чином множники з метою зменшення впливу явища Гіббса на кінцевий результат. Використовуються також скінченні суми Фейєра [6], що має згладжувальний ефект, але не підвищення точності результату.

У даній роботі пропонується узагальнити метод, введений в роботах [1, 7] на випадок наближення розривних функцій двох змінних з використанням проекцій і скінченних сум Фур'є [2, 6] для одного конкретного випадку розривної наближуваної функції.

## II. Основні твердження

У даній роботі пропонуються явні формули для побудови розривних сплайнів від двох змінних, які мають розриви першого роду на границі системи вкладених одна в одну двовимірних областей $D_k$, $k=\overline{0,M}$, $D_0 \subset D_1 \subset \ldots \subset D_M$.

Досліджується метод використання розривних сплайнів для наближення розривних функцій двох змінних скінченними сумами Фур'є, у яких коефіцієнти Фур'є обчислюються за допомогою проекцій, що поступають з комп'ютерного томографа.

Дано, що $D_0 \subset D_1 \subset \ldots \subset D_M \subset D = [0,1]^2$.

Невідома функція $f(x,y)$ є періодичною з періодом $l=1$ за змінною $x$ та періодом $l=1$ за змінною $y$ і має розриви першого роду на границях $\Gamma_k : w_k(x,y)=0$ областей $D_{k,k+1} : w_k(x,y) \ge 0, w_{k+1}(x,y) < 0, k=\overline{0,M}$.

Вважаємо, що:

$$f(x,y)=\begin{cases} f_0(x,y), w_0(x,y)<0, \\ f_1(x,y), w_0(x,y)\ge 0, w_1(x,y)<0, \\ \vdots \\ f_k(x,y), w_{k-1}(x,y)\ge 0, w_k(x,y)<0, \\ \vdots \\ f_M(x,y), w_M(x,y)\ge 0. \end{cases}$$

Для аналітичного зображення цієї функції використовуємо формулу:

$$f(x,y)=\frac{1}{2}\Bigg( f_0(x,y)+f_M(x,y)+ \\ +\sum_{k=0}^{M-1}\big(f_{k+1}(x,y)-f_k(x,y)\big)\frac{|w_k(x,y)|}{w_k(x,y)}\Bigg).$$

Вона є узагальненням формули (1.9) з роботи [5, с. 8] на випадок двох змінних, коли розриви функції $f(x,y)$ задаються не на лініях $x-x_k=0$, а на лініях $\Gamma_k$.

Наступна функція $sp(x,y)$ має ті ж самі розриви першого роду, що і невідома функція $f(x,y)$.

$$sp(x,y)=\begin{cases} h_0(x,y), w_0(x,y)<0, \\ h_k(x,y), w_{k-1}(x,y)\ge 0, w_k(x,y)<0, \\ k=\overline{1,M}, \\ h_M(x,y), w_M(x,y)\ge 0, \end{cases}$$

де

$$h_0(x,y)=f_0^-(x,y),$$
$$h_k(x,y)=\frac{-f_{k-1}^+(x,y)w_k(x,y)+f_k^-(x,y)w_{k-1}(x,y)}{w_{k-1}(x,y)-w_k(x,y)},$$
$$k=\overline{1,M-1},$$
$$h_M(x,y)=f_M^+(x,y).$$

Тут

$$f_k^-(x,y)=\lim_{\substack{(u,v)\to(x,y)\\ w_k(u,v)<0, w_k(x,y)=0}} f(u,v),$$
$$f_k^+(x,y)=\lim_{\substack{(u,v)\to(x,y)\\ w_k(u,v)>0, w_k(x,y)=0}} f(u,v),\ k=\overline{0,M-1}.$$

Це означає, що функція:

$$F(x,y)=f(x,y)-sp(x,y)$$

не буде мати розривів. Будемо її наближувати за допомогою скінченної суми Фур'є, коефіцієнти в якій обчислюються за допомогою проекцій методом, запропонованим в роботі [1].

Згідно з цим методом розв'язок задачі відшукується у вигляді суми Фур'є:

$$F(x,y)\approx S_{N,N}(x,y)=\sum_{k=-N}^{N}\sum_{l=-N}^{N}F_{k,l}e^{i2\pi(kx+ly)},$$

де коефіцієнти Фур'є обчислюються за формулою:

$$F_{k,l}=\iint_D F(x,y)e^{-i2\pi(kx+ly)}dxdy= \\ =\iint_D\big(f(x,y)-sp(x,y)\big)e^{-i2\pi(kx+ly)}dxdy= \\ =\iint_D f(x,y)e^{-i2\pi(kx+ly)}dxdy-\iint_D sp(x,y)e^{-i2\pi(kx+ly)}dxdy.$$

Зауважимо, що для обчислення першого інтеграла використовуються проекційні дані:

$$\int_{L_p} f(x,y)dl=\gamma_p,\ p=\overline{1,m},$$

які надходять з комп'ютерного томографа. А для другого інтеграла проекційні дані знаходяться безпосереднім обчисленням, оскільки вважається, що розривний сплайн побудовано у явному вигляді.

Для кращого розуміння запропонованого підходу наведемо приклад, у якому покажемо, як будується функція $sp(x,y)$.

Приклад. Введемо позначення.

$$w(x,y)=\sqrt{(x-0.5)^2+(y-0.5)^2}.$$

Якщо лінії $w_k(x,y)=0, k=\overline{0,M-1}$ є колами $w_k(x,y)\equiv w(x,y)-r_k=0,\ k=\overline{0,M-1},$ тобто:

$$D_0: w(x,y)\le r_0,\dots,D_k: r_{k-1}\le w(x,y)\le r_k, k=\overline{1,M-1},$$
$$D_M: [0,1]^2\setminus\{w(x,y)\le r_{M-1}\},$$

то функції $f_k(x,y)$ будуть мати такі граничні властивості:

$$f_k^-(x,y)=f_k(r_k\cos\theta,r_k\sin\theta), k=\overline{0,M-1},$$
$$f_k^+(x,y)=f_{k+1}(r_k\cos\theta,r_k\sin\theta), k=\overline{0,M-1},$$
$$r\ge 0, 0\le\theta\le 2\pi.$$

Тут $r$ і $\theta$ координати точки $(x,y)$ у полярній системі координат з центром у точці $(0.5,0.5)$.

У цьому випадку у формулі для $sp(x,y)$ функції $h_k(x,y)$ будуть функціями змінних $r$ та $\theta$ і запишуться у вигляді:

$$h_0(x,y)=f_0(r_0\cos\theta,r_0\sin\theta),\dots,$$
$$h_k(x,y)=$$
$$=f_k(r_{k-1}\cos\theta,r_{k-1}\sin\theta)\frac{w(x,y)-r_k}{r_{k-1}-r_k}+$$
$$+f_k(r_k\cos\theta,r_k\sin\theta)\frac{w(x,y)-r_{k-1}}{r_k-r_{k-1}}, k=\overline{1,M-1},$$
$$h_M(x,y)=f_M(r_{M-1}\cos\theta,r_{M-1}\sin\theta).$$

## III. Висновки

Таким чином, для випадку, коли відомі лінії розриву функції $f(x,y)$ та відомі односторонні границі функції $f_k(x,y)$ на лініях $\Gamma_k: w_k(x,y)=0$ у роботі запропоновано загальний метод наближення невідомої функції $f(x,y)$ за допомогою проекцій і скінченних сум Фур'є.

Для використання запропонованого методу до практики автори планують розробку та дослідження методу знаходження ліній розриву та односторонніх границь невідомої функції $f(x,y)$ на вказаних лініях.

Запропонований метод дозволяє уникнути явища Гіббса, бо функція:

$$F(x,y)=f(x,y)-sp(x,y)$$

немає розривів.

Для випадку, коли теоретичний вигляд структури досліджуваного зображення відомий, наприклад (структура організму людини у заданих площинах складається з кісток, м'язів тощо), автори пропонують для побудови $sp(x,y)$ використовувати сплайн-інтерлінацію та сплайн-інтерфлетацію функцій на основі розривних сплайнів [8].

Отже, запропонований метод є одним з ефективних підходів уникнення явища Гіббса, який виникає при наближенні сумами Фур'є розривних функцій двох змінних.

## Література References


[1] О. М. Литвин, «Періодичні сплайни і новий метод розв'язання плоскої задачі рентгенівської комп'ютерної томографії» // *Системний аналіз, управління і інформаційні технології: Вісник Харківського держ. політех. ун-ту.* Збірка наукових праць. Випуск 125. Харків: ХДПУ, 2000. С. 27–35.

[2] О. М. Литвин, «Підвищення точності розкладання в ряд Фур'є розривних функцій однієї та двох змінних» // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ».* Збірник наукових праць. Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. Харків: НТУ «ХПІ». 2016. № 6(1178). С. 43–46.

[3] D. Gottlieb, C. W. Shu, «On the Gibbs Phenomenon and its Resolution» // *SIAM Review*. 1997. 39, № 4. P. 644–668.

[4] B. Gustafsson, «Mathematics for Computer Tomography» // *Physica Scripta.* 1996. T. 61. P. 38–43.

[5] О. М. Литвин, В. Л. Рвачов, Класична формула Тейлора, її узагальнення та застосування, К: Наукова думка, 1973. 123 с.

[6] О. М. Литвин, О. Г. Литвин, «Реконструкція зображень з використанням скінченних сум Фур'є та Фейєра» // *Інформатика та системні науки* (ІСН-2016): матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції за міжнародною участю, (м. Полтава, 10–12 березня 2016 р.). Полтава: ПУЕТ, 2016. С. 186–189.

[7] О. М. Литвин, О. Г. Литвин, «Оптимізація кількості експериментальних даних у методі обчислення коефіцієнтів Фур'є за допомогою проекцій» // *Інформатика та системні науки* (ІСН-2017): матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції за міжнародною участю (м. Полтава, 16–18 березня 2017 р.) / за ред. Ємця О. О. Полтава: ПУЕТ, 2017. С. 175–179.

[8] О. М. Литвин, Інтерлінація функцій та деякі її застосування, Харків: Основа, 2002. 544 с.

# Неперервні Формулювання Задач Комбінаторної Оптимізації

Оксана Пічугіна
кафедра інформатики
Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»
Харків, Україна
oksanapichugina1@gmail.com

# Continuous Formulations of Combinatorial Optimization Problems

Oksana Pichugina
Computer Science Department
National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»
Kharkiv, Ukraine
oksanapichugina1@gmail.com

***Анотація*—Дана робота присвячена побудові неперервних формулювань задач комбінаторної оптимізації. Задача зводиться до побудови евклідової постановки на базовій множині евклідових комбінаторних конфігурацій з додатковими обмеженнями із подальшим формуванням неперервного функціонального представлення цієї множини в залежності від її природи. Головну увагу приділено дотичним функціональним представленням, викладено три підходи до їх формування та наведено приклади дотичних представлень деяких класів множин евклідових комбінаторних конфігурацій перестановок та розміщень.**

***Abstract*—This paper is dedicated to constructing continuous formulations of combinatorial optimization problems. This problem is reduced to forming its Euclidean reformulation on a basic set of Euclidean combinatorial configurations subject to additional constraints, followed by a formation of a continuous functional representation of this set that depends on its nature. The main attention is paid to tangential functional representations, three approaches to their formation are presented, and examples of tangential representations of some classes of the Euclidean combinatorial configurations sets of permutations and partial permutation are given.**

***Ключові слова—комбінаторна оптимізація; неперервне функціональне представлення; дотичне представлення; множина евклідових комбінаторних конфігурацій***

***Keywords—Combinatorial Optimization; continuous functional representation; tangential representation; Euclidean combinatorial configuration set***

## I. Вступ

Формування евклідових постановок задач комбінаторної оптимізації - фундаментальний засіб їх зведення до задач дискретної оптимізації [1], [5]-[7], [18], [19]. Важливими складовими цих моделей є занурення комбінаторних множин у арифметичний евклідів простір та математичне моделювання одержаних при цьому допустимих дискретних областей.

Нехай розглядається задача оптимізації (a combinatorial optimization problem, COP)

$$(COP) \quad \min_{\Pi' \subseteq \Pi} f(x),$$

де $\Pi$ - комбінаторний простір, $\Pi'$ - множина допустимих комбінаторних конфігурацій.

Припустимо також, що евклідова постановка (COP) знайдена і представлена у формі задачі математичного програмування:

$$(DP) \quad \min_{x \in E' \subseteq E} f(x),$$

$$E' = \{x \in E \subset R^n : f_i^1(x) \le 0, i \in I^1;\ f_i^2(x) = 0, i \in I^2\},$$

де $f_i^1(x) : E \to R^1, i \in I^1;\ f_i^2(x) : E \to R^1, i \in I^2$ - неперервні функції.

Множина $E$ є образом множини $\Pi$ комбінаторних конфігурацій у арифметичному евклідовому просторі, таким, що $\exists \varphi : E = \varphi(\Pi)$. До того ж $\Pi = \varphi^{-1}(E)$. У термінології [17], [20] це означає, що $E$ є множиною евклідових комбінаторних конфігурацій або $\mathcal{C}$-множиною, що відповідає $\Pi$. Таким чином, (DP) - є задачею оптимізації на $\mathcal{C}$-множині $E$, з якої допустима область $E'$ виділена за допомогою функціональних обмежень.

Ставиться задача побудови еквівалентного (DP) неперервного формулювання (the continuous (DP)-formulation, CDP), де прямі обмеження $x \in E$ представляються у функціонально-аналітичній формі за допомогою неперервних функцій. Таким чином мова йде про пошук представлення (COP) у формі:

$$(CDP) \qquad \min_{x \in E'} f(x), E' = \left\{ \begin{array}{l} x \in R^n : f_i^1(x) \le 0, i \in I^1 \cup I^3; \\ f_i^2(x) = 0, i \in I^2 \cup I^4 \end{array} \right\},$$

де $f_i^1(x), i \in I^1 \cup I^3$; $f_i^2(x), i \in I^2 \cup I^4$ - неперервні в $D \supset E$ - область, у якій проводиться оптимізація.

Як видно, пошук (CDP) зводиться до пошуку представлення $E$ у формі:

$$E' = \{x \in R^n : f_i^1(x) \le 0, i \in I^3;\ f_i^2(x) = 0, i \in I^4\}. \qquad (1)$$

Перейдемо до її розв'язання.

## II. Неперервні функціональні представлення $\mathcal{C}$-множин

Нехай

$$\mathcal{F} = \{f_j(x)\}_{j \in J_m}, \qquad (2)$$

де $f_j(x) : R^n \to R^1$ - неперервні функції ( $j \in J_m$ ).

**Означення.** Представлення $\mathcal{C}$-множини $E$ за допомогою функціональних залежностей:

$$f_j(x) = 0,\ j \in J_{m'}, \qquad (3)$$

$$f_j(x) \le 0,\ j \in J_m \setminus J_{m'}. \qquad (4)$$

назвемо неперервним функціональним представленням (f-представленням) $E$.

Наша задача (1) - це задача побудови f-представлення $\mathcal{C}$-множини $E$.

У f-представленні (3), (4): а) (3) - строга частина; б) (4) - нестрога частина; в) $m$ - порядок; г) $m', m'' = m - m'$ - порядок строгої і нестрогої частин.

Якщо ввести позначення для геометричного місця точок, що задані виразами (2), (4), де

$$S_j = \{x \in R^n : f_j(x) = 0\},\ j \in J_{m'}, \qquad (5)$$

$$C_j = \{x \in R^n : f_{j+m'}(x) \le 0\},\ j \in J_{m''}, \qquad (6)$$

то $E = \left( \bigcap_{j \in J_{m'}} S_j \right) \bigcap \left( \bigcap_{i \in J_{m''}} C_j \right)$.

Зокрема, якщо вимірність різноманіть (5) - $n-1$, а $f_j(x),\ j \in J_m \setminus J_{m'}$ - опуклі, $\mathcal{C}$-множина $E$ утворюється у перетині поверхонь (5) з опуклими тілами (6).

Типологію f-представлень проведемо за декількома напрямками:

- за виглядом функцій (2) - лінійні і нелінійні, диференційовані, гладкі, опуклі, поліноміальні, тригонометричні і т.п.
- за співвідношенням параметрів $m, m', m''$.

Систему (3), (4) назвемо:

- строгим f-представленням $E$ ($E$.SR), якщо в ньому присутня тільки строга частина - $m' = m, m'' = 0$;
- нестрогим (далі ($E$.UR)) - якщо в $f$-представленні є тільки нестрога частина - $m' = 0, m'' = m$;
- мішаним (далі ($E$.MR)), якщо в ньому присутні строга і нестрога частини, тобто $m'(m - m') > 0$.

Систему обмежень (3), (4) будемо називати незвідним f-представленням множини $E$ ($E$.IR), якщо виключення будь-якого з його обмежень задає власну надмножину $E$ - $\forall\, j \in J_{m'},\ E \setminus S_j \supset E;\ \forall\, i \in J_{m''},\ E \setminus C_i \supset E.$

Серед незвідних f-представлень розглянемо клас дотичних ($E$.TR), тобто таких, що задають $E$ як множиною точок дотику поверхонь $S_1$, $S_2$.

У класі опуклих f-представлень, дотичні f-представлення є мінімальними по кількості компонент. Мінімальний степінь поліноміального дотичного f-представлення - три. Порівняно з тим, що мінімальний степінь поліноміального f-представлення $\mathcal{C}$-множини - два, стає очевидним, що ($E$.TR) є привабливими з обох точок зору - порядку і степеню.

## III. Підходи до побудови дотичних f-представлень $\mathcal{C}$-множин

Представимо деякі шляхи побудови таких f-представлень для $\mathcal{C}$-множин загального вигляду.

### *A. TR.Scheme1*

Наведемо загальну схему побудови дотичних f-представлень $\mathcal{C}$-множини $E$, що ґрунтується на дослідженні властивостей диференційованих функцій (далі (TR.Scheme1)).

Дотичне представлення будуватимемо у формі

$$f_1(x) = 0, \qquad (7)$$

$$f_2(x) = 0. \qquad (8)$$

Формуємо сімейство $\Phi(E)$ функцій, визначених на $E$, що набувають на $E$ значення нуль. Далі обираємо диференційовані функції

$f_1(x), f_2(x) \in \Phi(E)$, $f_1(x) \neq f_2(x)$, що не мають сингулярностей. Це означатиме, що:

$$f_1(x) \underset{E}{=} 0,\ f_2(x) \underset{E}{=} 0, \tag{9}$$

задають у просторі поверхні

$$S_j = \{x \in R^n : f_j(x) = 0\},\ j = 1,2. \tag{10}$$

Перевіряємо виконання умови:

$$\forall x \in E \quad \exists k(x) \neq 0 :\ \nabla f_2(x) \underset{E}{=} k(x) \cdot \nabla f_1(x).$$

На наступному кроці фіксуємо $j \in J_2$ та методом множників Лагранжа розв'язуємо задачу оптимізації:

$$f_j(x) \underset{S_{3-j}}{\rightarrow} extr. \tag{11}$$

Нехай

$$X^{j\min} = Arg \min_{S_{3-j}} f_j(x), Z^{j\min} \underset{X^{j\min}}{=} f_j(x);$$

$$X^{j\max} = Arg \max_{S_{3-j}} f_j(x), Z^{j\max} \underset{X^{j\max}}{=} f_j(x)\ -$$

повний розв'язок задачі (10).

Тоді система рівнянь (7), (8) буде дотичним f-представленням $E$, якщо виконано одну з умов: $X^{j\min} = E, Z^{j\min} = 0$ або $X^{j\max} = E, Z^{j\max} = 0$.

(TR.Scheme1) може бути застосована для досить вузького класу функцій $f_1(x), f_2(x)$, що дозволяють розв'язати задачу (11) в явному вигляді (див., наприклад, [15], [17], та теорему 3).

Далі наведемо спосіб (далі (TR.Scheme2)) аналітичного обґрунтування існування дотичних f-представлень дворівневих множин [3], тобто множин, що розкладаються в точності по двох паралельних гіперплощинах у напрямку нормалей до гіперграней відповідного многогранника $P = convE$.

*B. TR.Scheme2*

Нехай $E$ - дворівнева множина, $\mathbf{F}$ - множина гіперграней відповідного дворівневого многогранника $P$. Тоді

$$\forall x \in E, \forall F \in \mathbf{F}\ \exists b_F, b'_F \in R^1, \bar{n}_F \in \mathrm{n}^n : \bar{n}_F^T x \in \{b_F, b'_F\}. \tag{12}$$

Введемо позначення $a_F = \frac{b_F + b'_F}{2}, \delta_F = \frac{|b_F - b'_F|}{2}$ (13)

і перепишемо (12) у вигляді $|\bar{n}_F^T x - a_F| \underset{E}{=} \delta_F, F \in \mathbf{F}$.

Враховуючи, що $\delta_F > 0, F \in \mathbf{F}$, (13) представимо в еквівалентній формі, поділивши кожне з рівнянь (13) на відповідне $\delta_F$: $\forall \kappa \in R^n_{>0}\ |\bar{n}_F^{'T} x - a'_F|^{\kappa} \underset{E}{=} 1, F \in \mathbf{F}$, де

$$\bar{n}'_F = \frac{\bar{n}_F}{\delta_F}, a'_F = \frac{a_F}{\delta_F}. \tag{14}$$

Окрім нерівностей, H-представлення $P$ може містити рівняння. Так нехай $\bar{a}'_i x - a'_{i0} = 0, i \in J_{n'}$, - строга частина H-представлення. Згорнемо строгу та нестрогу частини H-представлення $P$ в одне рівняння:

$$S : \sum_{F \in \mathbf{F}} (\bar{n}_F^{'T} x - a'_F)^2 + \sum_{i=1}^{n'} (\bar{a}'_i x - a'_{i0})^2 - |\mathbf{F}| = 0.$$

Поверхня $S$ - обмежена і враховуючи її вигляд, є еліпсоїдом, опукла оболонка якого $C = convS$ містить $E$. Отже,

$$\forall i \in J_{n'} \exists \alpha_i \in R^1_{>0} :| \bar{a}'_i x - a'_{i0} | \leq \alpha_i, x \in C. \tag{15}$$

**Теорема 1.** *Якщо* $E$ - дворівнева, то

$$S^2 : f_0(x,2) = \sum_{F \in \mathbf{F}} (\bar{n}_F^{'T} x - a'_F)^2 + \sum_{i=1}^{n'} \left( \frac{\bar{a}'_i x - a'_{i0}}{\alpha_i} \right)^2 - |\mathbf{F}| = 0;$$

$$S^4 : f_0(x,4) = \sum_{F \in \mathbf{F}} (\bar{n}_F^{'T} x - a'_F)^4 + \sum_{i=1}^{n'} \left( \frac{\bar{a}'_i x - a'_{i0}}{\alpha_i} \right)^4 - |\mathbf{F}| = 0\ -$$

її дотичне представлення (далі ($E$ (2-level).TR)), де $\mathbf{F}$ - множина гіперграней $P$; $\bar{n}'_F \in R^n$, $a'_F \in R^1$ знайдені з (12), (14), $\alpha_i$, $i \in J_{n'}$ - з (15), $\bar{a}'_i \in R^n$, $a'_{i0} \in R^1$ ($i \in J_{n'}$) - параметри строгої частини H-представлення $P$.

*C. TR.Scheme3*

Ще один метод побудови дотичних f-представлень (далі (TR.Scheme3)) застосовуваний у випадку, якщо рівняння (7), (8) можна представити в термінах деякої норми:

$$\begin{array}{l} \exists \| . \|_{(\alpha)}, \exists \alpha_1, \alpha_2 \in R^1_+ : \\ f_1(x) = \| x \|_{(\alpha_1)} - 1;\ f_2(x) = \| x \|_{(\alpha_2)} - 1 \end{array}. \tag{16}$$

Відповідно, поверхні (10) є сферами в цьому нормованому просторі ($\| . \|_{(\alpha_i)}$-сфери), $i = 1,2$).

Доведення того, що дана норма строго монотонна по $\alpha$, тобто $\forall \alpha_1, \alpha_2 \in R^1_+, \alpha_1 \neq \alpha_2$ виконана одна з умов:

$$\forall x \in R^n : \| x \|_{(\alpha_1)} \geq \| x \|_{(\alpha_2)}, \tag{17}$$

$$\forall x \in R^n : \| x \|_{(\alpha_1)} \leq \| x \|_{(\alpha_2)}, \tag{18}$$

є обґрунтуванням того, що (7), (8) є ($E$ .SR). Якщо до того ж ця норма є диференційованою функцією в області $K \supset E$, (7), (8) буде ($E$ .TR).

А це означає, що, у разі виконання (17) $S_1 \subseteq C_2$, причому $E = S_1 \cap \partial C_2$, а у випадку (18) - $E = S_2 \cap \partial C_1$, де $C_i = conv\, S_i$, $i = 1,2$. Інакше кажучи, у випадку (17) $S_1$ вписана в $S_2$, а в разі (18) $S_1$ описана навколо $S_2$.

При цьому, в термінах норми $\| . \|_{(\alpha)}$, (9), (16) представляються у вигляді: $\| x \|_{(\alpha_1)} \underset{E}{=} \| x \|_{(\alpha_2)} \underset{E}{=} 1$.

Таким чином доведено теорему.

**Теорема 2**. Якщо існує функція $\|.\|_{(\alpha)}$ строго монотонна по $\alpha$ і така, що функції $f_1(x), f_2(x)$ задовольняють умови (9), (16), то пара рівнянь (7),(8) утворює ( $E$ .TR).

## IV. Приклади застосування (TR.Scheme1)-(TR.Scheme3) до побудови дотичних f-представлень $\mathcal{C}_b$ -множин

Представлені вище три схеми продемонструємо на прикладі побудови дотичних f-представлень деяких базових $\mathcal{C}$ -множин ( $\mathcal{C}_b$ -множин) [17], [20], тобто таких, які містять усі евклідові комбінаторні конфігурації заданого типу та індукуються однією множиною (мультимножиною).

(TR.Scheme3) можна застосувати до обґрунтування існування дотичного представлення бінарної $\mathcal{C}$ -множини $B_{n'}$ [17], [20] вигляду:

$$(B_{n'}.\mathrm{TR}(\alpha_1,\alpha_2)): \sum_{i=1}^{n} x_i^{\alpha_1} = n, \sum_{i=1}^{n} x_i^{\alpha_2} = n,$$

де $1 \le \alpha_1 < \alpha_2 < \infty$, адже масштабована $l_p$ норма $\| x \|_{\langle p \rangle} = \frac{1}{n} \| x \|_p$ є монотонною [2], [8].

(TR.Scheme2) застосовувана як для $B_{n'}$ та комбінаторно еквівалентної до неї булевої $\mathcal{C}_b$ -множини $B_n$, так і до наступних дворівневих $\mathcal{C}_b$ -множин, таких як спеціальна $\mathcal{C}_b$ -множина перестановок $E_{n2}(G)$, спеціальна $\mathcal{C}_b$ -множина розміщень $E^n_{n+1,2}(G)$ [17], [20]. При застосуванні теореми 2 у даному випадку слід зауважити, що многогранники $convE_{n2}(G)$, $convE^n_{n+1,2}(G)$ є гіперкубами з максимум двома додатковими обмеженнями [17], [20].

(TR.Scheme1) може бути застосована для обґрунтування існування ( $B_{n'}.\mathrm{TR}(\alpha_1,\alpha_2)$ ) для парних $\alpha_1, \alpha_2$ [15], а також для обґрунтування наявності кубічного ( $E_{n2}(G)$ .TR) для випадку $G = \{e_1, e_2^{n-1}\}$ та $G = \{e_1^{n-1}, e_2\}$ [15].

Також має місце наступний факт, який отримується за допомогою (TR.Scheme1).

**Теорема 3.** $\sum_{i=1}^{n} x_i^2 = n, \prod_{i=1}^{n} x_i = -1$ - ( $B_n^{'-}$.TR ), де

$B_n^{'+} = \{x \in R^n : \text{кратність координати -1 - парна}\}$,

$B_n^{'-} = \{x \in R^n : \text{кратність координати -1 - непарна}\}$.

**Наслідок 1.** Мають місце наступні мішані f-представлення $B_n^{'+}$, $B_n^{'-}$:

$$(B_n^{'+}.MR2): -1 \le x_i \le 1, i \in J_n; \prod_{i=1}^{n} x_i = 1;$$

$$(B_n^{'-}.MR2): -1 \le x_i \le 1, i \in J_n; \prod_{i=1}^{n} x_i = -1.$$

Наслідок 1 свідчить про те, що ( $B_n^{'+}$.MR1), ( $B_n^{'-}$.MR1) є звідними і вилучення з них рівняння описаної гіперсфери або H-представлення многогранника перетворює їх на незвідні.

Також зауважимо, що, незважаючи на те, що ( $B_n^{'+}$.MR2), ( $B_n^{'-}$.MR2) складаються з рівняння описаної поверхні та H-представлення многогранника, вони не є поліедрально-поверхневими [11],[17],[20], адже функція $\prod_{i=1}^{n} x_i$ - не опукла. Між тим, оскільки $B_n^{'+}$, $B_n^{'-}$ - поліедрально-сферичні [10],[14],[17], вони також дозволяють поліедрально-сферичне представлення, тобто f-представлення у вигляді рівняння гіперсфери та H-представлення многогранника. Це обґрунтовується тим фактом, що, згідно [21], існує $M > 0$ таке, що:

$$\forall \mu > M \; F(x,\mu) = \prod_{i=1}^{n} x_i + \mu(\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - n) -$$

сильно опукла. Відповідно, існують поліедрально-сферичні f-представлення цих множин з використанням $F(x,\mu) = 0$ та - H-представлення гіперкуба.

Переходячи від бінарних множин $B_n^{'+}, B_n^{'-}$ до відповідних булевих множин $B_n^+$, $B_n^-$ - парної та непарної булевих напівмножин [17], що збігаються з множиною вершин двох комбінаторно еквівалентних напівкубів [4].

Таким саме чином можна побудувати дотичні f-представлення інших $\mathcal{C}_b$ -множин. В результаті будується (CDP) вигляду:

$$(CDP) \min_{x \in E'} f(x), E' = \left\{ \begin{array}{l} x \in R^n : f_i^1(x) \le 0, i \in I^1; \\ f_i^2(x) = 0, i \in I^2 \cup I^4 \end{array} \right\}, \left|I^4\right| = 2,$$

де функціональні обмеження $f_i^2(x) = 0, i \in I^4$, задають деяку $\mathcal{C}_b$ -множин. Не обмежуючи загальності, можна вважати, що $I^4 = \{1,2\}$.

(CDP) можна розв'язувати безпосередньо методами нелінійної оптимізації чи зводити до серії релаксаційних задач на $S_1, S_2, C_1, C_2$. Ці задачі можна розв'язати ефективно, якщо присутні f-представленні функції – опуклі. А це, у свою чергу, можливо для вершинно розташованих множин $E$, тобто таких, що збігаються з множиною вершин власної опуклої оболонки [17], [20].

## V. Висновки

У даній роботі розглянуто задачу побудови евклідової постановки задачі комбінаторної оптимізації, де прямі обмеження задають базову множину евклідових комбінаторних конфігурацій у формі двох гладких поверхонь. Запропоновано три схеми формування такого дотичного представлення цих скінчених точкових конфігурацій. Наведено приклади застосування цих схем до побудови дотичних представлень ряду базових множин евклідових комбінаторних конфігурацій перестановок та розміщень, більшість з яких опукла. Застосування останніх у комбінаторній оптимізації дозволяє використання апарату опуклого програмування, що є суттєвою перевагою порівняно з іншими дискретними чи неперервними підходами до розв'язання цих задач.

Дотичні представлення – це лише один клас неперервних функціональних представлень комбінаторних множин. Інші аспекти та підходи до побудови f-представлень скінчених точкових конфігурацій та оптимізаційні підходи, пов'язані з ними, розглянуті у [9]-[16], [22].

## Література References


[1] Cook, W.J., Cunningham, W.H., Pulleyblank, W.R., Schrijver, A. : Combinatorial optimization. John Wiley & Sons, Inc., New York (1998)

[2] Gotoh, J., Uryasev, S. : Two pairs of families of polyhedral norms versus fp-norms: proximity and applications in optimization. Math. Program. 156, 391-431 (2016)

[3] Grande, F. : On k-level matroids: geometry and combinatorics. Doctor of Natural Sciences Dissertation, Institut fiir Mathematik und Informatik (2015)

[4] Green, R. M. : Homology representations arising from the half cube, II. Journal of Combinatorial Theory, Series A 117 (8), 1037-1048 (2010)

[5] Korte, B., Vygen, J. : Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms. Springer, Heidelberg ; New York (2012)

[6] Papadimitriou, C.H., Steiglitz, K. : Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity, Dover Publications (2013)

[7] Pardalos, P. M., Du, D., Graham, R. L., Eds. : Handbook of combinatorial optimization. Springer, New York (2013)

[8] Pavlikov, K., Uryasev, S. : CVaR norm and applications in optimization. Optim Lett 8, 1999-2020 (2014)

[9] Pichugina, O.S. : Optimization over the general signed permutation set of permutations. System research and information technologies 4, 74-96 (2017) (in Russian)

[10] Pichugina, O.S., Yakovlev, S.V.: Continuous approaches to the unconstrained binary quadratic problems. In: Blair, J. et al. (eds.) Mathematical and Computational Approaches in Advancing Modern Science and Engineering, 689-700. Springer, Cham (2016)

[11] Pichugina, O.S., Yakovlev, S.V.: Convex extensions and continuous functional representations in optimization with their applications. J. Coupled Syst. Multiscale Dyn. 4(2), 129-152 (2016)

[12] Pichugina, O.S., Yakovlev, S.V.: Continuous representations and functional extensions in combinatorial optimization. Cybern. Syst. Anal. 52(6), 921-930 (2016)

[13] Pichugina, O.S., Yakovlev, S.V. : Convex Extensions For The Quadratic Problems Over Permutation Manrices. Computer Mathematics 1, 143-154 (2016) (in Russian)

[14] Pichugina, O., Yakovlev, S. : Optimization on polyhedral- spherical sets: Theory and applications. In 2017 IEEE 1st Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering. Proceedings, 1167-1174 (2017)

[15] Pichugina, O.S., Yakovlev, S.V.: Continuous representation techniques in combinatorial optimization. IOSR J. Math. 13(2), 12-25 (2017), Ver.V

[16] Pichugina, O.S., Yakovlev, S.V.: Functional and analytic representations of the general permutations. East. Eur. J. Enterp. Technol. 1(4), 27-38 (2016)

[17] Pichugina, O.S., Yakovlev, S.V. : Continuous functional representations in discrete optimization. Gold Mile, Kharkiv (2018) (in Russian)

[18] Schrijver, A. : Combinatorial Optimization: Polyhedra and Efficiency. Springer Science & Business Media (2002)

[19] Sergienko, I.V., Shilo, V.P. : Discrete Optimization Problems: Issues, Solution Methods, and Investigations. Naukova Dumka, Kyiv (2003) (in Russian)

[20] Stoyan, Y.G., Yakovlev, S.V., Pichugina, O.S. : The Euclidean combinatorial configurations. Constanta, Kharkiv (2017) (in Russian)

[21] Stoyan, Y.G., Yakovlev, S.V., Yemets, O.A., Valuyskaya, O.A.: Construction of convex continuations for functions defined on hypersphere. Cybern. Syst. Anal. 34(2), 176-184 (1998)

[22] Yakovlev, S.V., Pichugina, O.S. : Properties of Combinatorial Optimization Problems Over Polyhedral-Spherical Sets. Cybern. Syst. Anal. 54(1), 99-109 (2018)

# Методи Аналізу та Синтезу Потоків Різної Природи на Зважених Графах

Назар Притула
Начальник відділу
Інститут транспорту газу
Львів, Україна
nazar.prytula @gmail.com

Мирослав Притула
Начальник сектору
Інститут транспорту газу
Львів, Україна
myroslav.prytula @gmail.com

# Methods of Analysis and Synthesis of Different Nature Flows on Weighted Counts

Назар Притула
Начальник відділу
Інститут транспорту газу
Львів, Україна
nazar.prytula @gmail.com

Мирослав Притула
Начальник сектору
Інститут транспорту газу
Львів, Україна
myroslav.prytula @gmail.com

***Анотація*—Незалежно від природи потоків існує ряд задач, які є спільними для цілих класів мереж. До таких задач відносять задачі структурної надійності мереж, аналізу мереж, аналізу впливу структури мережі на розподіл потоків, прокладання оптимальних шляхів переміщення потоків, оптимізації (структурної та параметричної) роботи мереж тощо. Для потоків з дискретним характером і невеликою швидкістю переміщення чи передачі (транспортні, технологічні потоки) виникають задачі формування оптимальних потоків або потоків мінімальної вартості, узгодження та синхронізація потоків у часі. Це алгоритмічні та комбінаторні задачі багатопараметричної оптимізації розподілу потоків, оптимальних розкладів руху та задачі прийняття рішень у реальному часі.**

***Abstract*—Regardless of the nature of flows, there are a number of tasks that are common to entire classes of networks. These tasks include structural network reliability, network analysis, analysis of the influence of the structure of the network on the distribution of flows, the laying of optimal ways of moving flows, optimization (structural and parametric) networks operation, etc. For streams with a discrete character and a small rate of movement or transmission (transport, technological flows), there are problems of the formation of optimal flows or minimum flow flows, coordination and synchronization of flows in time. These are algorithmic and combinatorial problems of multiparameter optimization of distribution of flows, optimal schedules of motion and real-time decision making tasks.**

***Ключові слова—Системи маршрутів, структурна стійкість, імпульсні процеси, комбінаторні мережі, мережі розподілу потоків, сортувальні мережі.***

***Keywords—Route systems, structural resilience, pulse processes, combinatorial networks, flow distribution networks, sorting networks.***

## I. Вступ

Дослідження функціонування і розвитку різних технічних, економічних, соціальних, біологічних систем, які представляють собою мережні структури (транспортні, енергетичні, трубопровідні, інформаційні тощо) зв'язано з інтерпретацією вершин, ребр і дуг графу, з їх параметричним описом, моделями переміщення потоків різної природи по лінійних об'єктах, їх взаємодії у вершинах тощо. Усі потоки характеризуються об'ємними, затратними, швидкісними та іншими величинами. Часто потоки взаємодіють із зовнішнім середовищем і міняють свої значення та властивості як в просторових так і часових вимірах.

В багатьох реальних випадках потоки на мережах формуються в результаті локальних взаємодій окремих частин потоку між собою чи навколишнім середовищем, причому взаємодія проходить під впливом великого набору факторів, у багатьох випадках випадкових. Такий процес утворення потоків умовно називається самоорганізацією. Він проходить в некерованих мережах фізичної природи, в яких всі джерела і стоки заданої інтенсивності сконцентровані в вершинах, ланки (ребра і дуги) пасивні і відсутня можливість у мережах із циклами перерозподілу потоків. Іншими словами, потоки само зорганізуються, розподіляючись по ланках згідно діючих фізичних законів. У більшості існуючих мережах потоки є, в певній мірі (локально і глобально), керованими. У таких мережах взаємодіють принципи керованості і самоорганізації. Відомо, що системи в яких відсутні елементи самоорганізації є слабо стійкими.

## II. Графи із заданою системою маршрутів і структурною стійкістю

Багато задач дискретної математики, які мають важливе прикладне значення, приводять до необхідності побудови мереж, які володіють заданими системами маршрутів. Системам маршрутів в графах присвячені відомі теореми в теорії графів, які належать Менгеру [1]. Вони стосуються вершинного і реберного розділення в неорієнтованих графах. Для аналізу і синтезу графів на предмет існування в них множин неперетинних шляхів сформульовані теореми Менгера є мало придатними із за складності алгоритмів перевірки, чи забезпечення умов теореми.

Задачі пов'язані з виділенням систем шляхів, чи побудовою графів в яких існують задані множини шляхів найбільш широко розглядалися в теорії інформаційних графів [2-4]. Основним об'єктом дослідження математичної теорії інформаційних графів є скінченні орієнтовані графи з двома виділеними множинами вершин, які називаються відповідно вхідними і вихідними вершинами. Нехай в скінченному орієнтованому графі $G(V)$ виділені множина вхідних $X=\{x_1,x_2,...,x_n\}$ і множина вихідних $Y=\{y_1,y_2,...,y_n\}$ вершин. Він реалізує відображення $\varphi=(x_{i1},x_{i2},...,x_{ik}/y_{j1},y_{j2},...,y_{jk})$ підмножини $(x_{i1},x_{i2},...,x_{ik})\subseteq X$ на рівно потужну їй підмножину $(y_{j1},y_{j2},...,y_{jk})\subseteq Y$, якщо у $G(V)$ можна виділити такий набір шляхів $S_1,S_2,...,S_k$, що шлях $S_i$ починається в $x_{ii}$ вершині і закінчується в $y_{ji}$ вершині і ніякі два шляхи з цієї множини не мають жодної спільної дуги.

Граф $G(V)$ називається $k$-інформаційним, якщо множина його вхідних вершин співпадає з множиною його вихідних вершин і співпадає з множиною всіх його вершин. $k$-інформаційний граф, який має $n$ вершин є повним, якщо він реалізує всі відображення множини з $k$ своїх вершин на себе, тобто $C_n^k k!$ відображень. Степенем інформаційного графу назвемо максимальну степінь його вершин. $k$-інформаційний граф будемо називати $p$-стійким, якщо при викиданні із нього $p$ ($p\geq n-k$) вершин разом із інцидентними їм ребрами, граф що залишився буде $k$-інформаційним графом.

Введемо функцію $S_p(n,k)$ таким чином: $S_p(n,k)$ рівна мінімуму степені $k$-інформаційних $p$-стійких графів.

Для $n$-інформаційних графів має місце теорема [2], яка твердить, що:

$$S_0(n,n)=C\frac{\log n}{\log\log n}.$$

Основна задача - побудувати алгоритми синтезу графів (з мінімальною величиною максимальної степені вершин), які б одночасно володіли заданими множинами неперетинних шляхів і заданою структурною надійністю.

У роботі [4] показано, що:

$$S_p(n,k)=Cp \quad \text{для} \quad k\leq\frac{n}{\log_2 n}+o\left(\frac{n}{\log_2 n}\right), \qquad (1)$$

де $C$ - деяка константа.

Ідея доведення полягає в наступному. Будується $k$-інформаційний граф $G(n,k)$ для якого $S_0(n,k)=C_1$ для всіх $k\leq\frac{n}{\log_2 n}+o\left(\frac{n}{\log_2 n}\right)$.

Після чого будується спеціальний стійкий $n$ вершинний граф $G_p$, степінь вершин, якого не перевищують $Cp$. При склеюванні (ототожненні відповідних вершин) його відповідним чином з $k$-інформаційним графом отриманий граф $G(n,k)+G_p$ втрачені при викиданні вершин шляхи, встановлює на дугах графу $G_p$. Слід відмітити, що константу у нерівності (1) можна суттєво зменшити. Всі результати роботи отримані конструктивним способом, що дає можливість їх використати в практичних цілях.

Реалізовані в роботі ідеї побудови графів із заданими властивостями можна застосувати при розв'язуванні багатьох екстремальних задач на графах.

## III. Імпульсні процеси на зважених орграфах

Багато важливих досліджуваних проблем пов'язані із надзвичайно складними системами. Такі системи містять велике число змінних, які взаємодіють між собою, одним із підходів до моделювання таких систем є зважені орграфи і імпульсні процеси на них [5]. Найбільш суттєві для досліджуваної проблеми змінні параметри вважаються вершинами орграфа. Від вершини $u$ до вершини $v$ в $G$ є дуга, якщо зміна значення параметра $u$ впливає безпосередньо на значення $v$. Ця дуга має знак плюс, якщо вплив $u$ на $v$ є "посиленням" (за інших рівних умов збільшення $u$ приводить до збільшення $v$ і зменшення $u$ приводить до зменшення $v$), і знак мінус, якщо викликає "гальмування" (за інших рівних умов збільшення $u$ приводить до зменшення $v$ і зменшення $u$ приводить до збільшення $v$).

В більш загальній ситуації імпульсний процес може зазнавати впливу зовнішніх імпульсів в будь-який момент часу. В цьому випадку припускаємо, що $p_j^0(t)$ представляє зовнішній імпульс чи зміну у вершині $u_j$ в момент $t$. Величина $p_j^0(t)$ повинна додаватись до значення вершини $u_j$ в момент $t$. Таким чином, ми отримуємо більш загальну формулу для імпульсного процесу:

$$v_i(t+1)=v_i(t)+p_j^0(t+1)+\sum_{j=1}^{n}\operatorname{sgn}(u_j,u_i)p_j(t). \qquad (2)$$

.

Умова (2) для автономного імпульсного процесу в знаковому орграфі звичайним чином узагальнюється у правило зміни значень для автономного імпульсного процесу у зваженому орграфі. Ми просто вважаємо:

$$v_i(t+1) = v_i(t) + \sum_{j=1}^{n} w(u_j, u_i) p_j(t), \qquad (3)$$

де $w(u,v) = 0$, якщо дуга $(u,v)$ є відсутньою.

Зазначимо, що автономний імпульсний процес в знаковому орграфі $D$ проходить за правилом (2) з вектором початкових значень $V(0) = (v_1(0), v_2(0), ..., v_n(0))$ і вектором $P(0) = (p_1(0), p_2(0), ..., p_n(0))$. Поняття абсолютної стійкості вимагає, щоб значення $v_j(t)$ вершини $u_j$ було обмеженим зверху по абсолютній величині. Якщо величина імпульсів $p_j(t)$, прикладених до вершин $u_j$ обмежена зверху по абсолютній величині, то говорять, що процес є імпульсно стійким. Відомо [5], що зважений орграф $D$ імпульсно стійкий для всіх простих імпульсних процесів, тоді кожне власне значення $D$ за абсолютною величиною не перевищує одиницю.

Приведемо окремі результати досліджень [6-7].

Теорема 1. Коефіцієнт при $\lambda^{n-k}$ характеристичного рівняння $\det(A - I\lambda) = 0$ матриці $A(n \times n)$ є сума добутків ваг $k$ дуг підорграфів з $k$ дугами, які розкладаються в множину попарно неперетинних контурів (простих орієнтованих циклів).

Теорема2. Імпульсний процес на звязному орграфі можна привести до нестійкого імпульсного процесу додаванням однієї зваженої дуги.

Теорема3. Імпульсний процес на довільному орграфі можна звести до нестійкого імпульсного процесу додаванням однієї зваженої петлі.

Теорема 4. Довільний імпульсний процес на даному орграфі $D$ не може бути приведений до стійкого імпульсного процесу видаленням не менше ніж $C_n^2 + n$ дуг.

Теорія імпульсних процесів дозволяє досліджувати такі характеристик як структурна вразливість та максимальна надійність для оцінки стану елементів при зовнішніх впливах. Крім цього є можливість ставити та вирішити оптимізаційну задачу - резервування найбільш схильних до зовнішнього впливу елементів системи.. Загалом, керуючись запропонованою моделлю, можна говорити про стійкість системи до конкретних впливу. У разі, коли клас впливів за час їх поширення по структурі системи не переводить її в граничний стан, система вважається абсолютно стійкою до цього класу впливів. щодо наділення системи необхідним рівнем стійкості до зовнішніх вражаючим впливів. З одного боку, це дозволяє зменшити ризик [2] виникнення не бажаних ситуацій у системах.

Крім сказаного, знайдені умови того, що стійкість імпульсних процесів редукується до стійкості деякого його підграфу. Узагальнена модель імпульсних процесів із неодночасним надходженням імпульсів у вершини графу.

## IV. Аналіз і синтез мереж розподілу потоків

В багатьох областях науки й техніки виникають задачі, які мають відношення до представлення (розбиття) натуральних чисел чи послідовностей натуральних чисел сумою натуральних чисел. Такі задачі розглядаються в теорії розбиття [8]. В основному це задачі щодо перерахунку кількості представлень числа різними способами. Одним із значних досягнень теорії представлень вважається точна формула для $p(n)$ - кількість способів розбиття числа $n$, одержана Харді й Рамануджаном.

Наступна задача – представлення натурального числа $n$ адитивними ланцюжками (в мультиплікативній постановці – обчислення $x^n$) [9]). Проблему побудови найбільш економного способу обчислення $x^n$ часто зводять до знаходження найменшого значення $l(n)$ - довжини адитивного ланцюжка. Для обчислення одночлена $x_1^{n_1} \cdot \ldots \cdot x_m^{n_m}$ і набору $x^{n_1}, \ldots, x^{n_m}$ достатньо $\log_2(\max n_i) + \log_2 N / (\log_2 \log_2 N)\left(1 + O(1) + O(m)\right)$ операцій множення, де $N = n_1 \cdot \ldots \cdot n_m$ [3].

Всі вище розглянуті задачі пов'язані з розбиттям на послідовності чи синтезом послідовностей і базувалися на одній операції (або їх можна було звести до однієї операції) - сумування. На практиці існують комбінаторні об'єкти, синтез яких пов'язаний з двома операціями - сумування (об'єднання) та ділення (розбиття). До таких можна віднести об'єкти, які ми назвали в роботі мережами розподілу потоків -R-мережі. Задачі синтезу R- мереж виникають в багатьох прикладних областях, зокрема в електротехніці, гідравліці. В роботі викладено початкові результати, що стосуються R-мереж. Запропоновано деякі алгоритми їх синтезу, знайдено оцінки їх складності.

R-мережа - це графічна модель технічного пристрою, що складається з елементів, які виконують роль вище вказаних операцій. Так елемент, який називається суматором, сумує (об'єднує) вхідні потоки, а дільник ділить (розбиває) вхідний потік на декілька вихідних потоків у заданому співвідношенні.

Взагалі кажучи, в реальних задачах (наприклад, при синтезі мереж розподілу високочастотної енергії) при виконанні вказаних дій відбуваються енергетичні втрати. В цьому випадку сумарний вхідний потік не співпадає з сумарним вихідним потоком. У загальному випадку задача синтезу R-мереж полягає в побудові оптимальної (з мінімальної кількості елементів) R-мережі, на виході з якої маємо представлення величини потоку $x = \sum_{i=1}^{n} x_i$ на

потоки $y_1, y_2, ..., y_n$. При цьому повинна виконуватися така умова:

$$\sum_{i=1}^{m} x_i = \sum_{j=1}^{n} y_j + \sum_{k=1}^{l} \varepsilon_k,$$

де: $l$ - сумарна кількість елементів обох типів в R-мережі, $\varepsilon_k$ - втрати на $k$-му елементі.

Ідея алгоритм побудови R-мережі з мінімальної кількості елементів полягає у наступному. Для заданого вхідного потоку величини і все можливого невпорядкованого розбиття величини $2^k$ будуємо мережу із тих же елементів, що й R-мережа наступним чином. Мережа буде складатися з ярусів, а кожен ярус із вершин. Кожній вершині ярусу приписуємо те розбиття, яке одержується із розбиття попереднього рівня, до одного з елементів якого застосовано операцію D, чи операцію S до пари елементів. Між такими розбиттями як вершинами проведемо дугу. Ми одержимо граф (ліс), вхідною вершиною якого буде вершина, якій буде приписано число $2^k$, а всім решта - розбиття цього числа.

Для побудови R-мережі для заданого розподілу вихідного потоку (розбиття) потрібно в мережі виділити один з можливих орієнтованих шляхів із вхідної вершини до вершини, якій приписано шуканий розподіл вихідного потоку. Ця мережа є оптимальною. Це слідує з того, що в мережі вершина, якій приписано задане розбиття, вибрана з найвищого ярусу; довжина найкоротшого шляху (складність мережі) буде рівною номеру ярусу, на якому знаходиться задане розбиття.

## V. Комутаційні мережі

Елементами схеми комутації є пристрої з двома входами та двома виходами, які можуть знаходитися у двох станах. Кожному із двох станів відповідає один із двох з'єднань. Із таких елементів формуються схеми комутації, які мають однакове число входів та виходів.

Схема комутації реалізує підстановку:

$$\varphi = \begin{pmatrix} 1,2,..,n \\ i_1, i_2, ..., i_n \end{pmatrix},$$

якщо існують в ній $n$ неперетинних шляхів (на вершинах), що $j(1 \le j \le n)$ -й шлях починається у вершині $j$ і закінчується у вершині $i_j$. Схема комутації, яка реалізує $n!$ підстановок називається повною.

Теорема 1. Величина тесту на повноту мережі комутації без циклів рівна $n!/2$.

Теорема 2. Величина тесту на повноту класу плоских мереж комутації рівна $t$

$$\frac{1}{2}(C_n^{n/2})^2 \le t \le \frac{1}{2}(C_n^{n/2})^2 + \frac{1}{4}\left[(C_n^{n/4})^2 + (C_n^{n/8})^2 + ... + (C_n^1)^2\right].$$

## VI. Сортувальні мережі. Принцип нулів та одиниць

Елемент мережі сортування це пристрій (компаратор) із двома входами та виходами і двома станами. Якщо на вході маємо числа $x_1, x_2$ і $x_1 \le x_2$, тоді елемент з'єднує перший вхід із першим виходом та, відповідно, другий вхід із другим виходом, в іншому випадку з точністю до навпаки. Мережу сортування зображають у вигляді горизонтальних прямих та вертикальних відрізків (компараторів). Відомо [10], що мережа сортування з $n$ входів є повною, якщо вона сортує всі послідовності, які складаються із нулів та одиниць.

Мають місце наступні теореми:

Теорема 1. Для всякої невідсортованої 0-1 послідовності існує мережа сортування яка сортує всі 0-1 послідовності за виключенням даної.

Теорема 2. Якщо мережа сортування сортує всі 0-1 послідовності за винятком однієї, то при цьому вона не сортує в точності $(n-1)!i!$ послідовностей чисел, де $i$ кількість одиниць у 0-1 послідовності, яка не сортується.

Теорема 3. Тест для перевірки повноти мережі сортування із послідовностей, які складені із чисел $\{1,2,...,n\}$ повинен містити не менше $C_n^{n/2}$ таких послідовностей.

## VII. Висновки

Всі перелічені в роботі об'єкти об'єднують поняття мережа та її структура. Важливим є призначення мережі та природа потоку. Екстремальні задачі на параметри мережі та потоків на них вимагають у кожному окремому випадку розробляти алгоритми практично заново. Більшість отриманих результатів конструктивним чином. Ідеї їх отримання можна використати при розв'язуванні і інших задач дискретної математики. Більшість результатів є завершеними і покращенню не підлягають.

## Література References


[1] Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы. -М.: Мир, 1984. - 455 с.

[2] Кратко М.И. Информационные графы. – Сибирский математический журнал. 11,5, 1970, 1093-1097.

[3] Kratko M.I., Pritula M.G. Universal networks for informational exchanges. – Four Formator Symposium, Prague, Academia, 1983, 303-314.

[4] Кратко М.И., Притула М.Г. О системах маршрутов на графах. – В кн.: Архитектура ЭВМ и численные методы. М., 1988, 77-89.

[5] Ф.С.Робертс. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. –М, "Наука", 1986, 496.

[6] Плахта Л.П., Притула М.Г., Притула Н.М. Стійкість імпульсних процесів на зважених орграфах. // Вісник Держуніверситету „Львівська політехніка": Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. – Львів, – 2001. – № 392. – с.239-244.

[7] Л. Плахта, Мирослав Притула. Імпульсні процеси на зважених орграфах. Вісник Львів. Ун-ту. Серія прикладна математика та інформатика. 2001.- Вип.2.,- с.209-219.

[8] Эндрюс Г. Теория разбиений. - М., Наука, 1982.

[9] Кочергин В. В. О некоторых классах аддитивных вычислений., Сиб. журн. исследования операций, 1994. Т.1, №1. с.18-19.

[10] Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ.- М., Мир, 1977.

# Методи Визначення Класу Розподілу Екстремальних Значень Результатів Фізичного Експерименту

Кирило Сазонов
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
кir1218@hotmail.com

Володимир Кобзєв
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.kobziev@nure.ua

# Methods of Determining Extreme Values Class of Physical Experiment Distribution Results

Kyrylo Sazonov
Applied Mathematics Department
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
kir1218@hotmail.com

Volodymyr Kobziev
Applied Mathematics Department
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.kobziev@nure.ua

***Анотація*—Наведені постулат стійкості розподілів випадкових величин та заснований на ньому принцип класифікації граничних розподілів. Викладені два методи визначення класу граничного розподілу на основі хвостового індексу, які проілюстровані результатами обробки значень лептону pT.**

***Abstract*—The postulate of stability of distributions of random variables and the principle of classification of boundary distributions based on it is given. Two methods for determining the class of the boundary distribution on the basis of the tail index are presented, which are illustrated by the results of processing the values of the lepton pT.**

***Ключові слова—фізичний експеримент; екстремальні значення; класи граничних розподілів; хвостові індекси***

***Keywords— physical experiment; extreme values; classes of boundary distributions; tail indices***

## I. Вступ

Проведення фізичних експериментів, спрямованих на дослідження характеру протікання різних процесів чи уточнення значень деяких величин, найчастіше базується на підтвердженні певних теоретичних гіпотез на основі опрацювання числових даних. Обмежений обсяг таких даних зумовлений практичною неможливістю або надмірною вартістю проведення великої кількості експериментів. Ці чинники пояснюють неможливість використання асимптотичних методів опрацювання даних, отриманих експериментальним шляхом.

Найчастіше аналізовані числові дані розглядаються як випадкові величини з деякою функцією розподілу. Разом з середніми значеннями досліджуваних величин чималий практичний інтерес мають найменші та найбільші (екстремальні) значення у вибірках фіксованого об'єму. Саме вони містять важливі відомості про граничні прояви досліджуваних явищ чи процесів.

## II. Постулат стійкості та класи розподілів екстремальних значень

Розглянемо серію з $N$ вибірок однакового об'єму $n$, узятих з генеральної сукупності, що має розподіл $F(x)$ випадкової величини $X$. В кожній вибірці є найбільше значення. Розподіл в $Nn$ спостереженнях буде прагнути до тієї ж границі, що й розподіл найбільшого значення в вибірці об'єму $n$, за умови, що ця границя існує. Виходячи з цього, граничний розподіл повинен бути таким, щоб взяте з будь-якої вихідної вибірки найбільше значення мало такий же граничний розподіл - це і є постулат стійкості розподілу випадкових величин.

Лінійне перетворення не впливає на вигляд розподілу величин, тому ймовірність того, що найбільше значення менш ніж $x$, повинна дорівнювати ймовірності лінійної функції від $x$ [1]:

$$F^n(x) = F(a_n x + b_n) \tag{1}$$

де параметри $a_n$ і $b_n$ є деякими функціями від $n$.

Рівняння (1) вперше використовував Фреше в якості математичного формулювання постулату стійкості розподілу величин.

У роботі [1] встановлено, що існує три типи граничних розподілів, для кожного з яких притаманна специфічна поведінка найбільших абсолютних значень випадкової змінної. Перший з встановлених класів охоплює групу розподілів вихідних величин експоненціального типу. Другий клас визначений для розподілів типу Коші з важкими хвостами, причому вихідні змінні необмежені для найбільших значень знизу, для найменших значень згори, чи в обох напрямах. Третій клас справедливий для розподілів величин, які обмежені згори чи знизу.

Крім того, відомо [1], що лінійна функція випадкової величини у кожному з трьох екстремальних розподілах також є екстремальним значенням.

Узагальнений розподіл екстремальних значень являє собою узагальнення розподілів Гумбеля, Фреше та Вейбулла, його застосовують для наближеного модулювання максимумів кінцевих послідовностей випадкових величин.

Вважають, що випадкова величина $X$ розподілена за узагальненим законом, якщо він представлений функцією:

$$F(x)=\exp\left\{-\left[1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}\right\}, \qquad (2)$$

де: $\mu$ – параметр розміщення, $\sigma$ – параметр масштабу, $\xi>0$ – параметр форми.

За допомогою вказаних параметрів, а також константи Ейлера $\gamma$ та гама-функції $g_k=\Gamma(1-k\xi)$, можна визначити математичне очікування, дисперсію, медіану, моду та коефіцієнт ексцесу узагальненого розподілу екстремальних значень.

Функція щільності задається виразом:

$$f(\xi,\mu,\sigma)=e^{-\left(1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^{-1/\xi}\right)}\cdot\frac{1}{\sigma}\left(1+\xi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right)^{-(1/\xi)-1}.$$

Логарифмічна функція розподілу має два вигляди.

При $\xi\neq 0$:

$$\ln l(\xi,\mu,\sigma)=-n\ln(\sigma)-\left(1+\frac{1}{\xi}\right)\sum_{i=1}^{n}\ln\left[1+\xi\left(\frac{x_i-\mu}{\sigma}\right)\right]-$$
$$-\sum_{i=1}^{n}\ln\left[1+\xi\left(\frac{x_i-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-1/\xi}.$$

Для $\xi=0$:

$$\ln l(\mu,\sigma)=-n\ln(\sigma)-\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{x_i-\mu}{\sigma}\right)-\sum_{i=1}^{n}\exp\left\{-\left(\frac{x_i-\mu}{\sigma}\right)\right\}.$$

Найкраща оцінка отримується за допомогою методу максимальної правдоподібності в результаті максимізації обох функцій правдоподібності, після чого вибирається максимальний результат.

## III. Методи визначення класу розподілу

Практичне визначення класу граничного розподілу використовує оцінку «важкості» його хвостів за кінцевою вибіркою спостережень випадкової величини.

Існує багато методів оцінки хвостових індексів: оцінка відношення [2], момент-оцінки [3], UH-оцінка [4], DPR оцінка [5] й інші. Розглянемо оцінки Хілла та Пікандса, як найбільш прості у використанні.

Нехай $X_1, X_2,..., X_n$ – упорядкована за спаданням вибірка незалежних спостережень за $\alpha$-стійкою випадковою величиною $X$, $n\in N$ :

$$X_1\geq X_2\geq...\geq X_n.$$

Параметр $\gamma=1/\alpha$, де $\alpha$ - хвостовий індекс, називається індексом екстремального значення й визначає форму хвоста розподілу випадкової величини.

Оцінка Хілла [6] є спроможною оцінкою, основана на $k+1$ верхній статистиці, величина якої знаходиться як:

$$H_{k,n}=\frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left(\ln X_{(i)}-\ln X_{(k+1)}\right), \qquad (3)$$

де $k\in[2;n/2]$.

Так як $X_1, X_2,..., X_n$, $n\in N$, незалежні спостереження, то оцінка Хілла $H_{k,n}$ спроможна для параметру $\gamma=\alpha^{-1}$ у наступному сенсі: існує послідовність

$$k,\ k\to\infty,\ k/n\to 0,\ \text{при } n\to\infty$$

така, що має місце:

$$H_{k,n}\xrightarrow{p}\gamma.$$

На практиці точність оцінки сильно залежить від вибору значення $k$. Спосіб знаходження оцінки полягає в побудові графіку:

$$\left\{H_{k,n}(k):\ k=2,...,n/2\right\}.$$

Оцінку $k$ обирають з інтервалу значень $[k_-,k_+]$, на якому функція $\left\{H_{k,n}(k)\right\}$ демонструє сталість.

В якості оцінки для індексу екстремальних значень $\gamma$ розглядається статистика:

$$\bar{H}_n=\frac{1}{k_+-k_-+1}\sum_{i=k_-}^{k_+}H_{i,n},$$

яка незміщеним чином оцінює $\gamma$, тобто $E\left(\bar{H}_n\right)=\gamma$.

Значення хвостового індексу дорівнює:

$$\alpha=\bar{H}_n^{-1}.$$

Індекс екстремального значення за методом Пікандса, згідно з [6], визначається як:

$$\hat{\gamma}p(k):=(\ln 2)^{-1}\frac{X_{(n-k)}-X_{(n-2k)}}{X_{(n-2k)}-X_{(n-4k)}}. \qquad (4)$$

У цьому методі використовується упорядкування спостережень за зростанням $X_1\le X_2\le\ldots\le X_n$, потім як і в методі Хілла будується графік:

$$\left\{\hat{\gamma}p(k): k=2,\ldots,n/4\right\}.$$

Після цього знаходиться стала ділянка $[k_-,k_+]$ і за нею визначається індекс екстремального значення $\gamma$ як середнє значення елементів цього інтервалу, а хвостовий індекс:

$$\alpha=\gamma^{-1}.$$

Коли $\alpha=2$ розподіл є нормальним, при $0<\alpha<2$ розподіл має важкі хвости та витягнутість. У випадку, коли $\alpha>3$, розподіли не мають властивості замкнутості відносно композиції, однак, вони мають важливу властивість збереження характеру убування щільності розподілу величин при композиції.

## IV. Експериментальні результати

Викладені методи застосовані до набору даних значень лептону pT з USI репозиторію (фундаментальні частки, які не приймають участь у сильній взаємодії) обсягом $N = 500$, $n = 30$.

За допомогою пакету STATISTICA встановлено, що за критеріями Колмогорова-Смірнова та Андерсона-Дарлінга розподіл наявних даних найкраще відповідає на рівні значущості 0,95 узагальненому розподілу екстремальних значень. Розраховані параметри та основні статистичні характеристики цього розподілу, емпірична функція наведена на Рис.1.

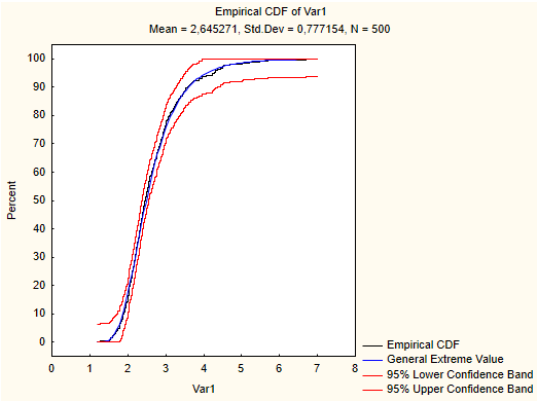



Рис.1 – Графік емпіричної функції розподілу для значення лептону pT

На Рис. 2 наведені графіки, стабільні ділянки яких дозволяють скористатися формулами (3) та (4) для розрахунків хвостових індексів.

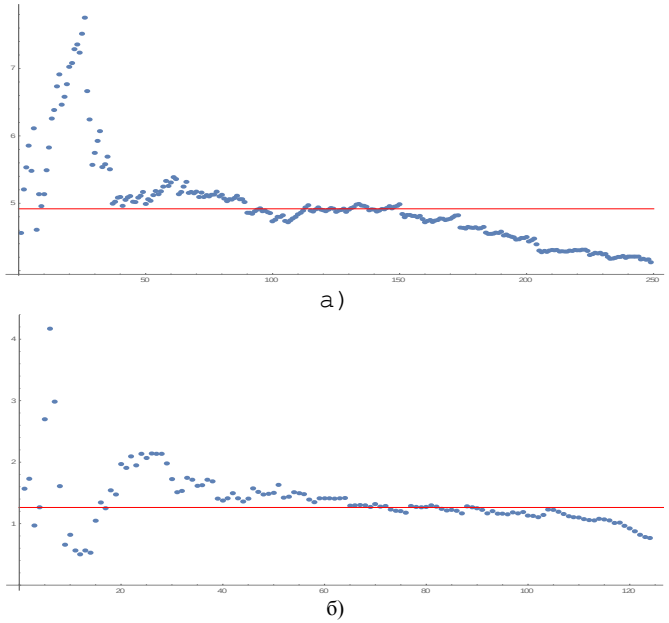



Рис.2 – Оцінювання хвостового індексу для значення лептону pT. а) – метод Хілла, б) - метод Пікандса

При використанні методу Хілла значення сталих інтервалів для лептону pT $[k_-=110,\ k_+=150]$. Значення хвостового індексу $\alpha=4{,}9182$. За методом Пікандса індекс екстремального значення $\gamma=1{,}2632$, значення хвостового індексу $\alpha=\gamma^{-1}=0{,}7916$. Це підтверджує гіпотезу про приналежність наших даних до третього граничного розподілу екстремальних значень.

## V. Висновки

Розглянуті методи дозволяють визначати класи розподілу екстремальних значень у наборах експериментальних даних. Їх трудомісткість та точність залежать як від об'єму оброблюваних даних, так і від довжини ділянки, на якій відповідні статистики демонструють сталу поведінку.

## Література References


[1] Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. – М.: Мир, 1965. – 450 с.

[2] Goldie C.M., Smith R.L. Slow variation with reainder: theory and applications.// Quart.J.Math. Oxford. 38. 1987. P. 45–71.

[3] Dekkers A.L.M., Einmahl J.H.J., de Haan L. A moment estimator for the index of an extreme-value distribution.// Annals of Statistics 17 1989. P. 1833–1855.

[4] Berlinet A., Vajda I., van der Maulen E.C. About tne asymptotic accuracy of Barron density estemates.// IEEE Trans. Inf. Theory. № 44. 1998. P. 999–1009.

[5] Davydov Yu., Paulauskas V., Rackauskas A. More on P-stable convex sets in Banach spaces// J.Theoret. Probab. 13. no.1. P. 39–64. 2000.

[6] Родионов И. В. Статистический анализ и проверка гипотез о распределении экстремумов временного ряда [Текст]: дис. канд. физико–математических наук: защищена 15.01.13: утв. 27.09.13 / В. И. Питербарг. — М., 2013. — 70 с.

# Метод Двобічних Наближень та Метод Прямих Розв'язання Першої Початково-Крайової Задачі для Багатовимірного Квазілінійного Рівняння Теплопровідності на Основі Використання Функції Гріна

Максим Сидоров
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки)
Харків, Україна
maxim.sidorov@nure.ua

# Two-sided Approximations Method and the Lines Method for Solving First Initial-Boundary Value Problem for a Multidimensional Quasi-linear Heat Equation Based on the Use of the Green's Function

Maxim Sidorov
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
maxim.sidorov@nure.ua

***Анотація*—Розглянуто першу початково-крайову задачу для багатовимірного квазілінійного рівняння теплопровідності. На основі модифікованого методу Роте на кожному часовому шарі вихідна задача замінена нелінійною крайовою задачею для еліптичного рівняння. Методом функцій Гріна від цієї задачі виконано перехід до еквівалентного інтегрального рівняння Гаммерштейна, яке далі розглянуто як нелінійне операторне рівняння з гетеротонним оператором у просторі неперервних функцій, напівупорядкованому конусом невід'ємних функцій. Для знаходження додатного розв'язку інтегрального рівняння (а отже, і узагальненого розв'язку відповідної крайової задачі) на кожному часовому шарі побудовано метод послідовних наближень з двобічним характером збіжності. Наведено результати обчислювального експерименту для тестової задачі.**

***Abstract*—The first initial-boundary problem for the multi-dimensional quasi-linear heat equation is considered. Based on the modified Rothe method at each time layer the original non-stationary problem is replaced by a nonlinear boundary-value problem for an elliptic equation. Using the Green's functions method of nonlinear boundary value problems a transition to an equivalent Hammerstein integral equation is considered, which is investigated as a nonlinear operator equation with a heterotone operator in the space of continuous functions that is semiordered by a cone of non-negative functions. To find a positive solution of the integral equation (and hence a generalized solution of the corresponding boundary value problem), a method of successive approximations with a two-sided character of convergence is constructed on each time layer. A computational experiment was carried for test problem.**

***Ключові слова—квазілінійне рівняння теплопровідності; додатний розв'язок; метод Роте; двобічні наближення***

***Keywords—quasi-linear heat equation; positive solution; Rothe method; two-sided approximations***

## I. Вступ

*Актуальність дослідження.* Проблема математичного моделювання різноманітних процесів у фізиці, хімії, біології призводить до необхідності розв'язання початково-крайових задач для квазілінійного

параболічного рівняння теплопровідності [3, 6, 7]. Методи чисельного аналізу таких задач зазвичай засновані на використанні методів скінченних різниць, скінченних елементів або методу прямих [1, 4, 8]. На цей час актуальною є розробка таких наближених методів розв'язання початково-крайових задач для квазілінійного рівняння теплопровідності, які б були ітераційними та дозволяли будувати послідовності функцій з двобічним характером збіжності до шуканого розв'язку.

*Цілі та задачі дослідження.* Метою роботи є розробка нового методу розв'язання першої початково-крайової задачі для багатовимірного квазілінійного рівняння теплопровідності на основі сумісного використання модифікованого метода прямих (метода Роте) і метода двобічних наближень. Дана робота продовжує дослідження, розпочаті автором в [5], і розповсюджує їх на нестаціонарні рівняння.

## II. Постановка задачі

Розглянемо початково-крайову задачу вигляду

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \operatorname{div}(p(\mathbf{x},t)\nabla u) + q(\mathbf{x},t)u = f(\mathbf{x},t,u), \quad (1)$$

$$\mathbf{x}\in\Omega,\ t\in(0,T_0],$$

$$u(\mathbf{x},t) > 0,\ \mathbf{x}\in\Omega,\ t\in(0,T_0], \quad (2)$$

$$u\big|_{\partial\Omega} = 0,\ t\in(0,T_0], \quad (3)$$

$$u\big|_{t=0} = \varphi(\mathbf{x}),\ \mathbf{x}\in\Omega, \quad (4)$$

де $\Omega$ – вимірна за Жорданом область з $\mathbb{R}^2$ чи $\mathbb{R}^3$ з кусково-гладкою межею $\partial\Omega$ ($\bar{\Omega}=\Omega\cup\partial\Omega$); $\mathbf{x}=(x_1, x_2)$, якщо $\Omega\subset\mathbb{R}^2$, і $\mathbf{x}=(x_1, x_2, x_3)$, якщо $\Omega\subset\mathbb{R}^3$.

Позначимо $\bar{Q}_{T_0} = \{(\mathbf{x}, t)\,|\,\mathbf{x}\in\bar{\Omega}, t\in[0, T_0]\}$.

Вважатимемо, що

$p(\mathbf{x},t) > 0$, $q(\mathbf{x},t)\ge 0$, якщо $(\mathbf{x}, t)\in\bar{Q}_{T_0}$,

$p(\mathbf{x},t)$ неперервно диференційована за змінними $\mathbf{x}$, якщо $(\mathbf{x}, t)\in\bar{Q}_{T_0}$,

$q(\mathbf{x},t)$ неперервна, якщо $(\mathbf{x}, t)\in\bar{Q}_{T_0}$,

$f(\mathbf{x},t,u)$ неперервна і додатна, якщо $(\mathbf{x}, t)\in\bar{Q}_{T_0}$, $u>0$,

$\varphi(\mathbf{x})$ неперервна і додатна, якщо $\mathbf{x}\in\Omega$, $\varphi\big|_{\partial\Omega}=0$.

Задача (1) – (4) часто зустрічається у математичному моделюванні нелінійних нестаціонарних процесів, розглядуваних у біології, теорії горіння, хімічній кінетиці тощо [6, 7]. Умова додатності (2) при цьому є наслідком прикладного сенсу функції $u$ у тій чи іншій галузі.

## III. Метод чисельного аналізу

На відрізку $[0, T_0]$ введемо сітку з кроком $\tau$, яка складається з точок $t_j = j\tau$, $j=0, 1, 2, ..., m$, $m\tau = T_0$, і позначимо $U_j = U_j(\mathbf{x}) = u(\mathbf{x}, t_j)$, $j=0, 1, 2, ..., m$.

В рівнянні (6.37) відповідно до методу прямих Роте диференціальний оператор $\frac{\partial u}{\partial t}$ апроксимуємо відношенням скінченних різниць і розв'язок задачі (1) – (4) шукатимемо вздовж прямих $t=\text{const}$. Тоді з похибкою $O(\tau)$ рівняння (6.37) на прямій $t=t_j$, $j=1, 2, ..., m$, замінюється нелінійним еліптичним рівнянням

$$\frac{U_j - U_{j-1}}{\tau} - \operatorname{div}(p(\mathbf{x},t_j)\nabla U_j) + q(\mathbf{x},t_j)U_j = f(\mathbf{x},t_j,U_j). \quad (5)$$

Рівняння (5) є модифікацію класичного методу Роте [8], бо на $j$-му часовому шарі використовує поточне значення $U_j$ при апроксимації нелінійності $f(\mathbf{x},t,u)$, а не попереднє значення $U_{j-1}$.

Відповідно до початкової умови (4) на нульовому часовому шарі $t_0=0$ матимемо $U_0(\mathbf{x}) = \varphi(\mathbf{x})$.

Використовуючи крайову умову (3) отримаємо крайову умову на функцію $U_j(\mathbf{x})$: $U_j\big|_{\partial\Omega}=0$.

Отже, розв'язання початково-крайової задачі (1) – (4) зводиться до розв'язання послідовності нелінійних еліптичних крайових задач

$$-\operatorname{div}(P_j(\mathbf{x})\nabla U_j) + Q_j(\mathbf{x})U_j = \frac{1}{\tau}U_{j-1} + f(\mathbf{x},t_j,U_j), \quad (6)$$

$$\mathbf{x}\in\Omega,$$

$$U_j(\mathbf{x}) > 0,\ \mathbf{x}\in\Omega, \quad (7)$$

$$U_j\big|_{\partial\Omega} = 0, \quad (8)$$

$$j=1, ..., m;$$

$$U_0(\mathbf{x}) = \varphi(\mathbf{x}),$$

де позначено $P_j(\mathbf{x}) = p(\mathbf{x},t_j)$, $Q_j(\mathbf{x}) = q(\mathbf{x},t_j) + \frac{1}{\tau}$.

Як бачимо, $Q_j(\mathbf{x})>0$ у $\Omega$ при будь-якому $\tau>0$.

Збіжність метода Роте при $\tau\to 0$ доведена у різних класах гладких та узагальнених розв'язків для широкого класу нелінійностей у рівнянні (1) [1, 8].

Крайові задачі (6) – (8) розв'язуються послідовно, а отже, при розв'язанні задачі для $U_j(\mathbf{x})$ функція $U_{j-1}(\mathbf{x})$ буде вже відомою. Тому праву частину рівняння (6) позначимо через $F(\mathbf{x}, U_j)$:

$$F_j(\mathbf{x}, U_j) = \frac{1}{\tau}U_{j-1}(\mathbf{x}) + f(\mathbf{x},t_j,U_j). \quad (9)$$

Застосуємо для розв'язання кожної з задач (6) – (8) метод двобічних наближень на основі використання

функції Гріна, розроблений у [5].

Розглянемо задачу (6) – (8) для деякого фіксованого $j$. Якщо $G_j(\mathbf{x},\mathbf{s})$ – відповідна функція Гріна, то ця задача еквівалентна інтегральному рівнянню Гаммерштейна

$$U_j(\mathbf{x}) = \int_\Omega G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s}) F_j(\mathbf{s}, U_j(\mathbf{s}))d\mathbf{s}. \qquad (10)$$

Розглядатимемо рівняння (10) у банаховому просторі $C(\bar{\Omega})$, напівупорядкованому конусом $\mathcal{K}_+$ невід'ємних у $\bar{\Omega}$ неперервних функцій, і шукатимемо узагальнений розв'язок $U_j(\mathbf{x})$ крайової задачі (6) – (8), тобто неперервний розв'язок інтегрального рівняння (10).

Введемо у розгляд нелінійний інтегральний оператор $T_j$, що діє у $C(\bar{\Omega})$ за правилом

$$T_j(U)(\mathbf{x}) = \int_\Omega G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s}) F_j(\mathbf{s}, U_j(\mathbf{s}))d\mathbf{s}. \qquad (11)$$

Нехай функція $f(\mathbf{x},t,u)$ дозволяє діагональне подання $f(\mathbf{x},t,u) = \hat{f}(\mathbf{x},t,u,u)$, де невід'ємна функція $\hat{f}(\mathbf{x},t,v,w)$ є неперервною за сукупністю змінних $\mathbf{x}$, $t$, $v$, $w$, монотонно зростає за $v$ і монотонно спадає за $w$ для всіх $\mathbf{x}\in\Omega$, $t\in(0, T_0]$. Тоді функція $F_j(\mathbf{x}, U_j)$ вигляду (9) теж дозволятиме діагональне подання у вигляді $F_j(\mathbf{x}, U_j) = \hat{F}_j(\mathbf{x}, U_j, U_j)$, де функція $\hat{F}_j(\mathbf{x}, v, w)$ задаватиметься рівністю

$$\hat{F}_j(\mathbf{x}, v, w) = \frac{1}{\tau}U_{j-1}(\mathbf{x}) + \hat{f}(\mathbf{x}, t_j, v, w). \qquad (12)$$

Через неперервність і невід'ємність на $\Omega$ функції $U_{j-1}(\mathbf{x})$ функція $\hat{F}_j(\mathbf{x}, v, w)$ буде неперервною за сукупністю змінних $\mathbf{x}$, $v$, $w$ невід'ємною функцією, що монотонно зростає за $v$ і монотонно спадає за $w$ для всіх $\mathbf{x}\in\Omega$.

Отже, оператор $T_j$ вигляду (11) буде гетеротонним з супровідним оператором

$$\hat{T}_j(v,w)(\mathbf{x}) = \int_\Omega G_j(\mathbf{x},\mathbf{s})\hat{F}_j(\mathbf{s}, v(\mathbf{s}), w(\mathbf{s}))d\mathbf{s}. \qquad (13)$$

Оператори $T_j$ і $\hat{T}_j$ є цілком неперервними [2].

Лема 1. Оператор $T_j$ вигляду (11) буде:

а) додатним оператором;

б) $u_0$-додатним оператором з функцією $u_0^j(\mathbf{x})$, яка задається формулою

$$u_0^j(\mathbf{x}) = \int_\Omega G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s})d\mathbf{s}; \qquad (14)$$

в) гетеротонним оператором с супровідним оператором вигляду (13), якщо функція $f(\mathbf{x},t,u)$ дозволяє діагональне подання $f(\mathbf{x},t,u) = \hat{f}(\mathbf{x},t,u,u)$, де невід'ємна функція $\hat{f}(\mathbf{x},t,v,w)$ є неперервною за сукупністю змінних $\mathbf{x}$, $t$, $v$, $w$, монотонно зростає за $v$ і монотонно спадає за $w$ для всіх $\mathbf{x}\in\Omega$, $t\in(0, T_0]$;

г) псевдоувігнутим і навіть $u_0$-псевдоувігнутим оператором функцією $u_0^j(\mathbf{x})$, яка має вигляд (14), якщо для всіх $v, w>0$ і при будь-якому $\nu\in(0,1)$

$$\hat{f}\left(\mathbf{x}, t, \nu v, \frac{1}{\nu}w\right) > \nu\hat{f}(\mathbf{x}, t, v, w),\ \mathbf{x}\in\Omega,\ t\in(0, T_0]. \qquad (15)$$

Далі вважатимемо, що оператор $T_j$ вигляду (11) є гетеротонним з супровідним оператором $\hat{T}_j$ вигляду (13). Побудуємо метод двобічних наближень знаходження додатного розв'язку інтегрального рівняння (10) (а отже, і крайової задачі (6) – (8)).

Виділимо у конусі $\mathcal{K}_+$ сильно інваріантний для гетеротонного оператора $T_j$ конусний відрізок $<v_j^0, w_j^0>$. Це призводить до того, що для функцій $v_j^0(\mathbf{x})$ і $w_j^0(\mathbf{x})$ виконуватимуться нерівності

$$\int_\Omega G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s})\hat{F}_j(\mathbf{s}, v_j^0(\mathbf{s}), w_j^0(\mathbf{s}))d\mathbf{s} \ge v_j^0(\mathbf{x}) \text{ для всіх } \mathbf{x}\in\bar{\Omega},$$

$$\int_\Omega G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s})\hat{F}_j(\mathbf{s}, w_j^0(\mathbf{s}), v_j^0(\mathbf{s}))d\mathbf{s} \le w_j^0(\mathbf{x}) \text{ для всіх } \mathbf{x}\in\bar{\Omega},$$

або (з урахуванням (12)) для всіх $\mathbf{x}\in\bar{\Omega}$

$$\varphi_j(\mathbf{x}) + \int_\Omega G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s})\hat{f}(\mathbf{s}, t_j, v_j^0(\mathbf{s}), w_j^0(\mathbf{s}))d\mathbf{s} \ge v_j^0(\mathbf{x}), \qquad (16)$$

$$\varphi_j(\mathbf{x}) + \int_\Omega G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s})\hat{f}(\mathbf{s}, t_j, w_j^0(\mathbf{s}), v_j^0(\mathbf{s}))d\mathbf{s} \le w_j^0(\mathbf{x}), \qquad (17)$$

де позначено

$$\varphi_j(\mathbf{x}) = \frac{1}{\tau}\int_\Omega G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s})U_{j-1}(\mathbf{s})d\mathbf{s}.$$

Очевидно, що $\varphi_j(\mathbf{x})>0$ для всіх $\mathbf{x}\in\Omega$ і $\varphi_j\big|_{\partial\Omega} = 0$.

Тепер сформуємо ітераційний процес:

$$v^{(k+1)}(\mathbf{x}) = \int_\Omega G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s})\hat{F}_j(\mathbf{s}, v^{(k)}(\mathbf{s}), w^{(k)}(\mathbf{s}))d\mathbf{s},\ k = 0, 1, 2, \ldots,$$

$$w^{(k+1)}(\mathbf{x}) = \int_{\Omega} G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s}) \hat{F}_j(\mathbf{s}, w^{(k)}(\mathbf{s}), v^{(k)}(\mathbf{s}))d\mathbf{s}\,,\ k = 0, 1, 2, \ldots,$$
$$v^{(0)}(\mathbf{x}) = v_j^0(\mathbf{x})\,,\ w^{(0)}(\mathbf{x}) = w_j^0(\mathbf{x})\,.$$

З урахуванням (12) ітераційні формули набувають вигляду

$$v^{(k+1)}(\mathbf{x}) = \varphi_j(\mathbf{x}) + \int_{\Omega} G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s})\, \hat{f}(\mathbf{s}, t_j, v^{(k)}(\mathbf{s}), w^{(k)}(\mathbf{s}))d\mathbf{s}\,, \quad (18)$$
$$w^{(k+1)}(\mathbf{x}) = \varphi_j(\mathbf{x}) + \int_{\Omega} G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s})\, \hat{f}(\mathbf{s}, t_j, w^{(k)}(\mathbf{s}), v^{(k)}(\mathbf{s}))d\mathbf{s}\,, \quad (19)$$
$$k = 0, 1, 2, \ldots$$
$$v^{(0)}(\mathbf{x}) = v_j^0(\mathbf{x})\,,\ w^{(0)}(\mathbf{x}) = w_j^0(\mathbf{x})\,. \quad (20)$$

Послідовність функцій $\{v^{(k)}(\mathbf{x})\}$ є неспадною за конусом $\mathcal{K}_+$, а послідовність $\{w^{(k)}(\mathbf{x})\}$ є незростаючою за конусом $\mathcal{K}_+$. Тоді з нормальності конуса $\mathcal{K}_+$ випливає існування границь $v^*(\mathbf{x})$ і $w^*(\mathbf{x})$ цих послідовностей.

Теорема 1. Нехай $< v_j^0, w_j^0 >$ – сильно інваріантний конусний відрізок для гетеротонного оператора $T_j$ вигляду (11) з супровідним оператором $\hat{T}_j$ вигляду (13) і система рівнянь

$$v(\mathbf{x}) = \varphi_j(\mathbf{x}) + \int_{\Omega} G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s})\, \hat{f}(\mathbf{s}, t_j, v(\mathbf{s}), w(\mathbf{s}))d\mathbf{s}\,, \quad (21)$$

$$w(\mathbf{x}) = \varphi_j(\mathbf{x}) + \int_{\Omega} G_j(\mathbf{x}, \mathbf{s})\, \hat{f}(\mathbf{s}, t_j, w(\mathbf{s}), v(\mathbf{s}))d\mathbf{s}\,, \quad (22)$$

не має на $< v_j^0, w_j^0 >$ розв'язків таких, що $v \neq w$. Тоді ітераційний процес (18) – (20) двобічно збігається у нормі простору $C(\bar{\Omega})$ до єдиного на $< v_j^0, w_j^0 >$ неперервного додатного розв'язку $U_j^*(\mathbf{x})$ крайової задачі (6) – (8).

Двобічна збіжність ітераційного процесу (18) – (20) означає виконання ланцюга нерівностей

$$v^0 = v^{(0)} \leqslant v^{(1)} \leqslant \ldots \leqslant v^{(k)} \leqslant \ldots \leqslant U_j^* \leqslant$$
$$\leqslant \ldots \leqslant w^{(k)} \leqslant \ldots \leqslant w^{(1)} \leqslant w^{(0)} = w^0\,.$$

Теорему 1 можна уточнити за рахунок накладання додаткових умов на функцію $\hat{f}(\mathbf{x}, t, v, w)$, за виконання яких система рівнянь (21), (22) не має на $< v_j^0, w_j^0 >$ розв'язків таких, що $v \neq w$. Зокрема, використання умови (15) призводить до такого результату.

Теорема 2. Нехай $< v_j^0, w_j^0 > \subset K(u_0^j)$ – сильно інваріантний конусний відрізок для гетеротонного оператора $T_j$ вигляду (11) з супровідним оператором $\hat{T}_j$ вигляду (13), $j = 1, \ldots, m$, і для всіх $v, w > 0$ і при будь-якому $\nu \in (0, 1)$

$$\hat{f}\left(\mathbf{x}, t, \nu v, \frac{1}{\nu} w\right) > \nu \hat{f}(\mathbf{x}, t, v, w)\,,\ \mathbf{x} \in \Omega\,,\ t \in (0, T_0]\,.$$

Тоді при кожному $j$, $j = 1, \ldots, m$, ітераційний процес (18) – (20) двобічно збігається у нормі простору $C(\bar{\Omega})$ до єдиного на $< v_j^0, w_j^0 >$ неперервного додатного розв'язку $U_j^*(\mathbf{x})$ крайової задачі (6) – (8).

При реалізації розглянутого методу двобічних наближень за наближений розв'язок вихідної нестаціонарної задачі (1) – (4) на $j$-му часовому шарі на $k$-й ітерації приймаємо функцію

$$U_j^{(k)}(\mathbf{x}) = \frac{w^{(k)}(\mathbf{x}) + v^{(k)}(\mathbf{x})}{2}\,. \quad (23)$$

На кожній $k$-й ітерації ми маємо зручну апостеріорну оцінку похибки для наближеного розв'язку (23):

$$\left\| U_j^* - U_j^{(k)} \right\| \leq \varepsilon_k = \frac{1}{2} \max_{\mathbf{x} \in \bar{\Omega}} (w^{(k)}(\mathbf{x}) - v^{(k)}(\mathbf{x}))\,,$$

що є перевагою побудованого двобічного ітераційного процесу.

Отже, якщо задана точність $\varepsilon > 0$, то ітераційний процес розв'язання $j$-ї задачі, $j = 1, \ldots, m$, слід проводити до виконання нерівності

$$\max_{\mathbf{x} \in \bar{\Omega}} (w^{(k_j)}(\mathbf{x}) - v^{(k_j)}(\mathbf{x})) < 2\varepsilon$$

і з точністю $\varepsilon$ можна вважати, що

$$u^*(\mathbf{x}, t_j) = U_j^*(\mathbf{x}) \approx U_j^{(k_j)}(\mathbf{x})\,.$$

Тоді, застосовуючи запропонований метод двобічних наближень до крайових задач методу прямих на кожному часовому шарі, ми отримаємо набір функцій

$$U_0(\mathbf{x}) = \varphi(\mathbf{x})\,,\ U_1^{(k_1)}(\mathbf{x})\,,\ U_2^{(k_2)}(\mathbf{x})\,,\ \ldots,\ U_m^{(k_m)}(\mathbf{x})\,.$$

Відповідно до загальних теорем збіжності метода Роте [1] з теорем 1, 2 випливає збіжність запропонованої схеми до розв'язку задачі (1) – (4) при $\tau \to 0$.

## IV. Обчислювальний експеримент

Розглянемо задачу (1) – (4) у одиничному квадраті $\bar{\Omega} = \{\mathbf{x} = (x_1, x_2) : 0 \leq x_1, x_2 \leq 1\}$ з $p(\mathbf{x}, t) = 1$, $q(\mathbf{x}, t) = 0$,

$$f(\mathbf{x},\, t,\, u) = \sqrt{u} + \frac{1}{\sqrt{u}}, \qquad (24)$$
$$\varphi(\mathbf{x}) = x_1 x_2 (1 - x_1)(1 - x_2).$$

Для функції $f(\mathbf{x},t,u)$ вигляду (24) обираємо $\hat{f}(\mathbf{x},t,v,w) = \sqrt{v} + \frac{1}{\sqrt{w}}$. Виконання умовиа $u_0$ -псевдо-увігнутості (15) для функції $f(\mathbf{x},t,u)$ вигляду (24) перевіряється безпосередньо.

Функція Гріна крайової задачі (6) – (8) у цьому випадку має вигляд

$$G(\mathbf{x},\, \mathbf{s}) = 4\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin \pi n x_1 \sin \pi m x_2 \sin \pi n s_1 \sin \pi m s_2}{\pi^2 (n^2 + m^2) + \kappa^2},$$

де $\mathbf{x} = (x_1,\, x_2)$, $\mathbf{s} = (s_1,\, s_2)$, $\kappa^2 = \frac{1}{\tau}$.

Знайдемо наближений розв'язок задачі (1) – (4) на першому часовому шарі для $\tau = 0{,}1$. Шукаючи кінці сильно інваріантного конусного відрізка $< v_1^0,\, w_1^0 >$ у вигляді $v_1^0(\mathbf{x}) = \alpha_1 u_0(\mathbf{x})$, $w_1^0(\mathbf{x}) = \beta_1 u_0(\mathbf{x})$, де $u_0(\mathbf{x}) = \int\limits_{\Omega} G(\mathbf{x},\, \mathbf{s}) d\mathbf{s}$, отримано, що нерівності (16) – (17) на першому часовому шарі ( $j = 1$) задовольняються при $\alpha_1 = 1{,}6693$, $\beta_1 = 14{,}4990$.

Отже, згідно з теоремою 2 ітераційний процес

$$v^{(k+1)}(\mathbf{x}) = \varphi_1(\mathbf{x}) + \int\limits_{\Omega} G(\mathbf{x},\, \mathbf{s}) \left[ \sqrt{v^{(k)}(\mathbf{s})} + \frac{1}{\sqrt{w^{(k)}(\mathbf{s})}} \right] d\mathbf{s},$$
$$w^{(k+1)}(\mathbf{x}) = \varphi_1(\mathbf{x}) + \int\limits_{\Omega} G(\mathbf{x},\, \mathbf{s}) \left[ \sqrt{w^{(k)}(\mathbf{s})} + \frac{1}{\sqrt{v^{(k)}(\mathbf{s})}} \right] d\mathbf{s},$$
$$k = 0,\, 1,\, 2,\, \ldots,$$
$$v^{(0)}(\mathbf{x}) = \alpha_1 u_0(\mathbf{x}),\; w^{(0)}(\mathbf{x}) = \beta_1 u_0(\mathbf{x}),$$

де $\varphi_1(\mathbf{x}) = 10 \int\limits_0^1 ds_1 \int\limits_0^1 G(\mathbf{x},\mathbf{s}) s_1 s_2 (1 - s_1)(1 - s_2) ds_2$, двобічно збігається до функції $U_1^*(\mathbf{x})$, яка є наближенням за модифікованим методом Роте для $u(\mathbf{x},\, t_1)$.

Для $\varepsilon = 10^{-4}$ було зроблено десять ітерацій. На рис. 1 наведено графіки верхніх $w^{(k)}(\mathbf{x})$ (суцільна лінія) та нижніх $v^{(k)}(\mathbf{x})$ (штрихована лінія) наближень до $U_1^*(\mathbf{x})$ для $k = 0,\, 2,\, 4,\, 6$ у перерізі $x_2 = 0{,}5$. Розглядаючи відношення $\frac{\varepsilon^{(k+1)}}{\varepsilon^{(k)}}$, $k = 0,\, 1,\, \ldots,\, 9$, похибок $\varepsilon_k$, отримали $\frac{\varepsilon^{(k+1)}}{\varepsilon^{(k)}} \approx 0{,}452$, що свідчить про геометричну швидкість збіжності ітераційної послідовності з таким показником.

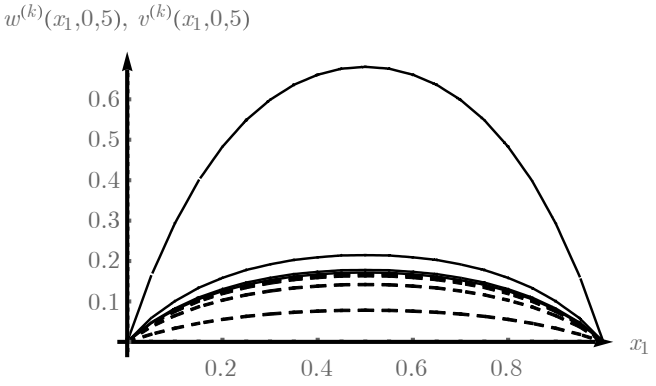



Рис. 6. Графіки верхніх $w^{(k)}(\mathbf{x})$ (суцільна лінія) та нижніх $v^{(k)}(\mathbf{x})$ (штрихована лінія) наближень до $U_1^*(\mathbf{x})$ для $k = 0,\, 2,\, 4,\, 6$ у перерізі $x_2 = 0{,}5$ для першого часового шару ( $\tau = 0{,}1$ )

## V. Висновки

У роботі для розв'язання першої початково-крайової задачі для напівлінійного багатовимірного квазілінійного рівняння теплопровідності вперше запропоновано комбінація модифікованого метода Роте і метода двобічних наближень на основі використання функції Гріна. Обчислювальний експеримент, проведений для тестової задачі зі степеневою нелінійністю, продемонстрував можливості та ефективність метода. Запропонований метод може бути використаний при розв'язанні прикладних задач, математичними моделями яких є початково-крайові задачі вигляду (1) – (4). Цим визначається наукова новизна та практична значущість отриманих результатів.

## Література References


[1] Ладыженская О.А. "Решение первой краевой задачи в целом для квазилинейных параболических уравнений", *Тр. ММО*, т. 7, с. 149-177, 1958.

[2] Опойцев В.И., Хуродзе Т.А. Нелинейные операторы в пространствах с конусом. Тбилиси: Изд-во Тбилис. ун-та, 1984. 246 с.

[3] Режимы с обострением в задачах для квазилинейных параболических уравнений / А.А. Самарский, В.А. Галактионов, С.П. Курдюмов, А.П. Михайлов. М.: Наука, 1987. 478 с.

[4] Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики. 2-е изд. М.: Научный мир, 2003. 316 с.

[5] Сидоров М.В. "Застосування методів функцій Гріна та квазіфункцій Гріна-Рвачова для побудови двобічних ітераційних процесів розв'язання нелінійних крайових задач", *Вісник Запорізького національного університету. Серія: фізико-математичні науки*, № 2, с. 250-259, 2017.

[6] Франк-Каменецкий Д.А. Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Интеллект, 2008. 408 с.

[7] Pao C. V. Nonlinear parabolic and elliptic equations. New York: Plenum Press, 1992. 794 p.

[8] Rothe E. "Zweidimensionale parabolische randwertaufgaben als grenzfall eindimensionaler randwertaufgaben", *Mathematische Annalen*, v. 102, № 1, p. 650-670, 1930.

# Метод Построения Стохастической Модели Квазистационарного Режима Работы Водопроводной Сети

Андрей Тевяшев
кафедра прикладной математики
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
Харьков, Украина
andrew.teviashev@nure.ua

Светлана Козыренко
кафедра прикладной математики
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
Харьков, Украина
svitlana.kozyrenko@nure.ua

# Method of Constructing a Stochastic Model of Quasi-stationary Operating Mode of a Water Supply Network

Andrey Tevjashev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
andrew.teviashev@nure.ua

Svitlana Kozyrenko
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
svitlana.kozyrenko@nure.ua

***Аннотация*—Рассмотрен общий подход к построению стохастической модели режима работы водопроводной сети по оперативным данным, включающим измерения расходов и давлений на выходах активных элементов и давлений в диктующих точках. Рассмотрены случаи, когда множество диктующих точек совпадает с множеством выходов водопроводной сети, является подмножеством множества выходов, содержит только одну диктующую точку.**

***Abstract*—A general approach to the construction of a stochastic model of the operation mode of a water supply network is considered based on operational data, including measurements of the flow and pressure at the outputs of active elements and pressures at the dictating points. We consider cases when the set of dictating points coincides with the set of outputs of the water supply network, is a subset of the set of outputs, contains only one dictating point.**

***Ключевые слова—стохастическая модель: водопроводная сеть: идентификация; структура; параметры; состояния.***

***Keywords—stochastic model: water supply network: identification; structure; options; state.***

## I. ВВЕДЕНИЕ

Повышение качества и эффективности управления режимами функционирования водопроводных сетей (ВС) связано с созданием модели объекта управления, наиболее адекватно описывающих его свойства с точки зрения достижения целей управления.

При решении задачи оперативного управления режимами транспорта и распределения целевого продукта в ВС на этапе программного управления необходимо иметь статическую модель объекта управления, обеспечивающую его адекватное описание относительно математических ожиданий режимных параметров целевого продукта на его входах и выходах и математических ожиданий параметров участков трубопровода, являющихся по своей природе случайными величинами. В качестве такой модели используется стохастическая модель квазистационарного потокораспределения (КСПР) в ВС.

Огромная размерность реальных ВС, ограниченность информационных ресурсов и оперативных данных

практически исключают эффективность использования полной модели КСПР в этих системах. Поэтому одной из центральных проблем становится проблема построения модели КСПР по оперативным данным, адекватно описывающей реакцию системы в контролируемом пространстве измеряемых параметров.

В работе рассмотрен общий подход к построению стохастической модели КСПР режима работы ВС по оперативным данным, включающим измерения расходов и давлений на выходах активных элементов ВС и давлений в диктующих точках. Рассмотрены два предельных случая, представляющих в основном теоретический интерес, когда множество диктующих точек совпадает с множеством выходов ВС и содержит только одну диктующую точку. Наибольший практический интерес представляет третий промежуточный случай, когда множество диктующих точек является подмножеством множества выходов ВС.

## II. . ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

Пусть $\mu = \tilde{R} - \hat{R} -$ обобщённый вектор невязок модели, где $\tilde{R}^T = [\tilde{R}(0),\tilde{R}(-1),\tilde{R}(-2),...]$, $\hat{R}^T = [\hat{R}(0),\hat{R}(-1),\hat{R}(-2),...]$-обобщенные векторы измеренных и оцененных с использованием моде КСПР параметров режима.

Тогда задача идентификации модели КСПР может быть сформулирована следующим образом:

$$\Phi(F_{ll}) = \|\mu\| \to \min_{F_{ll}}, \quad (1)$$

где $F_{ll} =< G(V,E),C,R >$- оператор модели КСПР; $l = 0,-1,-2,....$ Оператор $F_{ll}$ определяется графом сети $G(V,E)$, где $V$, $E$ - множества вершин и дуг графа сети; вектором параметров реальных участков сети $C$ и вектором режимных параметров $R$.

В этом случае задача (1) может быть записана в следующем виде:

$$\Phi(F_{ll}) = \Phi(V,E,C,R) = \|\mu\| \to \min_{<V,E,C,R>\in\Omega}, \quad (2)$$

где $\Omega$ - область, определяемая моделью КСПР и имеющая вид $\Omega = \Omega_1 \times \Omega_2 \times \Omega_3$, где $\Omega_1,\Omega_2,\Omega_3$ - допустимые множества состояний, параметров и структур модели КСПР.

Задачу минимизации (2) на множестве операторов $F_{ll}$ можно решать путём её декомпозиции на три иерархически связанные между собой задачи:

1. Идентификация состояния модели КСПР

$$\Phi_1(R^*) = \min_{R\in\Omega_1} \Phi(V^+,E^+,C^+,R). \quad (3)$$

2. Идентификация параметров модели КСПР

$$\Phi_2(C^*) = \min_{R\in\Omega_2} \Phi(V^+,E^+,C,R^*). \quad (4)$$

3. Идентификация структуры модели КСПР

$$\Phi_3(V^*,E^*) = \min_{V,E\in\Omega_3} \Phi(V,E,C^*,R^*). \quad (5)$$

Символом “+”, “$*$“ отмечены, соответственно, фиксируемые и оптимальные значения переменных.

## III. СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

Задача построения стохастической модели КСПР рассматривается для ВС, структура которой задаётся в виде графа $G(V,E)$, содержащего $e = Card(E)$ дуг и $v = Card(V)$ вершин.

Множество $E$ дуг графа сети $G(V,E)$ можно представить как $E = M \bigcup L \bigcup N$, где $M$, $L, N$ - множества дуг графа сети, соответствующих реальным участкам; входам и выходам сети, соответственно.

Выберем дерево графа сети, тогда $E = E_1 \bigcup E_2$, где $E_1, E_2$ - множества дуг, соответствующих ветвям дерева и хордам. Тогда система уравнений стохастической модели КСПР запишется в следующем виде:

$$\underset{\infty}{M}\{h_r(\omega) + \sum_{i\in E_1} b_{1ri} h_i(\omega\} = 0, r \in E_2; \quad (6)$$

$$\underset{\infty}{M}\{q_i(\omega) - \sum_{r\in E_2} b_{1ri} q_{r,}(\omega)\}, i \in E_{1,} \quad (7)$$

где $(\Omega,B,P)$ - вероятностное пространство; $\Omega$ - пространство элементарных событий; $B$ - $\sigma$-алгебра событий из $\Omega$; $P$ - вероятностная мера на $B$;

$$h_i\left(q_i(\omega)\right) = c_i(\omega) q_i(\omega) \left| q_i(\omega) \right|^{\chi_{i-1}} = 0, i \in M; \quad (8)$$

$$h_j(\omega) = -P_j^{\alpha}(\omega), j \in L; \quad (9)$$

$$h_j(\omega) = P_j^{\alpha}(\omega), j \in N; \quad (10)$$

$h_i(\omega), q_i(\omega), P_i(\omega)$ - случайные величины, характеризующие соответственно перепад давлений на $i$-ой дуге, расход по $i$-ой дуге, давление в начале ($j \in N$) или конце ($j \in L$) $j$-ой фиктивной дуги; $c_i(\omega)$ - случайная

величина, характеризующая гидравлическое сопротивление $i$ - го реального участка сети; $\chi_i$ - коэффициент нелинейности $i$ - го реального участка сети $(\chi_i \geq 1)$; $\alpha$ - показатель степени при значениях давлений; $b_{1ri}$ - элемент цикломатической матрицы $B_1$, построенной для ветвей дерева графа сети; $\underset{\infty}{M}\{.\}$ - символ математического ожидания.

Конкретизируем систему уравнений (6),(7) в зависимости от задания граничных условий и выбора дерева графа сети. Пусть дерево графа сети не содержит фиктивных дуг, соответствующих выходам сети. Тогда каждое из множеств $M,L,N$ разобьется на два, соответствующих ветвям дерева $M_1,L_1,N_1$ и хордам $M_2,L_2,N_2$, причём $N_1=\varnothing$. В каждом узле, соответствующем входу или выходу сети (дугам множеств $L,N$), задаётся значение давления или расхода. Задание этих величин разбивает каждое из множеств $L_1,L_2,N_2$ на два в зависимости от того, задан в этих дугах расход $L_{11},L_{21},N_{21}$ или давление $L_{12},L_{22},N_{22}$. Для определённости к ветвям дерева отнесём дугу , соответствующую входу сети с заданным давлением, присвоим её номер 1. В этом случае множество $L_{11}=\varnothing$.

Заменяя все случайные величины их математическими ожиданиями, получим стохастическую модель КСПР в ВС следующего вида:

$$\bar{c}_r\bar{q}_r\left|\bar{q}_r\right|^{\chi_r-1}+\sum_{i\in M_1}b_{1ri}\bar{c}_i\bar{q}_i\left|\bar{q}_i\right|^{\chi_i-1}=0,r\in M_2; \qquad (11))$$

$$\bar{P}_1^{\alpha}-\bar{P}_r^{\alpha}+\sum_{i\in M_1}b_{1ri}\bar{c}_i\bar{q}_i\left|\bar{q}\right|_i^{\chi_i-1}=0,r\in L_{22}; \qquad (12)$$

$$\bar{P}_r^{\alpha}-\bar{P}_1^{\alpha}+\sum_{i\in M_1}b_{1ri}\bar{c}_i\bar{q}_i\left|\bar{q}_i\right|^{\chi_i-1}=0,r\in N_{22}; \qquad (13)$$

$$\bar{P}_1^{\alpha}-\bar{P}_r^{\alpha}+\sum_{i\in M_1}b_{1ri}\bar{c}_i\bar{q}_i\left|\bar{q}_i\right|^{\chi_i-1}=0,r\in L_{21}; \qquad (14)$$

$$\bar{P}_r^{\alpha}-\bar{P}_1^{\alpha}+\sum_{i\in M_1}b_{1ri}\bar{c}_i\bar{q}_i\left|\bar{q}_i\right|^{\chi_i-1}=0,r\in N_{21}; \qquad (15)$$

$$\bar{q}_i=\sum_{r\in M_2\cup L_{22}\cup N_{22}}b_{1ri}\bar{q}_r+\sum_{r\in L_{21}\cup N_{21}}b_{1ri}\bar{q}_r,i\in M_1\cup L_{12}. \qquad (16)$$

Здесь $\bar{P}_r=M\left(P_r\right);r\in L_{12}\cup L_{22}\cup N_{22};$

$\bar{q}_j=M\left(q_j\right),j\in M\cup L_{21}\cup N_{21};\ \bar{c}_r,r\in M$ - математические ожидания давлений, расходов и параметров реальных участков ВС, соответственно.

Для системы уравнений (11)-(15) с учётом уравнений (16) независимыми переменными являются математические ожидания расходов $\bar{q}_i,i\in L_{21}\cup N_{21}$ и давлений $\bar{P}_1;\bar{P}_j,j\subset L_{22}\cup N_{22}$, а зависимыми – математические ожидания расходов $\bar{q}_r,r\in M_2\cup L_{22}\cup N_{22}$ и давлений $\bar{P}_r,r\in L_{21}\cup N_{21}$. Математические ожидания расходов в хордах $\bar{q}_r,r\in M_2\cup L_{22}\cup N_{22}$ определяются в результате решения системы уравнений (11)-(13) с учётом уравнений связи (16), а математические ожидания давлений $\bar{P}_r\ r\in L_{21}\cup N_{21}$ - из уравнений (14),(15).

В качестве граничных условий в системе уравнений (11)-(16) будем использовать математические ожидания расходов и давлений на входах и выходах ВС $\bar{q}_j,j\in L_{21}\cup N_{21};\bar{P}_1;\bar{P}_r,r\in L_{22}\cup N_{22}$.

Особенностью стохастической модели КСПР в ВС является необходимость в качестве граничных условий кроме математических ожиданий давлений и расходов на входах и выходах сети задавать их дисперсии. Это позволяет получить оценки дисперсий на входах и выходах ВС. математические ожидания которых представляют собой зависимые переменные в модели КСПР.

Пусть известны оценки дисперсий давлений и расходов на входах и выходах сети $\sigma^2_{P_r}$, $r\in L_{12}\cup L_{22}\cup N_{22}$; $\sigma^2_{q_j},j\in L_{21}\cup N_{21.}$. Требуется получить оценки дисперсий $\sigma^2_{q_j},j\in L_{22}\cup N_{22.}$; $\sigma^2_{P_r},\ r\in L_{21}\cup N_{21.}$.. Получить такие оценки возможно лишь для линеаризованной модели КСПР. что совпадает с линеаризованной моделью установившегося потокораспределения [1].

Выражения для вычисления оценок дисперсий соответствующих величин имеют следующий вид:

$$\sigma^2_{q_r}=\sum_{j\in L_{12}\cup L_{22}\cup N_{22}}\left[\left(\frac{\partial q_r}{\partial P_j}\right)^0\right]^2\sigma^2_{P_j}+\sum_{j\in L_{21}\cup N_{21}}\left[\left(\frac{\partial q_r}{\partial q_j}\right)^0\right]^2\sigma^2_{q_j},r\in L_{22}\cup N_{22}$$

$$\sigma^2_{P_r}=\sum_{j\in L_{12}\cup L_{22}\cup N_{22}}\left[\left(\frac{\partial P_r}{\partial P_j}\right)^0\right]^2\sigma^2_{P_j}+\sum_{j\in L_{21}\cup N_{21}}\left[\left(\frac{\partial P_r}{\partial q_j}\right)^0\right]^2\sigma^2_{q_j},r\in L_{21}\cup N_{21}$$

## IV. ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

Пусть в результате обследования ВС удалось установить её структуру и получить оценки её параметров. Объём и состав оперативной информации для реальных систем не обеспечивают выполнения условий топологической наблюдаемости и идентифицируемости модели КСПР. Предположим, что средства телемеханики позволяют контролировать $p$ режимных параметров.

Считая, что $p > 2Card(L)$, выбираем в качестве контролируемых параметров на входах сети расходы $\tilde{q}_i, i \in L$ и давления $\tilde{P}_j, j \in L$. Тогда $w$, где $w = p - 2Card(L)$, датчиков могут быть использованы для контроля давлений $P_j, j \in N$ на выходах сети. Для определения места установки $w$ датчиков давлений будем использовать эвристическое предположение, что контролировать давления нужно только в диктующих точках, которые и будут вершинами графа эквивалентной модели КСПР.

Множество вершин $V$ графа эквивалентной модели $G(V,E)$ определяется в результате выполнения следующих этапов.

1. Гидравлический расчёт ВС, структура которой описывается исходным графом $G(V_0,E_0)$. Решение задачи гидравлического расчёта ВС позволяет получить оценки математических ожиданий зависимых составляющих вектора режимных параметров $R_2 = \{\overline{q}_i, i \in L; \overline{P}_j, j \in N\}$ при задании математических ожиданий независимых составляющих $R_1 = \{\overline{q}_j, j \in N; \overline{P}_i, i \in L\}$.

2. Оценка дисперсии $\sigma^2_{P_r}, r \in N$ каждого из давлений $P_j, j \in N$ при заданных дисперсиях компонент вектора $R_1$. Получение оценок дисперсий $\sigma^2_{P_r}, r \in N$ осуществляется для линеаризованной модели КСПР. При этом в качестве независимых переменных принимаются математические ожиданий расходов на выходах сети $\overline{q}_i, i \in N$ и давлений на входах сети $\overline{P}_j, j \in L$. Известны также дисперсии независимых переменных $\sigma^2_{q_i}, i \in N; \sigma^2_{P_j}, j \in L$ . Тогда, учитывая, что дисперсии давлений на выходах сети значительно превышают дисперсии давлений на входах сети , т.е. можно принять $\sigma^2_{P_j} = o$ , $j \in L$, получим:

$$\sigma^2_{P_r} = \sum_{j \in N} \left[ \left( \frac{\partial P_i}{\partial q_j} \right)^0 \right]^2 \sigma^2_{q_j} \ , \ r \in N \ . \qquad (17)$$

3. Проранжировав узлы, соответствующие выходам сети, в порядке убывания значений дисперсий $\sigma^2_{P_r}$ , $r \in N$ и ограничиваясь некоторым пороговым значением, получим множество узлов графа сети $U$, соответствующих диктующим точкам, $U \equiv N$.

4. Определение множества вершин графа модели сети $G(V,E)$ Если значение $Card(V)$ известно и равно $p$, то множеством $V$ является объединение множества узлов, соответствующих входам сети, и подмножества $W$ первых $w$ элементов множества $U$.

5. Выбор структуры модели сети. Целесообразно искать структуру модели сети в виде дерева, т.е. $Card(E) = Card(V) - 1$. Это позволяет, решив задачу распределения расходов по узлам сети, принадлежащих множеству $W$, перейти к структуре сети, для которой выполнены условия топологической наблюдаемости и идентифицируемости, и решать задачу совместного оценивания параметров и состояний модели КСПР.

## V. . ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И СОСТОЯНИЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

Пусть граф $G(V,E)$ модели представляет собой дерево, т.е. $Card(E) = Card(V) - 1$ и $Card(V) = Card(L) + Card(W)$.

Алгоритмы решения задачи совместного оценивания параметров и состояний модели КСПР существенно зависят от мощности множества диктующих точек $W$.

*Случай 1*. Граф модели сети содержит все узлы исходного графа, соответствующие входам и выходам сети, т.е. $Card(V) = Card(L) + Card(N)$, $W \equiv N$.

В каждом узле известны измеренные значения расходов $\tilde{q}_i, i \in L \cup N$ и давлений $\tilde{P}_j, j \in L \cup N$, а также значения дисперсий $\sigma^2_{q_i}, i \in L \cup N$ ; $\sigma^2_{p_J}$ , $j \in L \cup N$.

Требуется получить оценки параметров $c_i, i \in M$ реальных участков сети, истинных значений расходов $q_i, i \in L \cup N$ и давлений $P_j, j \in L \cup N$, а также функционально связанных с ними расходов в реальных участках сети $q_i, i \in M$.

Согласно методу максимального правдоподобия, формальная постановка задачи совместного оценивания параметров и состояний приводит к задаче условной оптимизации:

$$y = \sum_{i \in L \cup N} \sigma^{-2}_{P_i} \left( P_i - \tilde{P}_i \right)^2 + \sum_{j \in L \cup N} \sigma^{-2}_{q_j} \left( q_j - \tilde{q}_j \right)^2 \to \min_{c_r, P_i, q_j \in \Omega} \ , \ (18)$$

где $\Omega$ - область, определяемая уравнениями модели КСПР (11)-(16).

Конкретизируем вид системы уравнений (6),(7). Выберем дерево графа сети таким образом, чтобы его ветвями стали все фиктивные дуги, соответствующие входам и выходам сети, т.е.E1=L∪N. Тогда все дуги, соответствующие реальным участкам, станут хордами, т.е. E2≡M. В этом случае система уравнений (6),(7) может быть преобразована к следующему виду:

$$\overline{c}_r \overline{q}_r \left| \overline{q}_r \right| + \sum_{j \in N} b_{1ri} \overline{P}_j - \sum_{j \in L} b_{1ri} \overline{P}_j = 0, \ r \in M \ ; \qquad (19)$$

$$\bar{q}_i = \sum_{r \in M} b_{1ri} \bar{q}_r ,\ i \in L \bigcup N . \qquad (20)$$

Система уравнений (19), (20) представляет собой систему $m+l+n$ уравнений относительно $2m+2l+2n$ переменных $\bar{q}_i, i \in M \bigcup L \bigcup N$ ; $\bar{P}_j, j \in L \bigcup N$ ; $\bar{c}_i, i \in M$ .

Разделим переменные задачи на зависимые и независимые. К независимым отнесем давления в дугах, соответствующих входам и выходам сети $\bar{P}_j, j \in L \bigcup N$ , и параметры реальных участков $\bar{c}_i, i \in M$ ; к зависимым – расходы $\bar{q}_i, i \in M \bigcup L \bigcup N$ Выражение (19) позволяет явно выразить расходы в хордах $\bar{q}_r, r \in M$ через давления на входах и выходах сети $\bar{P}_j, j \in L \bigcup N$ и параметры $\bar{c}_r, r \in M$ , и, согласно (20), расходы в ветвях дерева $\bar{q}_i, i \in L \bigcup N$ также являются явными функциями от $\bar{P}_j, j \in L \bigcup N$ и $\bar{c}_r, r \in M$ .

Специальный способ выбора дерева графа сети и разбиения на зависимые и независимые переменные позволили уравнения (6) - (10) представить в алгебраически разрешенном виде и свести исходную задачу условной оптимизации к задаче безусловной оптимизации [1]:

$$y = y\left(P_j, j \in L \bigcup N; c_r, r \in M\right) \to \min_{c_r, P_j} . \qquad (21)$$

Для решения данной задачи будем использовать метод Гаусса, основанный на линейной аппроксимации системы ограничений на каждой итерации решения.

*Случай 2.* Пусть узлами графа модели сети являются все узлы, соответствующие входам сети, и узлы, принадлежащие множеству $W$ , причём $W \subset N$ , т.е. $Card(V) = Card(L) + Card(W)$ . В узлах, соответствующих входам, известны измерения расходов $\tilde{q}_i, i \in L$ и давлений $\tilde{P}_j, j \in L$ , а также их дисперсии $\sigma^2_{q_i}, i \in L$ , $\sigma^2_{p_J}$ , $j \in L$ . Кроме того, в узлах, соответствующих множеству $W$ , известны измерения давлений $\tilde{P}_j, j \in W$ и их дисперсии $\sigma^2_{p_J}$ , $j \in W$ .

Для решения задачи совместного оценивания параметров и состояний модели КСПР предварительно решим задачу распределения расходов по узлам сети, принадлежащих множеству *W*. Данная задача может быть решена в результате решения задачи оценивания параметров $c_r, r \in M$ [1].

Учитывая, что уравнения модели (19),(20) представляют собой приведенную форму модели в предположении, что независимые переменные $P_j, j \in L \bigcup W$ измерены точно, для решения задачи оценивания параметров $c_r, r \in M$ будем использовать метод наименьших квадратов со взвешиванием измерений по переменным, функция цели согласно которому имеет вид:

$$y = \sum_{i \in L} \sigma^{-2}_{q_i} \left(\tilde{q}_i - q_i\right)^2 \to \min_{c_r, r \in M} , \qquad (22)$$

где параметры $c_r, r \in M$ удовлетворяют уравнениям модели КСПР (19),(20).

В результате решения сформулированной задачи получим оценки расходов $q_i, i \in W$ , а с использованием линеаризованной модели КСПР - оценки их дисперсий. Принимая оцененные значения за измеренные, можно решать задачу совместного оценивания параметров и состояний модели КСПР, рассмотренную для случая 1,

*Случай 3.* Пусть узлами графа модели сети являются все узлы, соответствующие входам сети, и один узел, соответствующий выходу, т.е. $Card(V) = Card(L) + 1$ .

Известны измерения режимных параметров на входах сети $\tilde{q}_i, i \in L$ ; $\tilde{P}_j, j \in L$ , а также их дисперсии $\sigma^2_{q_i}$ , $\sigma^2_{p_J}$ , $i, j \in L$ . Для узла, соответствующего выходу сети, известно измерение давления $\tilde{P}_{l+1}$ , $l = Card(L)$ , а также его дисперсия $\sigma^2_{P_{l+1}}$ .

Тогда оценку расхода на выходе сети, а также его дисперсию можно получить следующим образом:

$$\hat{q}_{l+1} = \sum_{i \in L} \tilde{q}_i \ ; \ \hat{\sigma}^2_{q_{l+1}} = \sum_{i \in L} \sigma^2_{q_i} .$$

Считая, что $\tilde{q}_{l+1} = \hat{q}_{l+1}, \sigma^2_{q_{l+1}} = \hat{\sigma}^2_{q_{l+1}}$ , для рассматриваемой модели сети можно решать задачу совместного оценивания параметров и состояний, рассмотренную для случая 1.

## VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод построения модели КСПР по оперативным данным позволяет построить адекватные математические модели КСПР в пространстве измеряемых переменных с учётом ограничений на средства телемеханики. Использование предлагаемого метода позволяет обеспечить повышение качества и эффективности функционирования ВС.

## ЛИТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Тевяшев А.Д., Козыренко С.И., Непочатова В.Д. Стохастическая модель квазистационарных режимов работы систем водоснабжения и метод её построения для водопроводных сетей с утечками. В сб, “Трубопроводные системы энергетики. Методические и прикладные проблемы математического моделирования”. Новосибирск, Наука, 2015 – с. 205 – 220.

# Метод Решения Задачи Балансной Компоновки

Игорь Гребенник
кафедра системотехники
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
igor.grebennik@nure.ua

Анна Коваленко
кафедра системотехники
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
hanna.kovalenko@nure.ua

Татьяна Романова
Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного Национальной академии наук Украины
Харьков, Украина
tetiana.romanova@nure.ua

Инна Урняева
кафедра системотехники
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
inna.urniaieva@ nure.ua

Сергей Шеховцов
кафедра системотехники
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
serhii.shekhovtsov@nure.ua

# Solution Algorithm for Balance Layout Problem

Igor Grebennik
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
igor.grebennik@nure.ua

Hanna Kovalenko
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
hanna.kovalenko@nure.ua

Tetiana Romanova
A.N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the NAS of Ukraine
Kharkiv, Ukraine
tetiana.romanova@nure.ua

Inna Urniaieva
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
inna.urniaieva@ nure.ua

Serhii Shekhovtsov
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
serhii.shekhovtsov@nure.ua

***Аннотация*—Рассматривается задача балансной компоновки заданного множества 3D-объектов в контейнере, разделенном горизонтальными стеллажами на подконтейнеры. Строится математическая модель с использованием метода phi-функций. Предлагается эффективный метод решения.**

***Abstract*—The problem of the balanced layout of a given set of 3D objects in a container divided by horizontal shelves into subcontainers is considered. A mathematical model is constructed, using the phi-function technique. An efficient solution algorithm is proposed.**

***Ключевые слова*—балансная компоновка, 3D-объекты, метод phi-функций, математическая модель, метод оптимизации**

***Keywords*—balance layout, 3D-objects, phi-function method, mathematical model, optimization algorithm**

## I. Введение

Задачи балансной компоновки принадлежат классу *NP*-сложных задач размещения. Суть задачи заключается в поиске оптимального размещения заданного набора 3D-объектов в некоторой ограниченной области (контейнере) с учетом ограничений поведения (behavior constraints), которые обеспечивают баланс рассматриваемой системы.

Необходимость учета ограничений поведения в оптимизационных задачах размещения возникает, например, в задачах логистики (при упаковке грузов для транспортировки или хранения), в машиностроении (при компоновке летательных аппаратов, судов, подводных лодок, компоновке оборудования, приборов и устройств, деталей изделия). Особый интерес к этому классу задач возникает при проектировании ракетно-космической техники, где необходимо учитывать ограничения на статические и динамические характеристики системы.

В работах [2–4] рассматриваются задачи компоновки цилиндров в цилиндрическом контейнере с ограничениями поведения, учет которых необходим для соблюдения уравновешенности спутниковой системы. В данных публикациях приводятся математические модели с различными функциями цели. Для решения данных задач предлагаются эвристические алгоритмы, учитывающие особенности каждой из задач.

В данной работе рассматривается задача балансной компоновки 3D-объектов (шар, цилиндр, тор, сфероцилиндр, параллелепипед, призма) в контейнере (формы параллелепипеда, цилиндра, параболоида вращения или усеченного конуса), разделенном горизонтальными слеллажами на подконтейнеры.

Целью данного исследования является разработка метода решения задачи оптимальной балансной компоновки множества 3D-объектов, в которой учитываются ограничения размещения и механические свойства системы.

## II. Постановка задачи

Пусть $\Omega$ – контейнер высоты $H$, имеющий форму параллелепипеда, цилиндра, параболоида вращения или усеченного конуса. Контейнер $\Omega$ задан в собственной неподвижной системе координат $Oxyz$, где $Oz$ – продольная ось симметрии. Полагаем, что $\Omega$ разделен горизонтальными слеллажами $S_j$ на подконтейнеры $\Omega^j$, $j \in J_m = \{1, \dots, m\}$. Расстояния между стеллажами $S_j$ и $S_{j+1}$ обозначим через $t_j$, $j \in J_m$, $\sum_{j=1}^{m} t_j = H$. Начало собственной системы координат $Oxyz$ расположено в центре нижнего основания контейнера.

Имеется $A = \{\mathbb{T}_i, i = 1, \dots, n\}$ – множество однородных 3D-объектов с заданными метрическими характеристиками. Каждый объект имеет высоту $h_i$ и массу $m_i$, $i \in J_n = \{1, \dots, n\}$.

Объект $\mathbb{T}_i$ задан в собственной системе координат $O_i x_i y_i z_i$. Расположение объекта $\mathbb{T}_i$ внутри контейнера $\Omega$ определяется вектором $u_i = (v_i, z_i, \theta_i)$, $(v_i, z_i)$ – вектор трансляции объекта в неподвижной системы координат $Oxyz$, $\theta_i$ – угол поворота объекта $\mathbb{T}_i$ в плоскости $O_i x_i y_i$, где $v_i = (x_i, y_i)$, при этом значение $z_i$, $i \in J_n$, однозначно определяется подконтейнером $\Omega^j$, $j \in J_m$, в котором размещается объект $\mathbb{T}_i$:

$$z_i = \sum_{l=1}^{j} t_{l-1} + h_i, \qquad (1)$$

где $j \in J_m$. При $t_0 = 0$ для $\forall i \in J_n \ \exists\, j^* \in J_m$: $h_i \le t_{j^*}$.

В данном исследовании формулируется задача балансной компоновки объектов [5], которая предполагает генерацию и выбор разбиения множества $A$ на непустые подмножества $A^j$, $j \in J_m$, используя алгоритм, приведенный в [7]. Здесь $A^j$ – подмножество объектов, которые должны быть размещены на стеллаже $S_j$ внутри подконтейнера $\Omega^j$. Пусть $J_n^j \subseteq J_n$ – множество индексов объектов, размещаемых в $\Omega^j$, $j \in J_m$, $\bigcup_{j=1}^{m} J_n^j = J_n$, $J_n^i \cap J_n^j = \varnothing$, $i \ne j \in J_m$; $k_j = |A^j|$ – количество объектов, размещаемых в е $\Omega^j$, $k_j > 0$, $j \in J_m$, при этом,

$$\sum_{j=1}^{m} k_j = n. \qquad (2)$$

Кроме того, должны выполняться следующие ограничения размещения:

$$\operatorname{int} \mathbb{T}_{i_1} \cap \operatorname{int} \mathbb{T}_{i_2} = \varnothing,\ i_1 < i_2 \in J_n^j,\ j \in J_m, \qquad (3)$$

$$\mathbb{T}_i \subset \Omega^j,\ i \in J_n^j,\ j \in J_m, \qquad (4)$$

$$h^j \le t_j,\ h^j = \max\{h_i^j, i \in J_n^j\},\ j \in J_m. \qquad (5)$$

Обозначим через $\Omega_A$ систему, образованную в результате размещения объектов $\mathbb{T}_i$ семейства $A$ в контейнере $\Omega$, а через $O_s XYZ$ – систему координат $\Omega_A$, где $O_s = (x_s(v), y_s(v), z_s(v))$ – центр масс $\Omega_A$, а оси $O_s X \| Ox$, $O_s Y \| Oy$, $O_s Z \| Oz$,

$$x_s(v) = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i x_i}{M},\ y_s(v) = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i y_i}{M},\ z_s = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i z_i}{M}, \qquad (6)$$

где $M = \sum_{i=1}^{n} m_i$ – масса системы $\Omega_A$.

В качестве функции цели рассматривается отклонение центра масс $O_s$ от заданной точки $(x_0, y_0, z_0)$.

Задача балансной компоновки (Balance Layout Problem, BLP). Определить такой вариант размещения подмножеств $A^j$, $j \in J_m$ с учетом ограничений (2)–(6) и параметры размещения $(x_i^*, y_i^*, z_i^*)$ объектов $\mathbb{T}_i$, $i \in J_n$, при котором функция цели достигала бы своего минимального значения.

Полагаем, что задача имеет хотя бы одно допустимое решение.

## III. Математическая модель

Математическую модель задачи BLP можно представить в виде следующей задачи нелинейного программирования:

$$F(u^*) = \min F(u) \text{ s.t. } (u,\tau) \in W, \quad (7)$$

$$W = \{(u,\tau) \in \mathbf{R}^{\sigma} : \Upsilon_1(u,\tau) \ge 0, \Upsilon^*_2(u) \ge 0, \mu(u) \ge 0\}, \quad (8)$$

где

$F(u) = d = (x_s(v,z))^2 + (y_s(v,z))^2 + (z_s - z_0)^2$

$u = (v, z, \theta)$, $v = (v_1, ..., v_n)$, $\theta = (\theta_1, ..., \theta_n)$, $v_i = (x_i, y_i)$, $i = 1, ..., n$, $z = (z_1, ..., z_n)$, неравенство $\Upsilon_1(u,\tau) \ge 0$ описывает условие непересечения объектов при $\Xi = \bigcup_{j=1}^{m} \Xi^j$, $\Xi^j = \{(q_1, q_2) : q_1 < q_2 \in J_n^j\}$, $\tau = (\tau_1, ..., \tau_s)$ – вектор вспомогательных переменных, $s = |\Xi|$, неравенство $\Upsilon^*_2(u) \ge 0$ описывает условие включения объектов в контейнер, функции $\Upsilon_1(u,\tau)$, $\Upsilon^*_2(u)$ определяются как минимум соответствующих псевдонормализованных *phi*-функций (квази-*phi*-функций) [1, 6] для всех пар объектов, формирующих ограничения (3), (4). $\mu(u) \ge 0$ – ограничения поведения.

## IV. Метод решения

Для решения задач *BLP* используется следующая стратегия:

1. Строится множество допустимых стартовых точек $\{u'_0\}$.
2. Реализуется поиск локального экстремума задачи (13)-(14) для каждой стартовой точки $u'_0 \in W$.
3. Лучший из полученных локальных экстремумов выбирается в качестве локально-оптимального решения задачи *BLP* вида (7)-(8).

Приведенная стратегия использует разумный выбор допустимых стартовых точек и *NLP-solver* для поиска локально-оптимальных решений NP-сложной задачи нелинейной оптимизации (7)–(8). Для построения стартовых точек из области допустимых решений предлагается быстрый алгоритм.

Для улучшения вычислительных затрат (времени и памяти) используется модификация *LOFRT* алгоритма, предложенного в [6]. Данный алгоритм позволяет свести задачу (7)-(8) большой размерности с большим числом неравенств к последовательности подзадач со значительно меньшим числом переменных и неравенств.

*Алгоритм поиска допустимых стартовых точек.* Алгоритм включает следующие шаги.

**Шаг 1**. Генерируем случайным образом множество точек $v_i^0 = (x_i^0, y_i^0)$, $i \in I_n$, принадлежащих соответствующим подконтейнерам. Формируем вектор $v^0 = (x_1^0, y_1^0, ..., x_n^0, y_n^0)$. Полагаем $\theta_i = \theta_i^0 = 0$, $i \in I_n$.

**Шаг 2**. Пусть $\lambda = \lambda_i$ – коэффициент гомотетии для объектов $A_i$, $i \in I_n$. Определяем вектор $u'^0$ размерности $\tau$ такой, что каждая phi-функция или квази-phi-функция в (8) достигает своего максимального значения по дополнительным переменным $u'^0$ в точке $(u_\lambda^0, u'^0)$, где $u_\lambda^0 = (v^0, \theta^0, \lambda^0 = 0)$, $v^0 = (v_1^0, ..., v_n^0)$, $\theta^0 = (\theta_1^0, ..., \theta_n^0)$.

**Шаг 3**. Вычисляем $\alpha^0 = \min\{\Upsilon_1(u_\lambda^0, u'^0), \Upsilon_2(u_\lambda^0)\}$. Если $\alpha^0 < 0$, то переходим к Шагу 4, иначе формируем точку $u_\alpha^* = (u_\lambda^0, u'^0, \alpha^0)$ и переходим к Шагу 5.

**Шаг 4**. Задаем $\lambda = 0$, $\theta_i = \theta_i^0 = 0$, $i \in I_n$, и используем $u_\alpha^0 = (u_\lambda^0, u'^0, \alpha^0)$ в качестве стартовой точки для решения следующей вспомогательной задачи нелинейного программирования:

$$\alpha^* = \max \alpha, \text{ s.t. } u_\alpha \in W_\alpha, \quad (9)$$

$$W_\alpha = \{u_\alpha \in \mathbb{R}^{3n+\tau+1} : \Upsilon_1(u_\lambda, u') - \alpha \ge 0, \Upsilon_2(u_\lambda) - \alpha \ge 0, -\alpha \ge 0\}, \quad (10)$$

где $u_\alpha = (u_\lambda, u', \alpha)$.

Если $\alpha^* = 0$, тогда $u_\alpha^* = (u_\lambda^*, u'^*, \alpha^*)$ – точка глобального максимума задачи (9)-(10), переходим к шагу 5. Если $\alpha^* < 0$, то допустимая стартовая точка для задачи (9)-(10) не может быть найдена при $\lambda = 0$. В этом случае возвращаемся к Шагу 1.

**Шаг 5**. Полагаем, что параметры $\theta_i$, $i \in I_n$, – переменные. Генерируем случайным образом стартовые значения углов поворота $\theta_i^* \in [0, 2\pi)$, $i \in I_n$.

**Шаг 6**. Формируем допустимую стартовую точку $(u_\lambda^*, u'^*)$, используя $u_\alpha^*$, и решаем следующую вспомогательную задачу нелинейного программирования:

$$\lambda^* = \max \lambda, \text{ s.t. } (u_\lambda, u') \in W_\lambda, \quad (11)$$

$$W_\lambda = \{(u_\lambda, u') \in \mathbb{R}^{3n+\tau+1} : \Upsilon_1(u_\lambda, u') \ge 0, \Upsilon_2(u_\lambda) \ge 0, 1 - \lambda \ge 0, \lambda \ge 0\}. \quad (12)$$

Если $\lambda^* = 1$, тогда $(u_\lambda^*, u'^*) = (v^*, \theta^*, \lambda^*, u'^*)$ – точка глобального максимума задачи (11)-(12), переходим к Шагу 7. Если $\lambda^* < 1$, то возвращаемся к Шагу 1.

**Шаг 7**. Вычисляем значение $\mu(v^*, \theta^*)$. Если $\mu(v^*, \theta^*) < 0$, то переходим к Шагу 8, иначе – к Шагу 9.

**Шаг 8**. Стартуя из точки $u_\beta^0 = (v^*, \theta^*, u'^*, \beta^0 = \mu(u^*))$, решаем вспомогательную задачу:

$$\beta^* = \max \beta, \text{ s.t. } u_\beta \in W_\beta, \quad (13)$$

$$W_\beta = \{u_\beta \in \mathbb{R}^{3n+1} : \Upsilon_1(u,u') \geq 0, \quad \Upsilon_2(u) \geq 0, \mu(u) - \beta \geq 0, -\beta \geq 0\}, \tag{14}$$

где $u_\beta = (u, u', \beta)$, $u = (v, \theta)$.

Если $\beta^* = 0$, тогда $u_\beta^* = (v^*, \theta^*, u'^*, \beta^*)$ – точка глобального максимума задачи (13)-(14), переходим к Шагу 9. Если $\beta^* < 0$, то возвращаемся к Шагу 1.

**Шаг 9**. Формируем допустимую стартовую точку $u^0 = (v^*, \theta^*, u'^*) \in W$ для задачи (7)-(8).

На Рис. 1 приведено локально оптимальное размещение 3D-объектов (шаров, торов, прямых круговых цилиндров, сфероцилиндров, прямых прямоугольных параллелепипедов и правильных призм) в трех подконтейнерах цилиндрического контейнера с учетом ограничений поведения (ограничения на осевые и центробежные моменты системы) с целью минимизации отклонения центра масс системы $\Omega_A$ от заданной точки.

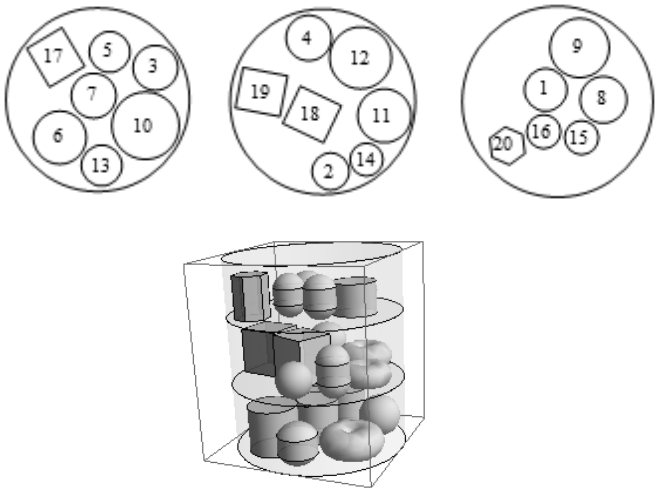



Рис. 1 – Локально-оптимальное размещение объектов

## V. Выводы

Рассматривается задача балансной компоновки 3D-объектов в контейнере, разделенном горизонтальными слеллажами на подконтейнеры. Построена математическая модель, учитывающая не только ограничения размещения, но и ограничения поведения. Предложена стратегия решения, которая включает алгоритмы построения стартовых точек из области допустимых решений и локальной оптимизации. Данный подход использует принцип «мультистарта» для поиска «хороших» допустимых решений.

## Література References


[1] Chernov N, Stoyan Y, Romanova T (2010). Mathematical model and efficient algorithms for object packing problem. Computational Geometry: Theory and Applications. 43(5): 535–553.

[2] G. Fasano and J.Pintér (2016) Space Engineering. Modeling and Optimization with Case Studies/ Springer Optimization and its Applications, New York, Vol. 114, XV.– 487 p.

[3] Sun Z., Teng H. Optimal layout design of a satellite module. – Engineering optimization. – 2003. – Vol. 35, № 5. – P. 513-530.

[4] Lei K. Constrained Layout Optimization Based on Adaptive Particle Swarm Optimizer. – Advances in Computation and Intelligence. Series: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Zhihua C., Zhenhua L., Zhuo K., Yong L. (Eds.). – 2009. – № 1. – P. 434-442.

[5] Stoyan Yu., Romanova T., Pankratov A., Kovalenko A., Stetsyuk P. (2016) Modeling and Optimization of Balance Layout Problems. Chapter (pp. 177-208) in contributed book Space Engineering. Modeling and Optimization with Case Studies/ Springer Optimization and its Applications, Editors G. Fasano and J.Pintér, New York, Vol. 114, XV, 487 p.

[6] Stoyan Y, Pankratov A, Romanova T (2015). Quasi-phi-functions and optimal packing of ellipses. Journal of Global Optimization. 65(2):283–307.

[7] I. V. Grebennik, A. A. Kovalenko, T. E. Romanova, I. A. Urniaieva, S. B. Shekhovtsov. Combinatorial Configurations in Balance Layout Optimization Problems // Cybernetics and Systems Analysis – 54 (2), pp 55-67, 2018.

# Узагальнений Підхід до Генерації Дискретних Моделей Функціонально Поданих Геометричних Об'єктів

Сергій Чопоров
доцент кафедри програмної інженерії
Запорізький національний університет
Запоріжжя, Україна
s.choporoff@znu.edu.ua

Сергій Гоменюк
декан математичного факультету
Запорізький національний університет
Запоріжжя, Україна
gserega71@gmail.com

# Generalized Approach to Function Represented Objects Meshing

Serhii Choporov
Associate Professor, Department of Software Engineering
Zaporizhzhia National University
Zaporizhzhia, Ukraine
s.choporoff@znu.edu.ua

Serhii Homeniuk
Dean of Mathematical Faculty
Zaporizhzhia National University
Zaporizhzhia, Ukraine
gserega71@gmail.com

***Анотація*—У роботі розглянута проблема генерації дискретних моделей геометричних об'єктів, поданих функціонально. Авторами пропонується узагальнений підхід, що може бути використаний для генерації дискретних моделей на базі елементів довільної форми. У результаті при проектуванні підсистеми для генерації дискретних моделей у системі інженерного аналізу можливе застосування шаблону «Стратегія».**

***Abstract*—This paper describes the problem of discrete models generation for function represented objects. Authors develops generalized approach that is useful for meshing with arbitrary shaped elements. Thus, the meshing subsystem of computer-aided software could be designed with the Strategy pattern.**

***Ключові слова—дискретна модель, функціональний пыдхыд, дискретизація, елемент, шаблон «Стратегія»***

***Keywords—discrete model, function representation, meshing, element, Strategy pattern.***

## I. Вступ

Для дослідження експлуатаційних характеристик сучасних технічних об'єктів широко використовуються спеціальне програмне забезпечення – системи інженерного аналізу. Їх використання дозволяє замінити вартісний натурний експеримент серією віртуальних комп'ютерних випробувань. При цьому системи (у загальному випадку) диференціальних рівнянь у частинних похідних, що моделюють експеримент, розв'язуються за допомогою чисельних методів. Одним з найбільш поширених чисельних методів у практиці інженерного аналізу є метод скінченних елементів. Він потребує заміни вихідної неперервної області скінченною множиною елементів простої форми, для чого спочатку описується форма області, що досліджується, а потім генерується відповідна дискретна модель.

Одним з найбільш універсальних методів подання геометричних об'єктів у системах інженерного аналізу є функціональний підхід [1-2], який дозволяє описувати моделі з використанням логічних операції над неявними функціями. Проте неявність та (зазвичай) значна складність підсумкових функцій, що відповідають геометрії об'єкта, унеможливлюють пряму генерацію системи точок і зв'язків між ними (елементів). У результаті актуальною є проблема генерації дискретних моделей функціонально поданих геометричних об'єктів.

## II. Аналіз стану проблеми

Сучасні методи генерації дискретних моделей геометричних об'єктів за формою елемента поділяються на два класи: 1 – методи генерації трикутних і

Робота виконана у межах держбюджетної теми «Розробка математичного забезпечення для інженерного аналізу об'єктів аерокосмічної техніки на базі хмарних технологій», № держреєстрації 0117U007204.

тетраедричних елементів (топологічні симплекси), 2 – методи генерації чотирикутних і шестигранних елементів (топологічні кубики).

Сьогодні достатньо розвинутими є методи генерації тріангуляції Делоне для вихідної множини точок на площині, детальний огляд яких можна знайти у [3]. Розроблено як простіші інкрементальні алгоритми, які додають вузли у модель по одному, так і найшвидші, які засновані на принципі «розділяй і володарюй». Заміною процедури перевірки умови Делоне вони відносно легко узагальнюються на тривимірний випадок [4].

Також розроблено підходи та методи генерації тріангуляції Делоне для областей, які представлені багатокутниками або планарними графами. У цій групі методів найбільше поширення отримали модифікації методів Чеу (L. Chew) [5] і Рапперта (J. Ruppert) [6], які поліпшують характеристики дискретної моделі, отриманої для вихідної області на базі критерія Делоне. Їх узагальненням для тривимірного простору є методи побудови покриття тетраедрами області, обмеженої плоскими гранями [7-9]. Основою таких методів, за звичай, є ітераційне додавання нового вузла для локального поліпшення геометричних характеристик дискретної моделі. Новий вузол може додаватися у дискретну модель для усунення елемента з невідповідною якістю в центр описаної окружності для трикутника (описаної сфери для тетраедра), або в його центр мас. Також у деяких роботах використовують розбиття Воронова як допоміжне [10-11].

Фронтальні методи засновано на ідеї пошарового заповнення деякої області елементами. Вихідною інформацією для них є дискретна модель границі області, що утворює початковий фронт. Рух фронту формує шари елементів доти область не буде заповнена повністю. Фронтальні методи запропоновано для генерації моделей об’єктів: плоских на базі трикутників [12], тривимірних на базі тетраедрів [13].

Для чотирикутних і шестигранних елементів також розроблено прямі та непрямі фронтальні методи. Подібно до симплексів прямі фронтальні методи для чотирикутників [14] і шестигранників [15] будують модель шар за шаром безпосередньо в середині області. Непрямі фронтальні методи засновано на ідеї пошарової конвертації моделі на базі симплексів у чотирикутники [16] або шестигранники [17].

Техніка просторового згину континуума (the Spatial Twist Continuum) дозволяє автоматично генерувати дискретні моделі як чотирикутних, так і шестигранних елементів [18-19]. В основу цієї техніки покладено двоїсте STC- подання, яке на практиці використовують для аналізу якості моделей.

Методи суперпозиції використовують деяку базову стратегію при генерації дискретних моделей на базі чотирикутників або шестигранників. Алгоритми цього виду, зазвичай, використовують фонову сітку як вихідну. Далі вихідну модель адаптують до меж об’єкта. Необхідно зазначити, що ключовим кроком таких методів є генерація елементів біля межі об’єкта, також їх практична реалізація достатньо складна [20].

Отже, аналіз сучасного стану проблеми генерації дискретних моделей дозволяє зробити висновок про різноманітність базових ідей розроблених методів і підходів. Їх практична реалізація для елементів різної форми потребує виконання різних алгоритмічних операцій. Хоча й існують схожі групи методів (наприклад, фронтальні), проте, для трикутників і чотирикутників вони використовують принципово різні геометричні і топологічні операції. Наприклад, поширена для симплексів техніка додавання нового вузла у модель не може застосовуватись для чотирикутників або шестигранників. У результаті програмні реалізації підсистем генерації дискретних моделей значно ускладняється, а їх використання часто порівнюється з «чорною скринею».

## III. Мета дослідження

Метою дослідження є розробка підходу до генерації дискретних моделей геометричних об’єктів, заданих функціонально, який буде незалежним від форми елементів.

## IV. Функціональний підхід до подання геометричних об’єктів

Базова ідея функціонального підходу полягає у використанні неявних функцій для подання форми об’єктів. Наприклад, функція

$$circle(x,y,r) = 1 - \frac{x^2 + y^2}{r^2}, r > 0,$$

більша нуля у середині кола радіуса $r$ з центром у початку координат. Для більш складних областей відповідні неявні функції можна побудувати у конструктивній манері з використанням функцій, що відповідають теоретико-логічним операціям. Такими функціями є R-функції [1-2]. R-функції поєднані у системи, поширеною з яких є наступна

$$\begin{cases} \neg x \equiv -x, \\ x \wedge y \equiv x + y - \sqrt{x^2 + y^2}, \\ x \vee y \equiv x + y + \sqrt{x^2 + y^2}, \end{cases}$$

де $x$ і $y$ – значення неявних функцій, що відповідають областям, до яких застосовуються операції. Наприклад, диз’юнкція квадрату зі стороною 100 з двома колами радіуса 50, центри яких на середині бокових сторін, а також кон’юнкція з двома запереченнями для кіл радіусу 25, має вигляд рис. 1 і може бути представлена формулою

$$\begin{aligned} w_1(x,y) = \big[ & circle(x,y,50) \vee quad(x-50,y,100) \vee \\ & \vee circle(x-100,y,50) \big] \wedge \neg circle(x,y,25) \wedge \\ & \wedge \neg circle(x-100,y,25), \end{aligned} \quad (1)$$

де $quad(x,y,a)=\left(1-\frac{4x^2}{a^2}\right)\wedge\left(1-\frac{4y^2}{a^2}\right)$ – функція, що відповідає квадрату зі стороною $a$ і центром на початку координат.

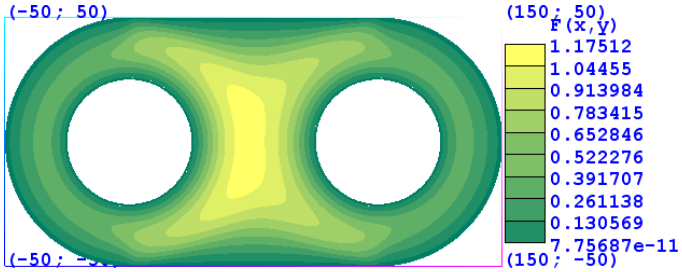



Рис. 7. Розподіл значень функції (1) у середині області

Аналогічно у тривимірному випадку функція, що відповідає геометричному об'єкту, наведеному на рис. 2, може бути задана формулою

$$w_2(x,y,z)=cube(x,y,z,2)\wedge$$
$$\wedge\neg circle(x,y,0.5)\wedge\neg circle(y,z,0.5)\wedge$$
$$\wedge\neg circle(z,x,0.5)\wedge sphere(x,y,z,1.3),$$

де $cube(x,y,z,a)=\left(1-\frac{4x^2}{a^2}\right)\wedge\left(1-\frac{4y^2}{a^2}\right)\wedge\left(1-\frac{4z^2}{a^2}\right)$ – функція, яка відповідає кубу зі стороною $a$; $sphere(x,y,z,r)=1-\frac{x^2+y^2+z^2}{r^2}$ – функція, яка відповідає області, що обмежена сферою радіусу $r$.

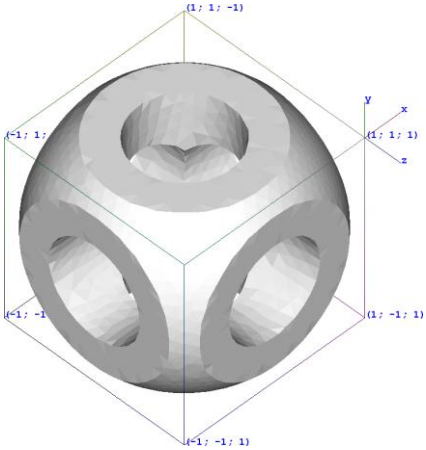


Рис. 8. Геометричний об'єкт, заданий формулою (2)

## V. Підхід до генерації дисрктених моделей

Нехай дана функція $F$, яка відповідає деякому геометричному об'єкту, та для області, що повністю включає цій об'єкт, побудовано початкову дискретну модель $B$ на базі елементів необхідної форми. У такому випадку для генерації дискретної моделі геометричного об'єкта можна скористатися наступним алгоритмом.

1. З дискретної моделі $B$ видалити всі вузли, а також інцидентні елементи, у яких функція $F$ менша нуля.
2. Для кожного граничного вузла моделі $B$ обчислити напрям пошуку як середнє арифметичне нормалей до суміжних у цьому вузлі граней.
3. Для кожного граничного вузла моделі $B$ знайти проекцію на межу геометричного об'єкта як перетин променю з цього вузла у напрямі його нормалі.
4. Для кожної граничної грані елементів моделі $B$ сформувати елементи, що розбивають площину або об'єм між цією гранню та її проекцією на межі. Сформовані елементи вставити у модель $B$.
5. Кожен внутрішній вузол моделі $B$ перемістити у центр мас фігури, утвореної суміжними з ним вузлами. Застосувати специфічні для елементів локальні перетворення.

При виконані цього алгоритму на першому кроці буде сформовано образ вихідного геометричного об'єкта (рис. 3). Далі після знаходження проекцій граней на межу формуються межові елементи. У двовимірному випадку межові елементи будуть чотирикутниками, які розбиваються на трикутники, якщо вихідна модель базується на них, або залишаються не змінними. У тривимірному випадку межові елементи будуть призмами, які аналогічно розбиваються на тетраедри або шестигранники.

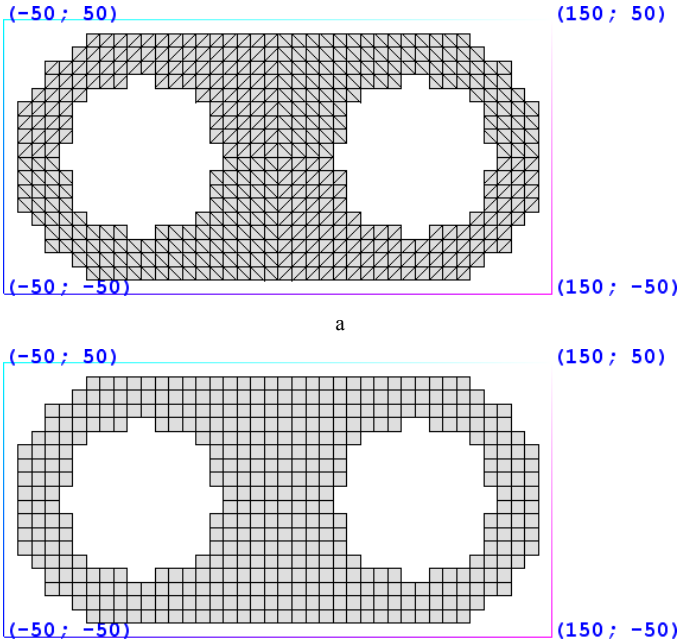
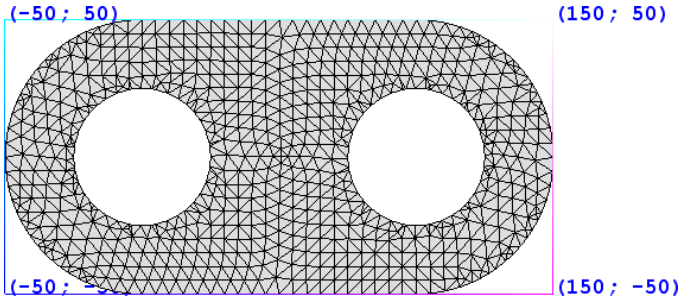
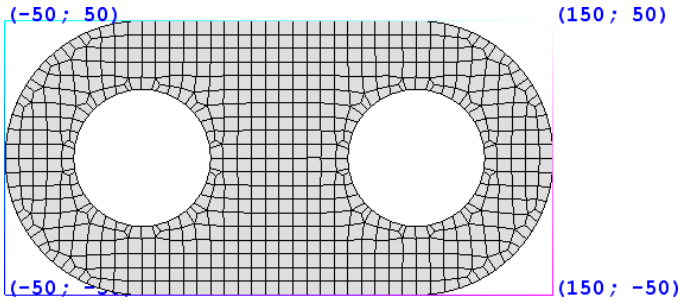



Рис. 9. Приклади виконання першого кроку алгоритму для області, заданій формулою (1), при рівномірній структурованій фоновій дискртеній моделі: а – трикутники, б – чотрикутники

П’ятий крок виконує функцію згладжування дискретної моделі та поліпшення її характеристик за рахунок локальних топологічних перетворень. Наприклад, для трикутників або тетраедрів можна виконувати операцію зміни діагоналі “flip”. У результаті отримується дискретна модель геометричного об’єкта з формою елементів, як і у вихідній моделі (рис. 4 і рис. 5).




а




б

Рис. 10.Приклади результатів алгоритму для області, заданій формулою (1): а – трикутники, б – чотирикутники

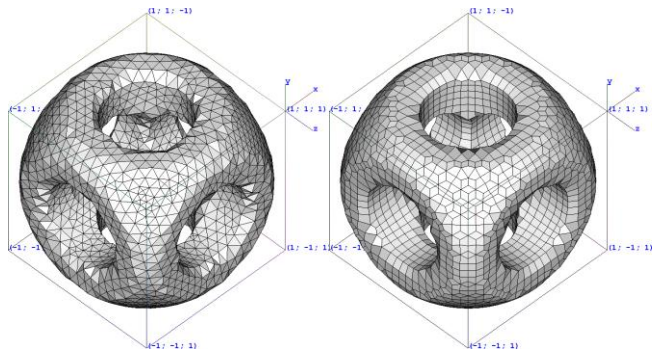


Рис. 11.Приклади результатів алгоритму для області, заданій формулою (2): а – тетрадри, б – шестигранники

Також можуть бути використані початкові дискретні моделі, що мають форму більш близьку до цільової. Наприклад, на рис. 6 наведено початкову дискретну модель, що згенеровано для циліндричної області, та результат роботи алгоритму для моделі «Пробка».

Необхідно зазначити, що в результаті роботи алгоритму, зазвичай, втрачаються деякі геометричні особливості об’єктів. Проте, отримані дискретні моделі можна розглядати як вихідні для відповідних методів оптимізації дискретних моделей [21].

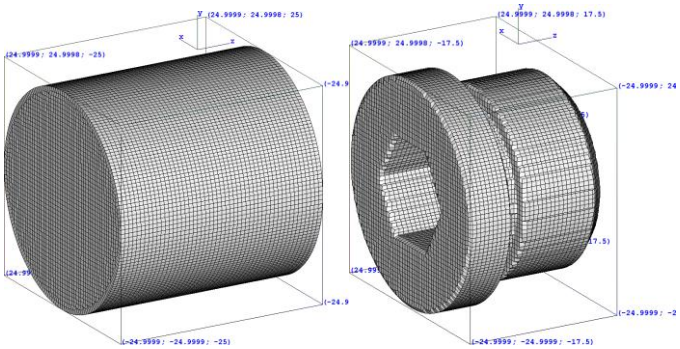


Рис. 12.Приклад роботи алгоритму при використанні дискретної моделі циліднра як фонової

Перевагою запропонованого алгоритму є його узагальненість, що дозволяє реалізацію у межах шаблону проектування «Стратегія». У такому випадку абстракція дискретної моделі є композицією вузлів та елементів (рис. 7). В інтерфейсі дискретної моделі визначаються абстрактні операції видалення та ітерування вузлів та елементів, а також операції перевірки чи є вони межовими.

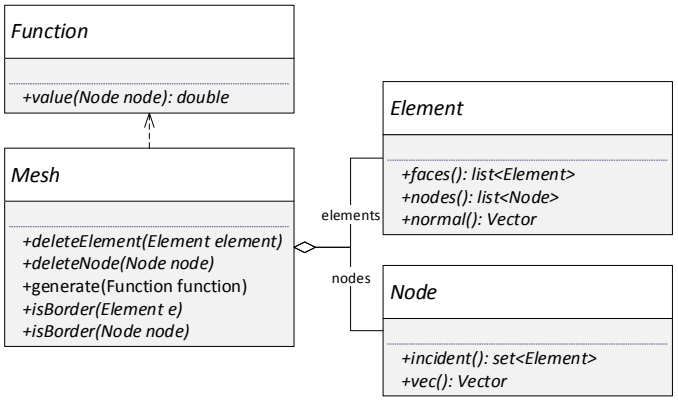



Рис. 13.Діаграма класів

Інтерфейс елементів визначає операції доступу до переліку власних вузлів, граней і обчислення нормалей. Необхідно зазначити, що у двовимірному випадку під гранню елемента можна вважати його ребро.

Інтерфейс вузлів визначає операції доступу до радіус-вектору та множини інцидентних елементів.

У результаті цикли обробки вузлів елементів можливо реалізувати на рівні базової абстракції дискретної моделі.

## VI. Висновки

Основним науковим результатом є новий узагальнений підхід до генерації дискретних моделей. Підхід дозволяє використовувати єдиний алгоритм для генерації двовимірних і тривимірних дискретних моделей на базі симплексів (трикутників і тетраедрів) або топологічних кубів (чотирикутників або шестигранників). У такому випадку можлива програмна реалізація запропонованого підходу на базі шаблону проектування «Стратегія», що дозволяє підвищити технологічність відповідних

програмних модулів при розробці систем інженерного аналізу.

## Література References


[1] К. В. Максименко-Шейко, R-функции в математическом моделировании геометрических объектов и физических полей: монография, Харьков: ИПМаш НАН Украины, 2009.

[2] Т. И. Шейко, К. В. Максименко-Шейко, Ю. С. Литвинова, Д. А. Лисин, «R-функции и шевронные поверхности в машиностроении», Проблемы машиностроения, т. 20, № 2. С. 54-60, 2017.

[3] P. Su, R. L. S. Drysdale, "A comparison of sequential Delaunay triangulation algorithms", *Computational Geometry*, vol. 7, iss. 5‑6, pp. 361-385, 1997.

[4] B. Joe, "Construction of three-dimensional improved-quality triangulations using local transformations", *SIAM Journal on Scientific Computing*, vol. 16, iss. 6, pp. 1192-1307, 1995.

[5] L. P. Chew, "Constrained Delaunay Triangulations", *Algorithmica*, vol. 4, iss. 1, pp. 97-108, 1989.

[6] J. Ruppert, "A Delaunay refinement algorithm for quality 2-dimensional mesh generation", *Journal of Algorithms*, vol. 18, iss. 3, pp. 548-585, 1995.

[7] S.-W. Cheng, T. K. Dey, J. R. Shewchuk, Delaunay mesh generation, Boca Raton, FL: CRC Press, 2013.

[8] D. Cohen-Steiner, É. C. de Verdière, M. Yvinec, "Conforming Delaunay triangulations in 3D", *Computational Geometry: Theory and Applications*, Vol. 28. pp. 217-233, 2004.

[9] C. Jamin, P. Alliez, M. Yvinec, J.‑D. Boissonnat, "CGALmesh: a generic framework for Delaunay mesh generation", *ACM Transactions on Mathematical Software*, vol. 1, no 1. pp. 1-26, 2014.

[10] Q. Du, D. Wang, "Recent progress in robust and quality Delaunay mesh generation", *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 195, iss. 1‑2, pp. 8-23, 2006.

[11] D.‑M. Yan, W. Wang, B. Lévy, Y. Liu, "Efficient computation of 3D clipped Voronoi diagram", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 6130, pp. 269-282, 2010.

[12] D. J. Mavriplis, "An advancing front Delaunay triangulation algorithm designed for robustness", *Journal of Computational Physics*, vol. 117, iss. 1, pp. 90-101, 1995.

[13] P. Frey, H. Borouchaki, P.-L. Geouge, "3D Delaunay mesh generation coupled with an advancing-front approach", *Computer methods in applied mechanics and engineering*, vol. 157, iss. 1, pp. 115-131, 1998.

[14] Y. Zhao, B. Yu, "A modified paving algorithm for quadrilateral mesh generation", *Kung Cheng Je Wu Li Hsueh Pao/Journal of Engineering Thermophysics*, vol. 34, iss. 4, pp. 728-732, 2013.

[15] M. L. Staten, S. J. Owen, T. D. Blacker, M. Supazzini, K. Shimada "Unconstrained plastering – hexahedral mesh generation via advancing-front geometry decomposition", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 81, iss. 2, pp. 135-171, 2010.

[16] S. J. Owen, M. L. Staten, S. A. Canann, S. Saigal, "Q-Morph: an indirect approach to advancing front quad meshing", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 44, iss. 9, pp. 1317-1340, 1999.

[17] S. J. Owen, S. Saigal, "H-Morph: an indirect approach to advancing front hex meshing", International Journal for Numerical Methods in Engineering, vol. 49, iss. 1-2, pp. 289-312, 2000.

[18] T. D. Blacker, S. A. Mitchell, T. J. Tautges, P. Murdoch, S. Benzley, "Forming and resolving wedges in the spatial twist continuum", *Engineering with Computers*, vol. 13, iss. 1, pp. 35-47, 1997.

[19] P. Murdoch, S. E. Benzley, T. D. Blacker, S. A. Mitchell, "The spatial twist continuum: a connectivity based method for representing all-hexahedral finite element meshes", *Finite Elements in Analysis and Design*, vol. 28, iss. 2, pp. 137-149, 1997.

[20] R. Schneiders, "Octree-based hexahedral mesh generation", *International Journal of Computational Geometry & Applications*, vol. 10, iss. 4, p. 383–398, 2000.

[21] S. Choporov, S. Homeniuk, S. Grebenyuk, "Optimized smoothing of discrete models of the implicitly defined geometrical objects' surfaces", *Eastern-Europian Journal of Enterprise technologies*, vol. 3/4, pp. 52-60, 2018.

# О Построении Параболической Сплайн-Регрессионной Модели

Александр Шумейко
кафедра программного обеспечения систем
Днепровский государственный технический университет
Каменское (Днепропетровская обл.), Украина
shumeiko_a@ukr.net

Анастасия Искандарова-Малая
кафедра программного обеспечения систем
Днепровский государственный технический университет
Каменское (Днепропетровская обл.), Украина
anastasia.iskandarova@gmail.com

# On the Construction of the Parabolic Spline-Regression Modeling

Oleksandr Shumeyko
Department of Software Systems
Dniprovsky State Technical University
Kamianske, Ukraine
shumeiko_a@ukr.net

Anastasiia Iskandarova-Mala
Department of Software Systems
Dniprovsky State Technical University
Kamianske, Ukraine
anastasia.iskandarova@gmail.com

***Аннотация*—Предложен метод построения параболических регрессионных сплайнов как для непрерывных, так и для дискретных данных. Сферой использования такого рода моделей является описание сложных процессов со случайными выбросами.**

***Abstract*— A method is proposed for constructing parabolic regression splines for continuous and discrete data. The sphere of use of such models is the description of complex processes with random emissions.**

***Ключевые слова— регрессия; сплайн; метод наименьших квадратов***

***Keywords— regression; spline; least square method***

## I. Введение

Сплайны широко используются для решения широкого спектра аппроксимационных задач, среди которых, естественно, лежат задачи построения регрессионных моделей.

В большинстве случаев для построения регрессионной сплайн-модели используется метод адаптивных регрессионных сплайнов (MARS), предложенный Jerome H. Friedman в 1991 (см. [1]). В основе этого метода лежит итерационное использование шарнирных функций. Как и любой непараметрический метод, MARS не дает гарантии правильного решения задачи построения регрессионной модели, при его использовании, требуется применение различных методов проверки. Существуют и другие подходы к приближенному решению этой задачи (см., например, [2]).

В данной работе приведено точное решение построения параболической сплайн регрессионной модели, включая получение оценки качества приближения исходных данных параболическим регрессионным сплайнов. Рассмотрено решение задачи построения регрессионной модели как для непрерывных так и для дискретных данных.

Вначале приведем необходимые определения. Сплайном порядка $r$ дефекта $k$ по произвольному разбиению $\Delta n=\{a=t0<t1<\ldots<tn-1<tn=b\}$ отрезка $[a,b]$ называется $(r-k)$ - раз непрерывно дифференцируемая на отрезке $[a,b]$ функция $sr,k(\Delta n,t)$, которая на каждом промежутке $(ti-1,ti)(i=0,1,\ldots,n)$ является алгебраическим многочленом степени не выше $r$ (см. [3]-[6]). Пусть $Sr,k(\Delta n)$ - множество всех полиномиальных сплайнов порядка $r$ дефекта $k$ по разбиению $\Delta n$.

Наиболее популярными как в математике, так и в ее приложениях, являются сплайны минимального дефекта $Sr(\Delta n)=Sr,1(\Delta n)$, т.е. сплайны $sr,k(\Delta n,t)$ при $k=1$. При этом практические потребности более чем на 90% удовлетворяются сплайнами первого, второго и третьего порядков. Распространённой задачей обработки данных является их описание (восстановление) некоторой функцией $y(x)$ из известного множества $Y$. Задача

регрессии заключается в получении параметров этой функции так, чтобы полученная функция приближала облако исходных точек с наименьшей среднеквадратичной погрешностью.

В случае непрерывных данных *x(t),t∈[a,b]* эта задача сводится к решению

$$\int_a^b \left(x(t)-y(t)\right)^2 dt \to min\{y : y \in Y\},$$

а в случае дискретных данных *(ti,xi),i=0,...,N* к задаче

$$\sum_{i=0}^{N} \left(x_i - y(t_i)\right)^2 \to min\{y : y \in Y\}.$$

На первый взгляд эти задачи совершенно разные, но замечая, что

$$x_i = x_i \int_E \delta(t-t_i)\,dt = \int_a^b \hat{x}(t)\delta(t-t_i)\,dt,$$

где δ(t)− дельта-функция Дирака, $E \subset [a,b]$ такое, что $t_i \in E$ а $\hat{x}(t)$ любая непрерывная на *[a,b]* функция, такая, что $\hat{x}(t_i) = x_i$, легко перейти от дискретной постановки задачи к непрерывной.

В рассматриваемом случае множеством функции регрессии *Y* будет множество параболических сплайнов минимального дефекта.

Сплайн $s_{2r-1}(x,\Delta_n) \in S_{2r-1,1}(\Delta_n)$ (то есть сплайн порядка *2r−1* минимального дефекта по разбиению *Δn*) называется интерполяционным, если он таков, что

$$s_{2r-1}(x,\Delta_n,t_i) = x_i \ (i = 0,1,...,n),$$

и выполняются граничные условия

$$s_{2r-1}^{(\nu)}(x,\Delta_n,t_i) = x^{(\nu)}(i)\left(i = a,b;\nu = 0,1,...,r-1\right),$$

или периодические граничные условия

$$s_{2r-1}^{(\nu)}(x,\Delta_n,a) = s_{2r-1}^{(\nu)}(x,\Delta_n,b)\left(\nu = 0,1,...,2r-2\right).$$

Интерполяционные сплайны являются очень популярным инструментом для описания данных, однако, если исходной информации много и она дана с ошибкой, то применение интерполяционных сплайнов не эффективно. В таком случае используют регрессионные модели, то есть, аппроксимационные аппараты, наилучшим образом восстанавливающие данные методом наименьших квадратов.

## II. Построение параболического регрессионного сплайна по произвольной решетке

Вначале рассмотрим построение регрессионного сплайна для интегрируемой на [*a*,*b*] функции *x*(*t*), то есть для фиксированного разбиения Δn найдем решение задачи

$$\min\left\{\int_a^b \left(x(t)-\ell(t)\right)^2 dt \,\middle|\, \ell(t) \in S_2(\Delta_n)\right\}$$

В соответствии с теоремой Холлидея (см. [3] стр.155) для $f \in C^r, r = 1,2,...$ имеет место соотношение

$$min\left\{\int_a^b \left(f^{(r)}(t)-\ell^{(r)}(t)\right)^2 dt \,\middle|\, \ell(t) \in S_{2r-1}(\Delta_n)\right\} = \int_a^b \left(f^{(r)}(t) - s_{2r-1}^{(r)}(x,\Delta_n,t)\right)^2 dt,$$

таким образом,

$$min\left\{\int_a^b \left(x(t)-\ell(t)\right)^2 dt \,\middle|\, \ell(t) \in S_2(\Delta_n)\right\} = \int_a^b \left(X(t) - s_5^{(3)}(X,\Delta_n,t)\right)^2 dt \quad (3)$$

где *X*(*t*) третья первообразная *x*(*t*) такая, что *X''*(*a*)=0, *X'*(*a*)=0 и *X*(*a*)=0.

Таким образом, путь к решению поставленной задачи лежит через построение интерполяционного сплайна пятой степени.

Легко убедиться в том, что интерполяционный для функции *f*(*t*) сплайн пятой степени для $t \in [t_{i-1},t_i]$ имеет вид

$$s_5(x,\Delta_n,t) = f_{i-1}(1-\tau)^2(1+2\tau) + f_i\tau^2(3-2\tau) + m_{i-1}\tau(1-\tau)^2 h_{i-1/2} - m_i\tau^2(1-\tau)h_{i-1/2} +$$
$$+\tau^2(1-\tau)^2\begin{pmatrix}\left(0.5h_{i-1/2}^2(M_i - M_{i-1}) + 6(f_i - f_{i-1}) - 3(m_{i-1}+m_i)h_{i-1/2}\right)\tau + \\ +0.5M_{i-1}h_{i-1/2}^2 + 3(f_{i-1} - f_i) + (2m_{i-1}+m_i)h_{i-1/2}\end{pmatrix} \quad (4)$$

Здесь $\tau = \dfrac{t-t_{i-1}}{h_{i-1/2}}$, $h_{i-1/2}=t_i-t_{i-1}$, $f_i=f(t_i)$, $m_i=s'_5(t_i)$ и $M_i=s''_5(t_i)$.

Выпишем производные данного сплайна.

Первая производная будет иметь вид

$$s_5'(x,\Delta_n,t) = -2f_{i-1}(1-\tau)(1+2\tau)h_{i-1/2}^{-1} + 2f_{i-1}(1-\tau)^2 h_{i-1/2}^{-1} + 2f_i\tau(3-2\tau)h_{i-1/2}^{-1} - 2\frac{f_i\tau^2}{h_{i-1/2}} +$$
$$+m_{i-1}(1-\tau)^2 - 2m_{i-1}\tau(1-\tau) - 2m_i\tau(1-\tau) + m_i\tau^2 +$$
$$+2\tau(1-\tau)^2\begin{pmatrix}\left(0.5h_{i-1/2}^2(M_i - M_{i-1}) - 6f_{i-1} + 6f_i - 3(m_{i-1}+m_i)h_{i-1/2}\right)\tau + \\ +0.5M_{i-1}h_{i-1/2}^2 + 3f_{i-1} - 3f_i + (2m_{i-1}+m_i)h_{i-1/2}\end{pmatrix}h_{i-1/2}^{-1} -$$
$$-2\tau^2(1-\tau)\begin{pmatrix}\left(0.5h_{i-1/2}^2(M_i - M_{i-1}) - 6f_{i-1} + 6f_i - 3(m_{i-1}+m_i)h_{i-1/2}\right)\tau + \\ +0.5M_{i-1}h_{i-1/2}^2 + 3f_{i-1} - 3x_i + (2m_{i-1}+m_i)h_{i-1/2}\end{pmatrix}h_{i-1/2}^{-1} +$$
$$+\tau^2(1-\tau)^2\left(0.5h_{i-1/2}^2(M_i - M_{i-1}) - 6f_{i-1} + 6f_i - 3(m_{i-1}+m_i)h_{i-1/2}\right)h_{i-1/2}^{-1}$$

Упрощая, получаем

$$s_5'(x,\Delta_n,t) = \frac{1}{2h_{i-1/2}}\begin{pmatrix}-60f_{i-1} + 60f_i - 30h_{i-1/2}m_{i-1} + \\ +5h_{i-1/2}^2M_i - 5M_{i-1}h_{i-1/2}^2 - 30h_{i-1/2}m_i\end{pmatrix}\tau^4 +$$
$$+\frac{1}{2h_{i-1/2}}\left(-8h_{i-1/2}^2M_i + 64h_{i-1/2}m_{i-1} + 12M_{i-1}h_{i-1/2}^2 + 56h_{i-1/2}m_i + 120f_{i-1} - 120f_i\right)\tau^3 +$$
$$+\frac{1}{2h_{i-1/2}}\begin{pmatrix}-9M_{i-1}h_{i-1/2}^2 - 24h_{i-1/2}m_i - 60f_{i-1} - \\ -36m_{i-1}h_{i-1/2} + 3h_{i-1/2}^2M_i + 60f_i\end{pmatrix}\tau^2 + M_{i-1}h_{i-1/2}\tau + m_{i-1}$$

Вторая производная после упрощений будет равна

$$s_5^{(2)}(x,\Delta_n,t) = \frac{1}{h_{i-1/2}^2}\begin{pmatrix}-120f_{i-1} + 10h_{i-1/2}^2M_i + 120f_i - 10M_{i-1}h_{i-1/2}^2 - \\ -60h_{i-1/2}m_i - 60h_{i-1/2}m_{i-1}\end{pmatrix}\tau^3 +$$

$$+\frac{1}{h_{i-1/2}^2}\left(84h_{i-1/2}m_i-12h_{i-1/2}^2M_i+18M_{i-1}h_{i-1/2}^2+180f_{i-1}-180f_i+96h_{i-1/2}m_{i-1}\right)\tau^2+$$

$$+\frac{1}{h_{i-1/2}^2}\left(-9M_{i-1}h_{i-1/2}^2-24h_{i-1/2}m_i-60f_{i-1}-36m_{i-1}h_{i-1/2}+3h_{i-1/2}^2M_i+60f_i\right)\tau+M_{i-1}$$

Третья производная после несложных преобразований

$$s_5^{(3)}(x,\Delta_n,t)=\frac{3}{h_{i-1/2}^3}\left(\begin{matrix}-120f_{i-1}+10h_{i-1/2}^2M_i+120f_i-10M_{i-1}h_{i-1/2}^2-\\-60h_{i-1/2}m_i-60h_{i-1/2}m_{i-1}\end{matrix}\right)\tau^2+$$

$$+\frac{3}{h_{i-1/2}^3}\left(-8h_{i-1/2}{}^2M_i+64h_{i-1/2}m_{i-1}+12M_{i-1}h_{i-1/2}^2+56h_{i-1/2}m_i+120f_{i-1}-120f_i\right)\tau+$$

$$+\frac{3}{h_{i-1/2}^3}\left(-12m_{i-1}h_{i-1/2}-8h_{i-1/2}m_i-20f_{i-1}-3M_{i-1}h_{i-1/2}^2+20f_i+h_{i-1/2}^2M_i\right).$$

И, наконец, четвертая производная сплайна после преобразований будет иметь вид

$$s_5^{(4)}(x,\Delta_n,t)=\frac{12}{h_{i-1/2}^4}\left(-60f_{i-1}+60f_i-30h_{i-1/2}m_i-5M_{i-1}h_{i-1/2}^2-30h_{i-1/2}m_{i-1}+5h_{i-1/2}^2M_i\right)\tau+$$

$$+\frac{12}{h_{i-1/2}^4}\left(3M_{i-1}h_{i-1/2}^2+16h_{i-1/2}m_{i-1}-30f_i+30f_{i-1}+14h_{i-1/2}m_i-2h_{i-1/2}^2M_i\right).$$

Заметим, что

$$s_5^{(3)}(x,\Delta_n,t_i-0)=3\frac{-20f_{i-1}+20f_i-8h_{i-1/2}m_{i-1}-12h_{i-1/2}m_i+3h_{i-1/2}^2M_i-1M_{i-1}h_{i-1/2}^2}{h_{i-1/2}^3},$$

и

$$s_5^{(3)}(x,\Delta_n,t_i+0)=-3\frac{20f_i-20f_{i+1}+12h_{i+1/2}m_i+8h_{i+1/2}m_{i+1}+3M_ih_{i+1/2}^2-1M_{i+1}h_{i+1/2}^2}{h_{i+1/2}^3}$$

Тогда условие непрерывности третьей производной сплайна в точке $t_i$ : $s_5^{(3)}(x,\Delta_n,t_i+0)=s_5^{(3)}(x,\Delta_n,t_i-0)$ будет равно

$$3\frac{-20f_{i-1}+20f_i-8h_{i-1/2}m_{i-1}-12h_{i-1/2}m_i+3h_{i-1/2}^2M_i-1M_{i-1}h_{i-1/2}^2}{h_{i-1/2}^3}=$$

$$=-3\frac{20f_i-20f_{i+1}+12h_{i+1/2}m_i+8h_{i+1/2}m_{i+1}+3M_ih_{i+1/2}^2-1M_{i+1}h_{i+1/2}^2}{h_{i+1/2}^3}$$

Отсюда, условие непрерывности третьей производной будет

$$M_{i-1}\frac{1}{h_{i-1/2}}-3M_i\left(\frac{1}{h_{i-1/2}}+\frac{1}{h_{i+1/2}}\right)+M_{i+1}\frac{1}{h_{i+1/2}}+8m_{i-1}\frac{1}{h_{i-1/2}^2}+$$

$$+12m_i\left(\frac{1}{h_{i-1/2}^2}-\frac{1}{h_{i+1/2}^2}\right)-8m_{i+1}\frac{1}{h_{i+1/2}^2}=$$

$$=-20f_{i-1}\frac{1}{h_{i-1/2}^3}+20f_i\left(\frac{1}{h_{i-1/2}^3}+\frac{1}{h_{i+1/2}^3}\right)-20f_{i+1}\frac{1}{h_{i+1/2}^3},(i=1,...,n-1). \quad (5)$$

Условие непрерывности четвертой производной будет в узле $t_i$: $s_5^{(4)}(x,\Delta_n,t_i+0)=s_5^{(4)}(x,\Delta_n,t_i-0)$

$$12\frac{3h_{i-1/2}^2M_i-30f_{i-1}+30f_i-14h_{i-1/2}m_{i-1}-16h_{i-1/2}m_i-2M_{i-1}h_{i-1/2}^2}{h_{i-1/2}^4}=$$

$$=12\frac{3M_ih_{i+1/2}^2+30f_i-30f_{i+1}+16h_{i+1/2}m_i+14h_{i+1/2}m_{i+1}-2M_{i+1}h_{i+1/2}^2}{h_{i+1/2}^4}$$

Отсюда получаем условие непрерывности четвертой производной сплайна

$$2M_{i-1}\frac{1}{h_{i-1/2}^2}-3M_i\left(\frac{1}{h_{i-1/2}^2}-\frac{1}{h_{i+1/2}^2}\right)-2M_{i+1}\frac{1}{h_{i+1/2}^2}+$$

$$+14m_{i-1}\frac{1}{h_{i-1/2}^3}+16m_i\left(\frac{1}{h_{i-1/2}^3}+\frac{1}{h_{i+1/2}^3}\right)+14m_{i+1}\frac{1}{h_{i+1/2}^3}=$$

$$=-30f_{i-1}\frac{1}{h_{i-1/2}^4}+30f_i\left(\frac{1}{h_{i-1/2}^4}-\frac{1}{h_{i+1/2}^4}\right)+30f_{i+1}\frac{1}{h_{i+1/2}^4},(i=1,...,n-1). \quad (6)$$

Решая систему линейных уравнений (5) и (6), находим значения $M_i$ и $m_i$ $i=1,...,n-1$, которые позволяют получить сплайн (4).

Подведем итог.

Таким образом, если $X(t)$ третья первообразная $x(t)$ такая, что $X''(a)=0$, $X'(a)=0$ и $X(a)=0$, то для фиксированного разбиения $\Delta n=\{a=t_0<t_1<...<t_{n-1}<t_n=b\}$ и множества $\{X_i\}_{i=0}^n$, где $X_i=X(t_i)$, параболический регрессионный сплайн ( третья производная (3) интерполяционного сплайна пятой степени $s_5(X,\Delta_n))$ для $t\in[t_{i-1},t_i]$ будет иметь вид

$$\tilde{s}_2(x,\Delta_n,t)=30\frac{\left(12(X_i-X_{i-1})-6h_{i-1/2}(m_{i-1}+m_i)+h_{i-1/2}^2(M_i-M_{i-1})\right)\tau^2}{h_{i-1/2}^3}+$$

$$+12\frac{\left(-30(X_i-X_{i-1})+16h_{i-1/2}m_{i-1}+14h_{i-1/2}m_i-2h_{i-1/2}^2M_i+3M_{i-1}h_{i-1/2}^2\right)\tau}{h_{i-1/2}^3}+$$

$$+3\frac{20(X_i-X_{i-1})-8m_ih_{i-1/2}-12m_{i-1}h_{i-1/2}+h_{i-1/2}^2M_i-3M_{i-1}h_{i-1/2}^2}{h_{i-1/2}^3}$$

## III. Построение параболического регрессионного сплайна по равноотстоящим узлам

Мы рассмотрели построение параболического регрессионного сплайна для произвольного разбиения, но, как правило, при отсутствии априорной информации о структуре разбиения, используют сплайны с узлами по равномерной решетке, то есть, по разбиению $\bar{\Delta}_n=\{a+ih\}_{i=0}^{n-1}$, где $h=\frac{b-a}{n}$ и, соответственно, $t_i=a+ih, i=0,...,n$.

Для такого случая рассмотрим использование B-сплайнов (см.[4]-[6]).

Обозначим

$$B_{0,h}(t)=\begin{cases}1\ (|t|<h/2),\\0\ \ (|t|\geq h/2).\end{cases}$$

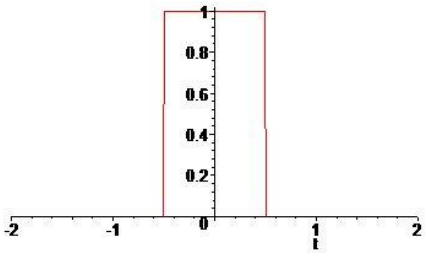



Рис. 1 B-сплайн $B_{0,h}(t)$.

Функцию $B_{r,h}(t)$ введем с помощью рекуррентных соотношений

$$B_{r,h}(t)=\frac{1}{h}\int_{t-h/2}^{t+h/2}B_{r-1,h}(t)dt \quad (r=1,2,\ldots).$$

Эту функцию назовем нормализованным В-сплайном по равномерному разбиению или просто В-сплайном.

Прежде всего отметим, что В-сплайн порядка $r$ имеет в качестве носителя (замыкание множества, где он отличен от нуля) промежуток $d_r=\left[-\frac{r+1}{2}h,\frac{r+1}{2}h\right]$, т.е. $B_{r,h}(t)\neq 0$ внутри отрезка $d_r$.

Другим важным свойством В-сплайнов является тот факт, что $\sum_{i=-\infty}^{\infty}B_{2r-1,h}(t-ih)=1$ и $\sum_{i=-\infty}^{\infty}B_{2r,h}\left(t-(2i+1)\frac{h}{2}\right)=1$.

Более того, для любого набора $c_i$ линейная комбинация В-сплайнов $\sum_{i=-\infty}^{\infty}c_iB_{r,h}(t-ih)$ является сплайном порядка $r$ минимального дефекта по разбиению $\{ih\}$.

Как было показано ранее, для построения параболического регрессионного сплайна нужно построить сплайн пятой степени минимального дефекта, который интерполирует значения $X_i=X(a+ih)$, где $X(t)$ третья первообразная $x(t)$ такая, что $X''(a)=0$, $X'(a)=0$ и $X(a)=0$.

Любой $s_5(\bar{\Delta}_n,t)\in S_{5,1}(\overline{\Delta_n})$ можно записать в виде

$$s_5(\bar{\Delta}_n,t)=\sum_{i=-2}^{n+2}c_iB_{5,h}\left(t-a-ih\right),$$

где

$$B_{5,1}(t)=\begin{cases}0, t<-3\\ \frac{1}{120}(t+3)^5, t\in[-3,-2]\\ \frac{17}{40}-\frac{5}{8}t-\frac{7}{4}t^2-\frac{5}{4}t^3-\frac{3}{8}t^4-\frac{1}{24}t^5, t\in[-2,-1]\\ \frac{11}{20}-\frac{1}{2}t^2+\frac{1}{4}t^4+\frac{1}{12}t^5, t\in[-1,0]\\ \frac{11}{20}-\frac{1}{2}t^2+\frac{1}{4}t^4-\frac{1}{12}t^5, t\in[0,1]\\ \frac{17}{40}+\frac{5}{8}t-\frac{7}{4}t^2+\frac{5}{4}t^3-\frac{3}{8}t^4+\frac{1}{24}t^5, t\in[1,2]\\ \frac{1}{120}(3-t)^5, t\in[2,3]\\ 0, t\geq 3\end{cases}$$

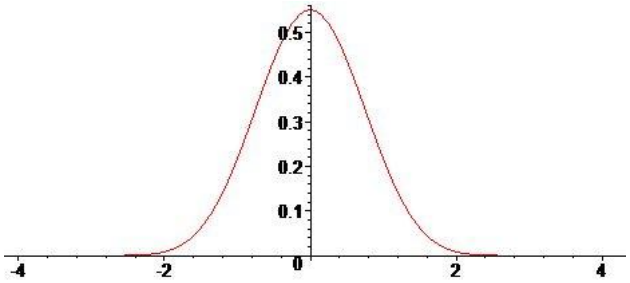



Рис. 2 В-сплайн $B_{5,h}(t)$.

При этом

$$s_5(\bar{\Delta}_n,a+ih)=\frac{11}{20}c_i+\frac{13}{60}(c_{i-1}+c_{i+1})+\frac{1}{120}(c_{i-2}+c_{i+2})=$$

$$=c_i-\frac{9}{20}c_i+\frac{13}{60}(c_{i-1}+c_{i+1})+\frac{1}{120}(c_{i-2}+c_{i+2})=$$

$$=c_i+\frac{1}{4}(c_{i-1}-2c_i+c_{i+1})+\frac{1}{120}(c_{i-2}-4c_{i-1}+6c_i-4c_{i+1}+c_{i+2})=$$

$$=c_i+\frac{1}{4}\Delta^2c_i+\frac{1}{120}\Delta^4c_i.$$

Пусть $f_i=f(a+ih)$, где $f(t)$ непрерывная на $[a,b]$ функция и положим

$$\bar{c}_i=f_i-\frac{1}{4}\Delta^2f_i-\frac{1}{120}\Delta^4f_i,$$

тогда

$$s_5(\{\bar{c}_i\}_{i=-2}^{n+2},\bar{\Delta}_n,a+ih)=\bar{c}_i+\frac{1}{4}\Delta^2\bar{c}_i+\frac{1}{120}\Delta^4\bar{c}_i=$$

$$=f_i-\frac{1}{4}\Delta^2f_i-\frac{1}{120}\Delta^4f_i+\frac{1}{4}\Delta^2\left(f_i-\frac{1}{4}\Delta^2f_i-\frac{1}{120}\Delta^4f_i\right)+\frac{1}{120}\Delta^4\left(f_i-\frac{1}{4}\Delta^2f_i-\frac{1}{120}\Delta^4f_i\right)=$$

$$=f_i-\frac{1}{4}\Delta^2f_i-\frac{1}{120}\Delta^4f_i+\frac{1}{4}\Delta^2f_i-\frac{1}{16}\Delta^4f_i-\frac{1}{480}\Delta^6f_i+\frac{1}{120}\Delta^4f_i-\frac{1}{480}\Delta^6f_i-\frac{1}{14400}\Delta^8f_i=$$

$$=f_i-\frac{1}{16}\Delta^4f_i-\frac{1}{14400}\Delta^8f_i. \qquad (7)$$

Замечая, что если функция $f(t)$ имеет не менее чем четыре непрерывных производных, то $max_i|\Delta^4f_i|=O(h^4)$, получаем, что

$$s_5(\{\bar{c}_i\}_{i=-2}^{n+2},\bar{\Delta}_n,a+ih)=f_i+O(h^4).$$

Но если, с учетом (7), сделаем поправку

$$\bar{c}_i=f_i-\frac{1}{4}\Delta^2f_i-\frac{1}{120}\Delta^4f_i+\frac{1}{16}\Delta^4f_i=f_i-\frac{1}{4}\Delta^2f_i+\frac{13}{240}\Delta^4f_i,$$

то

$$s_5(\{\bar{c}_i\}_{i=-2}^{n+2},\bar{\Delta}_n,a+ih)=\bar{c}_i+\frac{1}{4}\Delta^2\bar{c}_i+\frac{1}{120}\Delta^4\bar{c}_i=$$

$$=f_i+\frac{11}{960}\Delta^6f_i-\frac{13}{28800}\Delta^8f_i.$$

Учитывая, что для $f \in C^6$

$$s_{5,1}(f, \bar{\Delta}_n, t) = f(t) + O(h^6),$$

Сплайн $s_5(\{\bar{c}_i\}_{i=-2}^{n+2}, \bar{\Delta}_n, t)$ будет "почти" интерполяционный.

Учитывая, что исходные данные, как правило, заданы с ошибкой, то использование "почти" интерполяционных сплайнов имеет перед интерполяционными ряд преимуществ, во-первых, для их построения не нужно решать систему уравнений (5) и (6). А, во вторых, "почти" интерполяционные сплайны обладают свойством сглаживания, чем уменьшают случайную ошибку.

Для решения регрессионной задачи достаточно найти третью производную B-сплайна пятой степени

$$B_{5,1}^{(3)}(t) = \begin{cases} 0, t < -3, \\ \frac{1}{2}(t+3)^2, t \in [-3,-2], \\ -\frac{15}{2} - 9t - \frac{5}{2}t^2, t \in [-2,-1], \\ 6t + 5t^2, t \in [-1,0], \\ 6t - 5t^2, t \in [0,1], \\ \frac{15}{2} - 9t + \frac{5}{2}t^2, t \in [1,2], \\ -\frac{1}{2}(t-3)^2, t \in [2,3], \\ 0, t > 3 \end{cases}$$

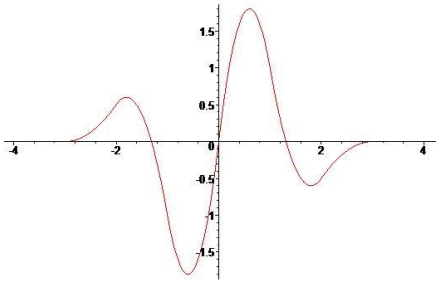


Рис. 3 B-сплайн $B_{5,h}^{(3)}(t)$.

Таким образом, если $X(t)$ третья первообразная $x(t)$ такая, что $X''(a)=0$, $X'(a)=0$ и $X(a)=0$, то для фиксированного разбиения $\bar{\Delta}_n = \{a+ih\}_{i=0}^{n-1}$ и множества $\{X_i\}_{i=0}^{n}$, где $X_i=X(t_i)$, параболический "почти" регрессионный сплайн (третья производная "почти" интерполяционного сплайна пятой степени $s_5(\{\bar{c}_i\}_{i=-2}^{n+2}, \bar{\Delta}_n, t)$) будет иметь вид

$$\bar{s}_2(x, \bar{\Delta}_n, t) = \sum_{i=-2}^{n+2} \left( X_i - \frac{1}{4}\Delta^2 X_i + \frac{13}{240}\Delta^4 X_i \right) B_{5,h}^{(3)}(t - a - ih).$$

Полученное решение не является точным, как было получено ранее, но более технологично.

В качестве примера приведем описание IRT функции тестирования по дисциплине «Менеджмент» на рисунках 4-6.

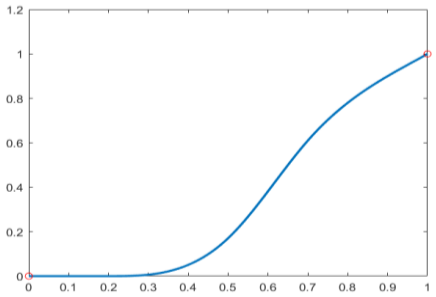


Рис. 4 Описание IRT функции тестирования параболическим сплайном

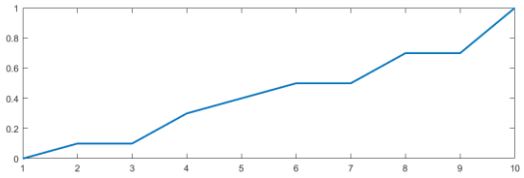


Рис. 5 Первая производная сплайна

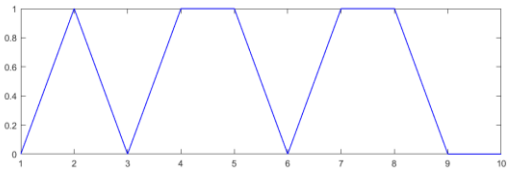


Рис. 6 Вторая производная сплайна

## IV. Вывод

Использование аппроксимационных моделей на основе параболических регрессионных сплайнов, позволяет получить качественное описание исходных данных. Сферой использования такого рода моделей является описание сложных процессов со случайными выбросами.

## Литература References


[1] Friedman J. Multivariate Adaptive Regression Splines / J.Friedman // Ann. Statist. .— 1991 .— №Volume 19, Number 1 .— С.1-67 .— Режим доступу: https://projecteuclid.org/ euclid.aos/ 1176347963

[2] Whitney Griggs. Penalized Spline Regression and its Applications [Електронний ресурс] / Whitney Griggs. // Whitman College .— 2013 .— Режим доступу: https://www.whitman.edu/Documents/ Academics/Mathematics/Griggs.pdf

[3] Ahlberg H. The Theory of Splines and Their Applications / H.Ahlberg, E.Nilson, J.L.Walsh .— Academic Press, 1967 .— 296 p.

[4] Ligun AA Asymptotic methods for recovery the curves / AA Ligun, AA Shumeiko .- K .: Institute of Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 1997 .- 358 p.

[5] Zavyalov Yu.S. Methods of spline functions / Yu.S. Zavyalov, BI Kvasov, VLMiroshnichenko .- Moscow: Nauka, 1980, 350 p.

[6] Boor C. A Practical Guide to Splines / Carl de Boor .— New York: Springer-Verlag, 1978 .— 348 p.

## Секція 3

## Інформаційні ресурсозберігаючі, екологічно безпечні технології. Геоінформаційні системи та технології

## Section 3

## Information resource-saving, friendly environmental technologies. Geo-information systems and technologies

# Stochastic Model and Method of Optimizing the Operating Modes of a Water Network with Hidden Leaks

Andrew Tevyashev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
tad45ua@gmail.com

Olga Matviyenko
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
olga_mat@ukr.net

Glib Nikitenko
deputy director
Department of Information
Technology Municipal Enterprise
«KharkivVodokanal»
Kharkiv, Ukraine
gvnikitenko@gmail.com

# Стохастична Модель та Метод Оптимізації Режимів Роботи Водопровідної Мережі із Прихованими Витоками

Андрій Тевяшев
завідувач кафедри прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
tad45ua@gmail.com

Ольга Матвієнко
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
olga_mat@ukr.net

Гліб Нікітенко
заступник директора департамента інформаційних технологій
Комунальне підприємство «Харківводоканал»
Харків, Україна
gvnikitenko@gmail.com

***Abstract*—This paper is devoted to the development of a stochastic model and a method for optimizing the operating modes of a water supply network with leaks.**

***Анотація*—Дана робота присвячена розробці стохастичної моделі та методу оптимізації режимів роботи водопровідної мережі з витоками.**

***Keywords—water supply network; leaks; optimization; stochastic model***

***Ключові слова—водопровідна мережа; витоки; оптимізація; стохастична модель***

One of the most acute problems in water supply systems is the leakage of water from damaged pipelines and stop valves due to their wear. The most part of leakage are hidden leaks that do not reach the surface of the earth. Fistulas, cracks and minor defects in the pipeline are difficult to identify and even harder to repair without major repairs.

Except water loss, leaks often destroy underground utilities, cause failures of bridge and pavement covers, undermining of building foundations, erosion of cable networks, subsidence of tramways, etc., which often leads to accidents and, in their turn, require costs to repair damage; the electricity costs are increasing to compensate consumers the undelivered volume of water and reagents for its purification.

Another negative effect of the leakage is the drop in pressure in the water supply system. Forced increase in pressure in the pipeline to compensate such losses entails the increase of the electricity consumption. At the same time, the increase in pressure only increases the leakage.

All existing water supply networks have unidentified and irreparable leaks, therefore, the methods of hydraulic calculation of WS are not adequate, since the flow rate is the function of pressure [1].

In mathematical modeling of water supply networks (WS), the difficulties arise due to the huge dimension of real WS, limited information resources and operational data, which does not allow to assess the parameters of the technical equipment and the structure of the WS quite adequately [2].

The real WS is determined by the graph which reflects its structure.

Examine the WS, which operates with $N$ PS. To represent the structure of the WS in the form of the orgraph $G(V,E)$, where $V$ is the set of vertexes, $E$ is the set of arcs ($e$=Card($E$), $v$=Card($V$), the real WS is added by the zero vertex and fictitious chords connecting the zero vertex with all the inputs and outputs of the network. For the mathematical formulation of the problem, the following WS coding is performed: the tree of the graph is chosen in such a way that the dummy network sections become the chords. Herewith the actual sections become the chords partly, and partly the branches of the tree. The branches of the tree with the pump has number 1, the rest of the branches – from 2 to $v$-1, the chords of the real sections – from v to $v+\eta_2-1$, dummy ones with given node costs – from $v+\eta_2$ to $v+\eta_2+\xi_1-1$, dummy ones with given pressure – from $v+\eta_2+\xi_1$ to $e$, where $\eta_2$ is the number of chords of the real sections, $\xi_1$ is the number of outputs with given nodal costs.

The stochastic model of quasi-stationary modes of operation of the WS has the form [3]:

$$\Omega: \underset{\omega}{M}\left(sgn\, q_r(\omega) S_r(q_i(\omega)) q_r^2(\omega) + \sum_{i=1}^{v-1} b_{1ri}\, sgn\, q_i(\omega) S_i(q_i(\omega)) q_i^2(\omega)\right) = 0,$$
$$(r = v,\ldots, v+\eta_2-1), \quad (1)$$

$$\underset{\omega}{M}\left(h_r^c(\omega) - h_{NS1}(\omega) + \sum_{i=1}^{v-1} b_{1ri}(sgn\, q_i(\omega) S_i(q_i(\omega)) q_i^2(\omega) + h_i^g)\right) = 0,$$
$$(r = v+\eta_2,\ldots, v+\eta_2+\xi_1-1), \quad (2)$$

$$\underset{\omega}{M}\left(sgn\, q_r(\omega) S_r\ (q_i(\omega)) q_r^2(\omega) + h_r^g - h_{NSn}(\omega) + h_{NS1}(\omega) + \sum_{i\in M_1} b_{1ri}\left(sgn q_i(\omega) S_i(q_i(\omega)) q_i^2(\omega) + h_i^g\right)\right) = 0,$$
$$(r = v+\eta_2+\xi_1,\ldots, e;\quad n = 1,\ldots, N), \quad (3)$$

$$\underset{\omega}{M}(q_i(\omega)) = \underset{\omega}{M}\left(\sum_{r=v}^{v+\eta_2-1} b_{1ri} q_r(\omega) + \sum_{r=v+\eta_2}^{e} b_{1ri} q_r(\omega)\right),$$
$$(i = 1,\ldots, v-1), \quad (4)$$

$$P\left(h_i^c(\omega) \ge h_i^+\right) \ge \alpha, \quad (\alpha \cong 1),$$
$$i = (v+\eta_2,\ldots,\ v+\eta_2+\xi_1-1), \quad (5)$$

$$P\left(q_i(\omega) > 0\right) \cong \beta, \quad (\beta \cong 1), \quad i \in N, \quad (6)$$

where random variables characterize: $q_i(\omega)$ – water flow in the $i$-th section of the pipeline; $h_r^c(\omega)$ – free pressure in the $r$-th node of the WS ($r = v+\eta_2,\ldots, v+\eta_2+\xi_1-1$); $h_r^+$ – the minimum allowable pressure in the $r$-th node of the WS; $S_i(q_i(\omega))$ – value of the hydraulic resistance of the $i$-th pipeline section ($i \in M$); $h_i^g$ – geodetic mark of the $i$-th section of the pipeline ($i \in M$); $b_{1ri}$ – element of the cyclomatic matrix; $h_{NSn}(\omega)$ – pressure at the exit of the $n$-th PS.

In real WS it is almost impossible to carry out operational control of its parameters in all the vertexes and arcs of the graph of the network due to the physical limitations of the means of remote monitoring and control. Therefore, we will control the regime parameters only at the dictating points of the WS, which will be the vertexes of the graph of the equivalent model of the WS. As the dictating points, we will take several nodes of the WS, in which there is maximum excess pressure.

The parameters of the quasi-stationary operating modes of the equivalent water supply network (EWS) must coincide with the actual ones at the dictating points of the WS.

Consider the EWS, the structure of which is represented as an orgraph $G^*(V^*, E^*)$, where: $V^*$ is the set of vertexes (dictating points), $E^*$ is the set of arcs.

In the WS with leaks, the water flow depends on the pressure, i.e., the greater the pressure, the greater the amount of leakage, and therefore the water flow.

While optimizing of the operating modes of the water supply network with hidden leaks, the problem of constructing of the stochastic model of the quasi-stationary operation modes of the WS which includes the identification of the state, parameters and structure of the WS is solved [4].

The initial data for the construction of the stochastic model of the quasi-stationary modes of operation of EWS are:

- graph EWS;
- pressures in the nodes of the EWS (dictating points of the WS);
- costs and pressures at the outputs of PS.

Mathematical formulation of the problem of the construction of the adequate model of the EWS: it is to be minimized at the time interval [0, $T$] the sum of the squares of the deviations of the pressures in the nodes of the EWS and corresponding nodes of the initial WS, the sum of the squares of the deviations of the pressures and costs at the outputs of the pump stations for EWS and initial WS with the limitations $\Omega$.

The problem of the identification of the structure of EWS:

$$\underset{\omega}{M}\left(\sum_{j=v+\eta_2}^{v+\eta_2+\xi_1-1}\left(h_j^c(\omega) - h_j^{c*}(\omega)\right)^2 + \sum_{i=1}^{n}\left(h_{NSi}(\omega) - h_{NSi}^*(\omega)\right)^2 + \sum_{i=1}^{n}\left(q_{NSi}(\omega) - q_{NSi}^*(\omega)\right)^2\right) \to \min_{G(V,E)\in\Omega}, \quad (7)$$

where: $h_j^{c*}(\omega)$ – pressures in the nodes of EWS, $h_{NSi}^*(\omega)$, $q_{NSi}^*(\omega)$ – pressures and costs at the outputs of the pumping stations of the EWS.

The problem of the identification of the parameters of the EWS:

$$M_{\omega}\left(\sum_{j=\nu+\eta_2}^{\nu+\eta_2+\xi_1-1}\left(h_j^c(\omega)-h_j^{c*}(\omega)\right)^2+\sum_{i=1}^{n}\left(h_{NSi}(\omega)-h_{NSi}^*(\omega)\right)^2+\right.$$
$$\left.+\sum_{i=1}^{n}\left(q_{NSi}(\omega)-q_{NSi}^*(\omega)\right)^2\right)\to\min_{S_i^*\in E^*,\,E^*\in\Omega}. \quad (8)$$

The problem of the identification of the state of the EWS:

$$M_{\omega}\left(\sum_{j=\nu+\eta_2}^{\nu+\eta_2+\xi_1-1}\left(h_j^c(\omega)-h_j^{c*}(\omega)\right)^2+\sum_{i=1}^{n}\left(h_{NSi}(\omega)-h_{NSi}^*(\omega)\right)^2+\right.$$
$$\left.+\sum_{i=1}^{n}\left(q_{NSi}(\omega)-q_{NSi}^*(\omega)\right)^2\right)\to\min_{q_i\in V^*}, \quad (9)$$

where $q_i\in V^*$ – scores of end-consumers of water.

The problem (1) – (7) belongs to the class of nonlinear problems of stochastic programming of *M*-type with statistical (1) – (4) and probabilistic (5), (6) conditions.

The model (1) – (9) can be used for planning of the modes of operation of WS for twenty-four hours:

$$M_{\omega}\sum_{k=1}^{24}\left(M_{\omega}\left(\sum_{j=\nu+\eta_2}^{\nu+\eta_2+\xi_1-1}\left(h_j^c(\omega,k)-h_j^{c*}(\omega,k)\right)^2+\right.\right.$$
$$+\sum_{i=1}^{n}\left(h_{NSi}(\omega,k)-h_{NSi}^*(\omega,k)\right)^2+ \quad (10)$$
$$\left.\left.+\sum_{i=1}^{n}\left(q_{NSi}(\omega,k)-q_{NSi}^*(\omega)\right)^2\right)\right)\to\min_{\sum_{i=1}^{n}q_{NSi}\in\Omega}.$$

As a result of solving the problem of load distribution between the pumping stations for the WS with leaks, we obtain pressures and costs at the outputs of PS, at which electric power costs and the sum of the squares of the deviations of free pressures in the nodes of the EWS will be minimal.

The mathematical model of the problem of load distribution between the pumping stations for the WS with leaks is the following:

$$M_{\omega}\left(\lambda\sum_{i=1}^{n}\left(h_{NSi}(\omega)-h_{NSi}^*(\omega)\right)^2+\right.$$
$$\left.(1-\lambda)\sum_{i=1}^{n}\left(q_{NSi}(\omega)-q_{NSi}^*(\omega)\right)^2\right)\to\min, \quad (11)$$

$$\Omega: M_{\omega}\left(sgn\,q_r(\omega)S_r(q_i(\omega))q_r^2(\omega)+\right.$$
$$\left.+\sum_{i=1}^{\nu-1}b_{1ri}\,sgn\,q_i(\omega)S_i(q_i(\omega))q_i^2(\omega)\right)=0,$$
$$(r=\nu,\ldots,\nu+\eta_2-1), \quad (12)$$

$$M_{\omega}\left(h_r^c(\omega)-h_{NS1}(\omega)+\sum_{i=1}^{\nu-1}b_{1ri}(sgn\,q_i(\omega)S_i(q_i(\omega))q_i^2(\omega)+h_i^g)\right)=0,$$
$$(r=\nu+\eta_2,\ldots,\nu+\eta_2+\xi_1-1), \quad (13)$$

$$M_{\omega}\left(sgn\,q_r(\omega)S_r\ (q_i(\omega))q_r^2(\omega)+h_r^g-h_{NSn}(\omega)+\right.$$
$$\left.+h_{NS1}(\omega)+\sum_{i\in M_1}b_{1ri}\left(sgn\,q_i(\omega)S_i(q_i(\omega))q_i^2(\omega)+h_i^g\right)\right)=0,$$
$$(r=\nu+\eta_2+\xi_1,\ldots,e;\quad n=1,\ldots,N), \quad (14)$$

$$M_{\omega}(q_i(\omega))=M_{\omega}\left(\sum_{r=\nu}^{\nu+\eta_2-1}b_{1ri}q_r(\omega)+\sum_{r=\nu+\eta_2}^{e}b_{1ri}q_r(\omega)\right),$$
$$(i=1,\ldots,\nu-1), \quad (15)$$

$$P\left(h_i^c(\omega)\ge h_i^+\right)\ge\alpha,\quad(\alpha\cong 1),$$
$$i=(\nu+\eta_2,\ldots,\ \nu+\eta_2+\xi_1-1), \quad (16)$$

$$P\left(q_i(\omega)>0\right)\cong\beta,\quad(\beta\cong 1),\quad i\in N, \quad (17)$$

$$M_{\omega}\left(q_{i\,ut}(\omega)-\frac{\sqrt{2gh_i^c(\omega)}\cdot\pi d_{i\,ut}^2}{4}\right)=0,$$
$$(i=\nu+\eta_2,\ldots,\ \nu+\eta_2+\xi_1-1), \quad (18)$$

$$M_{\omega}\left(q_i(\omega)-q_{i\,ut}(\omega)-q_{i0}(\omega)\right)=0,$$
$$(i=\nu+\eta_2,\ldots,\ \nu+\eta_2+\xi_1-1), \quad (19)$$

where: $q_{i\,ut}(\omega)$ is the leakage value in the *i*-th node of the WS, $q_{i0}(\omega)$ is the rate of water flow without leakage in the *i*-th node of the WS, $d_{i\,ut}$ is the diameter of the leakage in the *i*-th node of the WS, coefficient $\lambda\in[0,1]$.

For the first time, the method of the optimization of the operation modes of the WS with leaks has been offered. At the moment, this approach allows to describe the WS with leaks more adequately. There are the results of solving the problems with leaks in this report.

## References


[1] A.D. Tevyashev, S.I. Kozyrenko, V.D. Nepochatova, "A stochastic model of quasistationary flow distribution in engineering networks", VEZhPT, №11 (45), p.57–60, 2010.

[2] A.D. Tevyashev, S.I. Kozyrenko, V.D. Nepochatova, "Stochastic model of quasi-stationary operation modes of water supply systems and the method of its construction for water supply networks with leaks", Pipeline energy systems. Methodical and applied problems of mathematical modeling. Novosibirsk, p. 205–220, 2015.

[3] A.D. Tevyashev, O.I. Matvienko, "Algorithmic methods for increasing the reliability of centralized water supply systems", Information systems and technologies: abstracts of reports. 3rd International Scientific and Technical Conference, Kharkiv, Drukarnya Madrid TOV, p. 142-143, September 15-21, 2014.

[4] A.D. Tevyashev, S.I. Kozyrenko, V.D. Nepochatova "A method for constructing a model of quasi-stationary operation modes of water supply networks with leaks", VEZhPT, 99 (44), P. 9–12, 2010.

# Оптимізація Мереж Ланцюжків Поставок у Системах Екологічної Логістики

Володимир Безкоровайний, Світлана Мальцева
кафедра системотехніки
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
vladimir.beskorovainyi@nure.ua
svitlana.maltseva@nure.ua

Олександр Колодяжний
інформаційно-обчислювальний центр
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
oleksandr.kolodiazhny@nure.ua

# Optimization of Supply Chain Networks in Ecological Logistics Systems

Volodymyr Beskorovainyi, Svitlana Maltseva
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
vladimir.beskorovainyi@nure.ua
svitlana.maltseva@nure.ua

Oleksandr Kolodiazhny
Information and Computer Center
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
oleksandr.kolodiazhny@nure.ua

***Анотація*—З урахуванням взаємозв'язку задач структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації виконані формалізація опису та цілей створення систем екологічної логістики, що відображають показники їх ефекту і витрат ресурсів на їх створення й експлуатацію. Декомпозиція проблеми системної оптимізації дозволила виділити задачі їх аналізу і синтезу, які вирішуються за множиною показників в умовах неповної визначеності цілей і даних. З урахуванням взаємозв'язку виділених задач за вхідними і вихідними даними запропоновано метод спрямованого перебору для оптимізації мереж ланцюжків поставок у централізованих системах екологічної логістики з реверсивними потоками.**

**Abstract— Taking into account the interconnection of the tasks of structural, topological, parametric and technological optimization, the formalization of the description and objectives of the creation of systems of ecological logistics, reflecting the indicators of their effect and the cost of resources for their creation and operation. Decomposition of the problem of system optimization allowed to highlight the problems of their analysis and synthesis, which are solved by a set of indicators in conditions of incomplete certainty of goals and data. Taking into account the interrelation of the selected tasks with input and output data, the method of directed selection is proposed for optimization of supply chain networks in centralized systems of ecological logistics with reversal flows.**

***Ключові слова—екололічна логістика, ланцюжки поставок, стуктура, топологія, невизначеність, багатокритеріальна оптимізація.***

***Keywords—ecological logistics, supply chains, structure, topology, uncertainty, multicriteria optimization.***

## I. Вступ

Економічність і комфортність бізнес-процесів, інших процесів життєдіяльності людей багато у чому визначається якістю відповідної логістики. Традиційно логістичні процеси охоплювали основні етапи господарської діяльності – від розробки джерел сировини і матеріалів до поставки продуктів і послуг кінцевому споживачу [1]. Подальшим розвитком логістики стало керування ланцюгами поставок. При цьому об'єктами керування стали матеріальні, фінансові й інформаційні потоки, що проходять логістичними ланцюгами від первинного джерела сировини до постачання готової продукції кінцевому споживачу. Проектування мереж ланцюжків поставок SCND (Supply chain network design) є однією з найбільш важливих проблем планування в управлінні ланцюжками поставок SCM (supply chain management) [2]. Проектні рішення щодо ланцюжків поставок SC (supply chain) повинні бути достатньо стійкими і життєздатними в складних та невизначених бізнес-середовищах протягом років. В останні десятиліття виникла і швидкими темпами розвивається екологічна («зелена») логістика, яка розглядається як інструмент підтримання екологічної безпеки [3]. В її рамках суттєво розширюється управлінська діяльність, охоплюючи цикл від раціональної експлуатації природної сировини до

утилізації відходів діяльності. Створювана методологія екологічної логістики спрямована на зниження рівня ризиків економічних втрат, обумовлених погіршенням якості навколишнього середовища або ж для підвищення не тільки економічної, а еколого-економічної ефективності діяльності підприємств [4]. Одним з напрямів екологічної є реверсивна логістика, у рамках якої здійснюється впорядкування та систематизація зворотних товарно-матеріальних, інформаційних, грошових потоків [5, 6]. Необхідність врахування зворотних потоків у рамках екологічної логістики породжує множину нових задач, що потребують формалізації та розробки ефективних методів їх розв'язання.

## II. Аналіз сучасного стану проблеми

Системи екологічної логістики (СЕЛ), як і системи логістики в цілому, є територіально розподіленими об'єктами [7]. Ефективність подібних об'єктів багато в чому визначається рішеннями, які приймаються у процесі їх структурно-топологічної оптимізації [8]. Процеси проектування, модернізації, планування розвитку, реінжинірингу, керування СЕЛ передбачають розв'язання множини взаємопов'язаних задач структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації. Їх оптимізація полягає у виборі кращого варіанту ланцюгів з множини допустимих, що задовольняють функціональним, вартісним і екологічним обмеженням за множиною показників в умовах неповної визначеності даних і цілей [9].

Зі зростанням масштабів СЕЛ, як територіально розподілених об'єктів, їх вартісні і функціональні характеристики стають все більш залежними від топології (територіальної організації). У процесах оптимізації СЕЛ спільно з традиційними задачами структурного, параметричного і технологічного синтезу необхідно вирішувати комплекси задач їх топологічної оптимізації. Структурні, параметричні, вартісні та функціональні характеристики СЕЛ багато в чому визначаються топологією їх підсистем та елементів. Топологія підсистем і елементів, в свою чергу, визначає топологію зв'язків, що забезпечують функціонування логістичної системи як єдиного цілого, реалізуючи взаємодію між елементами та підсистемами [10].

Система екологічної логістики, як територіально розподілений об'єкт проектування чи керування поданий у вигляді $s = < E, R >$ (де $E$ – множин елементів: постачальників, переробників, терміналів, споживачів тощо; $R$ – множина зв'язків або маршрутів між елементами), може бути реалізований множиною різних топологій $G*$. Виходячи з цього кожній з топологічних реалізацій системи $G \in G*$, буде відповідати оригінальний набір функціональних, вартісних і екологічних властивостей, що визначаються відображенням $\varphi$ [10]: $\varphi : (E, R, G) \to P$.

З урахуванням цього в задачах системної оптимізації опис СЕЛ має відображати її топологічні властивості: $s = < E, R, G >$, $G = < G_E, G_R, G_A >$, де $G$ - топологічна реалізація структури системи $< E, R >$; $G_E$ - топологія елементів; $G_R$ - топологія зв'язків; $G_A$ - топологія, яка визначається технологією функціонування системи.

На перших етапах оптимізації шляхом аналізу мети створення СЕЛ, умов її функціонування та її бажаних властивостей $P'$ визначаються підмножини елементів $E'$, зв'язків (маршрутів) $R'$ і топологій $G'$, на яких вона може бути реалізована. На наступних етапах визначаються підмножини елементів $E^o \subseteq E'$, зв'язків $R^o \subseteq R'$ і топологій $G^o \subseteq G'$, які забезпечують найбільш ефективне досягнення необхідних властивостей $P'$.

Метою оптимізації ланцюгів поставок СЕЛ є максимізація її ефективності $Q$ при виконанні технологічних $R_T \subseteq R_T^*$ і екологічних $R_E \subseteq R_E^*$ обмежень (де $R_T^*, R_E^*$ – множини допустимих значень технологічних і екологічних показників системи):

$$s^o = \arg\max_{s \in S*} Q(s),\ R_T(s) \subseteq R_T^*,\ R_E(s) \subseteq R_E^*, \qquad (1)$$

де $s$ - варіант побудови системи; $S*$ - множина допустимих варіантів побудови системи.

Формалізація задачі оптимізації СЕЛ (1) є досить загальною та потребує деталізації, що дозволить встановлювати зв'язок показників її ефективності з її структурними, параметричними, топологічними та технологічними характеристиками. Тісний взаємозв'язок задач структурного, функціонального, параметричного і топологічного синтезу, що вимагає їх спільного розв'язання, призводить до складної проблеми, для розв'язання якої необхідна розробка відповідної системної методології.

У переважній більшості традиційних схем ланцюгів поставок враховується рух матеріальних ресурсів тільки в напрямку від виробників до споживачів продукції. За такого підходу не приймають до уваги реверсивні потоки тари, бракованих виробів, виробів після закінчення терміну використання, відходів тощо. У математичних моделях управління зворотними потоками як критерій оптимальності зазвичай розглядається мінімізація витрат, пов'язаних зі збором і захороненням відходів, а за можливості проведення рециклінгу – максимізація прибутку від реалізації переробленої продукції за вирахуванням витрат на збір і переробку відходів [6]. Серед питань, які у загальному випадку необхідно вирішити під час оптимізації систем екологічної реверсивної логістики, виділяються: визначення постачальників, переробників, терміналів, типів і видів транспорту, прямих і зворотних маршрутів доставки.

Проведений огляд сучасного стану проблеми системної оптимізації ланцюгів СЕЛ [1–9] виявив протиріччя, яке вказує на те, що існуючі технології передбачають умовно незалежне розв'язання

однокритеріальних задач їх структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації, що не дозволяє забезпечувати ефективність та спадковість рішень, які приймаються на різних етапах їх життєвих циклів.

Це визначає актуальність завдання розробки методології системної оптимізації ланцюгів СЕЛ, що передбачає коректну декомпозицію проблеми на комплекси задач, які відносяться до різних рівнів опису й етапів їх оптимізації, різного ступеня визначеності мети і даних, розробку комплексу відповідних математичних моделей, методів і технологій, що дозволяли б отримувати рішення за множиною показників якості. Зокрема, актуальним завданням при цьому вважається визначення впливу логістичних систем на величину еколого-економічних ризиків та можливих збитків (втрат) або ж, навпаки, на величину еколого-економічних ефектів діяльності суб'єктів господарювання [4].

## III. Результати дослідження

Системи екологічної логістики до складаються з великої кількості елементів зі складною схемою взаємозв'язків між ними (рис. 1).

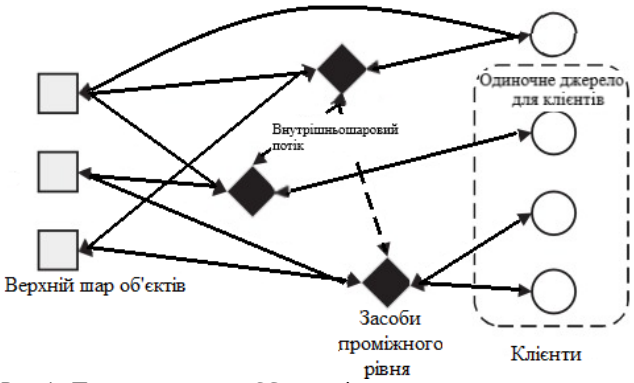



Рис. 1. Приклад структури SC-мережі з реверсивним потоками

Створення формалізованого опису задачі оптимізації СЕЛ є проблемою, що складається з сукупності неповністю визначених задач, для яких не сконструйовані моделі та методи розв'язання [10]. Будемо розглядати її як метазадачу *MetaTask*, яка складається з множини задач $MetaTask = \{ Task^l \}$, $l = \overline{1, n_l}$, що відносяться до різних ієрархічних рівнів, з їх взаємозв'язками за вхідними даними та результатами розв'язання:

$$Task^l = \{ Task_i^l \}, \; l = \overline{1, n_l}, \; i = \overline{1, n_i}, \qquad (2)$$

де $n_l$ - кількість рівнів опису; $i_l$ - кількість задач на рівні $l$.

Кожну із задач (2) формально являє собою перетворювач даних:

$$Task_i^l : In_i^l \rightarrow Out_i^l, \; l = \overline{1, n_l}, \; i = \overline{1, n_i}, \qquad (3)$$

де $In_i^l$, $Out_i^l$ - відповідно вхідні та вихідні дані $i$-ої задачі $l$-го рівня.

На нижньому рівні ($l = 2$) розв'язуються задачі системної оптимізації СЕЛ, що виникають на стадіях її передпроектних досліджень, проектування, створення й експлуатації [10]: $Task_1^2$ - вибір принципів побудови; $Task_2^2$ - вибір структури; $Task_3^2$ - визначення топології елементів і зв'язків; $Task_4^2$ - вибір технології функціонування; $Task_5^2$ - визначення параметрів елементів і зв'язків; $Task_6^2$ - оцінка ефективності і вибір рішень.

Для розв'язання задачі оптимізації СЕЛ пропонується використати апарат агрегативно-декомпозиційного підходу, системного аналізу та системного проектування складних систем [11–12], на основі чого обрана мережева модель задачі її системної оптимізації. Це дозволяє для розв'язання множини задач (2), пов'язаних за вхідними та вихідними даними (3), використати логічну схему оптимізації територіально розподілених об'єктів і визначити раціональну послідовність розв'язання комплексу задач системної оптимізації СЕЛ [12–13].

Задача оптимізації мережі ланцюжків поставок для одного постачальника і одного переробника може бути подана у такій постановці. Задані множини: територіально розосереджених споживачів $Ob = \{ob_i\}$, $i = \overline{1, n_o}$ та їх характеристик (місця розміщення, потреби, витрати на транспортування, зберігання, перевантаження); типових елементів $\Omega_E = \{ \omega \}$ і зв'язків (транспортних засобів) $\Omega_C = \{ \omega \}$, на базі яких створюється система; місць можливого розміщення її проміжних елементів $G = \{ g \}$; допустимих технологій її функціонування $\Gamma = \{ \gamma \}$.

Необхідно визначити: кількість проміжних елементів системи (складів, хабів тощо) $n_E$; їх типи $X = \{ x_i^\omega \}$, $i = \overline{1, n_E}$, $\omega \in \Omega_E$; місця розміщення проміжних елементів $Y = \{ y_i^g \}$, $i = \overline{1, n_E}$, $g \in G$; множини та типи зв'язків між елементами $R = \{ r_{ij}^\omega \}$, $i, j = \overline{1, n_E}$, $\omega \in \Omega_c$; підмножини об'єктів (споживачів), що закріплені за кожним із проміжних елементів $V = \{ Ob_i \}$, $i = \overline{1, n_E}$, $\bigcup_{i=1}^{n_E} Ob_i = Ob$ і технології їх обслуговування $Z = \{ z_i^\gamma \}$, $i = \overline{1, n_E}$, $\gamma \in \Gamma$. При цьому бажаною метою є екстремізація одного або множини часткових критеріїв ефективності:

– витрат $k_1(n_E, X, Y, R, V, Z) \rightarrow \min\limits_{n_E, X, Y, R, V, Z}$;

– часу доставки $k_2(n_E, X, Y, R, V, Z) \rightarrow \min\limits_{n_E, X, Y, R, V, Z}$;

– живучості $k_3(n_E, X, Y, R, V, Z) \rightarrow \max\limits_{n_E, X, Y, R, V, Z}$;

– надійності $k_4(n_E, X, Y, R, V, Z) \rightarrow \max\limits_{n_E, X, Y, R, V, Z}$.

Розв'язувана задача може бути подана як задача

оптимізації: $s^o = arg \max_{s \in S^*} P(s)$, де $P(s)$ - узагальнена оцінка $s$-го варіанта побудови системи.

Неповна визначеність вхідних даних регуляризується моделями нечітких множин з використанням *П-, S-* або *S-*подібних функцій належності [14, 15]. Неповна визначеність мети створення системи (1) регуляризується за допомогою моделей багатокритеріального оцінювання на основі поліному Колмогорова-Габора [16]:

$$P(s) = \sum_{i=1}^{m} \lambda_i \cdot \xi_i(s) + \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=i}^{m} \lambda_{ij} \cdot \xi_i(s) \cdot \xi_i(s) + \dots, \quad (4)$$

де $m$ - кількість часткових критеріїв; $\lambda_i, \lambda_{ij}$ - вагові коефіцієнти часткових критеріїв $k_i(s)$ та їх добутків $\lambda_i \geq 0,\ \lambda_{ij} \geq 0$, $i = \overline{1,m}$, $\xi_i(s)$ - функція корисності часткового критерію $k_i(x)$, $i = \overline{1,m}$.

При цьому функція загальної корисності (4) розглядається як функція належності нечіткій множині «кращий варіант», що може бути подана як множина упорядкованих пар: «Кращий варіант» = $\{< s, P(s) >\}$, де $s \in S^*$ - рішення з множини допустимих; $P(s)$ - значення функції (ступінь) належності рішення $s \in S^*$ нечіткій множині «Кращий варіант» (1).

Задача визначення вектора параметрів моделі багатокритеріального оцінювання $\lambda_i, \lambda_{ij}$, $i, j = \overline{1,m}$ (4) є некоректною. За умови визначеності параметрів функцій корисності часткових критеріїв $\xi_i(s)$, $i = \overline{1,m}$ регуляризація здійснюється шляхом зведення її до задачі пошуку чебишовської точки [16]. Вибір параметрів функцій корисності часткових критеріїв (у залежності від їх виду) може здійснюватися методами сіток, покоординатного спуску, штучних нейронних мереж.

Для розв'язання задачі оптимізації ланцюжків поставок у централізованих трирівневих системах екологічної логістики запропоновані модифікації методу спрямованого перебору варіантів за кількістю проміжних елементів у системі [17].

## IV. Висновки

З урахуванням взаємозв'язку задач структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації виконані формалізація опису та цілей створення систем екологічної логістики, що відображають показники їх ефекту і витрат ресурсів на їх створення й експлуатацію. Декомпозиція проблеми системної оптимізації дозволила виділити задачі їх аналізу і синтезу, які вирішуються за множиною показників в умовах неповної визначеності цілей і даних. З урахуванням взаємозв'язку виділених задач за вхідними і вихідними даними запропоновано метод спрямованого перебору для оптимізації мереж ланцюжків поставок у централізованих системах екологічної логістики з реверсивними потоками. Практичне використання розробленого методу дозволяє підвищити ефективність процедур багатокритеріальної оптимізації мереж ланцюжків поставок у системах екологічної логістики за умов неповної визначеності цілей і даних.

## Література References


[1] Д. Бауэрсокс, Д. Клосс, Логистика: интегрированная цепь поставок. 2-е изд. / [Пер. с англ. Н.Н. Барышниковой, Б.С. Пинскера], М.: Издательство «Олимп-Бизнес, 2017, 640 с.

[2] K. Govindan, M. Fattahi, E. Keyvanshokooh, "Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions", *European Journal of Operational Research*, vol. 263, pp. 108–141, 2017.

[3] Л.М. Гурч, Л.Є. Хмара, "Розвиток «зеленої логістики» в Україні", *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Логістика*, № 811, с. 86–91, 2014.

[4] Ю.В. Чорток, "Напрямки зниження негативного еколого-економічного впливу логістичної системи", *Механізм регулювання економіки*, №3, с. 165–172, 2007.

[5] В.А. Лазарев, И.А. Кулькова, "Реверсивная логистика – логистика возвратных и обратных потоков", *Управленец*, № 5 (51), с. 48–51, 2014.

[6] Е.И. Павлова, И.А. Мамедова, "Возвратные товаропотоки в логистике: причинные связи", *Мир транспорта*, т. 13, № 5, с. 124–131, 2015.

[7] І.Г. Смирнов, Логістика: просторово-територіальний вимір, К.: Обрії, 2004, 335 с.

[8] Э.Г. Петров, В.П. Писклакова, В.В. Бескоровайный, Территориально распределенные системы обслуживания. – Киев: Техника, 1992, 208 с.

[9] M.S. Pishvaee, J. Razmi, "Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming", *Applied Mathematical Modelling*, vol. 36, p. 3433–3446, 2012.

[10] В.В. Бескоровайный, "Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем", *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*, вып. 120, с. 29-37, 2002.

[11] Дж. Клир, Системология. Автоматизация решения системных задач: Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1990, 544 с.

[12] А.А. Тимченко, Основи системного проектування та аналізу складних об'єктів: У 2-х кн. Кн. 1. Основи САПР та системного проектування складних об'єктів / За ред. В.І.Бикова, К.: Либідь, 2000, 272 с.

[13] В.В. Бескоровайный, "Синтез логической схемы системного проектирования территориально распределенных систем", *Радиоэлектроника и информатика*, №. 3, с. 94 – 96, 2002.

[14] Л.Г. Раскин, О.В. Серая, Нечеткая математика. Основы теории. Приложения, Харьков: Парус, 2008, 352 с.

[15] V. Beskorovainyi, H. Berezovskyi, "Identification of preferences in decision support systems", *ECONTECHMOD, Vol. 06, №4, pp. 15-20, 2017.*

[16] В.В. Бескоровайный, И.В. Трофименко, "Структурно-параметрична ідентифікація моделей багатофакторного оцінювання", *Системи озброєння і військова техніка*, № 3 (7), с. 56-59, 2006.

[17] V. Beskorovainyi, K. Podoliaka, "Reengineering the topological structure of large-scale monitoring systems", *ECONTECHMOD*, Vol. 4 (3), pp. 13–18, 2015.

# Конвертація Масиву Просторових Даних Об`єктів Дорожнього Господарства та Рослинності до Нового Класифікатора Просторової Інформації

Марина Булаєнко
Кафедра Прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
Харків, Україна
mbulaenko@gmail.com

Олександр Зарицький
Кафедра Прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
Харків, Україна

Катерина Бєлєнькова
Кафедра Прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
Харків, Україна
kbelenkova@ ukr.net

# Converting an Array of Spatial Data Objects of Road Economy and Vegetation to the New Classifier of Spatial Information

Maryna Bulaienko
Department of Applied Mathematics and Information Technology
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
mbulaenko@gmail.com

Oleksandr Zarytskyi
Department of Applied Mathematics and Information Technology
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine

Kateryna Bielienkova
Department of Applied Mathematics and Information Technology
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
kbelenkova@ukr.net

***Анотація*—У роботі розглянуто алгоритм конвертування об'єктів дорожнього господарства та рослинності існуючих баз геопросторових даних до стандартів оновлених класифікаторів. Програмна реалізація виконана в середовищі програмування Digitals. Розроблено відповідне керівництво користувача.**

***Abstract*—The paper considers the algorithm for converting objects of road economy and vegetation of existing geospatial data bases to the standards of updated classifiers. The software implementation is implemented in the programming environment Digitals. An appropriate user manual has been developed.**

***Ключові слова—геоінформаційні технології, бази даних, геопросторові об'єкти, стандарти класифікаторів, конвертація об'єктів, автоматизація, програмування, скрипти.***

***Keywords—geoinformation technologies, databases, geospatial objects, standards of classifiers, objects conversion, automation, programming, scripts.***

В результаті прийняття цього року нової концепції Національної інфраструктури геопросторових даних України для всіх суб'єктів земельних і містобудівних відносин стала необхідним організація відповідних баз геоданих (БГД). Створення Національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД) передбачено директивою Європейського парламенту і Ради Європи зі створення інфраструктури просторової інформації ЄС (INSPIRE), яка є обов'язковою для всіх країн-членів та кандидатів для вступу в ЄС [1, 2]. Таким чином на місцевому рівні було затверджено нову структуру класифікатора, яка орієнтована на уніфікацію і однозначність створення просторових об'єктів для всіх виконавців.

Підприємством «ЛІК-ПРОЕКТ» за останні роки була сформована значна база даних об'єктів, які представляють геопростір міста Харкова. В процесі розробки набір даних формувався за старими вимогами, при цьому деякі характеристики даних враховувалися не в повному обсязі або взагалі ігнорувалися. Так, за старими правилами реалізації класифікатора множина робочого набору для створення топографічної бази масштабу 1:500 представлена 502 просторовими класами [3, 4]. За новими правилами реалізації класифікатора множина робочого набору згідно стандартів для створення топографічної

бази всіх масштабів представлена 110 просторовими класами, а згідно рекомендацій місцевого департаменту містобудування та архітектури для створення топографічної бази масштабу 1:500 представлена 73 просторовими класами.

При роботі з атрибутивними даними великого обсягу (сотні тисяч об'єктів), перетворення одного екземпляру класів за новими стандартами може зайняти багато часу. Тому необхідно автоматизувати процес конвертації БГД. Тобто, необхідно розробити інструментарій для автоматичного перекладу існуючого масиву архівної просторової інформації з урахуванням нових правил організації та зберігання даних.

В роботі запропоновано алгоритм конвертування великих масивів даних, таких як об`єкти дорожнього господарства та рослинності, який може бути реалізований за допомогою вбудованої мови програмування скриптів середовища розробки Digitals [5-8]. Програмний засіб «Digitals» призначений для створення/оновлення топографічних та спеціальних карт, видання карт, міського кадастру і землеустрою, вирішення інженерних і прикладних завдань.

В таблиці 1 наведені основні скриптові функції, які були використані при розробці пропонованого алгоритму конвертування просторових об'єктів дорожнього господарства та рослинності.

ТАБЛИЦЯ 1. ОСНОВНІ ВИКОРИСТАНІ СКРІПТОВІ ФУНКЦІЇ

| **Основні операції управління об'єктами карти** | **Операції виділення та зняття виділення** |
|---|---|
| @Map.SelectedObject | @Map.SelectObject *Number* |
| @Map.Count | @Map.DeselectObject *Number* |
| @Map.Object[*N*].Layer | @Map.SelectAll |
| $N=@Map.SelectedObject | @Map.SelectLayerByName *LayerName* |
| $Layer=@Map.Object[$N].Layer | @Map.SelectConnectedNeighbouring |
| @Dialog.Message | @Map.SelectNeighbouring *Distance* |
| @Map.Object[*N*].LayerID | @Map.SelectInsideSelected |
| *$N=@Map.SelectedObject* | @Map.SelectConnected |

Фрагмент отриманого в результаті роботи програмного коду наведено на рис. 1.

Для практичного застосування запропонованого алгоритму конвертації, а також для вдосконалення навичок побудови скрипт-кодів та проектування нової структури бази геоданих розроблено керівництво користувача, одне з вікон якого наведено на рис. 2.

Результати даної роботи та отриманий програмний код, можуть бути використані для вирішення інших завдань автоматизації.

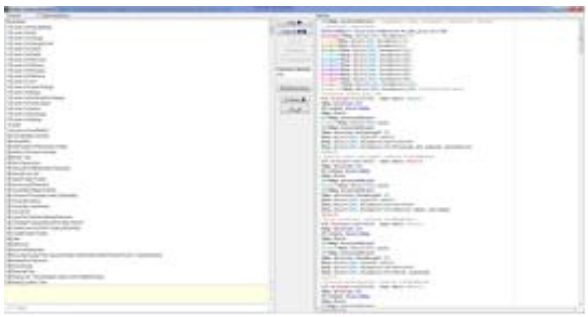


Рис.1. Фрагмент програмного коду

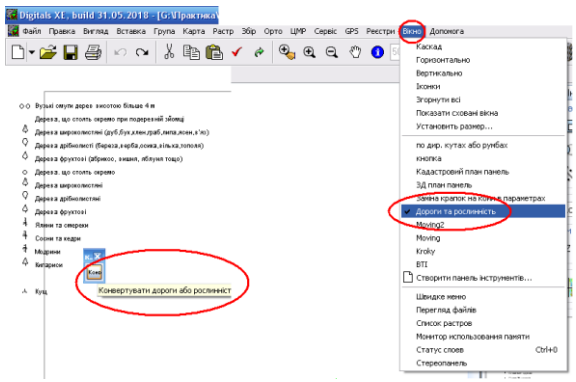



Рис.2. Приведення в дію кнопки конвертування

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Директива 2007/2/ЄС Європейського парламенту та Ради Європи зі створення інфраструктури просторової інформації ЄС (INSPIRE) від 14 березня 2007 р.

[2] Національна інфраструктура геопросторових даних України [Електронний ресурс] // Науково-дослідний інститут геодезії і картографії. – 2013. – Режим доступу URL: http://gki.com.ua/ua/nacionalna-infrastruktura-geoprost orovih-danih-ukraiini – 12.04.2018 р.

[3] Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500: Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 9 квітня 1998 року № 56 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/REG2833.html– 12.04.2018р

[4] Карпінський Ю. О. Нові підходи до стандартизації та технічного регулювання в сфері географічної інформації [Електронний ресурс] / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко // Зб. наук. праць. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва.– 2004. – С. 283-291. – Режим доступу URL: http://gki.com.ua/files/uploads/documents/TK_103/KarpLyash_JAVORYV.pdf – 12.04.2018 р.

[5] Глава 6 «Digitals book». Классификатор [Електронний ресурс] // Науково-дослідний інститут геодезії і картографії. – 2013. – Режим доступу URL: http://www.vinmap.net/book/ch06.html– 12.04.2018 р.

[6] Приложение D «Digitals book».. Введение в Digitals Script [Електронний ресурс]. – Режим доступу URL: http://www.vinmap.net/book/apd.html – 12.04.2018 р. – Загл. з екрану.

[7] Библиотека полезных скриптов [Електронний ресурс]. – Режим доступу URL: http://geosystema.net/forum/viewtopic.php?f=1&t=2539 – 12.04.2018 р.

Standards guide: ISO/TC 211 Geograhic information / Geomatics [Електронний ресурс]. – 2009. – Режим доступу URL: https://trac.osgeo.org/geonetwork/raw-attachment/ticket/189/ISO% 20TC%20211 %20-%20Standards%20Guide.pdf – 12.04.2018 р.

# Алгоритм Конвертування Масиву Даних Об`єктів Номенклатури, Просторових Об`єктів Геодезичної Мережі та Рельєфу до Стандартів Оновлених Класифікаторів

Марина Булаєнко Олександр Зарицький Анна Савченко

Кафедра Прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
Харків, Україна
mbulaenko@gmail.com, asavchenko@ gmail.com

# Algorithm for Converting Data Array Objects of Nomenclature, Spatial Objects of Geodetic Network and Relief to Standards of Updated Classifiers

Maryna Bulaienko Oleksandr Zarytskyi Anna Savchenko

Department of Applied Mathematics and Information Technology
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
mbulaenko@gmail.com, asavchenko@ gmail.com

***Анотація*—У роботі розглянуто алгоритм конвертування об`єктів номенклатури, просторових об`єктів геодезичної мережі та рельєфу до стандартів оновлених класифікаторів. Кодування алгоритму виконано за допомогою програмного забезпечення створення цифрових карт «Digitals»в. Складено керівництво користувача.**

***Abstract*—The algorithm of converting objects of the nomenclature, spatial objects of the geodetic network and relief to the standards of updated classifiers is considered in the paper. The encoding of the algorithm was performed using the Digitals digital mapping software in. User manual compiled.**

***Ключові слова—геопросторові об'єкти, база даних, стандарти класифікаторів, конвертація об'єктів, автоматизація, програмування, скрипти***

***Keywords—geospatial objects, database, standards of classifiers, objects conversion, automation, programming, scripts.***

Національна інфраструктура геопросторових даних України (НІГД) – це комплексна система, яка об'єднує десятки інформаційних шарів з важливими просторовими даними (рельєф, підземні/наземні комунікації, водні та лісові ресурси, інфраструктура, об'єкти нерухомості, статистична інформація, демографічні дані та ін.) на базі єдиної геодезичної та картографічної основ. Забезпечення широкого та зручного доступу до цієї інформації через єдиний геопортал дозволить багатьом галузям економіки і державним установам підвищити ефективність роботи, знизивши витрати на пошук даних [1].

Для створення НІГД будуть використані наявні архівні геопросторові метадані та дані, які створені органами державного управління за результатами топографо-геодезичної і картографічної діяльності, створення державних кадастрів, реєстрів усіх видів та моніторингу навколишнього природного середовища. Таким чином завдяки впровадженню НІГД буде виключено дублювання робіт та витрат державного бюджету на створення геопросторових даних на різних рівнях, будуть забезпечені інформаційні потреби в сфері будівництва та інженерних вишукувань, екології, навігації, оборони та безпеки держави.

Прийнятий комплекс галузевих стандартів повинен забезпечити інформаційну та функціональну сумісність компонентів бази топографічних даних на основі уніфікованої структури бази топографічних даних (БТД).

Для цього на місцевому рівні було затверджено нову структуру класифікатора, яка орієнтована на уніфікацію і однозначність створення просторових об'єктів для всіх виконавців [2-5].

Однак перетворення одного екземпляру класів за новими стандартами може зайняти багато часу. Тому необхідно автоматизувати процес конвертації БТД , а для цього необхідно розробити інструментарій автоматичного перекладу існуючого масиву просторової інформації з урахуванням нових правил організації та зберігання даних.

В роботі запропоновано алгоритм конвертування об`єктів номенклатури, просторових об`єктів геодезичної мережі та рельєфу до стандартів оновлених класифікаторів. Цифрової класифікатор служить ядром бази даних для створення конкретних цифрових моделей, складається з наступних елементів:

- шарів (просторових класів, таблиць), що містять об'єкти;
- параметрів (полів, атрибутів), в яких зберігаються характеристики об'єктів;
- бібліотеки умовних знаків, що визначає відображення шарів і параметрів.

Програмна реалізація процесів конвертування об’єктів БТД виконано в середовище розробки Digitals, за допомогою вбудованої мови програмування скриптів [6-8]. Digitals - це сучасне програмне забезпечення, що поєднує в собі потужний картографічний редактор с елементами геоінформаційної системи (ГІС). Це не просто редактор, а багатокомпонентне програмне забезпечення, що полегшує рішення цілого ряду завдань в повсякденній роботі геодезиста, картографа або землевпорядника.

При роботі з виділеними на цифровій карті об'єктами були використані наступні функції:

@Map.SelCount ,
@Map.Object[N].Selected ,
@Map.NextSelected LastNumber ,
@Map.Selected.List ,
@Map.Selected.Copy ,
@Map.Selected.Cut ,
@Map.Paste ,
@Map.Selected.ChangeLayer LayerIndex ,
@Window.ShowSelected ,
@Window.ZoomIn ,
@Window.ZoomOut ,
@Map.Selected.BringToFront ,
@Map.Selected.SendToBack ,
@Map.SortByParameter ParameterIndex +/-,
@Map.SortByParameter 0 +,
@Map.Selected.Refresh .

Фрагмент отриманого в результаті роботи програмного коду наведено на рисунку 1.

Для запропонованого алгоритму конвертування розроблено відповідне керівництво користувача. Етап створення панелі користувача наведено на рисунку 2.



Рис.1. Фрагмент програмного коду

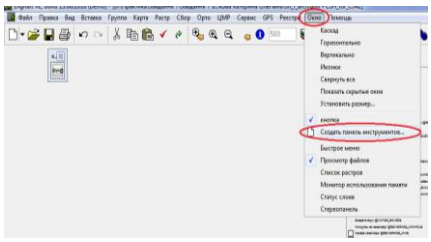


Рис.2.Створення панелі користувача

Результати дослідження можуть бути використані для подальшої автоматизації процесу конвертування.

## Література References


[1] Національна інфраструктура геопросторових даних України [Електронний ресурс] // Науково-дослідний інститут геодезії і картографії. – 2013. – Режим доступу URL: http://gki.com.ua/ua/nacionalna-infrastruktura-geoprost orovih-danih-ukraiini – 12.04.2018 р.

[2] Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500: Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 9 квітня 1998 року № 56 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/REG2833.html– 12.04.2018р

[3] Карпінський Ю. О. Нові підходи до стандартизації та технічного регулювання в сфері географічної інформації [Електронний ресурс] / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко // Зб. наук. праць. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва.– 2004. – С. 283-291. – Режим доступу URL: http://gki.com.ua/files/uploads/documents/TK_103/KarpLyash_JAVORYV.pdf – 12.04.2018 р.

[4] Федоров Д. Digitals.Использование в геодезии, картографии и землеустройстве.[Електронний ресурс] / Д.Федоров – 2015. – С. 125-161. – Режим доступа URL: http://geosystema.net/digitals/book/digitals-book.pdf – 12.04.2018 р. – Загл. з екрану.

[5] Бахарева Н. А. Геоданные как инструмент управления [Електронний ресурс] / Н. А. Бахарева // Государственный Советник. – 2016. – Режим доступу URL: https://gossovetnik.files.wordpress.com/2016/0f5/160204.pdf – 12.04.2018 р. – Загл. з екрану.

[6] Глава 6 «Digitals book». Классификатор [Електронний ресурс] // Науково-дослідний інститут геодезії і картографії. – 2013. – Режим доступу URL: http://www.vinmap.net/book/ch06.html– 12.04.2018 р.

[7] Приложение D «Digitals book».. Введение в Digitals Script [Електронний ресурс]. – Режим доступу URL: http://www.vinmap.net/book/apd.html– 12.04.2018 р. – Загл. з екрану.

[8] Standards guide: ISO/TC 211 Geograhic information / Geomatics [Електронний ресурс]. – 2009. – Режим доступу URL: https://trac.osgeo.org/geonetwork/raw-attachment/ticket/189 /ISO%20TC%20211%20-%20Standards%20Guide20Guide.pdf –12.04.2018 р

# Способи Підвищення Надійності Функціонування Трубопровідних Систем

Сергій Дядюн
кафедра прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
Харків, Україна
daulding@ukr.net

Ольга Штельма
кафедра прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
Харків, Україна
olga.shtelma@gmail.com

# Ways to Enhance the Reliability of the Operation of Pipeline Systems

Sergey Dyadun
Department of Applied Mathematics and Information Technologies
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
daulding@ukr.net

Olga Shtelma
Department of Applied Mathematics and Information Technologies
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
olga.shtelma@gmail.com

***Анотація*—Проводиться аналіз сучасних способів підвищення надійності функціонування трубопровідних систем. Розглянуто традиційні засоби (параметричні і структурні) та нетрадиційні засоби, а також засоби підвищення надійності їх функціонування шляхом розв'язки окремих рівнів.**

***Abstract*—In this article the analysis of modern methods of the increase of reliability of functioning of pipeline systems is executed, traditional (parametrical and structural ones) methods and non traditional methods, methods of the increase of reliability of their functioning on foundation of denouement of separate levels are also considered.**

***Ключові слова—надійність, трубопровідна транспортна система, функціонування, ймовірність, критерій, управління, система подачі та розподілу води, структура, режим, моделювання, експлуатація*.**

***Keywords—reliability, pipeline transport system, functioning, probability, criterion, control, water supply system, structure, mode, modeling, operation.***

Найважливішим показником трубопровідної системи (ТС) є надійність її функціонування. Задачі надійності вирішуються як при раціональній експлуатації ТС, так і при управлінні їх розвитком.

Надійність трубопроводів залежить не тільки від типу, матеріалу і діаметра труб, а й від конструкції стикових з'єднань, якості їх монтажу, підготовки підстави, характеру ґрунтів, впливу транспорту, коливання внутрішніх тисків, корозійних властивостей ґрунтів та ін. Показники надійності елементів подібного роду визначають тільки в результаті тривалих спостережень за їх функціонуванням у процесі експлуатації, систематичного збору та обробки статистичних даних про всі пошкодження та аварії. Чим більше спостереження і тривалість його періоду, чим більша кількість однорідних елементів піддається спостереженню (випробуванню), тим вірогідніше будуть отримані для них показники надійності. Тому дуже важлива повноцінна система реєстрації аварій і пошкоджень елементів системи.

Дана проблема розглядається також в роботах [1-7].

При виборі показників надійності окремих видів елементів необхідно враховувати, до якого з двох типів виробів цей елемент слід відносити - до відновлюваного або невідновлюваного. Велика частина елементів ТС належить до ремонтованих і відновлюваних. Якість функціонування відновлюваного елемента характеризується співвідношенням тривалості періодів його працездатного і непрацездатного стану [1].

Основний критерій надійності ТС або її елементів - ймовірність безвідмовної роботи ТС або окремих її елементів P протягом заданої тривалості роботи T зазвичай визначає як "вірогідність того, що в межах заданого напрацювання відмова не виникає" [3]. Тут під напрацюванням слід розуміти задану тривалість T роботи ТС або її елемента.

Чим складніше послідовна підсистема, тим нижче її надійність. Чим складніше паралельна підсистема, тим вище її надійність.

До числа класичних традиційних засобів підвищення надійності функціонування трубопровідних систем як окремого випадку складних систем відносяться параметричні і структурні методи.

*Параметричні засоби* забезпечують зменшення інтенсивності відмов окремих елементів ТС за рахунок планування та проведення профілактичних ремонтів, використання більш надійних елементів і своєчасної їх реконструкції, модернізації та заміни.

Перелічимо основні види відмов, характерних для трубопровідних транспортних систем.

Відмови з внутрішніх причин, тобто порушення нормального функціонування трубопровідних систем в результаті пошкоджень та аварій окремих споруд або елементів системи, є найбільш розповсюдженими. Відмови системи можуть бути викликані виходом з ладу таких відповідальних споруд, як споруди з прийому цільового продукту (ЦП), головні насосні або компресорні станції, а також основні елементи ТС: труби та їх стикові з'єднання; насоси; електродвигуни та електрообладнання; запірна, регулююча і запобіжна арматура.

Для більшості названих елементів спостерігається деяка загальна закономірність їх ушкоджень (відмов) за період роботи з моменту пуску в експлуатацію до настання граничного стану. На початку цього періоду різні пошкодження спостерігаються відносно постійно: позначаються допущені дефекти монтажу і пуску; виріб «пристосовується» до нормальних умов роботи. Потім настає період нормальної роботи, коли пошкодження рідкісні. Третій період характеризується новим підвищенням частоти ушкоджень (результат старіння), що закінчується настанням граничного стану, елементи повинні бути своєчасно замінені новими.

Таким чином, якісне, суворе виконання правил експлуатації, і, зокрема, своєчасне проведення планово-попереджувальних ремонтів, дуже важливо для забезпечення надійності ТС. Добре організована служба технічної експлуатації дозволяє передбачити можливість виникнення відмови деяких виробів та вживати заходів щодо його запобігання.

Відмови з зовнішніх причин, наприклад, дуже серйозні наслідки для роботи ТС можуть мати відмови пов'язаних з нею зовнішніх систем, таких, як природні джерела цільового продукту, системи енергопостачання і іноді системи матеріального обслуговування. Відмови цих систем можуть призвести до дуже важких порушень нормального функціонування ТС, аж до повного тимчасового припинення подачі цільового продукту при відсутності відповідних резервів.

Відмова природного джерела становить найбільшу небезпеку для порушення роботи ТС, що використовує одне джерело, і може привести до повної відмови такої системи.

Відмови системи подачі електроенергії насамперед порушують роботу насосних і компресорних станцій ТС і можуть викликати тимчасову перерву в подачі споживачам ЦП, а також викликати істотні порушення в роботі ряду споруд, де широко використовуються механізми та електрообладнання з електроприводом, системи телеуправління, сигналізації і т. п.

*Структурні способи* також відносяться до традиційних засобів підвищення надійності трубопровідних систем. Вони зводяться до зміни вихідної структури системи за рахунок додавання додаткових трубопроводів. Найпростішим таким способом є резервування окремих елементів (трубопроводів, насосних агрегатів і т.д.). Закільцьовування водопровідних і регіональних газових мереж також можна віднести до структурних способів підвищення надійності їх функціонування.

Взагалі надійна робота більшості ТС побудована на надмірності їх елементів. Трубопроводи проектуються на пропуск максимального цільового продукту, на насосних станціях (для систем водопостачання та водовідведення) передбачається резервування насосних агрегатів, а для забезпечення безперервності живлення електродвигунів воно здійснюється від двох незалежних джерел енергопостачання. Від кожної насосної станції укладають не менше двох трубопроводів.

*Нетрадиційні способи.* Серед різноманіття елементів ТС найбільш важливими для надійності функціонування цих систем, звичайно, є магістральні трубопроводи та насосні станції. Показники надійності цих елементів (наприклад, напрацювання на відмову) залежать не тільки від перерахованих раніше причин (якість матеріалу, стиків і ряду інших), але і від режиму функціонування цих елементів (тиск, під яким знаходиться елемент, швидкість руху ЦП, його зміст, гідравлічні удари і інше).

Організуючи розподіл цільового продукту в трубопровідних системах (наприклад, реконструюючи систему) таким чином, щоб зменшити сумарні надлишкові напори в мережі, можна істотно знизити кількість аварій за фіксований термін Т.

Цей же ефект можна досягти за рахунок цілеспрямованого збільшення пропускної здатності трубопроводів і, отже, трубопровідних систем в цілому шляхом заміни труб (або шляхом прокладки додаткових паралельних трубопроводів) зі слабкою пропускною здатністю на труби більш високого діаметру.

Більш того, аварії можна скоротити не тільки за рахунок модернізації системи і збільшення її пропускної здатності, орієнтуючись на пікові навантаження в системі за потоками цільового продукту, але і шляхом раціональної організації транспорту цільового продукту і зниження цих пікових навантажень шляхом використання в цей момент альтернативного транспорту або локальних систем з резервуарами, що приймають ЦП при зниженій потребі в ньому і повертають його в період пікових навантажень.

Методи, що підвищують надійність ТС за рахунок раціонального по надійності управління розподілом ЦП на

етапах оперативного управління, реконструкції та проектування, називаються нетрадиційними [1,2]. Умовно ці методи можна розподілити на такі чотири групи:

- алгоритмічні (інформаційні) способи забезпечують підвищення надійності трубопровідних систем за рахунок вибору раціональних режимів їхнього функціонування шляхом імітаційного моделювання та оптимізації потокорозподілу в цих системах на етапах їх раціональної експлуатації, реконструкції та розвитку;

- методи розв'язки рівнів полягають в такій організації структури системи, при якій її окремі рівні чи зони розв'язані через акумулюючи резервуари або регулятори тиску;

- структурно-алгоритмічні (структурно-інформаційні) способи дозволяють вибрати структуру і параметри ділянок ТС таким чином, щоб при виході з ладу її окремого елемента чи навіть частини системи більшість споживачів мали б доступ до ЦП через шлях з нормальною пропускною здатністю. При цьому шляхом імітаційного моделювання на ПК оцінюється надійність функціонування системи в її усіченому варіанті. Наприклад, наявність низьконапірного кільця для системи водопостачання міста, на яке працюють станції подачі води, і з якого живляться резервуари насосних станцій, що працюють на міську водопровідну мережу, різко підвищує надійність функціонування цієї мережі та її живучість;

- альтернативні підходи, засновані на зниженні (або, принаймні, не на збільшенні) завантаження основних ТС за рахунок застосування різних альтернативних рішень.

Підвищення якості та ефективності функціонування систем подачі та розподілу води (СПРВ) може бути досягнуто також за рахунок вдосконалення принципів їх проектування та реконструкції. Розглянемо один з таких принципів вдосконалення проектування СПРВ - шляхом використання регулюючих ємностей між зонами водопровідної мережі.

У роботах [3,4,7] запропонована багаторівнева схема проектування керованої по потокорозподілу СПРВ, окремі рівні якої були б розв'язані між собою. В якості елементів розв'язки пропонується використовувати регулюючі ємності, які служать точками, що зв'язують між собою окремі рівні і окремі зони СПРВ.

Введення міжзональних регулюючих ємкостей в практику проектування і реконструкції систем водопостачання дозволяє значно підвищити якість забезпечення водою споживачів за рахунок використання внутрішніх резервів системи. Запропоновані принципи вдосконалення проектування СПРВ мають наступні переваги: забезпечують можливість використання для регулювання нерівномірності водоспоживання запасів води інших зон та міжзональних регулюючих ємкостей; сприяють зниженню надлишкових напорів в мережах та зменшенню витоків води і, як наслідок, скороченню непродуктивних витрат і витрат в мережах, а також зменшенню ймовірності виникнення аварійних ситуацій; забезпечують зменшення витрат електроенергії та загальної подачі води в мережу; підвищують живучість СПРВ. Крім того, наявність регулюючої ємності в СПРВ дозволяє стабілізувати режими роботи насосних станцій за рахунок зменшення діапазонів зміни їх режимних параметрів та підвищення к.к.д. їх роботи.

Розроблено імітаційні моделі процесів функціонування СПРВ спільно з регулюючими ємностями, які використовуються для оцінки ефективності запропонованих принципів вдосконалення проектування СПРВ. Проведено порівняльний аналіз значень критеріїв якості та ефективності функціонування СПРВ при наявності різних видів регулюючих ємностей і без них.

Проведені методом імітаційного моделювання дослідження показали, що введення в СПРВ міжзональної регулюючої ємкості дозволяє істотно підвищити якість її роботи (при цьому дефіцит води у споживачів практично знижується до нуля), зменшити витрати електроенергії і спільної подачі води в мережу, знизити надлишкові напори в мережі, унаслідок чого скоротити непродуктивні витрати і витоки в мережі і зменшити ймовірність виникнення аварійних ситуацій. Крім того, наявність регулюючої ємкості в СПРВ дозволяє стабілізувати режими роботи насосних станцій за рахунок зменшення діапазонів зміни їх режимних параметрів і підвищення коефіцієнту корисної дії їх роботи.

Результати імітаційного моделювання реальної СПРВ підтверджують доцільність використання міжзональних регулюючих ємкостей в практиці проектування і реконструкції СПРВ.

Таким чином, як в існуючих, так і в тих СПРВ, що реконструюються і знову проектуються, достатньо внутрішніх резервів для підвищення якості і ефективності їх функціонування. Широке їх використання на практиці дозволить дати значний народногосподарський ефект.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях. - Харьков: Высшая школа, 1980. - 144 с.

[2] Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д., Дубровский В.В. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях. – М.: Стройиздат, 1990. – 368 с.

[3] Новицкий Н.Н., Сухарев М.Г., Тевяшев А.Д. и др. Трубопроводные системы энергетики. Методические и прикладные проблемы математического моделирования. Изд-во ”Наука”, Новосибирск, 2015, 476с.

[4] Евдокимов А.Г., Бойко Э.Д., Дядюн С.В., Глуховский И.И. Система водоснабжения. А.с. N1654475, 1989.

[5] Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. - М.: Стройиздат, 1979. - 232 с.

[6] Абрамович И.А. Новая стратегия проектирования и реконструкции транспортных сточных вод. - Харьков: Основа, 1996. - 316 с.

[7] Дядюн С.В. Совершенствование принципов проектирования и реконструкции систем водоснабжения. В сб. научных трудов «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики». Иркутск, ИСЭМ СО РАН, 2012. – Вып. 61. Проблемы исследования и обеспечения надежности либерализованных систем энергетики. – С. 426-433.

# Використання Нечіткої Моделі Обробки Геопросторових Даних в Системі Управління Твердими Побутовими Відходами

Світлана Кузніченко
кафедра інформаційних технологій
Одеський державний екологічний університет
Одеса, Україна
skuznichenko@gmail.com

Ірина Бучинська
кафедра інформаційних технологій
Одеський державний екологічний університет
Одеса, Україна
buchinskayaira@gmail.com

# Using Fuzzy Geospatial Data Processing Model in Solid Waste Management System

Svitlana Kuznichenko
Department of Information Technologies
Odessa State Environmental University
Odessa, Ukraine
skuznichenko@gmail.com

Iryna Buchynska
Department of Information Technologies
Odessa State Environmental University
Odessa, Ukraine
buchinskayaira@gmail.com

***Анотація*—В роботі запропонована нечітка модель обробки просторових даних в системі управління твердими побутовими відходами. Описано процедуру дискретизації векторних тематичних шарів критеріїв в растрову модель з використанням Евклідової метрики в якості міри близькості між об'єктами. Показано, що фазифікація критеріїв, тобто перетворення їх значень атрибутів у нечітку множину, на підставі експертної оцінки нечіткої функції належності, дозволяє в подальшому об'єднати критерії за допомогою нечітких правил виведення. Показано, що використання апарату нечіткої логіки дозволяє отримати більш інформативну комбіновану карту придатності, за рахунок визначення рангу придатності альтернатив. Наведено приклади фазифікації векторних шарів критеріїв і побудови комбінованої карта придатності території для розміщення полігонів ТПВ на півдні Одеської області.**

*Abstract*—**In the paper, the fuzzy spatial data processing model in solid waste management system is proposed. The sampling procedure for vector layers for criteria is described in a raster model, which allows a set of cells, attributes of which contain information about the value of Euclidean distance between objects. The method of standardization of criteria based on fuzzy logic methods, which allows using expert knowledge in spatial analysis, is proposed. It is shown that phasing of criteria, that is, the transformation of their values of attributes into a fuzzy set on the basis of the expert estimation of a fuzzy membership function allows further combining of criteria with the help of fuzzy rules of output. Fuzzy logic operations such as intersection or union may be used for this purpose. It is shown that the use of fuzzy logic in the decision making model allows to take into account the uncertainty of the source information and to obtain a more informative combined suitability map by determining the rank of suitability of alternatives, that is, to perform ranking of territories according to the degree of suitability for landfill site selection.**

***Ключові слова—тверді побудові відходи; геоінформаційні системи; мультикритеріальній аналіз рішень; нечітка логіка***

***Keywords—solid waste landfill; geographic information systems; multiple-criteria decision analysis; fuzzy logic***

## I. Вступ

Звалища твердих побутових відходів являють на сьогодні значну екологічну проблему. 160 тис. гектарів землі, які передані під полігони для сміття, зберігають близько 35 млрд. тонн відходів і щороку в Україні виникає ще близько 12 тис. незаконних звалищ. Тому, актуальним завданням при вирішенні проблеми відходів та сміттезвалищ в Україні, є крім безпосередньо сортування і переробки сміття, проведення інвентаризації існуючих полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) з метою диференціації їх за екологічним станом, а також визначення небезпечних міст для їх розміщення, тобто зонування територій за ступенем придатності для розміщення полігонів ТПВ. Рішення цього завдання потребує комплексного використання і обробки різної просторової інформації, тому при організації інформаційного забезпечення підтримки прийняття

рішень про розміщення відходів найбільш перспективним є використання геоіфнформаційних технологій (ГІС).

В Одеській області (Україна) зараз існує 608 полігонів/звалищ ТПВ, переважна більшість яких працює з порушенням проектних показників щодо обсягів накопичення відходів. Відповідно до підготовленої Програми поводження з ТПВ в Одеській області на період 2018–2022 рр. на території області планується будівництво чотирьох нових регіональних полігонів ТПВ і ліквідація існуючих. В зв'язку з цим актуальним є вибір і обґрунтування місця розташування полігонів згідно з будівельними та санітарно-екологічними нормами.

При вирішенні завдання особливу увагу слід приділити вихідної інформації, яка частіше складається з великої кількості різнорідних факторів, що не подаються формалізованому опису. Це призводить до складності в формулюванні достовірних висновків. У зв'язку з цим, привабливим виглядає застосування методів теорії нечітких множин, що дозволяють отримати адекватні результати моделювання про можливе розміщення полігонів ТПВ з урахуванням невизначеності вихідної інформації.

Дослідженню питань застосування геоінформаційних технологій для підтримки прийняття рішень при управлінні процесами впливу на стан навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів і територій, присвячені роботи багатьох авторів, серед яких слід відмітити роботи [1-5], що безпосередньо присвячені проблемі контролю над відходами. Не зважаючи на те, що питанням дослідження нечітких множин та їх застосуванню в задачах мультикритеріального прийняття рішень в умовах невизначеності присвячені роботи багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених, проблема розробки нечітких моделей обробки просторової інформації на базі ГІС-технологій залишається актуальним науково-технічним завданням.

## II. Постановка проблеми вибору місць розміщення полігонів твердих побутових відходів

Вирішення проблеми вибору місць для розміщення полігонів ТПВ можна представити двома послідовними етапами. Перший етап – це відбір потенційно придатних місць, мета якого полягає в тому, щоб виключити ту частину території, де розміщення небезпечних для навколишнього середовища і здоров'я людини об'єктів неприпустимо. Відбір придатних місць проводиться шляхом просторового аналізу зі застосуванням ГІС, на основі критеріїв, що враховують природоохоронні вимоги, особливостей рельєфу місцевості, морфологію ландшафту, соціально-економічні чинники тощо. На другому етапі здійснюється ранжування обраних місць за пріоритетом. Процедура проводиться на основі методів мультикритеріального аналізу рішень [6]. Часто використовують метод аналізу ієрархій (Analytic Hierarchy Process – AHP) або метод аналізу мережевих процесів (Analytic Network Process) [7,8]. Результатом є вибір найбільш підходящого місця для будівництва полігону ТПВ. В роботі більш докладно розглядається перший етап, а саме обробка просторової інформації на основі методів нечіткої логіки.

Проектування полігонів здійснюється відповідно до державних будівельних норм ДБН В.2.4-2 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування». Приймається, що один полігон з потужністю 100 тис. т/рік повинен мати загальну площу 30 га. Основні вимоги, до будівництва полігонів ТПВ наведені у таблиці 1.

ТАБЛИЦЯ І. Вимоги до будівництва полігонів ТПВ

| № | ***Фактори*** | ***Порогові значення*** |
|---|---|---|
| 1 | відстань від аеропортів та аеродромів | 15 км |
| 2 | відстань від межі курортного міста, відкритих водоймищ господарського призначення, об'єктів які використовуються у культурно-оздоровчих цілях, заповідників, місць відпочинку перелітних птахів, морського узбережжя | 3000 м |
| 3 | відстань від межі міст | 1000 м |
| 4 | відстань від житлової та громадської забудови (санітарно-захисна зона) | 500 м |
| 5 | відстань від сільськогосподарських угідь, автомобільних та залізничних шляхів загальної мережі | 200 м |
| 6 | відстань від межі лісу і лісопосадок, не призначених для використання в рекреаційних цілях | 50 м |
| 7 | глибина залягання ґрунтових вод | не менше 2 м |

На підставі технічних вимог до розміщення полігонів ТПВ, можуть бути сформульовані обмежуючі фактори, які дозволять вилучити з множини альтернатив, ті що не задовольняють переліченим пороговим значенням. Окрім зазначених обмежуючих факторів необхідно також враховувати особливості рельєфу місцевості і морфологію ландшафту, а також соціально-економічні чинники. Чим точніше будуть визначені ці фактори на попередньому етапі дослідження проблеми, тим більш адекватною буде модель. В роботі [5] авторами була розроблена мультикритеріальна модель прийняття рішень по розміщенню полігонів твердих побутових відходів на півдні Одеської області, яка враховувала фізичні, екологічні і соціально-економічні фактори. Загалом було сформульовано 14 критеріїв, що були представлені в базі геоданих у вигляді векторних і растрових шарів. Були використані різні джерела геоданих: космічні знімки, картографічні сервіси, данні моніторингових спостережень [9,10].

Для отримання тематичних векторних шарів критеріїв необхідно виконати декомпозиції безлічі об'єктів, які належать території, що досліджується, і впливають на прийняття рішення за будь-яким фактором (доступність транспортної інфраструктури, віддаленість від водних об'єктів, екологічна безпека та ін.). Методика декомпозиції об'єктів передбачає виконання аналізу їх просторової і атрибутивної інформації. Декомпозиція, як правило, виконується відповідно до геометричних властивостей (точкові, лінійні і полігональні об'єкти) і атрибутивних властивостей, які визначають приналежність об'єкту до певної тематичної групи

(транспортна інфраструктура, водні об'єкти, населенні пункти та ін.).

Після проведення процесу декомпозиції об'єктів буде отримано векторну карту *K*, що представляє собою набір тематичних векторних шарів-критеріїв $K_i$ :

$$K_i = \left\{ O_j^i \right\}, \quad i = \overline{1,t}, \quad j = \overline{1,l}, \qquad (1)$$

де *i* – номер шару карти *K*, *j* – номер об'єкта в *i*-ому шарі.

## III. Формалізація нечіткої моделі обробки геопросторових даних

Для проведення просторового моделювання, будемо використовувати растрову модель даних, яка представляється набором комірок (пікселів) і має вигляд двовимірної дискретної прямокутної сітки *nxm* комірок (рис.1):

$$C = \left\{ c_i \mid c_i = n\Delta r, m\Delta r \right\}, \qquad (2)$$

де *C* - множина альтернатив; $\Delta x = \Delta y = \Delta r$ - розмір комірки.

При дослідженні придатності кожної точки території для розміщення полігонів ТПВ необхідно, щоб атрибути точок в кожному шарі містили змістовну інформацію щодо їх відношення до об'єктів шару. Особливості задачі, що розглядається, є наявність певних вимог, які виражаються у обмеженнях відстані. Тому розглянемо докладніше процедуру визначення відстані між об'єктами.

### *A. Використання Евклідової метрики*

Для знаходження відстань між об'єктами на карті може бути використані різні метрики близькості [11]: манхеттенська, евклідова, Чебишова та ін. Найбільш часто для дослідження відношення між об'єктами в просторовому аналізі використовують Евклідову відстань, яка між двома точковими об'єктами $O_1(x_1,y_1)$ і $O_2(x_2,y_2)$ визначається як :

$$d(O_1, O_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}. \qquad (3)$$

При перетворенні векторного шару в растровий шар, об'єкт $O_j$ представляється набором комірок (рис.1), кожна з яких має просторові координати і атрибут:

$$O_j = \left\{ (c)_i \right\} = \left\{ \left( (x_j, y_j)_i, v_i \right) \right\}, \; i = \overline{1,k}, \qquad (4)$$

де *v* - атрибут, *k* - кількість комірок, що покривають об'єкт $O_j$.

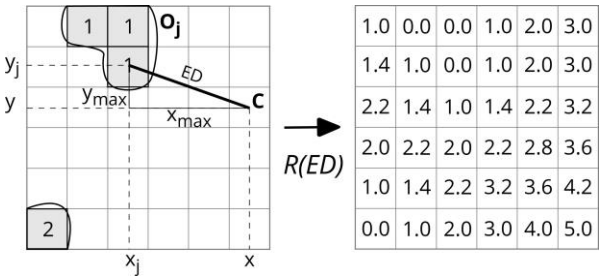
У випадку растрової моделі даних відстань від будь-якої комірки растру до об'єкту $O_j$ дорівнює мінімальній відстані від цієї комірки до кожної комірки, що покриває об'єкт, який досліджується (рис.1):

$$ED(O_j, c) = \min_i \left\{ \left( d\left(O_j, c\right) \right)_i \right\}, \; i = \overline{1,k}. \qquad (5)$$

Таким чином, буде побудований растр відстаней *R(ED)* у якого кожна комірка містить атрибут, який дорівнює значенню Евклідової відстані від неї до найближчого об'єкту, розрахований відповідно (5):

$$R_k(ED) = \left\{ \left( (x_i, y_j), ED_{ij}^k \right) \right\}, \; i = \overline{1,n}, \; j = \overline{1,m}, \; k = \overline{1,t}. \qquad (6)$$

Схема процесу побудови растру відстаней наведена на рис.1.




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 2.0 | 3.0 |
| 1.4 | 1.0 | 0.0 | 1.0 | 2.0 | 3.0 |
| 2.2 | 1.4 | 1.0 | 1.4 | 2.2 | 3.2 |
| 2.0 | 2.2 | 2.0 | 2.2 | 2.8 | 3.6 |
| 1.0 | 1.4 | 2.2 | 3.2 | 3.6 | 4.2 |
| 0.0 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 |

Рис. 1. Схема процесу побудови растру Евклідових відстаней.

### *B. Використання нечіткої логіки*

Використання чітких меж класів, що визначаються за допомогою порогових значень критеріїв, можуть бути обгрунтовані необхідністю виконання суворих вимог (обмежень), що перелічені в таблиці 1. Але для вирішення інших питань розміщення полігону ТПВ, наприклад соціально-економічних, вони можуть виявитися нереалістичними.

Наприклад, будівельними нормами передбачено наявність відстані 200 м від залізничних і автошляхів, однак неможна вважати будь-яку відстань, що перевищує 200 м однаково придатною. Економічно ефективним є близькість полігону до існуючої транспортної мережі. Будівництво нових доріг, особливо на великій відстані, вимагає величезних попередніх витрат. Щоб впоратися з невизначеністю і неточностями, пов'язаними з оцінкою придатності, де важко визначити чіткі межі, доцільним є використання апарату нечіткої логіки [12].

Опис просторової інформації на основі методів нечіткої логіки базується на перетворенні значень атрибутів *k*-го шару у значення ступені належності до нечіткої множини $A_k$:

$$A_k = \left\{ (v, \mu_a^k(v)) \mid v \in U \right\}, \; \mu_a^k(v) : v \to [0,1], \qquad (7)$$

де *v* – значення атрибуту, *U* – безперервна множина значень атрибутів.

Функція належності $\mu_a(v)$ вказує ступінь належності атрибута *v* до нечіткій множини $A_i$ . Чим більше $\mu_a(v)$, тим більшою мірою атрибут відповідає властивостям нечіткої множини. Як правило, функція належності будується за участю експерта (групи експертів), таким чином, що ступінь належності приблизно дорівнює інтенсивності прояву деякого фактору. На практиці застосовуються такі види функцій належності: лінійні, трикутні і трапецеїдальні (лінійно-кускові); нелінійні (функція Гауса, сигмоїдальна функція, сплайн).

Фазифікація шарів критеріїв, тобто перетворення їх значень у нечітку множину, дозволяє побудувати набор з *k* растрів придатності, кожна комірка яких містить

значення функції належності $\mu_a^k(v)$ для атрибуту комірки $v$:

$$R_k(\mu_a)=\left\{\left(\left(x_i,y_j\right),\mu_a{}^k\left(v_{ij}^k\right)\right)\right\},\ i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m},\ k=\overline{1,t}. \quad (8)$$

В подальшому растрові шари критеріїв можуть бути агреговані у комбіновану карту придатності за допомогою нечітких правил виведення і методів мультикритеріального аналізу рішень.

## IV. Приклад реалізації нечіткої моделі

Розглянемо приклад реалізації запропонованої нечіткої моделі обробки просторової інформації для фазифікації векторного шару, що містить об'єкти транспортної мережі, який є одним з критеріїв мультикритеріальної моделі по розміщенню полігонів ТПВ на території півдня Одеської області [5]. На рис.2 наведені етапи процесу фазифікації. Векторний шар з лінійними об'єктами транспортної мережі відповідно (5) і (6) був перетворений у растровий шар Евклідових відстаней. Для цього використаний інструмент геобробки пакету ArcGIS ArcToolbox Euclidean Distance (рис.2).

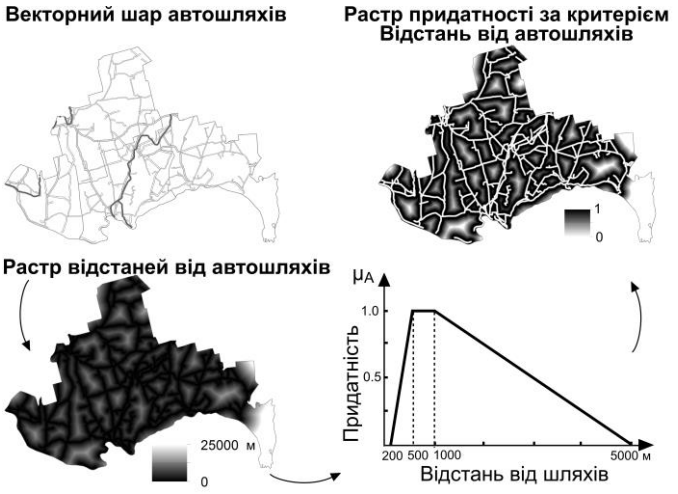



Рис. 2. Схема процесу фазифікації растру відстаней від транспортної мережі.

Растр, що враховує ступень придатності кожної комірки за критерієм Відстань від автошляхів був побудований відповідно до запропонованої експертами кусково-лінійної трапецеїдальної функції належності $\mu_a(v)$, яка була задана аналітичним виразом. Для побудови растру придатності може бути використаний інструмент Fuzzy Membership, але у випадку, коли функція належності, що використовується, не входить до набору цього інструменту, може бути використані інструменти перекласифікації Reclassify і Divide. Більш детально мультикритеріальна модель розглянута у роботі [5], там же наведені методи агрегування комбінованої карти придатності. На рис.3 представлена підсумкова карта придатності для розміщення полігонів ТПВ, яка була побудована з використанням операції нечіткого перетину (AND) за допомогою інструменту нечіткого накладання Fuzzy Overlay.

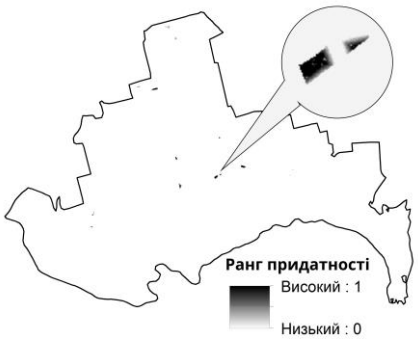



Рис. 3. Комбінована карта придатності території для розміщення полігонів ТПВ.

Таким чином, використання апарату нечіткої логіки дозволяє врахувати невизначеність вихідної інформації, а також отримати більш інформативну карту придатності, за рахунок визначення рангу придатності альтернатив.

## Література References


[1] Chang N., Parvathinathan G., Breeden J.B.. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. // Journal of Environmental Management. – 2008. – №87. P. 139 –153.

[2] Gbanie S.P., Tengbe P.B., Momoh J.S., Medo J., Kabba V.T.S. Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): case study Bo. Southern Sierra Leone. // Applied Geography. – 2013. – №36. P. 3–12.

[3] Giovanni De Feo, Sabino De Gisi. Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal. // Waste Management. – 2014. – №34. – P. 2225 – 2238.

[4] Abeliotis, K. Life Cycle Assessment in Municipal Solid Waste Management // Integrated Waste Management. – 2011. – Vol. I, Mr. Sunil Kumar (Ed.)

[5] S. Kuznichenko, L. Kovalenko, I. Buchynska and Y. Gunchenko, "Development of a multi-criteria model for making decisions on the location of solid waste landfills", Eastern-European Journal of Eenterprise Technologies, vol.2, №3(92), 2018, pp. 21–31.

[6] Кузніченко С.Д., Бучинська І.В. Використання мультикритеріального аналізу прийняття рішень в ГІС.// Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології і взаємодії" (IT&I) – Київ. 2017.– с.27-28.

[7] Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resources allocation. New York, NY: McGraw, P. 287.

[8] Saaty, Thomas L. (1996). Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. RWS Publications, 4922 Ellsworth Avenue, Pittsburgh, PA. 15213.

[9] S. Kuznichenko, I. Buchynska. Methodology for creating a GIS-based integrated flood monitoring system // MSTIoE 2017: East European Conference on Mathematical Foundations and Software Technology of Internet of Everything- 21-22.12.2017, Kyiv, Ukraine – Volume 2: Post-proceedings: Revised Selected Papers – P. 19-25.

[10] Перелигін, Б.В. Методи і засоби обробки моніторингової інформації [Текст] / Б.В.Перелигін, С.Д. Кузніченко. – Одеса: ЕКОЛОГІЯ, 2010. – 224 с.

[11] Факторный, дискриминантный и кластерный анализы: пер. с англ. Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.; под. ред. И.С.Енюкова.– М., 1989.

[12] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8 (3), pp. 338–35

# Геоінформаційна Аналітична Система Моніторингу і Управління Ресурсами Об'єднаних Територіальних Громад

Володимир Ткаченко
Завідувач кафедри медіасистем та технологій
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.tkachenko@nure.ua

Михайло Неофітний
Проректор з наукової роботи
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
mykhailo.neofitnyy@nure.ua

Олександр Зелений
Заступник начальника науково-дослідної частини
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
zeleniy777@gmail.com

# Geoinformational Analytical System of Monitoring and Management of Resources of the United Territorial Communities

Volodymyr Tkachenko
Head of the Department of Media Systems and Technologies
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukrain
volodymyr.tkachenko@nure.ua

Mykhailo Neofitnyy
Vice-rector for scientific work
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukrain
mykhailo.neofitnyy@nure.ua

Alexander Zeleniy
Deputy head of the research department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukrain
zeleniy777@gmail.com

***Анотація*—Розглядається мета створення, завдання та архітектура (підсистеми і їх функції) геоінформаційної аналітичної системи моніторингу та управління ресурсами об'єднаних територіальних громад. Обґрунтовано вибір інструментального програмного забезпечення для створення системи, показано очікувані результати впровадження системи.**

***Abstract*—Look at meta trektrannya, zavdannya ta arhitektura (pisistemi i їx functцій) geoinformatsiyno analitichnoї sistemi monitoringu ta upravlenya resources of the common teritorialnyh hulmads. The vibeir of the in-line program software for securing the system has been enacted, it is shown that the result is in the way of the systems.**

***Ключові слова—об'єднані територіальні громади, геоінформаційна система, моніторинг, управління, підсистема, функції.***

***Keywords–united territorial communities, geoinformation system, monitoring, management, subsystem, functions.***

## I. Мета розробки проекту

Головною метою проекту є створення геоінформаційної аналітичної системи моніторингу і управління ресурсами об'єднаних територіальних громад (ГІС ОТГ), як інструменту для підвищення ефективності управління територіальними громадами, за рахунок:

– забезпечення обліку та об'єктивного контролю за належним використанням ресурсів, які знаходяться у власності або в управлінні територіальної громади;

– інформаційно-аналітичної підтримки процесів планування і прогнозування соціально-економічного розвитку громади з використанням наочної просторової моделі регіону і інструментів просторового аналізу;

– автоматизації процесів збору, накопичення та аналітичної обробки даних про об'єкти (промислові, сільськогосподарські, соціальні тощо) регіону для підвищення ефективності управлінських рішень, що забезпечують сталий соціально-економічний розвиток територіальної громади.

Таким чином, ГІС ОТГ – є інструментальним засобом інтеграції та аналізу різнопланових інформаційних ресурсів територіальної громади і призначена для комплексного інформаційно-аналітичного забезпечення діяльності керівництва та посадових осіб органів місцевого самоврядування, організацій, підприємств та населення громади, а її розробка відповідає пріоритетним державним потребам в проведенні політики децентралізації та делегування важелів економічного управління територіальним громадам України.

**Основні завдання проекту, які будуть вирішені під час виконання для досягнення мети**

1. Провести системний аналіз діяльності органів місцевого самоврядування ОТГ та визначити роль і місце ГІС ОТГ в системі управління громадою. Розробити технічне завдання (ТЗ) на створення ГІС ОТГ на базі програмних продуктів з відкритим кодом.

2. Розробити технічний проект ГІС ОТГ на базі програмних продуктів з відкритим кодом.

3. Розробити програмне забезпечення (ПЗ) ГІС ОТГ на базі програмних продуктів з відкритим кодом.

4. Розробити комплект експлуатаційної документації на ПЗ ГІС ОТГ.

5. Розробити комплект нормативної документації, що забезпечує функціонування ГІС ОТГ.

## II. Детальний зміст проекту

ГІС ОТГ та її підсистеми призначені для виконання наступних основних завдань:

- інвентаризація та паспортизація ресурсів території ОТГ (земельні ділянки й інші об’єкти нерухомості, комунальне майно, інженерні комунікації тощо)

- автоматизоване ведення цифрових моделей території ОТГ (у тому числі цифрових планів зонування території)

- автоматизоване ведення земельного, майнового й інших кадастрів і реєстрів громади

- інформаційне забезпечення діяльності органів місцевого самоврядування, бізнес-структур та населення.

Створення геоінформаційної системи ОТГ передбачається на базі програмних засобів з відкритим кодом (PostgreSQL, PostGIS, MapServer), що дозволить оперативно генерувати базову функціональність в інших територіальних громадах України, забезпечуючи при цьому суттєве здешевлення реалізації в порівнянні з пропрієтарними інструментальними ГІС.

Ядром концептуальної архітектури ГІС ОТГ є фонд просторових даних – системно структурований банк просторових даних, де накопичується, актуалізується та надається в користування просторова та атрибутивна інформація, яка відноситься до базових та тематичних інформаційних ресурсів спільного використання.

**До складу базових підсистем першої черги ГІС ОТГ** входять: адресна підсистема, підсистема ведення цифрового чергового топографічного плану територіальної громади, земельно-інформаційна підсистема та підсистема обліку комунального майна.

**Підсистема ведення цифрового чергового плану території громади** включає цифровий черговий топографічний план, створений за результатами аеро – або космічного знімання та базове клієнт-серверне ПЗ для роботи з цифровими картографічними матеріалами.

Цифровий черговий топографічний план є картографічним відображенням результатів містобудівної й іншої господарської діяльності на території ОТГ, результатів реалізації генерального плану розвитку, проектів детального планування, програм і планів капітального будівництва й реконструкції. З іншого боку, цифровий черговий топографічний план - це документ, що забезпечує органи місцевого самоврядування ОТГ й інші органи влади, об'єктивним інформаційною основою для здійснення контрольних функцій.

Підсистема є інструментальним засобом, що забезпечує автоматизацію всього комплексу робіт зі створення цифрового чергового плану території і його централізованого ведення.

Цифровий черговий план є картографічною і інформаційною основою для створення земельно-майнових кадастрів, чергових планів інженерних комунікацій, формування єдиного адресного простору території та функціонування інших підсистем.

**Адресна підсистема** призначена для встановлення відповідності між логічними (інформаційними) об’єктами, об’єктами цифрового чергового плану, їх картографічними координатами на цифрових мапах та системою поштової адресації.

Адресна підсистема відноситься до базових інформаційних ресурсів ГІС ОТГ, є засобом автоматизованого ведення адрес об'єктів адресації на території громади і призначена для використання у якості єдиного офіційного джерела інформації про адреси в населених пунктах громади з метою однозначного, безпомилкового одержання актуальної адресної інформації.

Призначенням адресної підсистеми є:

- забезпечення централізованого обліку адрес об'єктів нерухомості на різних етапах їхнього використання

- забезпечення відповідності місця розташування об'єкта нерухомості адресі, яка зареєстрована в адресній підсистемі

- створення основи для інформаційного забезпечення відомостями про адреси об'єктів нерухомості галузевих і територіальних структурних підрозділів органів місцевого самоврядування ОТГ й інших зацікавлених осіб

- інформаційне забезпечення містобудівного планування розвитку і регулювання землекористування і забудови території громади

- надання інформаційних послуг за заявками шляхом видачі довідкової інформації з адресного реєстру та адресного плану.

Адресна підсистема використовується у ГІС ОТГ у якості єдиного засобу пошуку і позиціонування на цифровій мапі об'єктів через звернення за поштовими адресами.

Функціонально адресна підсистема складається з адресного реєстру та адресного плану. Адресний реєстр містить перелік усіх об'єктів адресації з їх атрибутами.

Адресний план побудований на основі цифрового топографічного плану міста і призначений для відображення місцеположення об'єктів адресації.

**Земельно-інформаційна підсистема** призначена для обліку земельних ділянок, сільськогосподарських угідь, водоймищ, лісів та інших природних об'єктів, які перебувають на території громади. Підсистема забезпечує поточний облік та моніторинг використання ділянок та сільськогосподарських угідь, оформлення і ведення договорів оренди, контроль і облік надходження орендної плати, податків, ведення орендної історії об'єктів, формування звітної документації. Крім цього земельно-інформаційна підсистема забезпечує:

- ведення інформації щодо економічної оцінки земель

- ведення відомостей про обтяження, обмеження використання, земельних ділянок та їх кадастрової оцінки

- інформаційне забезпечення конкурсів і аукціонів земельних ділянок

- ведення чергового плану земельних ділянок.

**Підсистема обліку комунального майна** призначена для обліку будинків споруд та іншого майна, яке перебуває на балансі громади. Підсистема виконує функції:

- ведення чергового плану об'єктів нерухомості, в т. ч. об'єктів комунальної власності

- облік комунального житлового фонду

- оформлення і ведення договорів оренди

- контроль і облік надходження орендної плати

- ведення "історії" об'єктів нерухомості

- формування робочої та звітної документації.

**ГІС ОТГ** для забезпечення функціонування земельно-інформаційної підсистеми і підсистеми обліку комунального майна здійснює ведення **реєстрів громадян та юридичних осіб**, що мають правове відношення до земельних ділянок та майна громади.

## III. Результати впровадження

**Від результатів впровадження ГІС ОТГ** очікуються наступні економічні вигоди й соціальні впливи:

1. Комп'ютеризація управлінських функцій керівних органів громади, можливість формування аналітичних оцінок та прогнозів на основі об'єктивної інформації про наявні ресурси і результати їх використання має підвищити рівень обґрунтованості, ефективності управлінських рішень.

2. Посилення контролю за надходженням сплати земельного податку та оренди об'єктів комунальної власності призведе до своєчасного поповнення та збільшення бюджету громади.

3. Публічна доступність інформації про стан і використання об'єктів комунальної власності громади і про прийняття рішень органами управління громадою має слугувати підвищеню довіри населення до владних структур, а також має бути одним з механізмів формування соціально-економічної самодостатності місцевої територіальної громади.

# Апаратні та Програмні Засоби Керування Системою Опалення для Забезпечення Режимів Економії Теплоспоживання

Руслан Окопний
Кафедра Комп'ютерних Наук
Сумський державний університет
Суми, Україна
RuikOk@rambler.ru

Віктор Неня
к.т.н., доцент
Кафедра Комп'ютерних Наук
Сумський державний університет
Суми, Україна
victor.nenja@gmail.com

# Hardware and Software for Controlling the Heating System to Provide Heat Consumption Saving Modes

Ruslan Okopnyu
Department of Computer Science
Sumy State University
Sumy, Ukraine
RuikOk@rambler.ru

Victor Nenia
PhD, Associate Professor
Department of Computer Science
Sumy State University
Sumy, Ukraine
victor.nenja@gmail.com

***Анотація*—В даній статті йде мова про систему автоматичного регулювання роботи системи опалення на основі моделей та методів нечіткої логіки. Розроблені апаратні та програмні засоби було протестовано на реальному об'єкті та показали свою спроможність виконувати закладені в них функціональні можливості.**

***Abstract*—This article is about the system of automatic regulation for the heating system operation based on the models and methods of Fuzzy Logic. The developed hardware and software were tested on a real object and demonstrated their ability to perform all functions presented in the specification.**

***Ключові слова—регулятор; контролер; погодозалежне керування; віддалене керування; система моніторингу; система опалення; економія енергоргоресурсів; енергоефективність.***

***Keywords—regulator; controller; weather dependent management; remote control; monitoring system; heating system; saving energy resources; energy efficiency.***

## I. Вступ

Автоматична система керування опаленням [1] (далі контролер, пристрій, прилад і.т.д) призначена для оперативного контролю та регулювання роботи газового чи іншого опалювального котла з метою економії використовуваного енергоресурсу.

Завдяки застосуванню даної системи автоматики стане можливим вирішити проблему перетопів за рахунок своєчасного зменшення використання тепла контролером у автоматичному режимі. Що в свою чергу призведе до підвищення комфорту за рахунок підтримки температури з великою точністю.

При використанні функції режимності температур приміщень можна отримати економію енергоносія у деякій кількості в залежності від призначення приміщення та часу на протязі якого в ньому перебувають люди. Функція режимності дозволяє налаштувати бажану температуру у конкретній кімнаті в строго зафіксований час. Тобто вночі та в періоди коли людей немає можна зменшувати температуру в приміщенні для економії.

Управління системою опалення здійснюється за рахунок керування кількості обертів валу циркуляційного насоса в системі з газовим котлом, та за рахунок регулювання обертів вала турбіни нагнітання повітря в камеру згорання у системі опалення на основі твердотопливного або палетного котла.

## II. Технічні характеристики

До складу автоматичної системи керування опаленням входять такі основні блоки: кімнатні температурні датчики, може бути встановлено до 16 шт; один зовнішній температурний датчик; один температурний датчик в

гільзу котла; два температурних датчики на вході і виході із котла; циркуляційний насос системи опалення (в комплект не входить); карта пам'яті стандарту MMC/SD (в комплект не входить); блок управління.

В залежності від варіанту поставки блок управління може комплектуватися одним із модулів передачі даних діючих стандартів Wi-Fi, GSM, Bluetooth, Ethernet.

Основний блок має такі інтерфейси: аналоговий високовольтний інтерфейс для підключення циркуляційного насосу ~220 В; цифровий низьковольтний інтерфейс для підключення до опалювальних котлів із власною автоматикою. Вихід твердотільного реле; інтерфейси для приєднання шини 1-Wire використовується для підключення датчиків температури; інтерфейс для підключення карти пам'яті стандарту MMC/SD; інтерфейс живлення. Вхід напруги живлення ~200 – 240 В.

Основні технічні характеристики розробленого пристрою: максимальна кількість підключених датчиків температури – 20 шт; максимальна протяжність лінії з датчиками температури – 100 м; напруга живлення – 220 В; споживана потужність з вимкненим насосом, не більше – 5 Вт; маса приладу, не більше - 0,25 кг; габаритні розміри - 100x200x50 мм; одиниці вимірювання температури - ºС; точність вимірювання температури в діапазоні від -10 ºС до +85 ºС - $\pm$0,5 ºС; мінімальна вимірювана температура - -50 ºС; максимальна вимірювана температура - +100 ºС; дискретизація при вимірюванні температури - 0,0625 ºС; точність стабілізації заданої температури не гірше - $\pm$0,5 ºС; максимально допустима потужність двигуна насосу чи турбіни - 100 Вт.

Умови експлуатації: температура - 5…45ºС; вологість, не більше - 80%; атмосферний тиск - 100кПа; стандарт захисту корпусу - IP30; наявність в місці втановлення сигналу базової станції GSM, не гірше - -80дБ/м; присутність агресивних парів, газів і аерозолів в оточуючому повітрі не допускаються; обов'язкова наявність захисного заземлення; пристрій розрахований на цілодобову експлуатацію

## III. Апаратне забезпечення

Пристрій керування побудовано на основі сучасної архітектури однокристальних мікроконтролерів Cortex-M3 а саме STM32F103. В складі мікроконтролера присутня велика кількість периферійних пристроїв таких як таймери, контролери цифрових послідовних шин $I^2C$, які використовуються наприклад для приєднання мікросхеми EEPROM пам'яті для збереження налаштувань, SPI яка використовується для підключення карти Flash пам'яті формату MMC/SD для збереження статистичних даних про роботу системи опалення та котла, внутрішніх та зовнішніх температур. Для ручного керування режимами роботи системи опалення в пристрої передбачено табло, на якому показується поточний стан, температури зовнішнього середовища, температура уставки, температура в середині приміщення, поточний час, режим роботи котла (нагрів, охолодження, підтримка заданої температури), стан інтерфейсу передачі даних (Wi-Fi, GSM, Bluetooth, Ethernet) та рівень сигналу для бездротових систем передачі даних (Wi-Fi, GSM, Bluetooth).

На апаратному рівні в конструкцію було додано систему аварійної сигналізації, побудованої на двох внутрішніх таймерах мікроконтролера STM32F103. Умови активації сирени задаються засобами моделі нечіткої логіки.

## IV. Web-сайт та панель керування

Для реалізації можливості віддаленого керування роботою пристрою було додано можливість встановлення різних дротових та бездротових модулів зв'язку. Через один з цих каналів кожну хвилину на сервер системи моніторингу поступають дані про всі виміряні та встановлені параметри роботи системи опалення. Ці дані потрібні для подальшого аналізу ефективності процесу регулювання. Дані на сайті системи моніторингу представлені у графічному та табличному вигляді. Доступна аналітика даних. Присутня можливість віддаленого керування контролером безпосередньо з web-сторінки.

Додатково реалізована можливість аналізу даних робочого дня власника отриманих Google Календара, та коригування по цим даним температурного графіку приміщення.

Сайт системи моніторингу доступний для перегляду після авторизації як з комп'ютера , так і з мобільних пристроїв на розповсюджених платформах Android, iOS, WindowsCE.

## V. Програмне забезпечення

Керуюча програма для мікроконтролера написана на мові високого рівня C++ у інтегрованому середовищі розробки IAR-EWARM for ARM Cortex-M. Функціонал розробленої програми дає можливість задавати алгоритм процесу регулювання роботи системи опалення використовуючи методологію Fuzzy Logic у візуальному середовищі побудови та наладки нечіткої моделі fuzzyTECH [2].

Програма fuzzyTECH призначена для вирішення різних завдань нечіткого моделювання в умовах важко оцінюваних і важко контрольованих параметрів. Основною відмінною рисою fuzzyTECH являється режим наладки Serial Link Debug Mode. Даний режим дозволяє з'єднати проект, розроблений в fuzzyTECH з іншою системою (промисловим контролером, тощо) засобами інтерфейсу послідовного зв'язку та вести віддалену наладку проекту в режимі реального часу з використанням всіх візуальних засобів середовища.

Після вдалої наладки моделі нечіткого виводу середовище дозволяє генерувати код на мові програмування С, який реалізує в собі функціонал нечіткої моделі. Цей програмний код потрібно підключити до основного проекту IAR-EWARM та скомпілювати бінарний файл прошивки для завантаження його в мікро контролер.

Застосування методів нечіткого виводу для функції регулювання роботи котла було зумовлено вимогою швидкої переорієнтації контролера на новий тип котлів для максимальної універсальності даної розробки. На даний момент розроблено дві моделі нечіткого виводу. Перша застосовується у системі опалення приватного будинку з газовим котлом та кількісною системою регулювання на основі циркуляційного насосу [1]. Друга встановлена в тепловому пункті навчального корпусу з централізованою системою теплопостачання де використовується якісний принципом регулювання за допомогою насосу підмішування [3].

## VI. Модель нечіткого логічного виводу

Модель складається з 10 вхідних, 5 вихідних параметрів та 5 блоків умов (рис. 1). Опис вхідних лінгвістичних змінних: _0_tust - задана температура внутрішнього повітря; _1_text - реальна температура зовнішнього повітря;_2_tk - реальна температура котла; _3_tp - реальна температура в подаючому трубопроводі; _4_to - реальна температура в зворотному трубопроводі; _5_tint - реальна температура внутрішнього повітря; _6_dtpo - різниця температур між подаючим та зворотнім трубопроводом; _7_dtextint - різниця температур між температурами зовнішнього та внутрішнього повітря; _8_dtustint - різниця температур між заданою температурою та реальною температурою у середині приміщення.

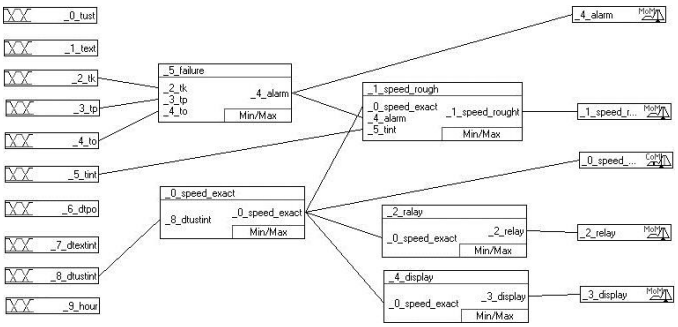



Рис. 1. Модель нечіткого логічного виводу

Опис вихідних лінгвістичних змінних: _0_speed_exact - точний управляючий сигнал для плавної корекції обертів насосу; _1_speed_rought - грубий але швидкий управляючий сигнал для корекції обертів насосу; _2_relay - логічний управляючий сигнал для управління котлом із власною системою автоматики електронного типу; _3_display - для відображення графічної іконки на дисплеї пристрою; _4_alarm - сигнал аварії.

Опис блоків правил: _0_speed_exact - блок правил який генерує точний управляючий сигнал для плавної корекції швидкості обертання валу насоса; _1_speed_rough - блок правил який генерує грубий але швидкий управляючий сигнал, використовується коли потрібно швидко змінити стан керуючого пристрою. Активується коли різниця між температурами уставок занадто велика; _2_ralay - блок правил який генерує управляючий сигнал для управління котлом із вбудованою системою автоматики електронного типу; _4_display - блок правил який використовується для генерації графічної іконки на дисплеї пристрою; _5_failure - блок правил який контролює систему опалення на наявність аварійних ситуацій, та вмикає сигналізацію.

Вперше представлено гібридну систему нечіткого логічного виводу, головною особливістю якого є швидка зміна вихідного параметру одночасно з точністю регулювання. Якщо різниця між реальною температурою та температурою уставки менша ніж 10% в діапазоні доступних значень вхідних параметрів, то керування роботою насосу бере на себе блок правил _0_speed_exact, який генерує поправку в діапазоні -5 до +5 відсотків до уже встановленого блоком _1_speed_rough значення. У випадку, коли різниця між реальною температурою та температурою уставки більша ніж 10%, то керування роботою насосу бере на себе тільки блок правил _1_speed_rough, який за один такт грубо задає значення швидкості обертання валу насосу у діапазоні від 0 до 100 відсотків.

## VII. Висновки

Розроблено апаратні та програмні засоби керування системою опалення на основі однокристального мікроконтролера з можливістю віддаленого керування його роботою. Дане рішення дозволяє достатньо просто змінювати та/або корегувати модель поведінки при контролі режимів роботи системи опалення використовуючи підходи нечіткої логіки у візуальному середовищі наладки fuzzyTECH.

Підхід гібридного нечіткого виводу продемонстрував свою спроможність і показав достатньо високу точність підтримки температури у середині приміщення, з величиною перерегулювання всього 1,43%. Цього вдалося досягти за рахунок плавної зміни обертів двигуна циркуляційного насосу в системі кількісного регулювання теплоспоживання.

## Література References


[1] Система автоматичного регулювання роботи системи опалення за допомогою циркуляційного насоса / Окопний Р.П., Неня В.Г. – Economics, Science, Education: Intergration and Synergy: materials of scientific and practical conference. – Bratislava, 2016. – С109.

[2] Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Леоненков А.В. – Санкт-Петербург: СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

[3] Автоматизований тепловий пункт закритої системи теплопостачання з залежною схемою приєднання системи опалення / Звягінцев В.Л., Звягінцев М.В., Окопний Р.П., Положій А.М., Сінкевич І.О. – Корисна модель №115810 від 25.04.2017.

# Засоби Оперативного Моніторингу за Дренуванням Пластових Систем Газосховищ

Сергій Алтухов
начальник сектору
інформаційного забезпечення
експлуатації газосховищ Інституту
транспорту газу (ІТГ)
Інститут транспорту газу АТ
"Укртрансгаз"
Харків, Україна
altukhov-sa@utg.ua

Юрій Пономарьов
заступник директора з наукової
роботи ІТГ АТ "Укртрансгаз",
к.т.н.
Інститут транспорту газу АТ
"Укртрансгаз"
Харків, Україна
ponomarev-yv@utg.ua

Андрій Бугай
начальник відділу науково-
технічної підтримки експлуатації
газосховищ ІТГ
Інститут транспорту газу АТ
"Укртрансгаз"
Харків, Україна
bugay-ao@utg.ua

# Underground Gas Storage Reservoirs Drainage Monitoring Means

Serhii Altukhov
head of information support section
of gas storage operation in the
Institute of Gas Transportation (ITG)
Institute of Gas Transportation JSC
"Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
altukhov-sa @utg.ua

Yurii Ponomarev
deputy director for scientific work
ITG JSC "Ukrtransgaz"
Institute of Gas Transportation JSC
"Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
ponomarev-yv@utg.ua

Andrii Buhai
head of the scientific and technical
support department of gas storage
facilities operation ITG
lInstitute of Gas Transportation JSC
"Ukrtransgaz"
Kharkiv, Ukraine
bugay-ao@utg.ua

***Анотація*—У цій статті розглянуті проблеми, що виникають під час прогнозування параметрів роботи газосховищ та контролю за станом пластової системи для недопущення порушення проектних показників експлуатації сховищ. Проаналізовано характерні особливості отримання та оброблення даних для створення моделі руху газу в пластових системах. На основі проведених досліджень створено програмне забезпечення для централізованого зберігання промислових даних та формування картографічних матеріалів, що дозволило значно зменшити завантаженість технологічного персоналу на газосховищах та автоматизувати процес побудови карт ізобар.**

***Abstract*—This article discusses the problems that arise when forecasting the operation parameters of gas storage facilities and monitoring the state of the reservoir system in order to prevent the violation of the design performance of storage facilities. The special features of obtaining and processing data for creating a model of gas movement in reservoir systems are analyzed. Based on the research conducted, software was created for the centralized storage of field data and creation of cartographic materials, which made it possible to significantly reduce the workload of technological personnel in gas storage facilities and automate the process of constructing isobars.**

***Ключові слова—карта ізобар; газосховище; пластовий тиск; пластова система; газодинамічний процес***

***Keywords—isobar map; underground gas storage; reservoir pressure; formation system; process gas-dynamic***

Експлуатація підземних сховищ газу характеризується непостійністю робочого режиму та залежить від попиту на газ який визначається природними та економічними факторами [1, 2]. Часта зміна режиму роботи газосховищ зумовлює проявлення інерційних газодинамічних процесів в їхніх пластових системах. Інерційність газодинамічних процесів значно ускладнює прогнозування параметрів роботи газосховищ а також виникає необхідність постійного контролю за станом пластової системи для недопущення порушення проектних показників експлуатації сховищ.

З метою оцінки поточного стану пластової системи періодично виконуються заміри тиску в свердловинах газосховищ а отримані значення обробляються та аналізуються. Масив підготовлених даних використовується для побудови графічних та картографічних матеріалів (карти ізобар, гістерезисні криві та інше). Одними з найбільш інформативних, з точки зору формування уявлення про рух газу в межах пластової системи, є карти ізобар, однак побудова таких картографічних матеріалів передбачає залучення значних людських ресурсів. Для зменшення трудомісткості вказаних робіт та забезпечення можливості оперативного виконання картографічних побудов розроблено та впроваджено програмні засоби для формування бази даних промислових замірів та їх оброки, результатом якої є цифрова карта ізобар.

Для зберігання та аналізу промислової інформації розроблене програмне забезпечення з використанням СКБД Oracle [3] з відповідним інтерфейсом користувача (рис. 1). Для кожної свердловин и обраного підземного сховища газу можна додавати чи вилучати записи у відповідності до конкретної дати, проводити операції редагування та обирати режим побудови карти.

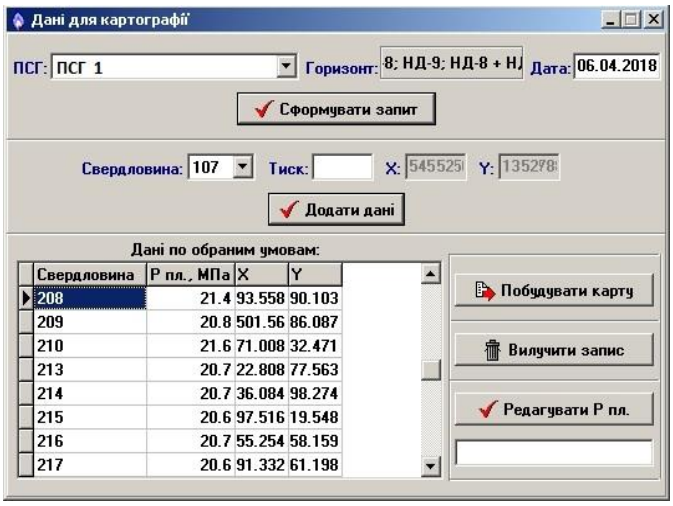



Рис. 1. Приклад формування даних для побудови карти ізобар.

Після оброки та формування масиву промислових даних виконуються картографічні побудови (рис. 2), які включають розміщення свердловин по площі газосховища та ізолінії рівних значень тиску. Для контролю виводяться значення тиску, визначені по кожній свердловині.

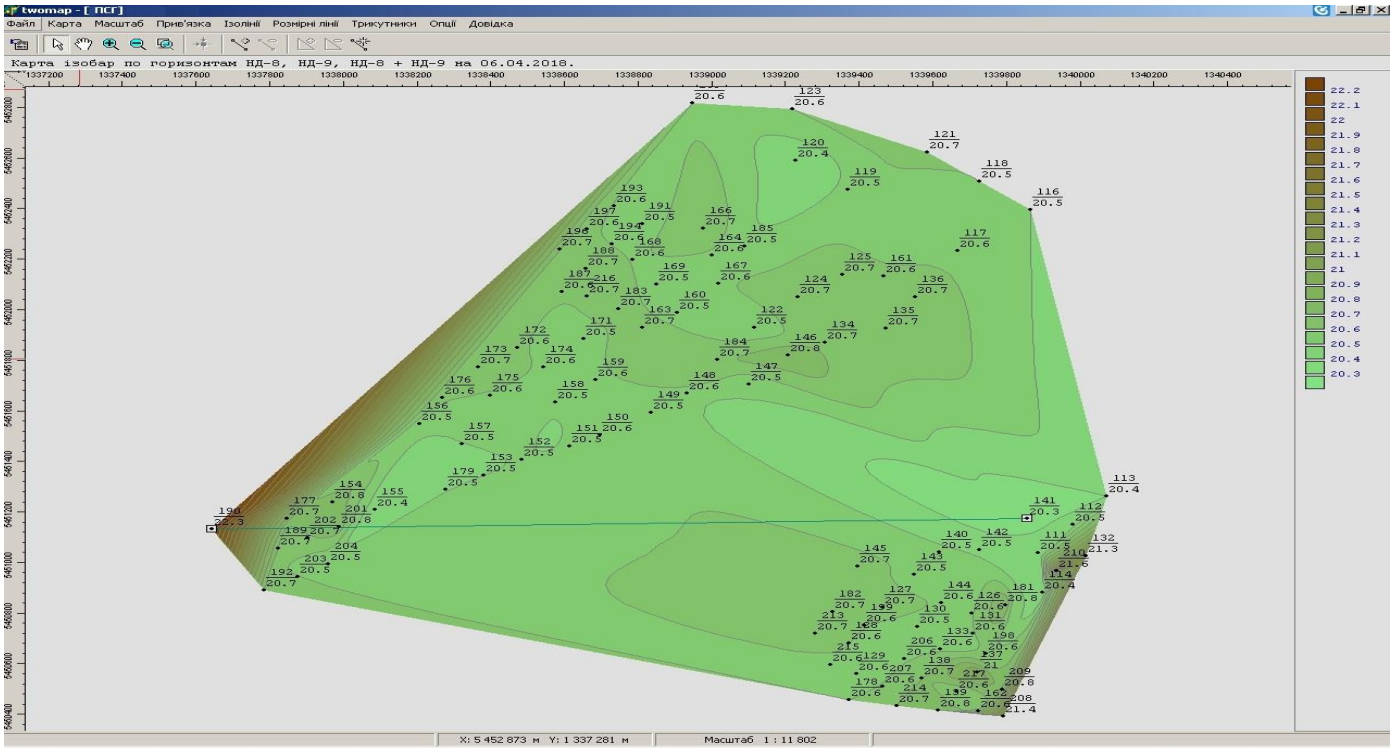



Рис. 2. Приклад карти ізобар побудованої в розробленому програмному забезпеченні.

Для геологічного моделювання зазвичай використовують два підходи – детермінований і стохастичний. Детермінований пропонує найбільш ймовірне рішення, а стохастичний пропонує декілька можливих реалізацій. Результати детермінованого моделювання використовуються для побудови однієї, найбільш імовірної, гідродинамічної моделі, використовуючи результати стохастичного моделювання з'являється можливість побудови декількох гідродинамічних моделей за кількістю реалізацій геологічної моделі.

Методи, які використовують в ході геологічного моделювання можна умовно поділити на "геометричні" і "статистичні". "Геометричні" методи працюють на основі значень вихідних даних і їх розташування, "статистичні" - на основі перенесення статистичних характеристик на вже створену модель. Такі методи, як конвергентний, тріангуляції, мінімальної кривизни, поліноміальний є геометричними детермінованими.

У створеному програмному забезпечені побудова карти ізобар ведеться методом тріангуляції. Програма автоматично визначає напрямок простягання та величину значення простягання. Можливо перебудувати карту з іншими значеннями параметрів алгоритму тріангуляції. Також для невеликих змін у мережі трикутників можна відкоригувати її вручну.

Вихідними даними для побудови карти ізобар є карта розташування свердловин та відповідні значення пластових тисків по ним.

Для побудови карти ізобар використовують алгоритм, який складається з таких операцій:

*1) Пластові тиски.* На карті розташування свердловин біля кожної з свердловин зазначають розраховані значення приведених пластових тисків.

*2) Інтервали тисків.* Визначають інтервал тисків, за яким на карті будуть проводити ізобари.

*3) Створення ізоліній*. Точки з однаковими значеннями тисків з'єднуються лініями, які не повинні перетинатися між собою.

Під час побудови карти ізобар треба визначити розташування ділянок з мінімальними і максимальними значеннями тисків. Не можна проводити інтерполяцію між свердловинами, які розташовані з різних боків від створених ізолінії.

Для визначення проміжних значень тисків між свердловинами, в яких його заміряли, використовують метод інтерполяції. Для цього необхідно знати закономірності зміни тиску між свердловинами. Визначити ці закономірності можливо маючи дані щодо властивостей пласта, його фаціальної мінливості, системи розташування свердловин та за іншими параметрами, які були заздалегідь досліджені, проаналізовані та внесені до бази даних. У розробленій програмі проводиться лінійна інтерполяція тисків. Використовуючи лінійну інтерполяцію припускається, що в разі з'єднання двох свердловин прямою лінією тиск вздовж неї буде змінюватися лінійно. Далі необхідно визначити зміну тиску між свердловинами та відстань між ними на карті і розрахувати перепад тиску на одиницю цієї відстані. Застосувавши метод лінійної інтерполяції визначають проміжні тиски, за якими проводять ізобари відповідно до обраного інтервалу тиску.

Створене програмне забезпечення дозволяє централізовано зберігати промислові дані та формувати картографічні матеріали, які дають уявлення про розподіл тиску та характер газодинамічних процесів у пластовій системі газосховища. Автоматизація процесу побудови карт ізобар значно зменшує завантаженість геологів на газосховищах та надає можливість зосередитись безпосередньо на аналізі розподілу тиску в пласті. Регламентними роботами передбачено побудову карт ізобар два рази на рік, а з використанням програмного забезпечення для автоматизованого виконання картографічних побудов можна здійснювати такі побудови щодекадно (за даними щодекадних замірів тисків), що підвищить якість та оперативність моніторингу за дренуванням пластових систем.

Подальше вдосконалення розробленого програмного забезпечення передбачається в напрямку розширення функціональних можливостей для візуалізації та, відповідно, аналізу динаміки ліній ізобар між щодекадними замірами.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] СОУ 60.3-20077720-028:2008 Сховища газу підземні в пористих пластах. Експлуатація. Основні положення.

[2] СТК 320.20077720.009-99 Правила створення та експлуатації підземних сховищ газу в пористих пластах.

[3] Керівництво користувача для програмного забезпечення з побудови карт ізобар. - Харків, ІТГ АТ"Укртрансгаз" – 10с.

# Концептуальні Основи Створення Ситуаційно-Аналітичного Центру Міста

Володимир Ткаченко
Завідувач кафедри медіасистем та технологій
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.tkachenko@nure.ua

Микола Губа
кафедра медіасистем та технологій
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
gni051952@gmail.com

Олександр Попов
Директор
Харківський міський інформаційний центр
Харків, Україна
d_mst@nure.ua

# Conceptual Foundations of the Situational and Analytical Center of the City

Volodymyr Tkachenko
Head of the Department of Media Systems and Technologies
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukrain
volodymyr.tkachenko@nure.ua

Mykola Guba
Department of Media Systems and Technologies
Kharkiv National University Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
gni051952@gmail.com

Alexander Popov
Director
Kharkiv City Information Center
Kharkiv, Ukraine
d_mst@nure.ua

***Анотація*—Розглядаються концептуальні принципи створення ситуаційно-аналітичного центру (САЦ) міста на базі міської геоінформаційної системи (МГІС). Представлено організаційно-технічну структуру САК, основні положення її концептуальної архітектури, функції, інструменти та їх реалізацію.**

***Abstract*—Conceptual principles of creation of situational-analytical center (SAT) of the city on the basis of city geographic information system (MGIS) are considered. The organizational and technical structure of the SAC, the main provisions of its conceptual architecture, the functions, tools and their implementation are presented.**

**Ключові слова—ситуаційно-аналітичний центр, система, загроза, надзвичайна ситуація, архітектура.**

**Keywords—situation-analytical center, system, threat, emergency situation, architecture.**

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

В умовах децентралізації управління збільшується відповідальність міських органів влади і місцевого самоврядування за результати економічного, соціального розвитку підпорядкованих територій. Ефективність міського управління в сучасних умовах залежить перш за все від наявності механізмів обліку і моніторингу та контролю стану міських ресурсів, до яких відносяться: інфраструктура життєзабезпечення міста (у тому числі транспортні комунікації, енергетичні та інженерні мережі), об'єкти соціально-економічного та культурно-історичного значення, моделювання, прогнозування, а головне - попередження кризових ситуацій та розробки оперативних заходів щодо управління в кризових ситуаціях. Актуальність заходів щодо забезпечення безпеки середовища проживання в місті обумовлюється наявністю різного роду загроз (природного, техногенного, соціального, екологічного й іншого характеру) для всього середовища проживання населення (житлових, суспільних і адміністративних будинків, об'єктів промислового виробництва, транспорту, зв'язку, технічних споруд і систем комунального господарства (водо-, газо-, тепло-, електропостачання, водовідведення), природних ресурсів.

Кризові явища, що створюють загрози суспільній безпеці громади:

- природні явища або процеси, які можуть привести до виникнення надзвичайних ситуацій, а також до порушення життєдіяльності населення (небезпечні геофізичні, геологічні, метеорологічні явища, гідрологічні явища);
- техногенні загрози - небезпечні ситуації, спровоковані господарською діяльністю людини, що несуть загрозу шкідливого фізичного, хімічного й механічного впливу на населення й середовище проживання;
- біолого-соціальні загрози - ситуації, що виникли на певній території, коли порушуються нормальні умови життєдіяльності людей, існування сільськогосподарських тварин і росту рослин і виникає загроза життю й здоров'ю людей, набуває широкого поширення інфекційних хвороб, втрат сільськогосподарських тварин;

− екологічні загрози - ситуації, обумовлені критичним станом атмосферного повітря, води й ґрунтів;

− конфліктні загрози - ситуації, при яких можливе виникнення соціальних вибухів, криміногенних і терористичних ситуацій, ескалація екстремістської діяльності, розпалення національних і релігійних конфліктів та ін.;

− загрози інформаційній безпеці - сукупність умов і факторів, що створюють небезпеку інформаційному середовищу.

З метою забезпечення інформаційно-аналітичного супроводження діяльності міської ради щодо координації і контролю за діяльністю органів виконавчої влади, правоохоронних органів, підприємств життєзабезпечення міста, об'єктів соціально-економічної сфери для моделювання, прогнозування попередження кризових ситуацій пропонується створити міський ситуаційно-аналітичний центр.

**Головною метою дослідження** є розробка концептуальних основ створення ситуаційно-аналітичного центру, визначення основних його функцій, складу та організаційної структури.

Ситуаційно-аналітичний центр міста повинен забезпечувати постійний моніторинг стану об'єктів управління міського господарства, аналіз та планування розвитку, прогнозування та моделювання кризових ситуацій і їх наслідків, розробку оперативних заходів щодо управління в кризових ситуаціях. Це забезпечить підвищення загального рівня суспільної безпеки, правопорядку й безпеки середовища проживання за рахунок істотного поліпшення обміну інформацією й координації діяльності сил і служб, відповідальних за розв'язок цих завдань, шляхом впровадження комплексної інформаційної системи, що забезпечує прогнозування, моніторинг, попередження й ліквідацію можливих загроз.

**Завдання дослідження**: розробка принципів реалізації концепції створення ситуаційно-аналітичного (кризового) центру, розробка архітектури САЦ, принципів організації інформаційних ресурсів, програмного, організаційно–технічного забезпечення створення й експлуатації ситуаційно-аналітичного центру міста.

Ситуаційно-аналітичний центр створюється як комплекс уніфікованих відомчих інформаційно-аналітичних систем на базі міської геоінформаційної системи, яка використовує єдину цифрову картографічну основу (ЄЦКО) і просторову інформаційну модель міста. ЄЦКО й просторова інформаційна модель міста відносяться до базових інформаційних ресурсів міста, які повинні містити повну актуальну інформацію про об'єкти інфраструктури міського господарства й інші об'єкти, що перебувають на території міста, включаючи їх географічне положення на цифрових картах.

**Основні функції** ситуаційно-аналітичного центру:

− моніторинг стану об'єктів управління із прогнозуванням розвитку можливих позаштатних ситуацій на основі постійного аналізу одержаної інформації;

− моделювання наслідків управлінських рішень, з використанням інформаційно-аналітичних систем;

− експертна оцінка прийнятих рішень та їх оптимізація;

− управління в кризових ситуаціях;

− побудова й розвиток систем ситуаційного аналізу причин дестабілізації обстановки й прогнозування існуючих і потенційних загроз для забезпечення безпеки населення міста;

− розробка єдиних функціональних і технічних вимог до апаратно-програмних засобів ідентифікації існуючих точок уразливості, прогнозування, реагування й попередження загроз щодо забезпечення безпеки міста.

**Організаційна структура САЦ** включає два основних функціональних підрозділи:

− диспетчерська служба;

− центр реагування на надзвичайні ситуації.

Диспетчерська служба приймає інформацію про порушення в діяльності служб, що забезпечують нормальне функціонування середовища проживання, передає інформацію до відповідних служб і контролює її виконання. У разі появи інформації про потенційну загрозу надзвичайної ситуації, вона передається в центр реагування на надзвичайну ситуацію.

Центр реагування на надзвичайну ситуацію забезпечує прогнозування, моніторинг, попередження і ліквідацію можливих загроз і надзвичайних ситуацій у разі їх виникнення.

На період усунення загроз і надзвичайних ситуацій в його розпорядження передаються сили і засоби відповідних служб і систем життєзабезпечення міста.

**Архітектура ситуаційного** центру, як інформаційної системи, включає в себе функціональні підсистеми і різні види забезпечення (інформаційне, математичне, технічне, кадрове, лінгвістичне та організаційне).

Технічне забезпечення САЦ складають комп'ютери та периферійне обладнання, засоби візуалізації та інтерактивної взаємодії (інтерактивні панелі або столи), засоби комунікацій, засоби зв'язку.

Інформаційне забезпечення САЦ складає сукупність інформаційних потоків, що забезпечують функціонування базових модулів і середовища візуалізації ситуаційного центру.

Програмне забезпечення САЦ складають системи ситуаційного та імітаційного моделювання, засоби інтерактивної взаємодії та телекомунікацій. Інтегруючою основою САЦ є міська геоінформаційна система з необхідним цифровим картографічним забезпеченням.

У доповіді наведено детальну архітектуру САЦ, його місце в складі МГІС, функції його підсистем, орієнтовну структуру інформаційного забезпечення, рекомендації щодо інструментального програмного забезпечення.

## Висновки

Створення ситуаційно-аналітичного центру міста забезпечить постійний моніторинг стану об'єктів управління міського господарства з точки зору можливих загроз виникнення кризових ситуацій, аналіз та планування їх розвитку, розробку оперативних заходів щодо попередження кризових ситуацій, управління в кризових ситуаціях з метою оперативного подолання їх наслідків.

# Секція 4

# Розпізнавання образів, цифрова обробка зображень і сигналів

# Section 4

# Pattern recognize, digital processing of images and signals

# Визначення Емоційного Фону Зображення

Євген Губаренко
кафедра системотехніки
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
evgen.gubarenko@nure.ua

Вікторія Вакулекно
кафедра системотехніки
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
viktoriia.vakulenko1@nure.ua

# Identify the Emotional Background of the Image

Ievgen Gubarenko
Department of System Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
evgen.gubarenko@nure.ua

Viktoriia Vakulenko
Department of System Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
viktoriia.vakulenko1@nure.ua

***Анотація* – Пропонується метод визначення емоційного фону картинки, для отримання додаткової інформацію та прийняття більш ефективного і збалансованого рішення. Зазначені етапи методу з коротким описом основних характеристик та результатів.**

***Abstract* – The method of determining the emotional background of the picture, for obtaining additional information and making a more effective and balanced solution is proposed The indicated stages of the method with a brief description of the main characteristics and results.**

***Ключові слова – емоційний фон, зображення, визначення, детекція, розпізнавання, палітра кольорів***

***Keywords – emotional background, image, definition, detection, recognition, color picker***

## I. Вступ

Системи детекції та розпізнавання емоцій (EDRS) і емоційні обчислення (affective computing) формують власну екосистему в полі розробок штучного інтелекту або artificial intelligence (AI).

Емоційні технології успішно подолали початкову фазу становлення. Тепер вони перестали бути недосяжними і почали активно використовуватися на ринку. Це складна, наукомістка галузь стабільно демонструє вражаючі темпи зростання. Технології по розпізнаванню емоцій, фізіологічних станів, поведінкових шаблонів людини, а також суміжні з ними, усталені змістовно і термінологічно «емоційні обчислення». Такі обчислення ґрунтуються на міждисциплінарних методах, які використовують як природні, так і когнітивні науки (біологія, психофізіології, нейролінгвістика). В рамках таких обчислень відбуваються взаємодії з наукою про дані, комп'ютерним зором, глибоким навчанням, технологіями по обробці візуальної, акустичної та вербальної інформації.

Визначення емоційного стану людини - складний і неоднозначний процес, бо на біологічному рівні він залежить від безлічі факторів і варіюється від однієї людини до іншої.

Важливим етапом є розробка серії програмних засобів, які б використовувались для визначення емоційного фону інформації, зокрема на зображенні. Цільова аудиторія користувачів таких програмних засобів – спеціалісти з маркетингу та реклами. Також подібні програмні засоби можуть бути використані для наукових досліджень з питань психології.

Для спеціалістів в області реклами та маркетингу важливу роль відіграє швидкість аналізу, тому що ситуація на ринку може різко змінитися, а рішення щодо продукту треба виносити швидко. Також автоматизація процесу визначення емоціонального фону дозволить спеціалістам діяти у більш широкому просторі, тому що подібний підхід наддасть можливість регулювати показники регіональних особливостей.

Програмний засіб, який автоматизує процес визначення емоціонального фону зображення повинен виконувати такі задачі:

- виділяти на зображенні основні кольори, тобто створювати палітру кольорів,

- визначати домінантний колір, такий що займає найбільшу площину на зображенні,
- розбивати кольори на групи згідно колеса кольорів та обчислювати середнього представника групи,
- аналізувати виділенні кольори та давати оцінку емоційного стану зображення, надавати графічне уявлення зібраній інформації.

## II. АНАЛІЗ ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ЗОБРАЖЕННЯ

Наведені вище способи вирішення завдання визначення емоційного фону зображення ґрунтуються на твердженні, що на зображенні обов'язково присутнє людське обличчя з помітними мімічними рисами. Однак, такий підхід не єдиний, також для вирішення подібної проблеми можна ґрунтуватися на твердженні, що у кожного зображення є колірна гама. Крім цього, існує взаємозв'язок між кольором і підсвідомістю, яке є джерелом емоційного відгуку людини. Такий напрям в системах детекції та визначення емоційного фону не так поширений, так як взаємозв'язок між показниками кольору і емоцією складно однозначно визначити.

В останні роки даний напрямок у визначенні емоційного фону зображення розвивався і були проведені серії експериментів пов'язаних з даним напрямком. Колір є невід'ємною частиною зображення, по суті основний його компонент. Даними дослідженнями можна користуватися як підставою для використання показників кольору при визначенні емоційного фону зображення [2].

У своїй статті «Вплив кольору на емоції» [3] А. Мехрабіан і П. Вальдес описали взаємозв'язок між параметрами моделі емоційного стану PAD (Pleasure Arousal Dominance emotional state model) і колірної моделі HSB (Hue, Saturation, Brightness). Авторами було проведено лінійний регресивний аналіз, за допомогою якого ними була виявлена залежність між показниками PAD і такими координатами колірної моделі як насиченість і яскравість. Їх теоретичні висновки були підкріплені результатами, отриманими при проведенні серії експериментів. Однак в своєму дослідженні Махрабіан і Вальдес стверджують, що вплив відтінку кольору на емоції менш виражений, ніж вплив яскравості і насиченості.

Було встановлено, що показники PAD в чотирьох вимірному просторі можуть коректно і точно описувати відгук людей на колірне оточення [4]. Також дослідження показало, що вплив показника PAD Dominance, в цілому, не такий сильний, як вплив інших трьох показників. Була розглянута можливість підстроювання кольору оточення, як інструмент впливу на бажання людей повернуться в це оточення. Як одна з проблем у дослідженні була виділена слабка узагальненість лабораторних експериментів.

У дослідженні Мачаждік і Хенбурі було встановлено взаємозв'язок між емоційним відгуком людини і низькорівневими характеристиками зображення, в тому числі і колірна складова. Предметом дослідження служили як абстрактні зображення, так і художня фотографія. Було встановлено, що абстрактні зображення гірше піддаються аналізу, найбільш точні результати були отримані при роботі з художньою фотографією. Так само зображення, які викликали у людей почуття гніву, показали нижчий рівень кореляції з запропонованим алгоритмом. Як розширення досліджень авторами, був запропонований перехід від загального до конкретного, тобто за основу береться алгоритм який враховує не тільки загальні характеристики зображення, але і переваги людей. Слід зазначити, що найчастіше не враховується вплив нестатичних елементів на зображення, такі як мерехтіння лам, миготливі вивіски та інше.

У своїй роботі (Tsonos and Kouroupetroglou, 2011) [5] досліджували вплив оформлення тексту на емоційний стан людини, використовуючи PAD модель. В результаті авторами був підтверджено, що зовнішні чинники впливають на емоційний стан читача, і що емоційний відгук можна співвіднести з показниками моделі емоційного стану PAD.

Перевагою використання таких методів є те, що при цьому нівелюється така проблема, як відсутність сильних мімічних реакцій у деяких людей. Такі методи дозволяють розвивати напрямок визначення емоційного фону зображення не тільки як засобу визначення емоційного стану конкретної людини, а як можливість використовувати такі методи для визначення ставлення до зображення в цілому.

## III. ВИКОРИСТАННЯ PAD-МОДЕЛІ

PAD-модель включає три показники P (Pleasure), A (Arousal) та D (Dominance). Усі три показники можуть приймати значення як позитивне, так і від'ємне. Кожне з них у свою чергу відповідає якомусь з емоціональних стимулів, таких як насолода, спонукання та вплив.

PAD використовує тривимірні шкали, які теоретично можуть мати будь-які числові значення. Розмірна структура нагадує роботу 19-го століття Вільгельма Вундта, який також використовував тривимірну систему, а також роботу 20-го століття Осгуд.

Шкала задоволення / невдоволення (*Pleasure*) оцінює, наскільки приємним чи неприємним відчувається щось. Наприклад, гнів і страх – це неприємні емоції, і обидві оцінки на стороні невдоволення. Однак радість – приємна емоція.

Шкала збудження / не збудження (*Arousal*) вимірює, наскільки сильно напружена людина. Це не інтенсивність емоцій – для горя і депресії може бути низьке збудження. Хоча гнів та лють – неприємні емоції та мають високу інтенсивність збудження. Однак нудьга, яка також є неприємною емоцією, має низький рівень збудження.

Шкала домінування / поступливості (*Dominance*). Наприклад, у той час як страх і гнів – неприємні емоції, гнів є домінуючою емоцією, тоді як страх – це покірна емоція. Більш скорочена версія моделі використовує всього 4 значення для кожного аспекту, надаючи лише 64 значення для можливих емоцій. Наприклад, гнів є досить неприємним, досить пробудженим і помірно домінуючим

емоціями, тоді як нудьга трохи неприємна, досить незграбна і переважно не домінантна.

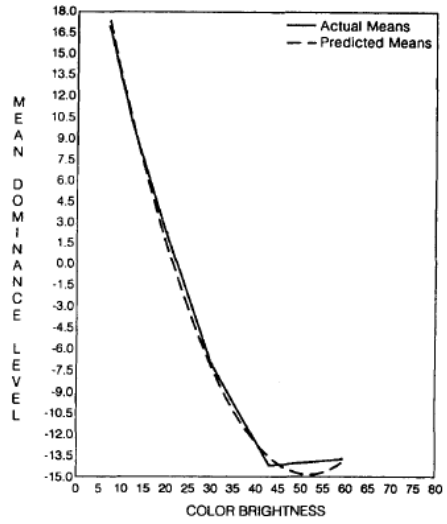



Рис. 1. Співвідношення між впливом та яскравістю

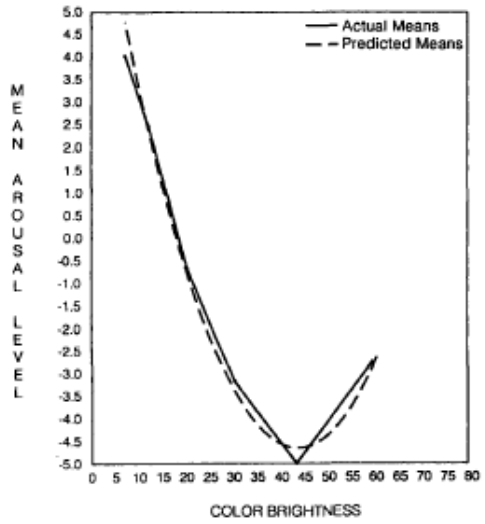



Рис. 2. Співвідношення між спонуканням та яскравістю

Для того, щоб створити співвідношення між кольором та емоцією вченими було проведено серію тестувань, у яких приймали участь люди різної статі та вікової категорії. Кожному з учасників пропонувалося подивитися на серію карток, які були заповнені різними кольорами. Після цього учасник експерименту заповнював складений опитувальник щодо своїх емоційних відгуків на дані кольору. В якості параметра кольору використовувалася довжина хвилі, після цього значення піддавалися лінійній регресії і отримані значення переносилися на графік.

Крім довжини хвилі дослідники вивчали і інші показники кольору і їх вплив на емоційні стимули людини. Наприклад, вдалося встановити, що яскравість впливає на показники впливу та спонукання. Такий підхід дозволяє використовувати різний моделі представлення кольору такі як HSB і HSL.

Як видно з графіків (рис. 1 та рис. 2) між впливом та яскравістю і спонуканням та яскравістю можливо відстежити чітку закономірність. Чим менше яскравість, тим більше вплив такого кольору на людину.

Отже, для яскравості автори вивели наступні рівності:

$$Arousal=8.724 – 0.62(Brightness)+ 0.007173(Brightness)^2$$

$$Dominance = 28.156 – 1.66(Brightness)+ 0.016(Brightness)^2$$

Для того, щоб отримати коефіцієнти для рівностей використовується система Манселла.

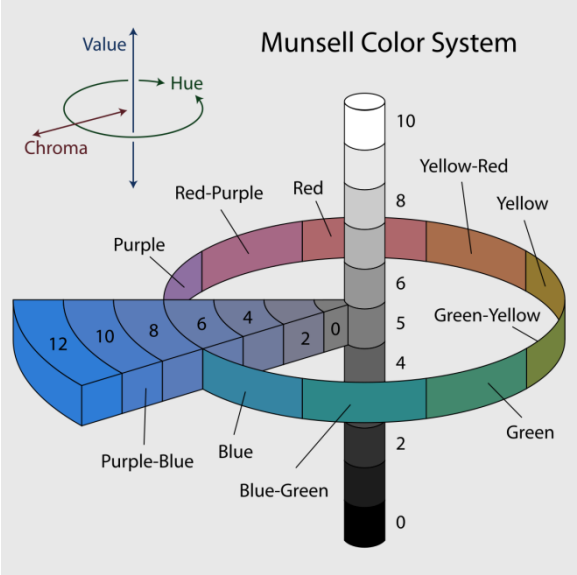



Рис. 3. Колірна система Манселла

Колірна система Манселла (рис. 3) включає три координати, колірне тіло можна уявити як циліндр в тривимірному просторі. Тон вимірюється в градусах по горизонтальному колу, хрому (насиченість) вимірюється радіально від нейтральної осі циліндра до більш насичених країв, значення (світлини) вимірюється вертикально по осі циліндра від 0 (чорний) до 10 (білий). Розташування кольорів визначалося експериментально вивченням колірного відчуття випробовуваних. Кольори Манселл намагався розташувати візуально однаково, що призвело до утворення колірного тіла неправильної форми.

При використанні нелінійного регресійного аналізу були отримані наступні співвідношення:

$$Pleasure = 0.71(Brightness)$$

$$Arousal=8 – 0.6915(Brightness)+ 0.0073(Brightness)^2$$

$$Dominance = 25 – 1.26975(Brightness)+ 0.0088(Brightness)^2$$

Хоча отримані коефіцієнти близькі за значеннями до тих, що були отримані при використанні лінійного регресивного аналізу, однак суттєвою відмінністю є те, що при лінійному аналізі не був встановлений взаємозв'язок між яскравістю і показником насолоди, при нелінійному – такий зв'язок був встановлений, а так само було отримано відповідний коефіцієнт.

Група емоцій і відповідна їй PAD модель має наступний вигляд [6]:

- +P+A+D: захоплений, сміливий, креативний, потужний, енергійний;
- +P+A-D: вражений, захоплений, захоплений, вражений втілений;
- +P-A+D: зручний, неквапливий, спокійний, задоволений, незбурений;
- +P-A-D: слухняний, захищений, сонний, спокійний;
- -P+A+D: антагоністичні, воюючі, жорстокі, ненависні, ворожі;
- -P+A-D: здивований, обурений, принижений, з болем, засмучений;
- -P-A+D: зневажливе, байдужий, егоїстично-незацікавлений, розумний, нехтуючий;
- -P-A-D: нудьгувати, пригнічений, тупий, самотній, сумний.

Наведені вище модель – це узагальнення, для того, щоб визначити емоцію більш конкретно потрібно обчислити коефіцієнти показників моделі. Зразок середніх оцінок задоволення, збудження та панування(забиті від -1 до +1) відповідно були наступні для деяких емоцій у попередніх групах: захоплений (.44, .61, .66), вражений (.41, .30, -.32), затишний (.85,-.19, .13), захищений (.60, -.22, -.42), ворожий (-42, -53,.30), стурбований (-61, -28, -36), нерозумний (-32, -12,.28), нудьга (-65, -62, -33).

PAD модель не встановлює чіткий взаємозв'язок між довжиною хвилі і показниками моделі. Однак, отримані результати можна використовувати для початкових коефіцієнтів показників, які далі можуть бути модифіковані за рахунок лінійного або нелінійного регресивного аналізу [7].

Емоційні або афективні технології демонструють вражаючі темпи зростання. В рамках емоційних обчислень відбуваються взаємодії з наукою про дані, комп'ютерним зором, глибоким навчанням, технологіями по обробці візуальної, акустичної та вербальною інформації.

Визначення емоційного фону найпростіше здійснити по статичному зображенню, яке дозволяє людині визначити всі кольори на зображенні. Колір – це перше, що людський мозок засвоює з зображення. Колір безпосередньо впливає на підсвідомість людини, за умови що він не страждає дальтонізмом.

## Висновки

Автоматизована обробка інформації про емоційний стан людини дає можливість вирішення різноманітних проблем. Таких як виробничі, соціальні та інші. Програмні комплекси, які здійснюють інтелектуальну обробку зображення, можуть виявитися корисними всюди, де потрібен аналіз або передбачення поведінки людини, в тому числі і його емоційної складової – в організаціях, на транспортних вузлах, у великих магазинах і інших місцях скупчення людей.

Визначення емоційного стану людини складний і неоднозначний процес, бо на біологічному рівні він залежить від безлічі факторів і варіюється від однієї людини до іншої.

Запропонований підхід к розробці програмних засобів, дозволяє встановити емоційний фон зображення. Такий аналіз дозволяє у подальшому проводити різноманітні експерименти у сфері людського сприйняття.

В результаті проведеного аналізу пропонується використовувати алгоритми: медіанного квантування, дерева прийняття рішень, а також використовувалась PADмодель адаптована до машинних обчислень.

Програмна реалізація запропонованого підходу дозволяє виконувати такі задачі: виділяти палітру зображення; визначає домінантний колір, такий що займає найбільшу площину на зображенні; розбивати кольори на групи згідно колеса кольорів та обчислювати середнього представника групи; аналізувати виділенні кольори та давати оцінку емоційного стану зображення, давати графічне уявлення зібраної інформації

## Література References


[1] Valdez P. Genetic Algorithm and Neural Network for Face Emotion Recognition / P. Valdez, A. Mehrabian. // J. Exp. Pschology Gen. – 1994. – №4. – С. 394–409.

[2] Brengman M. The Four Dimensional Impact of Color on Shopper Emotions / M. Brengman, M. Geuens. // Advances in Consumer Research. – 2004. – №31. – С. 122–128.

[3] Machajdik J. Affective Image Classification using Features Inspired by Psychology and Art Theory / J. Machajdik, A. Machajdik. // Multimedia 2010 International Conference. – 2010. – С. 83–92.

[4] Cuculo V. The color of smiling : computational synaesthesia of facial expressions / V. Cuculo, R. Lanzarotti, G. Boccignone // Image Analysis and Processing — ICIAP 2015. – pp. 203-214.

[5] Tsonos D. Modeling Reader's Emotional State Response on Document's Typographic Elements / D. Tsonos, G. Kouroupetroglou // Advances in Human-Computer Interaction. – 2011. – pp. 1-18.

[6] Интерфейс человеко-машинный. Маркировка и обозначения органов управления и контрольных устройств. Правила кодирования информации.: ГОСТ Р МЭК 60073-2000.

[7] Принципы зрительной эргономики. Освещение рабочих систем внутри помещений. : ГОСТ Р ИСО 8995-2002.

# Ефективність Застосування Дискретного Трійкового Симетричного Вейвлет-Перетворення для Цифрової Обробки Інформації у Розподілених Системах Управління

Артем Ізмайлов
кафедра інформатики
Прикарпатський національний університет
Івано-Франківськ, Україна
aiartefact@gmail.com

Любомир Петришин
кафедра управління
Науково-технологічний університет AGH
Краків, Польща
l.b.petryshyn@gmail.com

# Application Effectiveness of Discrete Symmetric Ternary Wavelet Transform for Digital Information Processing in Dispersed Management Systems

Artem Izmailov
dept. of Computer Science
Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
aiartefact@gmail.com

Lubomyr Petryshyn
dept. of Enterprise Management
AGH University of Science and Technology
Cracow, Poland
l.b.petryshyn@gmail.com

***Анотація*—У роботі досліджено ефективність застосування дискретного трійкового симетричного вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій для цифрової обробки інформації за критерієм мінімуму середнього абсолютного значення деталізуючих коефіцієнтів у порівнянні з існуючими дискретними вейвлет-перетвореннями. На основі отриманих результатів, визначено сфери ефективного застосування даного вейвлет-перетворення у прикладних галузях цифрової обробки інформації.**

***Abstract*—The paper deals with discrete wavelet transform based on symmetric ternary functions and its application efficiency in digital information processing due to the criterion of minimum of absolute mean value of detail coefficients in comparison to existing discrete wavelet transforms. Scopes of efficient application of given wavelet transform were defined using the results of conducted analysis.**

***Ключові слова—цифрова обробка інформації; дискретне вейвлет-перетворення; трійкові симетричні функції***

***Keywords—digital information processing; discrete wavelet-transform; symmetric ternary functions***

## I. Вступ

Цифрова обробка інформації є ключовим елементом багатьох технічних систем, які використовуються у різних галузях економіки, зокрема: управління, виробництва, медицини та зв'язку [1 – 7]. Відповідно, підвищення ефективності рішень у галузі цифрової обробки інформації призведе до підвищення ефективності перебігу процесів, які включають цифрову обробку інформації, у прикладних галузях.

Актуальним завданням цифрової обробки інформації є обробка цифрових сигналів на основі вейвлет-перетворень [1 – 3, 8 – 10]. Основною властивістю і, водночас, недоліком довільного вейвлет-перетворення є його пристосованість для обробки лише певного класу сигналів [2, 8 – 10]. Звідси випливає актуальність завдання синтезу нових вейвлет-функцій та відповідних їм вейвлет-перетворень, які дозволять з вищою ефективністю проводити обробку конкретних цифрових сигналів, у тому числі тих, для яких існуючі методи працюють із недостатнім рівнем ефективності.

Аналіз останніх досліджень у галузі вейвлет-перетворень вказує на те, що дослідження щодо реалізації та аналізу ефективності застосування дискретних вейвлет-перетворень на основі трійкових симетричних функцій не проводились [1 – 5]. Водночас, успішний синтез дискретного ортогонального перетворення на основі трійкових симетричних функцій [7] та дискретного вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій [4, 5] вказують на перспективність розвідок по даних напрямах.

Метою дослідження є оцінювання ефективності застосування дискретного вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій за критерієм мінімуму середнього абсолютного значення деталізуючих коефіцієнтів вейвлет-перетворення.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в успішному проведенні оцінки ефективності застосування дискретного вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій у порівнянні з найбільш уживаними вейвлет-перетвореннями за критерієм мінімуму середнього абсолютного значення деталізуючих коефіцієнтів вейвлет-перетворення.

## II. Дискретне вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій

У загальному випадку дискретне вейвлет-перетворення неперервної функції $f(x) \in \mathrm{L}_2(\mathrm{R})$ має вигляд [2, 8, 9]

$$w_{m,n} = \left\langle f(\bullet) \,|\, \psi_{m,n}(\bullet) \right\rangle, \tag{1}$$

де $\psi_{m,n}(x)$ – система вейвлет-функцій, яка, у загальному випадку, будується на основі материнського вейвлета $\psi(x)$ у вигляді [2, 8, 9]

$$\psi_{m,n}(x) = a_0^{-m/2} \psi(a_0^{-m} x - n b_0), \tag{2}$$

де $a_0 \neq 1$ – параметр стиску, $b_0$ – параметр зсуву, $m,n \in Z$.

У випадку вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій, параметр $a_0$ рівний *3*, а $b_0$ – *1*. Відповідно, вираз (2) для даного перетворення набуде вигляду

$$\psi_{m,n}(x) = 3^{-m/2} \psi(3^{-m} x - n). \tag{3}$$

У зв'язку з тим, що параметр стиску у виразі (3) рівний *3*, у представленому вейвлет-перетворенні використовуються два материнські вейвлети $\psi 1$ та $\psi 2$. У якості масштабної функції для даних вейвлетів обрано характеристичну функцію на проміжку [0, 1) (9)

$$\varphi(t) = \begin{cases} 1, t \in [0,1), \\ 0, t \notin [0,1). \end{cases} \tag{4}$$

Вейвлет $\psi 1$ визначається аналітичним виразом

$$\psi 1(t) = \begin{cases} -\sqrt{\frac{3}{2}}, t \in [0, \frac{1}{3}), \\ \sqrt{\frac{3}{2}}, t \in [\frac{2}{3}, 1), \\ 0, t \notin [0, \frac{1}{3}) \cup [\frac{2}{3}, 1). \end{cases} \tag{5}$$

Вейвлет $\psi 2$ визначається аналітичним виразом

$$\psi 2(t) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, t \in [0, \frac{1}{3}) \cup [\frac{2}{3}, 1), \\ -\sqrt{2}, t \in [\frac{1}{3}, \frac{2}{3}), \\ 0, t \notin [0,1). \end{cases} \tag{6}$$

Функції (4) – (6) породжують відповідні їм сімейства функцій за допомогою аналітичної залежності (3). Детальну інформацію відносно аналізу властивостей функцій (4) – (6) та синтезу на їх основі відповідного вейвлет-перетворення можна знайти у [4].

## III. Ефективність застосування дискретного трійкового симетричного вейвлет-перетворення

Для оцінки здатності вейвлет-перетворень концентрувати енергію у апроксимуючих коефіцієнтах та оцінки ефективності застосування вейвлет-перетворень у задачах зменшення надлишковості даних та очищення сигналів від шуму використовується критерій мінімуму середнього абсолютного значення деталізуючих коефіцієнтів вейвлет-перетворення [8 – 10]

$$d_{mean} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} |d_i|, \tag{7}$$

де $N$ – загальна кількість деталізуючих коефіцієнтів по всіх рівнях вейвлет-перетворення, $d_i$ – $i$-ий член послідовності деталізуючих коефіцієнтів всіх рівнів вейвлет-перетворення.

Дослідження ефективності застосування дискретного вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій (ST) за критерієм (7) проводилося на множині з 34 тестових сигналів у порівнянні з дискретними вейвлет-перетвореннями на основі вейвлетів Хаара (Haar), Добеші 2-го (db2), 3-го (db3), 4-го (db4) порядків та біортогональних вейвлетів з параметрами 1.3 (bior1.3), 2.2 (bior2.2) та 3.7 (bior3.7).

Отримані за критерієм (7) дані вказують на відсутність переваги дискретного вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій над іншими вейвлет-перетвореннями за критерієм мінімуму середнього абсолютного значення деталізуючих коефіцієнтів. Однак, проведений у роботах [4, 5] аналіз ефективності дискретного вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій за критеріями мінімуму

середньоквадратичної похибки відновлення даних за частиною коефіцієнтів та мінімуму ентропії деталізуючих коефіцієнтів вказав на необхідність аналізу результатів досліджень ефективності з точки зору переваги даного вейвлет-перетворення відносно кількості рівнів перетворення, оскільки у випадку частини тестових сигналів перевага даного перетворення зберігається лише до певного значення кількості рівнів перетворення.

Окрім вищесказаного, необхідно врахувати, що для повної декомпозиції сигналу (кількість апроксимуючих коефіцієнтів досягає мінімального для заданого вейвлет-перетворення значення і з кожним наступним рівнем перетворення не зменшується [2, 8, 9]) представленого множиною близько 1000±25 семплів біортогональними вейвлет-перетвореннями та вейвлет-перетвореннями Хаара та Добеші необхідно 10 рівнів перетворення, а у випадку вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій – лише 7. Відповідно, виникає необхідність здійснити порівняння отриманих показників за критерієм (7), у випадку відповідних сигналів, між 7-им рівнем для синтезованого вейвлет-перетворення та 10-им для решти вейвлет-перетворень.

Наприклад, у випадку сигналу sumsin (сума двох синусоїдальних сигналів), графік якого наведено на рис. 1, для дискретного вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій на 7-му рівні перетворення критерій (7) набуває значення 0,85869, при цьому дане перетворення забезпечує повну декомпозицію описаного сигналу. З рис. 2 випливає, що у випадку решти вейвлет-перетворень, які забезпечують повну декомпозицію сигналу лише на 10-му рівні перетворення, значення даного критерію є вищим, ніж зазначене попередньо, причому перевага синтезованого перетворення у даному випадку складає від 1,5% до 7,5% залежно від перетворення.

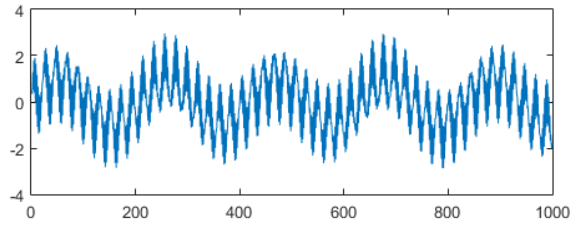



Рис. 4. Тестовий сигнал sumsin для оцінки ефективності дискретних вейвлет-перетворень

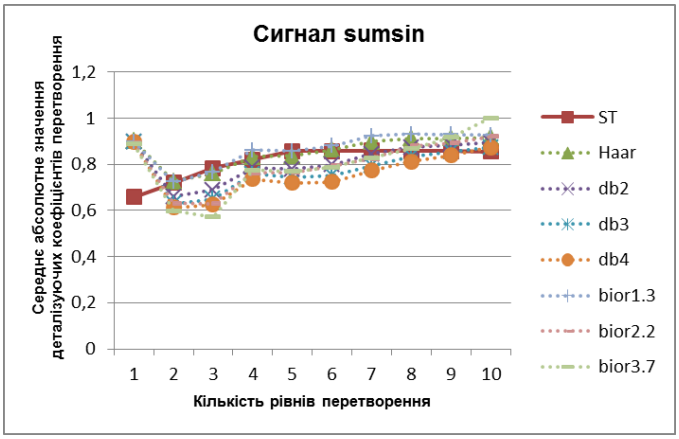



Рис. 5. Діаграма значень критерію $d_{mean}$ для тестового сигналу sumsin в залежності від кількості рівнів перетворення

Відповідно до вищесказаного, здійснена оцінка переваги дискретного вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій над іншими вейвлет-перетвореннями за критерієм мінімуму середнього абсолютного значення деталізуючих коефіцієнтів для всієї множини тестових сигналів (рис. 3).

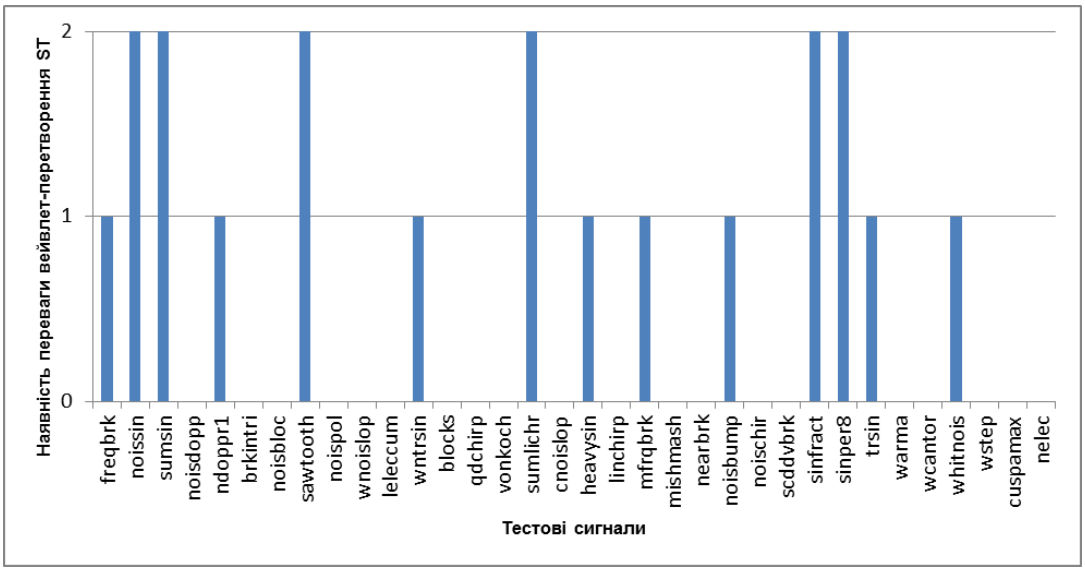



Рис. 6. Гістограма наявності переваги дискретного трійкового симетричного вейвлет-перетворення над іншими за критерієм мінімуму середнього абсолютного значення деталізуючих коефіцієнтів вейвлет-перетворення (2 – повна перевага, 1 – перевага над частиною вейвлет-перетворень, 0 – відсутність переваги)

З даних на рис. 3 випливає, що у випадку тестових сигналів noissin (зашумлений синусоїдальний сигнал), sumsin (сума двох синусоїдальних сигналів), sawtooth (послідовність трикутних імпульсів), sumlichr (комбінація лінійно-розгорнутих синусоїд), sinfract (фрактал із синусоїдальною огинаючою) та sinper8 (вісім періодів чистого тону) синтезоване вейвлет-перетворення володіє вищою ефективністю за критерієм (7) у порівнянні з рештою проаналізованих вейвлет-перетворень у випадку повної декомпозиції сигналу. Це свідчить про вищу здатність даного вейвлет-перетворення концентрувати енергію у апроксимуючих коефіцієнтах і, відповідно, більш ефективне зменшення надлишковості та стиснення даних описаних типів.

У загальному випадку, дискретне вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій забезпечує менше до 45% середнє абсолютне значення деталізуючих коефіцієнтів для 18% протестованих сигналів.

Водночас, отримані дані (рис. 3) свідчать про наявність для 59% тестових сигналів більшого до 63% середнього абсолютного значення деталізуючих коефіцієнтів, яка вказує, відповідно, на нижчу здатність синтезованого перетворення концентрувати енергію відповідних типів даних у апроксимуючих коефіцієнтах, але, при цьому, на кращу здатність даного вейвлет-перетворення виявляти характеристики та особливості сигналів різного характеру та вищу ефективність у задачах очищення сигналів від шуму, зокрема, з використанням техніки «м'якого» порогу [8, 10].

## Висновки

Дискретне вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій завдяки своїй відмінній від інших вейвлет-перетворень структурі володіє рядом переваг. Зокрема, для певних типів даних (наприклад, суми двох синусоїдальних сигналів) дане перетворення володіє вищою, у порівнянні з іншими вейвлет-перетвореннями, здатністю до зменшення надлишковості та стиснення даних, що підтверджується отриманими як за критерієм (7), так і у роботах [4, 5] результатами.

Водночас, одержані результати вказують на вище, у порівнянні з іншими вейвлет-перетвореннями, середнє абсолютне значення деталізуючих коефіцієнтів, утворених синтезованим вейвлет-перетворенням. Це вказує на вищу ефективність застосування даного перетворення у задачах очищення сигналів від шуму, зокрема, за допомогою техніки «м'якого» порогу, оскільки при збільшенні значення порогу менша кількість деталізуючих коефіцієнтів перетвориться в нуль, що дозволить зменшити втрати корисної інформації в процесі очищення сигналу від шуму.

Подальші дослідження полягають у аналізі ефективності застосування дискретного вейвлет-перетворення на основі трійкових симетричних функцій за допомогою відмінних від (7) критеріїв. Необхідним є, також, синтез згорткової форми даного вейвлет-перетворення з метою спрощення його імплементації у засобах цифрової обробки інформації. Проведення окреслених досліджень дозволять чітко визначити спектр застосування описаного вейвлет-перетворення.

## Література References


[1] E. Ifeachor, B. Jervis, Digital Signal Processing: A Practical Approach (2nd Edition), Pearson Education, 2002, P. 960.

[2] P.S. Addison, The Illustrated Wavelet Transform Handbook: Introductory Theory and Applications in Science, Engineering, Medicine and Finance (Second Edition) / P.S. Addison, CRC Press, 2016, P. 446.

[3] S. Prasad, Information Fusion in the Redundant-Wavelet-Transform Domain for Noise-Robust Hyperspectral Classification / S. Prasad, W. Li, J.E. Fowler, L.M. Bruce // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – September 2012. – Vol. 50, No. 9. – P. 3474-3486. doi: 10.1109/TGRS.2012.2185053

[4] А.В. Ізмайлов, Дискретне трійкове симетричне вейвлет-перетворення та його застосування для цифрової обробки інформації у розподілених системах управління / А.В. Ізмайлов, Л.Б. Петришин // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання: матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 14-19 травня 2018 року. – Івано-Франківськ : Супрун В.П., 2018. – С. 152-155.

[5] А.В. Ізмайлов, Застосування дискретного трійкового симетричного вейвлет-перетворення для перетворення форми та цифрової обробки інформації у розподілених системах управління в умовах секторної кооперації / А.В. Ізмайлов, Л.Б. Петришин // Комп'ютерна алгебра та інформаційні технології: праці III Міжнародної науково-практичної конференції, м. Одеса, 20-25 серпня 2018 року. – Одеса : Бондаренко М.О., 2018. – С. 61-64.

[6] A. Izmailov, L. Petryshyn, "Symmetric ternary functions and their application in orthogonal transforms," 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kiev, 2017, P. 836-841. doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100364

[7] А.В. Ізмайлов, Ефективність застосування ортогонального перетворення на основі трійкових симетричних функцій для цифрової обробки інформації / А.В. Ізмайлов // Методи та прилади контролю якості. 2018. № 1 (40). С. 97-104.

[8] Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов в MATLAB / Н.К. Смоленцев. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.

[9] I. Daubechies, Ten Lectures on Wavelets, CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics, Rutgers University and AT&T Bell Laboratories, 1992, P. 357.

[10] D. Salomon, Data Compression – The Complete Reference, Springer London, 2007, P. 1092.

# Кодування Рівнів Квантування для Ущільнення Інформації

Юрій Іляш
кафедра інформатики
Прикарпатський національний університет
Івано-Франківськ, Україна
yurchukil@cym.org

# Data Compression by Encoding Quantization Levels

Yurii Iliash
dept. of Computer Science
Precarpathian National University
Ivano-Frankovsk, Ukraine
yurchukil@cym.org

***Анотація*—подано результати дослідження кодування рівнів квантування рекурсивними кодовими послідовностями, встановлено граничні межі ефективності використання запропонованого методу зменшення надлишковості даних.**

***Abstract*— the paper presents the results of the research of the encoding of quantization levels by the recursive sequence codes, and sets the limits of the efficiency of the proposed method of data compression.**

***Ключові слова—рекуксивні кодові послідовності, адаптивні методи зменшення надлишковості інформації.***

***Keywords— recursive code sequences, adaptive data compression methods.***

## I. Вступ

Велика частина повідомлень, які передаються по каналах зв'язку є малоінформативними, тобто несуть надлишкові або несуттєві відомості. В результаті виникла задача стиснення об'єму даних, які передаються або запам'ятовуються, шляхом усунення природної надлишковості дискретних та неперервних повідомлень. Для зменшення надлишковості інформаційних потоків розроблена величезна кількість алгоритмів, призначених для того чи іншого типу вхідних даних і для того чи іншого споживача інформації.

В роботі пропонується спосіб формування службової інформації в адаптивних апертурних методах зменшення надлишковості інформаційних повідомлень, шляхом кодування, елементами рекурентних кодових послідовностей, рівнів квантування.

## II. Порівняння методів зменшення надлишковості даних

Для порівняння методів зменшення надлишковості між собою необхідно встановити систему єдиних числових характеристик. Такими характеристиками можуть бути: коефіцієнт стиснення, показник ефективності представлення повідомлень, коефіцієнт складності, час затримки повідомлення в кодері джерела, показник завадостійкості, порівняння з еталонною процедурою кодування, складність алгоритму декодування, час декодування.

Ефективність процедури обробки даних можна оцінити шляхом порівняння із заданою еталонною процедурою при заданій похибці відновлення повідомлення. В якості еталона можна вибрати:

оптимальний метод кодування джерела, який дозволяє реалізовувати потенційні характеристики системи обробки,

стандартний метод, при якому повідомлення $f(t)$ рівномірно дискретизують в часі і в кожному відліку $f_i$ співставляють кодове слово фіксованої довжини.

В першому випадку можна оцінити якість алгоритму або підсистеми зменшення надлишковості інформації по відношенню до максимального ефекту, який визначається $\varepsilon$ -ентропією джерела.

Але цей метод оцінки має і суттєвий недолік: при цьому важко отримати максимальну швидкість передачі повідомлення для будь-якого джерела при заданій допустимій похибці ε. Необхідно також відзначити, що цей метод кодування потребує повної статистичної інформації про джерело, чого в реальній ситуації не буває. Це можна обійти, якщо в якості оптимальної процедури використовувати універсально-оптимальний або адаптивний кодер джерела з обмеженою затримкою.

В другому випадку ці недоліки відсутні. Коефіцієнт зменшення надлишковості повинен характеризувати зміну об'єму повідомлення оскільки зменшення надлишковості інформаційного потоку використовується для розвантаження каналів зв'язку і запам'ятовуючих пристроїв. Природно, що оцінку коефіцієнта стиснення доцільно проводити шляхом порівняння об'єму повідомлень, отриманого в результаті компресії, тобто при вибраному способі представлення (кодування) повідомлення, з об'ємом, що отримується при деякому початковому або еталонному способі формування повідомлень, тобто

$$K_1 = \frac{J_0}{J}$$

де $J_0$ - об'єм повідомлення вибраного методу представлення $f(t)$ на інтервалі $(0,T)$; $J$- об'єм повідомлення, що передається.

Коефіцієнт $K_1$ задовольняє основним вимогам, які ставляться до показника якості системи; він залежить від процесу функціонування системи та порівняно просто обчислюється на основі математичної моделі.

У випадку, коли об'єм даних $J$, які формуються, передаються або реєструються, розраховують без врахування службової інформації $J=J_a$, а кількість рівнів квантування на кожний інформативний елемент сталий і рівний m, коефіцієнт стиснення визначається:

$$K_2 = \frac{J_0}{J_\alpha} = \frac{N' \cdot \log_2 m}{N \cdot \log_2 m} = \frac{N'}{N} \qquad (1)$$

де $N'$ - кількість елементів $f_i$ масиву $\{f_i\}$, що представляє повідомлення $f(t)$ на інтервалі T; N - кількість істотних відліків, отриманих на виході пристрою стиснення даних.

Досить часто цей коефіцієнт називається коефіцієнтом за кількістю відліків [1].

Використання адаптивних апертурних методів зменшення надлишковості дозволяє скоротити об'єми інформаційного потоку за рахунок вилучення елементів, тобто тих компонентів інформаційних потоків, які можуть бути відновлені в границях заданої апертури. Недоліком існуючих методів адаптивного стиснення інформації є формування великих об'ємів службової інформації. Використання рекурентних кодових послідовностей дозволяє значно підвищити ефективність адаптивних методів та зменшити об'єми службової інформації.

Для визначення ефективності використання методів зменшення надлишковості інформаційних потоків важливим є визначення об'ємів формованих повідомлень, за якими можна визначити коефіцієнт стиснення.

При рівномірній дискретизації та квантуванню об'єм повідомлень можна визначити враховуючи кількість відліків та рівнів квантування (визначення об'єму за двійковими значеннями)

$$V = nE\hat{}[\log_2 m] \qquad (2)$$

де n – кількість відліків,
m – кількість рівнів квантування,
E^[...]– функція округлення до більшого цілого числа.

Аналогічно можна визначити об'єми інформації після компресії. Але потрібно враховувати службову інформацію, яка вноситься в інформаційний потік. Під службовою інформацією розуміється номер істотного відліку, або час його появи. Відповідно формула знаходження об'єму набуде вигляду:

$$V_{cm}^{I} = n'(E\hat{}[\log_2 m] + E\hat{}[\log_2 n]), \qquad (3)$$

де $n'$ – кількість істотних відліків.

Нехай маємо деякий цифровий сигнал:

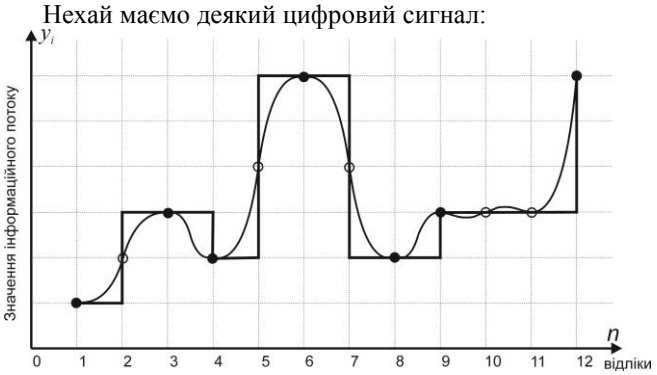



Рис. 1. Цифровий сигнал.

За допомогою першого метода представлення службової інформації отримаємо наступну бітову послідовність:

$$[\log_2 n]y_{12}[\log_2 n]y_9[\log_2 n]y_8[\log_2 n]y_6[\log_2 n]y_4[\log_2 n]y_3[\log_2 n]y_1$$

Відомі також і інші методи представлення службової інформації. Часто в методах зменшення надлишковості інформації [2] використовують властивості РКП для прив'язки дискретів до часу їх появи. Ідея методу полягає

в наступному: кожен відлік представляється одним бітом РКП, при чому, якщо даний відлік істотний, то до бітової послідовності записується інвертований біт РКП і відповідне йому значення, якщо відлік неістотний, то передається прямий біт РКП.

Обчислення об'єму стиснутих повідомлень при прив'язці бітів РКП до дискретів буде здійснюється за формулою:

$$V_{cm}^{II} = n' E\hat{}[\log_2 m] + n \qquad (4)$$

де n` - кількість істотних відліків,
n - кількість дискретів,
m - кількість рівнів квантування.

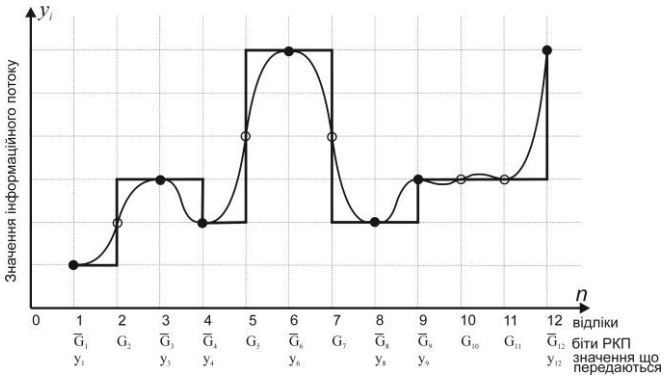



Рис. 2. Кодування відліків елементами РКП

Бітова послідовність даного способу представлення службової інформації матиме наступний вигляд

$$y_{12}\overline{G_{12}}G_{11}G_{10}y_9\overline{G_9}y_8\overline{G_8}G_7y_6\overline{G_6}G_5y_4\overline{G_4}y_3\overline{G_3}G_2y_1\overline{G_1}$$

Дослідивши відомі методи представлення службової інформації, зроблено висновок, що при певній частоті дискретизації, різних кількостях рівнів квантування та визначених кількостях істотних відліків дані методи не будуть ефективними. Тому актуальною задачою буде створення нового методу представлення службової інформації, який би дозволяв покращити зменшення надлишковості інформаційних потоків [3].

## III. Спосіб представлення інформації за допомогою кодування рівнів квантування елементами РКП

В роботі досліджується спосіб представлення службової інформації – кодування рівнів квантування, де кожен рівень квантування буде представлений бітом РКП [3].

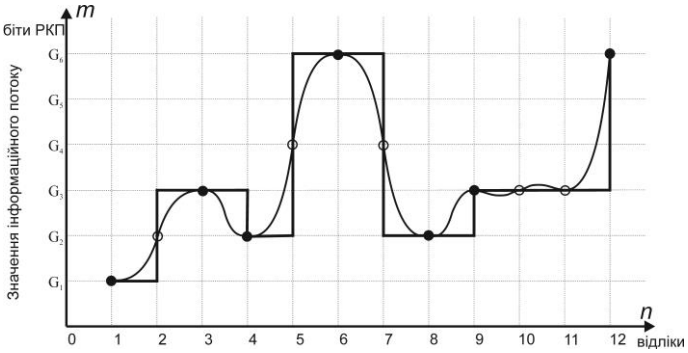



Рис. 3. Кодування рівнів квантування елементами РКП

Після знаходження всіх істотних відліків формується бітова послідовність даних. Якщо на відповідному рівні квантування є істотний відлік, то біт РКП інвертується, якщо немає істотних відліків – передається прямий біт РКП.

Якщо ж на деякому рівні квантування є кілька істотних відліків, то в потік потрібно внести додаткову службову інформаційну ознаку наявності ще одного істотного відліку на даному рівні квантування. В якості такої ознаки беремо біт РКП відповідного рівня. Якщо після істотного відліку ітиме прямий біт, то на даному рівні немає більше істотних відліків, якщо інвертований, то істотні відліки ще наявні. Після кожного інвертованого біта буде передаватись порядковий номер відповідного дискрета.

Таким чином бітова послідовність стиснутих даних набуде вигляду :

$$G_6 12\overline{G_6}6\overline{G_6}G_5G_4G_3 9\overline{G_3}3\overline{G_3}G_2 8\overline{G_2}4\overline{G_2}1\overline{G_1}$$

G1, G2, G3… - біти РКП, рівні квантування

Об'єм стиснутих таким чином даних становить:

$$V_{cm}^{III} = n'(E\hat{}[\log_2 n]+1) + m,$$

або

$$V_{cm}^{III} = n' E\hat{}[\log_2 n] + n' + m \qquad (5)$$

Визначивши об'єми повідомлень, отриманих в результаті компресії за допомогою запропонованого способу кодування повідомлення та за допомогою еталонного способу формування повідомлень, визначаємо коефіцієнт зменшення надлишковості для запропонованого методу представлення службової інформації:

$$k^{III} = \frac{V}{V^{III}} = \frac{\text{n E}\hat{}[\log_2 \text{m}]}{\text{n}'(\text{E}\hat{}[\log_2 n]+1)+m}$$

На рис. 4 подана залежність величини коефіцієнта $k^{III}$ від кількості істотних відліків

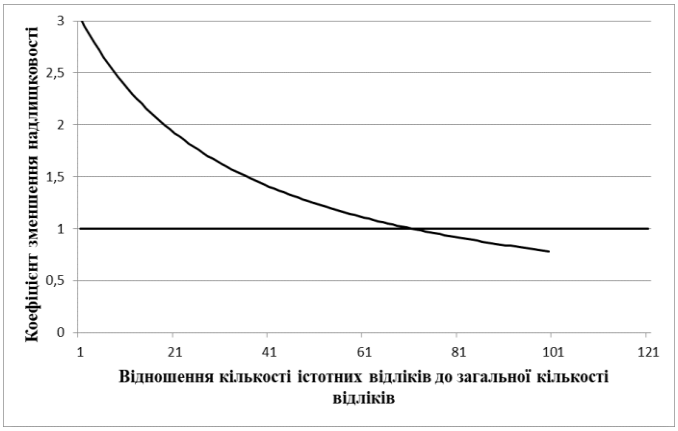



Рис. 4. Величина коефіцієнта зменшення надлишковості в адаптивних системах зменшення надлишковості інформації з використанням РКП для прив'язки істотних відліків до рівнів квантування

Для того, щоб пропонований спосіб представлення інформації був ефективніший за відомі способи представляється службової інформації, необхідно порівняти різницю об'ємів стиснутих повідомлень різними способами. Якщо різниці $V_{cm}^{III} - V_{cm}^{I}$ і $V_{cm}^{III} - V_{cm}^{II}$ будуть від'ємними, то запропонований новий метод можна вважати ефективнішим.

Порівняємо ефективність запропонованого методу представлення службової інформації з методом, в якому службова інформація представляється номерами істотних відліків. Розглянемо різницю об'ємів стиснутих повідомлень: $V_{cm}^{III} - V_{cm}^{I} < 0$

$$V_{cm}^{III} - V_{cm}^{I} = n'E\hat{}[\log_2 n] + n' + m - n'E\hat{}[\log_2 m] -$$
$$- n'E\hat{}[\log_2 n] = n' + m - n'E\hat{}[\log_2 m] =$$
$$= n'(1 - E\hat{}[\log_2 m]) + m < 0$$

$$n'(1 - E\hat{}[\log_2 m]) < -m$$

Оскільки $1 - E\hat{}[\log_2 m] < 0$ то

$$n' > \frac{-m}{1 - E\hat{}[\log_2 m]}$$

Отже, якщо кількість істотних відліків перевищуватиме $\frac{m}{E\hat{}[\log_2 m] - 1} / n * 100\%$ від загальної кількості відліків, то при використанні нового способу формування службової інформації при зменшенні надлишковості інформаційних потоків адаптивними апертурними методами з використанням рекурентних кодових послідовностей можна отримати вищі коефіцієнти стиснення.

Варто зауважити, що в даному випадку для ефективності запропонованого методу кількість істотних відліків не залежить від загальної кількості відліків. Розрахуємо мінімальні кількості істотних відліків при різній кількості рівнів квантування.

ТАБЛИЦЯ I. МІНІМАЛЬНА КІЛЬКІСТЬ ІСТОТНИХ ВІДЛІКІВ НЕОБХІДНИХ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ

| m | $(-m)/(1 - E\hat{}[\log_2 m])$ |
|---|---|
| 4 | 4 |
| 8 | 4 |
| 16 | 5 |
| 32 | 8 |
| 64 | 13 |
| 128 | 20 |
| 256 | 37 |
| 512 | 64 |
| 1024 | 114 |
| 2048 | 205 |
| 4096 | 372 |

З таблиці можна побачити, наприклад, що при кількості рівнів квантування 256 кількість істотних відліків повинна складати не менше 37 або (37\n)·100% від загальної кількості відліків.

Порівняємо ефективність розробленого методу представлення службової інформації з методом, в якому службова інформація формується за допомогою бітів РКП. Розглянемо різницю об'ємів стиснутих повідомлень:

$$V_{cm}^{III} - V_{cm}^{II} < 0$$

$$V_{cm}^{III} - V_{cm}^{II} = n'E\hat{}[\log_2 n] + n' + m - n'E\hat{}[\log_2 m] - n =$$
$$= n'(E\hat{}[\log_2 n] - E\hat{}[\log_2 m] + 1) + m - n < 0$$
$$n'(E\hat{}[\log_2 n] - E\hat{}[\log_2 m] + 1) < n - m$$

$$n' < \frac{n-m}{E\hat{}[\log_2 n] - E\hat{}[\log_2 m] + 1}, \text{ при } n > m$$

$$n' > \frac{n-m}{E\hat{}[\log_2 n] - E\hat{}[\log_2 m] + 1}, \text{ при } n < m$$

Згідно отриманих нерівностей побудовані дві таблиці відповідно для двох випадків.

Якщо частота дискретизації менша від кількості рівнів квантування, то кодування рівнів квантування недоречне, оскільки завжди буде отриманий програш в об'ємі стиснутих даних.

ТАБЛИЦЯ II. МІНІМАЛЬНА КІЛЬКІСТЬ ІСТОТНИХ ВІДЛІКІВ ПРИ M>N

| n \ m | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 | 128 | 256 | 512 | 1024 | 2048 | 4096 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | | | 6 | 7 | 10 | 16 | 25 | 42 | 73 | 128 | 228 | 409 |
| 4 | | | | 12 | 14 | 20 | 31 | 50 | 85 | 146 | 256 | 455 |
| 8 | | | | | 24 | 28 | 40 | 62 | 101 | 169 | 291 | 511 |
| 16 | | | | | | 48 | 56 | 80 | 124 | 202 | 339 | 583 |
| 32 | | | | | | | 96 | 112 | 160 | 248 | 403 | 677 |
| 64 | | | | | | | | 192 | 224 | 320 | 496 | 806 |
| 128 | | | | | | | | | 384 | 448 | 640 | 992 |
| 256 | | | | | | | | | | 768 | 896 | 1280 |
| 512 | | | | | | | | | | | 1536 | 1792 |
| 1024 | | | | | | | | | | | | 3072 |
| 2048 | | | | | | | | | | | | |
| 4096 | | | | | | | | | | | | |

ТАБЛИЦЯ III. МАКСИМАЛЬНА КІЛЬКІСТЬ ІСТОТНИХ ВІДЛІКІВ ПРИ M<N

| n \ m | 2 | 4 | 8 | 16 | 32 | 64 | 128 | 256 | 512 | 1024 | 2048 | 4096 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 1 | | | | | | | | | | | |
| 8 | 2 | 2 | | | | | | | | | | |
| 16 | 4 | 4 | 4 | | | | | | | | | |
| 32 | 6 | 7 | 8 | 8 | | | | | | | | |
| 64 | 10 | 12 | 14 | 16 | 16 | | | | | | | |
| 128 | 18 | 21 | 24 | 28 | 32 | 32 | | | | | | |
| 256 | 32 | 36 | 41 | 48 | 56 | 64 | 64 | | | | | |
| 512 | 57 | 64 | 72 | 83 | 96 | 112 | 128 | 128 | | | | |
| 1024 | 102 | 113 | 127 | 144 | 165 | 192 | 224 | 256 | 256 | | | |
| 2048 | 186 | 204 | 227 | 254 | 288 | 331 | 384 | 448 | 512 | 512 | | |
| 4096 | 341 | 372 | 409 | 453 | 508 | 576 | 661 | 768 | 896 | 1024 | 1024 | |

За допомогою табл. 3 можна вирахувати, що при кількості рівнів квантування 256 і кількості відліків 512 кількість істотних відліків не повинна перевищувати 128 відліків або ж 25% від загальної кількості відліків.

## ВИСНОВКИ

Аналіз отриманих результатів показує, що якщо кількість рівнів квантування менша ніж кількість дискретів, то при кількості істотних відліків, яка не перевищує величини $(n-m)/\left(\log_2 \frac{n}{m}+1\right)$ доцільніше кодувати рівні квантування. Тобто, запропонований у роботі метод буде ефективнішим, коли кількість рівнів квантування менша ніж кількість дискретів і кількість істотних відліків не перевищує

$$(n-m)/\left(n(\log_2 \frac{n}{m}+1)\right)\cdot 100\%$$

від загальної кількості відліків.

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Ю.Ю.Іляш Критерії та оцінка ефективності зменшення надлишковості інформаційних потоків/ Іляш Ю.Ю. //«Восточно-Европейский журнал передовых технологий» № 1/2(55).2012, 64 с. – с.54–58.

[2] Y. Iliash Data compression based on THE recurrent sequences of Galois In monography Information Technology in Selected Areas of Management. / Sc.Ed. Lyubomyr Petryshyn. Published by AGH University of Science and Technology Press. KU 0651. Krakow 2016. (152 p.) – P. 91-101.

[3] Іляш Ю.Ю. Формування стиснутих повідомлень шляхом кодування рівнів квантування / Іляш Ю.Ю. // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія: матеріали статей п'ятої міжнар. наук.-практ. конф., м. Івано-Франківськ, 27-29 травня 2015р. – Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2015. – С.100-101.

# Метод Выбора Оптимальных Параметров Стимулирующих Воздействий в Аппарате для Электромышечной Стимуляции

Игорь Прасол
кафедра биомедицинской инженерии
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
Харков, Украина
igor.prasol@nure.ua

Ольга Ерошенко
кафедра биомедицинской инженерии
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
Харков, Украина
olha.yeroshenko@nure.ua

# The Method of Choice of Optimal Parameters of Stimulating Effects in the Apparatus of Electromuscular Stimulation

Igor Prasol
Department of Biomedical Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
igor.prasol@nure.ua

Olha Yeroshenko
Department of Biomedical Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
olha.yeroshenko@nure.ua

***Аннотация* — Аппарат электромиостимуляции воздействует стимулирующими сигналами различной сократительной способности с учетом индивидуального функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека. Метод позволяет повысить информативность диагностики нервно-мышечного аппарата человека за счет согласования параметров сигнала электромиостимуляции с физиологическими характеристиками стимулируемой мышцы.**

***Abstract* — The electromyostimulation apparatus acts as stimulating signals of various contractility, taking into account the individual functional state of the human neuromuscular system. The method makes it possible to increase the informative value of diagnosis of the neuromuscular apparatus of man by matching the parameters of the electrical stimulation signal with the physiological characteristics of the stimulated muscle.**

***Ключевые слова — электромиограмма; нервно-мышечная систем; опорно-двигательный апарат.***

***Keywords — electromyogram; neuromuscular system; musculoskeletal system.***

## I. Введение

На сегодняшний день остаются актуальными задачи поиска научно-обоснованных принципов определения параметров воздействия и синтез сигналов электромиостимуляции с заданными терапевтическими свойствами на основе разработанных критериев.

Создание новой медицинской техники и аппаратных методов лечения должно опираться на возможности современных технологий и глубокое понимание явлений, происходящих при взаимодействии технических средств и живого организма [1–2]. Перспективным подходом при этом является применение биотехнической обратной связи. По контуру биотехнической обратной связи передаются электрические параметры, характеризующие биологическое состояние объекта. На основе данной информации в соответствии с целевой функцией производится автоматическое управление параметрами сигнала воздействия. Таким образом, осуществляется согласование параметров биообъекта и технических

компонентов системы, выработка оптимального лечебного воздействия [3].

Электромиография (ЭМГ) — метод диагностики, изучающий функциональное состояние возбудимых тканей (нервов и мышц). При проведении ЭМГ оценивается состояние мышцы, нейромышечного синапса, периферического нерва, сплетения, корешка, переднего рога спинного мозга.

При электромиографии регистрируется сокращение мышц с помощью специального прибора — миографа. Этот метод диагностики позволяет определить скорость прохождения нервного импульса по нервному волокну.

Электромиография — единственный способ, который может установить точное место повреждения того или иного двигательного нерва, дать точную информацию о причине паралича, атрофии мышц или повышенной нервной чувствительности.

## II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Эффективная электромиостимуляция должна быть основана на согласовании параметров стимула с физиологическими характеристиками стимулируемых мышц. Объективным диагностическим показателем функционального состояния мышечных групп служат параметры ЭМГ сигнала [4].

Важным свойством нервно-мышечных структур при раздражении электрическими сигналами является зависимость возбудимости от скорости изменения амплитуды стимулирующего сигнала.

Задача, решение которой зависит от эффективности электромиостимуляционной терапии, является выработка критериев формирования стимулирующего воздействия.

Таким образом, при проведении ЭС нервно-мышечного аппарата важен рациональный выбор ее режимов и сочетания тонических и кинетических сокращений; это существенно влияет на увеличение массы, развитие силы, повышение возбудимости и работоспособности мышц.

Для качественной и количественной оценки состояния нервно-мышечного аппарата человека с помощью электромиограммы может быть использован информационный метод частотно-временного анализа на основе спектрограмм.

Для проведения количественного анализа ЭМГ-сигналов необходимо рассчитать следующие параметры частотно-временного представления суммарной ЭМГ: нижняя и верхняя граничная частота, медианная частота, эффективная ширина спектра и ряд других. Данные параметры обработки позволяют в полной мере оценить частотное наполнение ЭМГ-сигнала.

Представим параметры ЭМГ сигнала в виде некоторого конечного множества:

$$A_m = \{a_i\} \ (i = \overline{1,m}),$$

где A - обозначение этого множества; m – мощность множества; $a_i$ – элементы множества.

Элементами множества могут выступать амплитуды, частоты составляющих спектра, фазовые сдвиги и др.

Представим параметры стимулирующих воздействий также в виде конечного множества:

$$B_n = \{b_i\} \ (i = \overline{1,n}),$$

где B – обозначение этого множества; n – мощность множества; $b_i$ – элементы множества.

Элементами множества могут выступать амплитуда и частота стимулов, вид модуляции, параметры модуляции, временные интервалы и др.

Таким образом, задача состоит в определении такого преобразования ω, которое обеспечивает однозначное отображение элементов множества *A* в соответствующие элементы множества B [5]:

$$A_m \xrightarrow{\omega} B_n.$$

## III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конкретные индивидуальные параметры стимулирующих воздействий могут быть подобраны на основе данных обработки ЭМГ-сигнала с помощью соответствующих информационных технологий, что позволяет реализовать эффективные технические устройства для проведения реабилитационных терапевтических процедур.

### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Судаков К. В. Основы физиологии функциональных систем / К. В. Судаков. – Москва, 1985.

[2] Ахутин В.М. Биотехнические системы: Теория и проектирование / В.М. Ахутин. – Л., 1981.

[3] Осипов А.Н. Медицинская техника / А.Н.Осипов, С.К. Дик, К.Г. Сеньковский. – 2002. – № 6. – С. 27–29.

[4] Николаев С.Г. Практикум по клинической электромиографии / С.Г. Николаев. – Иваново, 2001.

[5] Ерошенко О. А., Прасол И.В. Информационные технологии определения параметров стимулов систем электромиостимуляции / О. А. Ерошенко, И. В. Прасол. // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. 14–15 бер. 2018 р. – Харків : 2018. – С. 122–124.

# Методи Формування Нейтронографічних Зображень Об'єкту

Світлана Прохорець, Манап Хажмурадов
Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут"
Харків, Україна
khazhm@kipt.kharkov.ua

# Methods of Obtaining of Neutron Radiography Images of the Object

Svitlana Prokhorets, Manap Khazmuradov
National Science Center "Kharkiv Institute of Physics and Technology"
Kharkiv, Ukraine
khazhm@kipt.kharkov.ua

***Анотація*—Розглянуто різні методи отримання нейтронографічного зображення, зокрема метод прямого експонування, метод перенесення, метод проекції переданого зображення, та проаналізовано їх переваги та недоліки. Наведено результати моделювання отримання зображень об'єкта дослідження з використання нейтронів різних енергій.**

***Abstract*—Different methods of obtaining a neutron-image, in particular the method of direct exposure, the method of transfer, the method of projection of the transmitted image, are considered, and their advantages and disadvantages are analyzed. The results of simulation of obtaining images of a research object using neutrons of different energies are given.**

***Ключові слова—нейтрон, фотон, нейтронна радіографія, нейтронографічне зображення, математичне моделювання, метод Монте-Карл***

***Keywords—neutron, photon, neutron radiography, neutron image, mathematical modeling, Monte Carlo method***

## I. Вступ

Нейтронна радіографія базується на застосуванні послаблення паралельного пучка нейтронів при проходженні його крізь різні матеріали. Через те, що різні матеріали мають різні коефіцієнти послаблення, нейтронний пучок після проходження крізь досліджуваний об'єкт можна інтерпретувати як сигнал, що містить інформацію про склад та структуру об'єкту [1,2].

В загальному випадку метод нейтронної радіографії (НР) має достатню чутливість для усіх матеріалів, з якими інтенсивно взаємодіють нейтрони. Особливо ефективним є його застосування для дослідження обладнання, в якому використано декілька матеріалів, що сильно відрізняються один від одного за коефіцієнтом послаблення нейтронів. Зокрема, перевага НР в порівнянні з рентгенівською та гамма-радіографією полягає в тому, що нейтрони інтенсивно взаємодіють з матеріалами, з елементами з малими атомними номерами, та легко проникають в матеріали з важкими елементами. Це дозволяє отримувати контрастні зображення ділянок, що складаються з легких елементів, зокрема порожнин з матеріалами, що містять водень, в металах, корозії, флуктуації густини в кераміці. Застосування електронних методів візуалізації НР-зображень робить можливим вивчення динаміки потоків рідини – палива, охолоджуючих та змащувальних рідин у двигунах, хладагентів в теплообмінниках, гідравлічних рідинах тощо. Для перевірки працездатності складних механізмів та пристроїв з потоками рідини, газу та твердими речовинами можна використовувати трассування речовинами, що поглинають нейтрони.

Ще одна важлива перевага НР – можливість застосування методу в інтенсивних полях гамма-випромінювання, що дозволяє використовувати метод для дослідження радіоактивних матеріалів.

## II. Методи отримання радіографічного зображення

За об'єктом дослідження та в каналі формування потоку нейтронів завжди присутнє гамма-випромінювання, що йде від джерела нейтронів і виникає від ($n$, $\gamma$) - реакцій в матеріалі об'єкта та оточуючих його конструкціях. Для зниження впливу фонового випромінювання на детектор можна використовувати

різні методи отримання нейтронографічного зображення, такі як метод прямого експонування, метод перенесення або їх комбінацію [1].

При використанні методу перенесення зображення контрольованого об'єкту отримують в два етапи. На першому етапі нейтронографічне зображення реєструють, використовуючи проміжний детектор, слабо чутливий до фонового випромінювання. Такий детектор поміщають за об'єктом і експонують у поле нейтронів до отримання в ньому заданої активності. Після експозиції його видаляють з поля випромінювання і переносять до основного детектору, що реєструє активність, наведену в першому. Час отримання зображення на другому етапі визначається періодом напіврозпаду і наведеною активністю ядер матеріалу проміжного детектора і характеристиками основного детектора наприклад, ефективністю реєстрації наведеної β- або γ- активності випромінювання, просторовою роздільністю і часом експонування.

Метод перенесення зображення має характерні переваги та недоліки. Основна його перевага перед іншими методами полягає в його слабкій чутливості до гамма-фону. Однак отримати високу активність проміжного детектора можна лише за наявності досить високої щільності нейтронів за контрольованим об'єктом, тому навіть в сучасних нейтронографічних установках з великими (~ $10^7$ нейтр./см$^2$·с і вище) потоками нейтронів, метод перенесення не знаходить застосування через його трудомісткість [2]. Нарешті, метод перенесення перешкоджає перетворенню установки для нейтронної радіографії в установку для нейтронної томографії (3D зображення).

Метод прямого експонування характеризується тим, що зображення об'єкта дослідження отримують в процесі просвічування. Для цього детектор розміщують в полі випромінювання за контрольованим об'єктом і експонують протягом часу, необхідного для отримання нейтронографічного зображення. Цей час визначається цілою низкою факторів, серед яких найбільш значимі характеристики самого детектора і щільність потоку нейтронів в місці розташування детектора.

Відомо, що методи реєстрації нейтронів засновані на "перетворенні " нейтрона в заряджену частинку з подальшою реєстрацією останньої. Перший етап такого двоступеневого процесу – ядерні реакції. У результаті таких реакцій заряджені частинки з'являються практично миттєво або виникають протягом тривалого часу після видалення детектора з поля нейтронів. Останній тип ядерних реакцій використовується в методі перенесення, тому ми не будемо на них зупинятися. До першого типу реакцій належать розсіяння нейтронів на протонах з утворенням ядер віддачі, реакції $^{10}$B (*n, γ*), $^{3}$He (*n, p*), взаємодія нейтронів з матеріалами, що не активуються в цьому процесі – гадолінієм і кадмієм та ін.

У фотографічних методах реєстрації іонізуючого випромінювання в якості детекторів використовуються рентгенівські плівки або фотопластини – скла з нанесеною на них фотоемульсією. Фотоемульсія в рентгенівській плівці наноситься на тонку прозору підкладку з ацетатцелюлози товщиною 100-200 мкм. Емульсія являє собою розчин желатину, що містить монокристали галогенідів срібла; найчастіше це AgBr. До складу желатину входять вуглець (~ 50 %), кисень (~ 25 %), азот (~ 17,5 %), водень (~ 7 %), і в меншій кількості інші елементи [1].

У процесі отримання нейтронного зображення методом прямого експонування на плівку діють нейтрони і гамма-кванти. Виходячи з хімічного складу плівки вплив випромінювання обумовлено декількома фізичними процесами. Такими процесами для повільних нейтронів будуть активація срібла і реакція $^{14}$N*(n,p)*$^{14}$C на ядрах азоту в желатині, а для швидких – розсіювання на ядрах водню. Фонове гамма випромінювання взаємодіє з плівкою в результаті фотоелектричного поглинання, розсіювання на електронах (Комптон- ефект) і утворення пар електрон-позитрон.

Фотографічна реєстрація іонізуючого випромінювання здійснюється в два етапи. В якості першого виступає одержання в фотошарі прихованого зображення, а на другому – шляхом прояви опроміненого фотошару відбувається перетворення прихованого зображення у видиме. Ці етапи є аналогами отримання звичайного фотографічного зображення.

Тому за аналогією зі звичайним фотографічним процесом кількісної характеристикою прихованого зображення є експозиція $W_{\exp} = It$, де $I$ – щільність потоку енергії випромінення, а $t$ – час експозиції. Експозиція характеризується ступенем почорніння фотоматеріалу $D = \lg\frac{i_0}{i}$, де $i_0$, $i$ – світловий потік, що падає на плівку та пройшов крізь неї відповідно. З наведених у [1] характеристик фотоматеріалів, що застосовуються в нейтронної і гамма-радіографії, видно, що для більшості з них $D_{\max}$ не нижче 3.

Так як товщина рентгенівської плівки мала (не перевищує 200 мкм) і складає тільки невелику частину від довжини вільного пробігу нейтронів, то кількість заряджених частинок, що утворюються під дією нейтронів безпосередньо в плівці, також незначна. Враховуючи, що тільки частина енергії цих частинок витрачається на формування зображення, отримати нейтронографічне зображення з щільністю почорніння 1,5-2, яка потрібна для аналізу, можна тільки при великих експозиціях [1]. Так, для забезпечення щільності почорніння $D \sim 2$ необхідна експозиція порядку $10^{10}$ нейтрон/см$^2$. Як показали оцінки, для забезпечення такого потоку теплових нейтронів на технологічному прискорювачі із середнім струмом 1 мА та енергією електронів ~ 25 МеВ необхідно більше 10 годин для отримання одного нейтронографічного зображення об'єкта. З накопиченого світового досвіду випливає, що для зменшення часу експозиції необхідно кардинально поліпшити методику отримання зображення.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є попереднє перетворення нейтронів в інший вид випромінювання, вплив якого на фотошар плівки вище нейтронного. Таке перетворення найбільш ефективно у випадку, якщо воно не призводить до зростанню фотографічного впливу фонового випромінювання, особливо його гамма-складової. Вторинне випромінювання таких пристроїв – екранів або перетворювачів нейтронного зображення – випускається або в процесі взаємодії, або протягом деякого часу після неї. Отже, екрани можна застосовувати для отримання зображення на рентгенівській плівці як методом прямого експонування, так і методом перенесення.

В якості екранів можна застосовувати металеві фольги з диспрозію, гадолінію і кадмію. Переріз реакції ($n$, $\gamma$) в диспрозії досягає 940 барн, а екран з цього металу випускає γ- випромінювання і електрони конверсії; період напіврозпаду виниклих ізотопів $^{165m}$Dy і $^{165}$Dy дорівнює 1,3 хв і 140 хв. Це говорить про те, що диспрозій можна застосовувати як екран – перетворювач в методі переносу. На відміну від диспрозію, екрани з гадолінію і кадмію можна застосовувати тільки в прямому методі отримання нейтронного зображення. Найбільш поширеним матеріалом для екранів є гадоліній, переріз ($n$, $\gamma$) реакції для якого досягає 46000 барн. Він також випускає γ - випромінювання і електрони конверсії з енергією від 0,078 до 0,18 МеВ.

Крім названих, існують і інші матеріали, придатні для виготовлення екранів перетворювачів нейтронних зображень. Це літій і бор (реакція ($n$,γ)), уран-235, плутоній-239 (реакція з випусканням α- частинок і продуктів ділення ($n$, $\gamma$)) та ін. $^{235}$U і $^{239}$Pu діляться під впливом повільних нейтронів, а $^{238}$U – швидких, енергія яких перевищує 1,2 МеВ. Виникаючі в процесі ділення таких ядер осколки мають високу кінетичну енергію та реєструються як фотоматеріалами, так і іншими типами позиційно-чутливих детекторів – дротяними газовими камерами і напівпровідниковими детекторами. Як показали дослідження, застосування екранів і рентгенівських плівок дозволяє зменшити експозицію в кращому випадку до ~ $10^9$нейтрон/см$^2$ при $D$ = 2÷2,5 [1].

Найбільший прогрес досягнутий в даний час з екранами з матеріалів, здатними світитися під дією іонізуючого випромінювання. У таких екранах нейтрони на першому етапі перетворюються в заряджені частинки в результаті ($n$, α)- реакцій, а на другому заряджені частинки утворюють світлові спалахи, які реєструються сучасними оптичними системами – приладами з накопиченням заряду (CCD-charqe coupled device) [3]. Для цих цілей використовуються, зокрема, екрани, що містять $^6$LiF/ZnS та $G_2O_3S$ товщиною 100-400 мкм.

Ефективність реєстрації теплових нейтронів з таким екраном близько 15 %. Однак від кожного зареєстрованого нейтрона на фотоприймач доходить тільки ~ 2 світлових фотонів. Щоб реєструвати такі слабкі сигнали, фотоприймач повинен мати малий рівень шумів. З метою зменшення шумів CCD охолоджують до температури рідкого азоту. За таких умов шумовий сигнал становить кілька електронів на годину, а при кімнатній температурі – кілька тисяч електронів в секунду. Динамічний діапазон CCD фотоприймачів знаходиться в діапазоні 12-16 біт, що відповідає рівню сірого на кожному пікселі 4096-65534. Такий динамічний діапазон не забезпечує жодна з існуючих рентгенівських плівок.

Відзначимо також, що CCD чутливий до гамма-фону і працює в режимі інтегрування сигналів за певний проміжок часу, що не дає інформації про абсолютний потік нейтронів. Ця ситуація змінилася в кращу сторону після появи цифрових систем детектування та візуалізації нейтронних потоків, які дозволили отримувати нейтронографічні зображення об'єкта протягом десятків або навіть одиниць секунд.

Крім того, одним із запропонованих методів для вимірювання двовимірного розподілу елементів з малим атомним номером Z у досліджуваних об'єктах зараз є резонансна радіографія на швидких нейтронах [4]. Швидкі нейтрони можуть проходити крізь масивні зразки, а перерізи їх взаємодії для різних елементів не дуже відрізняються один від одного (порівняно з перерізами для рентгенівських променів або теплових нейтронів). Цей різновид радіографії може застосовуватися в системах безпеки аеропортів та неруйнівному контролю, де необхідна чутливість до розподілу легких елементів у захисному матеріалі з великим Z [4]. Метод заснований на енергетичних залежностях нейтронних перерізів для елементів, що представляють інтерес.

Проаналізувавши декілька радіографічних зображень для нейтронів різних енергій, можна отримати просторовий розподіл елементів, що цікавлять. Одне рентгенографічне зображення отримується при енергії резонансу, а інше – поза резонансом. Різниця двох зображень дає інформацію про розподіл відповідного елемента. Зробивши декілька радіографічних зображень для нейтронів вибраних енергій, можна отримати просторовий розподіл потрібних елементів або цифровим відніманням зображень, якщо потрібен розподіл поодиноких елементів, або методом розгортання, якщо потрібен розподіл одразу декількох елементів. Потоки швидких нейтронів високої інтенсивності отримують на сильнострумових прискорювачах з використанням різних мішеней. У зв'язку з великим виходом нейтронів, для реєстрації зображення частіше за все використовують сцинтилятори з CCD-зчитуванням. Мала часова роздільність не потрібна, оскільки зображення для різних енергій зчитуються один за іншим. Крім того, для утворення нейтронів можуть бути використані товсті мішені, з яких можна отримати нейтрони з майже "білим" спектром розподілу енергії в певному діапазоні, наприклад від 1 МеВ до 10 МеВ.

## III. Результати моделювання

Для моделювання отримання зображень об'єкту методом нейтронної радіографії використовувався програмний комплекс MCNPX, в якому реалізовано метод проекції переданого зображення [5]. Схема цього методу

зображено на Рис. 1 Сітка в цьому методі подібна плівці в рентгенографії.

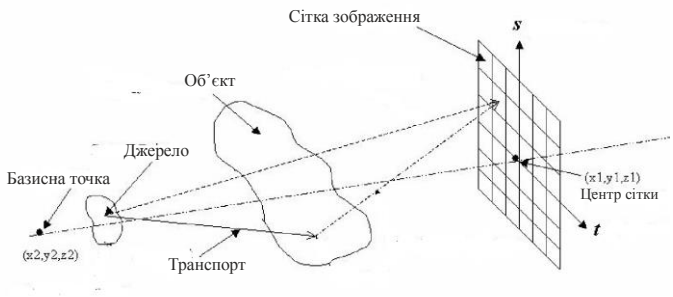



Рис. 1. Схема методу проекції переданого зображення

Для моделювання розглядалися об'єкти у формі куль діаметром 5 см. Склад об'єктів розглядався наступним:

- матеріал 1: водень (H) – 1,5 г, вуглець (C) – 16,3 г, азот (N) – 0,9 г, кисень (O) – 5,2 г;
- матеріал 2: водень (H) – 1,0 г, вуглець (C) – 7,1 г, азот (N) – 7,1 г,кисень (O) – 12,3 г;

Матеріал 1 може розглядатися як імітаційна модель наркотичної речовини, а матеріал 2 може розглядатися як модель вибухівки.

В якості вхідних енергій нейтронів для моделювання використовувалися енергії 2,37 МеВ, 5,36 МеВ (енергія резонансу для вуглецю C), 2,23 МеВ (енергія резонансу для азоту N), 3,43 МеВ (енергія резонансу для кисню O) та 0,01 МеВ (енергія долини для кисню O).

На Рис. 2, 3 наведено результати моделювання отримання радіографічного зображення для матеріалів 1 та 2 при розташуванні кулі діаметром 5 см у ґрунті на глибині 1 см.

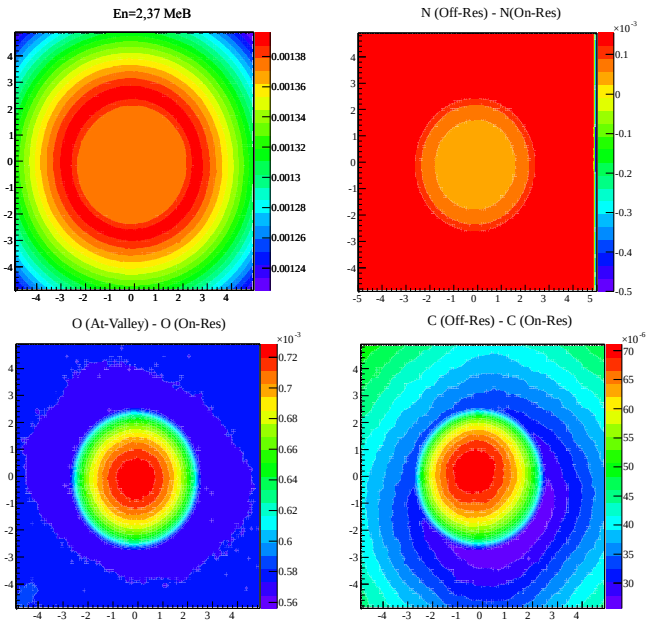



Рис. 2. Результати моделювання отримання радіографічного зображення при розташуванні об'єкту з матеріалу 1 у ґрунті

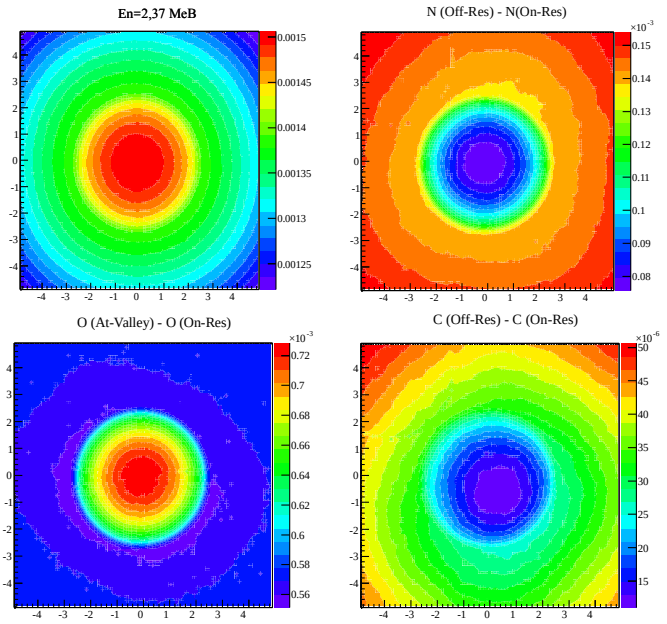



Рис. 3. Результати моделювання отримання радіографічного зображення при розташуванні об'єкту з матеріалу 2 у ґрунті

## IV. Висновки

Аналіз зображень, отриманих при моделюванні, показує, що метод резонансної радіографії на швидких нейтронах дозволяє отримати інформацію про відносний розподіл елементів в об'єкті. Для кількісного аналізу елементного складу отриманих зображень буде недостатньо, й буде потрібно проводити більш складну обробку отриманих даних або застосовувати інші методи, але вочевидь, отриманої інформації буде достатньо у випадку, коли потрібно визначити, чи є необхідний нам елемент взагалі наявним в об'єкті дослідження. Наприклад, з результатів моделювання можна зробити висновок, що азоту в об'єкті з матеріалу 2 суттєво менше, ніж вуглецю та кисню, тоді як в матеріалі 3 азоту приблизно стільки ж, скільки й вуглецю.

На жаль, метод резонансної радіографії на швидких нейтронах має й деякі недоліки, які можуть впливати на її практичне застосування – а саме, в присутності більшої кількості елементів важко знайти чіткі резонансні піки для всіх цікавих елементів, але для речовин, подібних до розглянутих при моделюванні, цей метод дає позитивні результати.

## Література References


[1] Н. Д. Тюфяков, А. С. Штань, Основы нейтронной радиографии. Москва, Атомиздат, 1975.

[2] Ю. Н. Бурмистренко, Фотоядерный анализ состава вещества. Москва, Энергоатомиздат, 1986.

[3] L. Struder, "High-resolution imaging X-ray spectrometers", *Nucl. Instr. and Meth. A.*, vol. 454, pp. 73-113, 2000.

[4] V. Dangendorf, G. Laczko, C. Kersten, et al., "Fast Neutron Resonance radiography in a pulsed neutron beam", in *Neutron Radiography*: Proceedings of the VII World Conference, pp. 732-734, Rome, 2002.

[5] MCNP 2.4.0. RSICC computer code collection. Monte-Carlo N-Particle Transport Code System for multiparticle and high energy applications. CCC-715, 2002.

# Математичні Моделі та Методи Високоточного Супроводу Повітряних Об’єктів

Андрій Тевяшев
завідувач кафедри прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
tad45ua@gmail.com

Антон Колядін
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
antonkoliadin@gmail.com

# Mathematical Models and Methods of High Precision Aerial Objects Tracking

Andrew Tevyashev
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
tad45ua@gmail.com

Anton Koliadin
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
antonkoliadin@gmail.com

***Анотація*—Дана робота присвячена розробці інформаційно-аналітичної технології цифрової обробки відеопотоку для супроводу повітряних об'єктів.**

***Abstract*—This paper is devoted to the development of the information-analytical technology of digital video processing for high-precision aerial tracking.**

***Ключові слова*—інформаційно-аналітична технологія, оптичний потік, дескриптори особливих точок, супровід повітряних об'єктів**

***Keywords*—information-analytical technology, optical flow, feature points descriptors, aerial objects tracking**

## I. Вступ

З масовим розповсюдженням безпілотних літальних апаратів та малої цивільної авіації гостро стає проблема їх виявлення, супроводу, обчислення їх траєкторії та захисту повітряного простору від небажаних об'єктів.

На поточний момент не існує системи оптичного супроводу повітряних об'єктів доступної до масового використання. Існують певні розробки, але вони знаходяться на стадії прототипів, або належать експериментальним програмам, доступ до яких обмежено.

Через малу ефективну площу розсіювання (ЕПР) об'єктів використання радіолокації ускладнено або неможливо. Також цей підхід має занадто високу собівартість. Навпаки, з розвитком комп'ютерних технологій обробки зображення, оптичні системи стають одним з найбільш оптимальних засобів отримання просторової інформації про об'єкти. Задача високоточного супроводу повітряних об'єктів має певні особливості, через які існуючі методи для розпізнавання та трекінгу наземного транспорту та пішоходів не можуть бути використані для повітряних об'єктів. Тому необхідний подальший розвиток математичної основи під програмні методи супроводу повітряних об'єктів.

Дослідження та створення досконалої технології супроводу повітряних об'єктів є важливою та актуальною задачею для багатьох галузей. Основні сфери застосування це: охорона повітряного простору від дронів над приватною власністю у цілях протидії відеозйомці, перехопленню мережевого цифрового трафіку, попередження польотів дронів в місцях скупчення людей і масових заходів, контроль повітряного простору поблизу аеродромів, траєкторні вимірювання, контроль за дотриманням правил повітряного руху на спортивних заходах та авіашоу.

## II. Математичні моделі та методи

Глобальна математична модель проблеми – задача мінімізації абсолютної помилки супроводу на заданому інтервалі часу. Тобто відстань між оптичною віссю камери та напрямком на об'єкт повинна наближатися до нуля в кожен момент часу на цьому інтервалі. Як тільки обчислена різниця цих векторів, необхідно застосувати методи керування, для коригування положення камери та зменшення абсолютної помилки:

$$Err_A = \sqrt{\int_{t_1-\Delta t}^{t_1} \left\| O(t) - A(t) \right\|^2 dt} \longrightarrow \min_{u(t)\in\Omega},$$

де $O(t)$ – напрямок оптичної осі камери, $A(t)$ – напрямок на об'єкт, $u(t)$ – вектор керування, $\Omega$ – область визначення задачі.

Для вирішення поставленої проблеми супроводу повітряних об'єктів обрано інформаційно-аналітичну технологію (ІАТ). ІАТ це впорядкована послідовність процедур отримання, обробки, аналізу відеоінформації, прийняття та реалізації рішень для досягнення заданої мети в умовах високої апріорної невизначеності щодо поведінки об'єкта спостереження і навколишнього середовища. Програмна реалізація ІАТ представляє ієрархічно упорядкований комплекс бібліотек методів оптимальної обробки відеопотоку та керування. ІАТ представляє генералізацію для множини математичних моделей та алгоритмічних методів.

ІАТ складається з окремих блоків, що містять множину методів, кожен з яких виявляється оптимальним для окремого власного випадку поєднання параметрів навколишнього середовища та об'єкта супроводу.

Методи вибираються в залежності від:

а) траєкторії руху (лінійний рух, рух із зупинками, різкі зміни напрямку руху, обертання і повороти);

б) зашумленості картинки (власні шуми камери, хмари і об'єкти фону, зміни освітлення, контрасту);

в) можливості повного, часткового або тривалого виходу об'єкта за межі прямої видимості.

Для підвищення стійкості супроводу можливе використання паралельної роботи декількох методів та обирання найкращої апроксимації на кожному етапі обробки шляхом голосування або шляхом евристичної оцінки результатів обчислень.

Основні функціональні блоки ІАТ:

а) блок отримання зображення;

б) блок попередньої фільтрації зображення;

в) блок захоплення цілей;

г) блок пошуку зниклих об'єктів;

д) блок розташування точок супроводу на цілі;

е) блок супроводу цілей;

ж) блок фільтрації точок, які відстежуються;

з) блок прогнозування траєкторії;

к) блок апроксимації траєкторії в минулі моменти;

л) блок розрізнення перетинів цілей з іншими цілями та формами рельєфу;

м) блок аналізу похибок супроводу;

н) блок керування сервоприводами.

Під час попередньої обробки зображення у разі відсутності апріорної інформації про тип і характер шумів у відеокадрі застосовуються стандартні операції фільтрації: лінійне усереднення пікселів, медіанна фільтрація, розмиття по Гаусу, математична морфологія, анізотропна дифузія пікселів, порогові згорткові фільтри, просторовий фільтр Вінера та інші. Фільтри вибираються відповідно до подальших методів захоплення та супроводу цілей.

Розглянемо математичну модель пошуку об'єктів. На вході маємо зображення. На виході вектор (матриця) значень, які дорівнюють ймовірності знаходження об'єкта у цій області. Аналіз зв'язностей у матриці ймовірності дозволяє обчислити координати об'єкта. Необхідно реалізувати функцію $f$ з простору зображень $M$ в простір матриць ймовірностей $P$:

$$f : M \to P,$$

$$f(m) = p, \forall m \in M.$$

У якості основних методів пошуку обрано детектори об'єктів за певними ознаками на підставі оптичного потоку, міжкадрової різниці, особливих точок.

В основу алгоритму виявлення повітряних об'єктів за ознакою рухомості відносно фону покладено методи міжкадрової різниці та пірамідальний метод Лукаса-Канаде розрахунку оптичного потоку, який дозволяє ефективно знаходити зміщення точок між двома кадрами [1].

Суть оптичного потоку в тому, що для кожної точки (x,y) зображення рухомого об'єкта поточного кадру знаходяться такі зрушення $(\Delta x, \Delta y)$, щоб на наступному кадрі цій точці відповідали координати $(x+\Delta x, y+\Delta y)$.

Точки супроводу обираються в так званих кутових точках (кутах), які характеризуються перетином двох або більше контрастних границь.

Кути – це особливі точки, які формуються з двох або більше граней, і грані зазвичай визначають межу між різними об'єктами або частинами одного і того ж об'єкта. Кути визначаються по зміні яскравості навколишніх точок зображення. Головна властивість таких точок полягає в тому, що в області навколо кута у градієнта зображення переважають два домінуючих напрямки, що робить їх помітними. Оскільки зображення дискретно, то вектор градієнта визначається через часткові похідні по осі x та y через зміни інтенсивності сусідніх точок зображення. Більшість методів використовують похідну 2-го порядку, тому загалом методи чутливі до шуму.

Для вибору кутових точок використовується детектор кутів Ши-Томасі [2] заснований на кутовому детекторі Харріса. У поєднанні з додатковим кроком локалізації цей метод дозволяє впоратися зі знаходженням кутів різних масштабів. Великі значення масштабу будуть пов'язані із закругленими кутами великої просторової протяжності в

той час, як менші значення масштабу будуть пов'язані з гострими кутами з невеликою просторовою протяжністю. Такий підхід являється детектором кутів з автоматичним вибором масштабу, і використовується для відстеження кутів з великими змінами масштабу в області зображення.

В основі методу Лукаса-Канаде лежить припущення, що значення пікселів переходять з одного кадру в наступний без змін. Таким чином, ми робимо припущення, що пікселі, які відносяться до одного і того ж об'єкту, можуть зміститися в якусь сторону, але значення їх інтенсивності залишиться незмінним:

$$I(x, y, t) = I(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t),$$

де $I(x, y, t)$ – функція інтенсивності пікселя у координатах *x, y* на кадрі, захопленому в момент часу *t.*

Беруться локальні похідні першого порядку:

$$\left.\frac{\partial I}{\partial x}\right|_t \left(\frac{\partial x}{\partial t}\right) + \left.\frac{\partial I}{\partial y}\right|_t \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right) + \left.\frac{\partial I}{\partial t}\right|_{x(t)} = 0,$$

$$\left.\frac{\partial I}{\partial x}\right|_t \Delta x + \left.\frac{\partial I}{\partial y}\right|_t \Delta y + \left.\frac{\partial I}{\partial t}\right|_{x(t)} = 0.$$

У рівнянні два невідомих dx та dy, для вирішення рівняння будуються такі самі рівняння для пікселей у вікні W, розкладаються в ряд Тейлора до першого члену, та їх нев'язка мінімізується методом найменших квадратів:

$$E(\Delta x, \Delta y) =$$

$$= \sum_{i,j \in W} g(x_i, y_j) \left[ \Delta x \frac{\partial I(x_i, y_j, t)}{\partial x} + \Delta y \frac{\partial I(x_i, y_j, t)}{\partial y} - \frac{\partial I(x_i, y_j, t)}{\partial t} \right]^2,$$

$$E(\Delta x, \Delta y) \to \min_{(\Delta x, \Delta y) \in m},$$

де $E(\Delta x, \Delta y)$ – нев'язка системи рівнянь, $g(x_i, y_j)$ – вагові коефіцієнти з гаусовським розподілом.

Для підвищення ефективності методу при зсувах вище одного пікселя будуємо «піраміду» зображень різного масштабу і пройдемо по ним оптичним потоком від меншого зображення до більшого. Детектування маленьких зрушень на маленькому зображенні буде відповідати великим зрушенням на великому зображенні. На самому маленькому зображенні алгоритм виявляє зрушення не більше 1-2 пікселів, а при переході від меншого масштабу до більшого, використовує результати з попереднього кроку і уточнює значення зсуву. Використання цього пірамідального алгоритму дозволяє нам не займатися обчисленням лінійної апроксимації по багатьох точках, а просто взяти більше рівнів піраміди, і на кожному рівні брати досить грубе наближення цієї функції [3].

Іншим методом пошуку рухомих об'єктів є міжкадровий різницевий детектор. Береться декілька послідовних кадрів, кольорові кадри перетворюються до монотонних у відтінках сірого, зображення попередньо поєднуються за допомогою максимізації кореляції між двома кадрами, використовуючи швидке Фур'є перетворення та фазову кореляцію. Для виділення областей руху обчислюється міжкадрова різниця. Попарно порівнюються пікселі та ставиться у бінарній масці 1, якщо різниця більше, ніж поріг спрацьовування, та 0, якщо менше.

Для зменшення шумів та імпульсних завад застосовується операція ерозії, яка належить до операцій математичної морфології та видаляє граничні точки зі зв'язних областей. Для з'єднання розрізнених точок виконується операція розширення, яка додає додаткові точки до об'єктів та забезпечує зв'язність областей об'єкту. Після операції ерозії зникають однопіксельні шуми, та всі плями зменшуються на один піксель від краю. Якщо спочатку застосувати одну або декілька операцій ерозії, а після – одну або декілька операцій розширення, можна добитися вилучення завад с малими лінійними розмірами, та об'єднати сусідні плями, які з великою ймовірністю відносяться до одного об'єкту. Застосовується операція математичної морфології для виділення границі областей початкового зображення, яка залишає лише ті точки об'єкта, які в околиці 3 на 3 пікселі мають хоча б одну точку, яка не належить об'єкту. Далі здійснюється рекурсивний обхід границі та знаходяться всі точки кожної зі зв'язних областей, які відповідають одному об'єкту. Для кожного з захоплених об'єктів задається певна кількість точок для відстеження, яка залежить від розмірів його границі та рівномірно покриває об'єкт, обчислюються границі об'єкта (по сітці точок) та його геометричний центр.

Для захоплення нерухомих об'єктів замість детектора руху використовується статистична сегментація зображення на основі детектору контрасту об'єкта та фону, або виконується пошук об'єкта за певними ознаками, як то колір та форма (просторова фільтрація). Тобто замість порівняння міжкадрової різниці з порогом, порівнюються значення кольорів або інтенсивності пікселів з заданими порогами. Наступні операції морфології та ітеративного обходу областей залишаються такими ж самими [4].

Контраст по простору обчислюється як різниця яскравості одного пікселя з сусідніми на основі операції згортки, та порівнюється з порогом T:

$$r = I * B,$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix},$$

де I – растр зображення, B – ядро згортки.

Для пошуку об’єкта по формі спочатку береться шаблон форми та векторизується завдяки обчисленню статистичних моментів.

В якості попередньої обробки початкового зображення використовується фільтр Гауса для зменшення градієнту на границях.

Надалі до зображення застосовується детектор Кенні, який виділяє границі об'єктів.

Обчислюються градієнти за двома напрямками через згортку:

$$K(F) = F * \sqrt{DF_x^{\,2} + DF_y^{\,2}},$$

$$K_{i,j}(F) = \sqrt{\left(F_{i,j} * DF_x\right)^2 + \left(F_{i,j} * DF_y\right)^2},$$

де: $F$ – вихідне зображення; $DF_x, DF_y$ – ядра згортки, що задані наступним чином:

$$DF_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix},$$

$$DF_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}.$$

Кожна отримана на зображенні границя ітеративно обходиться по пікселям з обчисленням статистичних моментів. Обчислюються наступні статистичні моменти границі:

$$\eta_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x,y)dxdy,$$

$$\eta_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j I(x,y).$$

Далі використовуються Хю-моменти [5]:

$$hu[0] = \eta_{20} + \eta_{02},$$

$$hu[1] = (\eta_{20} + \eta_{02})^2 + 4\eta^2_{11},$$

$$hu[2] = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2,$$

$$hu[3] = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2,$$

$$hu[4] = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})\left[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2\right] + \\ +(3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})\left[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2\right],$$

$$hu[5] = (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})2 - (\eta_{21} + \eta_{03})2] + \\ +4\eta 11(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}),$$

$$hu[6] = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})\left[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2\right] - \\ -(\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})\left[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2\right].$$

Розраховуються три L-моменти для границь об'єктів A та B, які попарно порівнюються:

$$m_i^{\,A} = sign(hu_i^{\,A})\ln(hu_i^{\,A}),$$

$$m_i^{\,B} = sign(hu_i^{\,B})\ln(hu_i^{\,B}),$$

$$L_1(A,B) = \sum_{i=0}^{6}\left|\frac{1}{m_i^{\,A}} - \frac{1}{m_i^{\,B}}\right|,$$

$$L_2(A,B) = \sum_{i=0}^{6}\left|m_i^{\,A} - m_i^{\,B}\right|,$$

$$L_3(A,B) = \sum_{i=0}^{6}\left|\frac{m_i^{\,A} - m_i^{\,B}}{m_i^{\,A}}\right|.$$

Для супроводу об’єкта необхідно знайти наступні координати точок, які відповідають захопленим об’єктам та задаються у результаті роботи методів захоплення з урахуванням особливостей методів супроводу.

У денний час використовуються метод аналізу оптичного потоку та метод порівняння дескрипторів особливих точок. У нічний час використовуються метод аналізу оптичного потоку або метод мінімального зсуву.

Використовується описаний вище пірамідальний метод Лукаса-Канаде. Обчислений завдяки нього зсув групи точок відповідає зсуву об’єкта. Координатою цілі вважається центр мас усіх точок, які ми відстежуємо.

Для підвищення стабільності супроводу або у разі зриву оптичного потоку використовуються інваріантні до афінних перетворень методи порівняння дескрипторів особливих точок, які співставляють ці точки на одному кадрі з точками на іншому і, таким чином, знаходять об’єкт з попереднього кадру на наступному.

Для пошуку особливих точок зображення або форми границь рухомих об’єктів в алгоритмі виконується процедура SIFT [6]. Основним моментом у детектуванні особливих точок є побудова піраміди різниць гаусіанів по усім масштабам зображення з різним радіусом розмиття:

$$D(x,y,\sigma) = L(x,y,k\sigma) - L(x,y,\sigma),$$

$$L(x,y,\sigma) = G(x,y,\sigma) * I(x,y),$$

де: $D(x, y, \sigma)$ – піраміда різниць гаусіанів; $L(x, y, \sigma)$ – значення гаусіана в точці з координатами *(x, y)*; $\sigma$ – радіус розмиття; $G$ – гаусове ядро; $I$ – растр вихідного зображення; $*$ – операція згортки; $k$ – коефіцієнт радіуса розмиття.

Інваріантність масштабу досягається за рахунок знаходження ключових точок для вихідного зображення, взятого в різних масштабах. Для цього будується піраміда гаусіанів: все масштабується, простір розбивається на деякі ділянки – октави, причому частина простору, що масштабується, яку займає наступна октава, в два рази більше частини попередньої. До того ж, при переході від однієї октави до іншої виконується ресемплінг (зміна частоти дискретизації) зображення, його розміри зменшуються вдвічі.

Напрямок ключової точки обчислюється, виходячи з напрямків градієнтів точок, сусідніх з особливою. Всі обчислення градієнтів виконуються на зображенні в піраміді гаусіанів, з масштабом найбільш близьким до масштабу ключової точки. Напрямок ключової точки зберігається в вигляді гістограми напрямків градієнтів.

У якості іншого дескриптору обрано алгоритм ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF)[7] - подальша модифікація алгоритмів FAST та BRIEF. В ньому підвищено швидкодію роботи BRIEF при повороті зображення. Спочатку обчислюється орієнтація ключової точки, а вже після проводяться попарні порівняння в залежності від цієї орієнтації.

Особливі точки виявляються за допомогою швидкого деревовидного FAST на оригінальному документі і на кількох зображеннях з піраміди зменшених зображень.

Для виявлених точок обчислюється міра Харріса, кандидати з низьким значенням міри Харріса відкидаються.

Обчислюється кут орієнтації особливої точки. Для цього, спочатку обчислюються моменти яскравості для околиці особливої точки:

$$m_{pq} = \sum_{x,y} x^p y^q I(x, y),$$

де: $x, y$ – піксельні координати, $I$ – яскравість.

Потім отримуємо кут орієнтації особливої точки:

$$\theta = \operatorname{atan}\left(\frac{m_{01}}{m_{10}}\right).$$

Це називається «орієнтацією центроїда». У підсумку отримуємо деякий напрям для околиці особливої точки.

Маючи отриманий кут орієнтації особливої точки, за отриманими точками обчислюється бінарний дескриптор BRIEF. Послідовність точок ставиться у відповідність шляхом бінарних порівнянь.

Після завершення обробки поточного кадру обчислюються керуючі дії (кут міста та азимут) та передаються на сервоприводи підвісу камери таким чином, щоб оптична вісь камери спостереження збігалася з прогнозованими координатами центру маси об’єкта на k+1-му кадрі. Далі обчислюється та регіструється помилка системи супроводження рухомого об’єкта, яка обчислюється як абсолютне значення величини відхилення фактичного положення точки наведення на рухомому об’єкті від фактичного положення оптичної осі камери спостереження. Якщо ця величина менше заданого порогу, то виконується перехід до наступного кадру, захоплюється новий кадр та описані операції повторюються у нескінченному циклі. За умови, що помилка супроводження за встановлений час не перевищує величину порогу, супровід вважається стійким з заданою точністю. Якщо величина помилки перевищує заданий поріг, переходимо до етапу аналізу помилки та переключення методів в функціональних блоках IAT безпосередньо під час роботи.

## III. Висновки

Запропонований підхід використання інформаційно-аналітичної технології дозволяє об'єднати сукупність точних аналітичних методів та наближених чисельних до програмної реалізації складної багатомодульної системи. Модульність та використання бібліотечних реалізацій методів дозволяє прискорити розробку.

Адаптивність технології дозволяє під час роботи вибирати оптимальні алгоритми та методи для досягнення високої точності супроводу. Використання оптичного діапазону дозволяє отримати унікальні характеристики точності виявлення та супроводу об’єктів малого розміру та об’єктів з композитних матеріалів, які неможливо виявляти та супроводжувати радіолокаційними методами.

## Література References


[1] Jean-Yves Bouguet “Pyramidal Implementation of the Affine Lucas Kanade Feature Tracker Description of the algorithm” [Online]. Available: robots.stanford.edu/cs223b04/algo_tracking.pdf

[2] Jianbo Shi, Carlo Tomasi “Good features to track” in Computer Vision and Pattern Recognition on IEEE Computer Society Conference, 1994, pp. 593–600.

[3] D. Comaniciu, P. Meer “Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis” in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence PAMI, 2002, pp. 603–619.

[4] P. Viola, M. Jones. “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features” [Onlime]. Available: www.cs.cmu.edu/~efros/courses/LBMV07/Papers/viola-cvpr-01.pdf'

[5] Ming-Kuei Hu “Visual pattern recognition by moment invariants” in Information Theory, IRE Transactions, 1962, pp. 179–187.

[6] David G. Lowe “Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints” [Online]. Available: www.cs.ubc.ca/~lowe/papers/ ijcv04.pdf

[7] Ethan Rublee, Vincent Rabaud, Kurt Konolige “ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF” [Online]. Available: www.willowgarage.com/sites/default/files/orb_final.pdf

# Обнаружение Клонирования на Изображениях с Помощью Сравнимых Хешей в Условиях Дополнительных Искажений

Виявлення клонування на зображеннях за допомогою порівнянних хешів в умовах додаткових спотворень

Олег Щелконогов
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
ol.alex64@gmail.com

# Detection of Cloning in Images Using Comparable Hashes in Conditions of Additional Distortions

Oleh Shchelkonohov
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
ol.alex64@gmail.com

***Анотація*—Рассмотрены вопросы обнаружения поиска клонированный областей на изображениях путем использования сравнимых хеш-функций (перцептивных хешей), их работа при некоторых дополнительных искажениях.**

***Abstract*—The questions of detecting the search for cloned regions on images by using comparable hashes (perceptive hashes), the quality of their work under some additional distortions are considered.**

***Ключові слова—перцептивная хеш-функция; обнаружение клонирования; расстояние Хемминга***

***Keywords—perceptive hash function; cloning detection; Hamming distance***

## I. Вступ

Подделка цифровых фотографий является довольно распространенным явлением. Это обусловлено важностью изображений как источника информации: в судебных процессах – как источника доказательств, в прессе и других средствах массовой информации – как средство дискредитации и пиара и т. д. С другой стороны, доступность программного обеспечения, в т. ч. и профессионального, позволяет злоумышленнику использовать разные методы подделки на высоком уровне. Соответственно возникает задача проверки фотографий на отсутствие модификаций. Большой обзор методов обнаружения фальсификаций изображений представлен в [1].

Одним из самых распространенных методов подделки является клонирование, т.е. использование участков подделываемого изображения для замены или скрытия объектов на нем же. Среди методов для детектирования клонирования известна группа методов на основе использование перцептивных хеш-функций [2-9]. Перцептивные хеши – это частный случай локально-чувствительного хеширования. Эти хеш-функции для похожих объектов возвращают близкие значения хешей, которые можно сравнивать между собой и делать выводы о степени сходства объектов, хеши которых были получены. Применительно к изображениям, первоначально такое хеширование использовалось для индексирования и поиска похожих изображений в базе изображений. Позднее эти методы стали применять и для других задач, связанных с обработкой изображений. Однако задача обнаружения клонирования имеет свои

особенности, тем более в условиях дополнительных искажений скопированных областей. Поэтому исследование работы сравнимых хешей в задачах обнаружения фальсификации изображений является актуальной.

## II. Описание алгоритма

Самым быстрым алгоритмом перцептивного хеширования является хеш по градиенту яркости (разностный хеш, dHash) [6]. Изложим алгоритм применительно к поиску клонированных областей (в [6] этот метод использован для сравнения изображений целиком).

1) Убрать цвет. Изображение переводится в градации серого.

2) Разбить на блоки. Начиная с левого верхнего угла, скользящим окном размером 8x8 проходим по всему изображению с шагом 1 пиксель (в [6] использован размер окна 9x8), Т.е. каждое новое положение окна сдвинуто относительно предыдущего на 1 пиксель вправо или вниз. Дойдя до конца строки/столбца, перемещаем окно на начало новой строки/столбца.

3) Вычислить разницу. Алгоритм dHash работает с разницей между соседними пикселями. Таким образом определяется относительное направление градиента. 8 пикселей на строку дают 7 различий между соседними пикселями, восьмой получим как разницу между последним пикселем строки и первым новой строки. Для последней строки – как разницу с самым первым битом блока. (В [6] для размера окна 9x8, 9 пикселей на строку дают 8 разниц между соседними пикселями. Восемь строк из восьми разниц становятся 64 битами).

4) Построить цепочку битов. Каждый бит принимает значение в зависимости от того, ярче он, чем предыдущий или нет, согласно выражению:

$$h[i] = \begin{cases} 0, & I[i] < I[i-1] \\ 1, & I[i] \geq I[i-1] \end{cases},$$

где $h[i]$ – значение $i$ – го бита хеша; $I[i]$ текущий пиксель блока; $I[i\text{-}1]$ предыдущий пиксель блока.

Представление полученного хеша показано на рис. 1.

5) Сравнить хеши. Полученные хеши сравниваются между собой и при их совпадении или близком значении делается вывод о совпадении соответствующих блоков изображения. Степень близости определяется по расстоянию Хемминга.

6) Принятые совпавшими блоки выводятся на экран, формируя скопированные участки изображения.

$$C1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

а)



б)

Рис. 1. Хеш, представленный в виде матрицы (а) и в виде бинарного изображения (б)

Приведем алгоритм вычисления хеша на основе среднего значения блока (aHash), адаптированный для задач поиска клонирования:

1) Убрать цвет. Изображение переводится в градации серого, так что хеш может быть уменьшен втрое.

2) Разбить на блоки. Начиная с левого верхнего угла, скользящим окном размером 8x8 проходим по всему изображению с шагом 1 пиксель.

3) Найти среднее. Для каждого положения окна вычислить среднее значение яркости для всех 64 пикселей окна.

4) Построить цепочку битов. Для каждого пикселя делается замена яркости на 1 или 0 в зависимости от того, больше он или меньше среднего.

5) Построить хеш. Перевод 64 битов в одно значение.

Для сравнения хешей этого типа используется расстояние Хэмминга.

Алгоритм pHash вычисления хеша на основе дискретно-косинусного преобразования (ДКП), адаптированный для задач поиска клонирования, имеет следующую последовательность шагов:

1) Убрать цвет. Для подавления ненужных высоких частот.

2) Применить усредняющий фильтр. Используется для уменьшения уровня шума. Ядро фильтра берется размером 7x7. Суть усредняющего фильтра в том, что изображение разбивается на так называемые «окна», затем каждое окно сворачивается с импульсной характеристикой усредняющего фильтра.

3) Разбить на блоки. Начиная с левого верхнего угла, скользящим окном размером 16x16 проходим по всему изображению с шагом 1 пиксель.

4) Применить ДКП к каждому блоку.

5) Из полученной матрицы 16×16 берётся подматрица 8×8 со сдвигом 1×1 от верхнего левого угла. То есть, если матрица 16×16 пронумерована как 0..15×0..15, то берут пересечение 1..8×1..8.

6) Вычисляем среднее значение величин каждой полученной матрицы.

7) Составляем из 64 величин матрицы 64-битовый массив, в котором бит равен 1, если значение величины больше среднего и 0, если меньше.

Для сравнения хешей этого типа используется расстояние Хэмминга.

## III. Результаты исследования

Были проведены исследования нескольких перцептивных хеш-функций. Здесь представлены некоторые результаты работы хеш-функции по градиенту. Для этого были созданы тестовые изображения из исходных путем клонирования участков изображения. Кроме того, клонированные участки были подвергнуты дополнительной обработке: яркостному сдвигу, изменению контраста, резкости (размытию, увеличению резкости).

На рис. 2 показано исходное и фальсифицированное изображение методом клонирования без дополнительных искажений.




а) б)

Рис. 2. Исходное (а) и фальсифицированное (б) изображение.

С помощью программной реализации хеш-функции по градиенту был осуществлен поиск клонирования (рис. 3 и 4) при отсутствии искажений и разных допусках на совпадение (расстоянии Хемминга).



$P1_0$ $P1_1$

а) б)

Рис. 3. Расстояние Хемминга равно 0. Области, детектируемые как клоны (а); участки изображения, детектируемые как клоны (б).



$P1_0$ $P1_1$

а) б)

Рис. 4. Расстояние Хемминга равно 2. Области, детектируемые как клоны (а); участки изображения, детектируемые как клоны (б)

Яркостный сдвиг получался путем смещения каждого пикселя на небольшое постоянное значение:

$$I2[i] = I1[i]+\Delta I,$$

где $I1[i]$ – яркость $i$ – го исходного пикселя; $I2[i]$ – яркость $i$ – го измененного пикселя; $\Delta I$ – величина сдвига яркости.

На рис. 5 показано подделанное изображение с изменением яркости клона (затемнение).




Img

Рис. 5. Подделанное изображение с изменением яркости клона

На рис. 6 показан результат поиска клонирования при яркостном сдвиге клона и разных допусках на совпадение.



$P1_1$ $P1_1$

а) б)

Рис. 6. Яркостный сдвиг, расстояние Хемминга равно 0 (а) и 2 (б).

Контрастирование (градационная коррекция) выполняется с помощью линейного преобразования:

$$I2(x,y) = \frac{I1(x,y) - u_{\min}}{u_{\max} - u_{\min}} \cdot (v_{\max} - v_{\min}) + v_{\min},$$

где $I1[x, y]$ – яркость исходного пикселя с координатами $x$ и $y$; $I2[x, y]$ – яркость пикселя выходного изображения с теми же координатами; $u_{\min}$, $u_{\max}$ – минимальное и максимальное значения яркости входного изображения; $v_{\min}$, $v_{\max}$ – минимальное и максимальное значения яркости выходного изображения, которое требуется получить.

На рис. 7 показано подделанное изображение с изменением контрастности клона.




Img

Рис. 7. Подделанное изображение с изменением контрастности клона

На рис. 8 показан результат поиска при изменении контрастности клона и разных допусках на совпадение.



$P1_1$ $P1_1$

а) б)

Рис. 8. Контрастирование, расстояние Хемминга равно 0 (а) и 2 (б).

Размытие клона можно осуществить фильтром Гаусса (для более тонкой настройки) или биноминальным фильтром в более простом случае.

На рис. 9 показано подделанное изображение с размытием клона фильтром Гаусса.




Img

Рис. 9. Подделанное изображение с размытием клона.

На рис. 10 показан результат поиска при размытии клона и разных допусках на совпадение.



$P1_1$



$P1_1$

а) б)

Рис. 10.Размытие клона, расстояние Хемминга равно 0 (а) и 2 (б).

Повышение резкости производится путем поднятия высоких частот. Регулирование резкости выходного изображения можно реализовать путем изменения центрального коэффициента маски лапласиана:

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4+A & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8+A & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix},$$

где изменение коэффициента $A \geq 1$ приводит к подъему высоких частот.

На рис. 11 показано подделанное изображение с увеличением резкости клона.




Img

Рис. 11.Подделанное изображение с увеличением резкости клона

На рис. 12 показан результат поиска при увеличении резкости клона и разных допусках на совпадение.



$P1_1$



$P1_1$

а) б)

Рис. 12.Увеличение резкости, расстояние Хемминга равно 0 (а) и 2 (б).

## IV. Выводы

1) В работе рассмотрены перцептивные хеш-функции, а именно хеш-функция по градиенту, представлен ее алгоритм применительно к поиску клонированных областей.

2) Данный хеш хорошо определяет клонированные участки как без дополнительных искажений клонированных областей, так и с яркостным сдвигом и контрастированием.

3) Наблюдаются ложные срабатывания даже при нулевом допуске (расстоянии Хемминга) и даже в случае отсутствия дополнительных искажений.

4) Не определяются клонированные участки, которые были подвергнуты изменению резкости.

5) Увеличение допуска на совпадение хешей не способствует улучшению детектирования клонирования: растет число ложных срабатываний, а в случае изменения резкости - детектирования клонирования так и не происходит.

## Литература References


[1] H. Farid, “Image forgery detection,” *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 26, no. 2, pp. *16–25*, March, 2009 [Online]. Available: https://www.cs.dartmouth.edu/farid/downloads/publications/spm09.pdf.

[2] B. Yang, F. Gu and X. Niu, “Block Mean Value Based Image Perceptual Hashing for Content Identification,” in *Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing:* International Conference IIH-MSP: IEEE, pp. *167-172*, 2006 [Online]. Available: https://pdfs.semanticscholar.org/b59b/14d3a0d7047a63cbbcfc25582fb915f60664.pdf.

[3] B. Coskun and B. Sankur,“Robust video hash extraction,” in Signal *Processing and Communications Applications Conference*: IEEE, pp. *292-295*, Apr., 2004 [Online]. Available: http://www.busim.ee.boun.edu.tr/~sankur/SankurFolder/Video_Hash_Eusipco.doc.

[4] F. Lefebvre, B. Macq and J. D. Legat, “Rash: Radon Soft Hash algorithm,” in *European Signal Processing Conference* (EUSIPCO): European Association for Signal Processing, vol. I, pp. *299-302*, Sept., 2002 [Online]. Available: https://www.eurasip.org/Proceedings/Eusipco/ 2002/articles/paper745.pdf.

[5] N. Krawetz. (2011). Looks Like It [Online]. Available: http://www.hackerfactor.com/blog/?/archives/432-Looks-like-it.html.

[6] N. Krawetz. (2013). Kind of Like That [Online]. Available: http://www.hackerfactor.com/blog/index.php?/archives/529-Kind-of-Like-That.html.

[7] L. YuLing and X. Yong “A Robust Image Hashing Algorithm Resistant Against Geometrical Attacks,” *Radioengineering*, vol. 22, no 4, pp. *1072-1081*, December, 2013 [Online]. Available: https://www.radioeng.cz/fulltexts/2013/13_04_1072_1081.pdf.

[8] J. Zeng “A Novel Block-DCT and PCA Based Image Perceptual Hashing Algorithm,” *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, vol. 10, issue 1, no 3, pp. *44-52*, January, 2013 [Online]. Available: https://ijcsi.org/papers/IJCSI-10-1-3-399-403.pdf.

[9] R. K. Karsh, R. H. Laskar and Aditi “Robust image hashing through DWT-SVD and spectral residual method,” *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, May 2017 [Online]. Available: https://jivp-eurasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13640-017-0179-0.

## Секція 5. Інформаційні технології в соціумі, освіті, медицині, економіці, управлінні, цивільному захисті та поліграфії

## Section 5. Information technology in society, education, medicine, economics, management, civil defense and polygraphy

# Retrieving Missed Values of the Time Series Methods

Boris Bocharov, Maria Voevodina
Department of Applied Mathematics and Information Technologies
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
boris.bocharov@kname.edu.ua
voevodina@kname.edu.ua

Nataliia Braterska, Anastasiia Dashkovska
Students of CS 2016-1 group
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
nataliia.braterska@kname.edu.ua
anastasiia.dashkovska@kname.edu.ua

# Методи Отримання Пропущених Значень Часових Рядів

Борис Бочаров, Мария Воєводіна
кафедра прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
Харків, Україна
boris.bocharov@kname.edu.ua
voevodina@kname.edu.ua

Наталія Братерська, Анастасія Дашковська
Студенти групи КН 2016-1
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
Харків, Україна
nataliia.braterska@kname.edu.ua
anastasiia.dashkovska@kname.edu.ua

***Abstract*—The article researches the restoring missing values methods of knowledge testing results time series. To restore the values, the method of singular spectral analysis (SSA) is used. The effectiveness of the method is determined by simulation.**

***Анотація*—У статті досліджуються методи відновлення пропущених значень часового ряду результатів тестування знань. Для відновлення значень використовується метод сингулярного спектрального аналізу (ССА). Ефективність методу визначена за допомогою імітаційного моделювання.**

***Keywords—distance learning, the effectiveness of educational impacts, educational site, singular spectral analysis***

***Ключові слова—дистанційне навчання, ефективність навчальних впливів, освітній сайт, сингулярний спектральний аналіз***

## I. Introduction

One of the great features of the SSA method for applying to the analysis of time series without spaces is that it can be used to study the structure of a series (the identification of trend, harmonic and noise components) without assumptions about the model series. However, the forecast of the components allocated by the method is possible only within a certain, rather broad, but nonetheless model of these components. It is assumed that the predicted component is close to the finite rank [1-5].

The idea of filling the passages within the SSA method is largely similar to the idea of the forecast and is to continue the allocation of the series and their structure to the places of missed observations. Accordingly, the theoretical results concerning the conditions and methods for the exact restoration of missed values in the components of the observed series with spaces are in the finite rank series.

Like the basic SSA method, the analysis method is used to study the time series with spaces, which gives accurate results in rather rigorous assumptions. This method also applies to real series with spaces, in which case we obtain approximate results [1-5, 9].

## II. Restoring Missing Values of Time Series

In [6-9] we consider the application of the basic SSA method for time series of student test results, statistical estimations of the effectiveness of educational influences and the efficiency of using the library of the hybrid library. The time series of the test results were considered (35 attempts during the semester without passes). Knowledge of students who missed one or two attempts for any reason was checked through a survey using traditional methods. The results of students who missed more attempts were not considered.

Still, getting a time series that is the mainstream of data for such a study is not always possible. For example, it's hard to imagine a student group with 100% attendance at classes,

exams, tests, and the like. As a consequence, we usually get the missing elements to study.

The section is devoted to determining the effectiveness of filling in the algorithms in the time series of knowledge testing results using the SSA method. With the help of simulation, statistical estimations of the effectiveness of the algorithms under study were obtained.

The result of the basic algorithm of the "Track" method - SSA is the expansion of the observed time series into additive components. Let's consider the modification of the method for analyzing series with spaces. The overall structure of the algorithm is the same, but the steps of the stages will be slightly different [10].

Let the initial time series $F_N = (f_0,..,f_{N-1})$ consists of N elements, some of which are unknown. We describe the scheme of the algorithm for the case of recovery of the first component of the series $F_N^{(1)}$ on the basis of the sum of two:

$$F_N = F_N^{(1)} + F_N^2$$

The first stage: decomposition.

We fix the length of the window $L: 1 < L < N$. The attachment procedure translates the output time sequence into a sequence $L$ - dimensional vectors of an embedding

$$\{X_i\}_{i=1}^K$$

where $K = N - L + 1$. Some attachment vectors may have spaces. From vector of embedding without spaces $X_i, i \in C$ create a matrix $\tilde{X}$, which in the absence of passes coincides with the trajectory matrix of a row $F_N$.

Let

$$\tilde{S} = \tilde{X} \cdot \tilde{X}^T$$

Let's denote $\lambda_1,...\lambda_L$ as the own numbers of the matrix $\tilde{S}$, taken in the not-for-going order $(\lambda_1 \geq ... \lambda_L \geq 0)$ and $U_1,...U_L$ - as an orthonormal system of eigenvectors of the matrix $\tilde{S}$, corresponding to their own numbers,

$$d = max\{i : \lambda_i > 0\}.$$

In [10], a formal fill-in option is proposed. It consists in replacing the scalar product of vectors with a similar formal procedure, applicable to vectors with spaces. We ask two vectors

$$A = (a_1,...,a_n)^T,$$

and

$$B = (b_1,...,b_n)^T,$$

and their set of missing components and, accordingly, to the same

$$|A \cup B| < n.$$

Enter the operation "*" so that

$$(A,B)^* = A^T * B = \frac{n}{n - |A \cup B|} \sum_{k:k \notin A \cup B} a_k b_k.$$

When multiplication of vectors without spaces, the result of the operation coincides with the scalar product, and for vectors with spaces, the scalar product will be numerically replaced.

As a matrix $\tilde{S}$ you can choose a matrix, which is calculated by the formula:

$$\tilde{S} = X * X^T,$$

where $X$ – the trajectory matrix of a series $F_N$, which contains spaces.

The above method is generalized as follows: consider the value $\tau$, $0 \leq \tau \leq L$, which we call the threshold of the number of missing components. Next, create a matrix $\tilde{X}_{(\tau)}$, Next, we create a matrix consisting of attachment vectors that contain no more $\tau$ missed components, then

$$\tilde{S} = \tilde{X}_{(\tau)} * \tilde{X}_{(\tau)}^T.$$

Note that the matrix $\tilde{X}_{(0)}$ coincides with the matrix $\tilde{X}$, consisting of vectors without spaces, and

$$\tilde{X}_{(L)} = X.$$

Second stage: recovery

First, we select the subspace and the projection of vector attachments without spaces. Choose a set of numbers

$$I_r = \{i_1,...,i_r\} \subset \{1,...,d\},$$

with the help of which the subspace is formed

$$M_r = Sp(U_{i_1},...,U_{i_r}),$$

which corresponds to the detachable component.

Choose your own vectors corresponding to $F_N^{(1)}$, is similar to how it is done at the stage of grouping in the basic SSA algorithm. One of the signs of the desired own vector is that its shape is similar to the form of a component of the series $F_N^{(1)}$. We design vectors of attachments without spaces on the selected subspace $M_r$:

$$\hat{X}_i = \sum_{k \in I_r} (X_i, U_k) U_k, i \in C$$

Next, we construct a projection of vectors of an embedding with spaces. For each such vector in the field with (the set is proper for each vector), the procedure consists of two parts:

- computing $\hat{X}_i$ for $I \setminus P$;
- computing $\hat{X}_i$ for $P$.

Since the neighboring attachment vectors contain general information, its use causes a large number of possible ways of solving the problem, including for vectors $I = P$.

To fill the vectors with spaces, you need to enter the breakdown of the entire set of spaces into groups so that at least the well-known values of a row, which are placed in succession, differentiate between groups of missed values. The computational procedure can be applied to each group of passes (for each set of vectors).

There are various ways to restore the positions of missing components in the set of vectors embedding group missed values, they can be divided into two groups:

- the simultaneous method of recovery (the use of the formula, which expresses the vector $X_{\text{P}}$ by $X_{I\setminus P}$);
- a group of ways of successive filling (to the right, to the left, from two sides to the middle, on two sides with averaging). These methods are based on the fact that trajectory matrices have values on diagonals with indexes $(i, j), i + j = const$ are the same. So, it is possible to restore the gaps in one of the vectors of the embedding, and the gaps in the neighboring vectors fill the values obtained for the already restored vector.

The advantage of the successive recovery method, compared with the simultaneous, is that the weak conditions are applied, and the disadvantage is that the recovery error can accumulate.

The result of step C is the matrix

$$\widehat{X} = [\widehat{X}_1 \ldots \widehat{X}_K],$$

which serves as an approximation of the trajectory matrix of a series $F_N^{(1)}$ for the correct choice of the set $I_r$.

Diagonal averaging. At the last step of the basic algorithm matrix $\widehat{X}$ transformed into a new series $\widetilde{F}_N^{(1)}$ (restored row) with diagonal averaging operation.

## III. Description of the Research Process

Let's consider the simulation model of the process of retrieving missed values of the time series of knowledge testing results by the SSA method.

As a baseline, we use real test results [11-17] for 105 students who completed 35 attempts to pass tests.

We introduce the following notation:

$N_s$ – number of students,

$N_a$ – number of attempts for each student.

Value of the time series of tests of knowledge testing for a student in-one attempt:

$$\{ f_{ij} \}, i = \overline{0, N_s - 1}; \; j = \overline{0, N_a - 1}$$

Value of the restored time series of knowledge testing tests for the i-th student in the j-th attempt (the basic method of SSA is used):

$$\{ g_{ij} \}, i = \overline{0, N_s - 1}; \; j = \overline{0, N_a - 1}$$

Time series with missed values will be obtained by removing from the source $\{ f_{ij} \}$ $n$ number of values, $n = \overline{1, \tau}$, where $\tau$ – the threshold of the number of missing components. In our case $\tau = 15$.

We get a family of time series

$$\{ f_{ij}^{(n,k)} \}, i = \overline{0, N_s - 1}; \; j = \overline{0, N_a - n - 1}; n = \overline{1, \tau}; k = \overline{1, K_n}$$

where $K_n$ – the number of options for removing values from the original time series.

It is clear that, $K_n = C_{N_a}^n$, and the total number of time series (for all students) equals $N_s K_n$. In our case, when $n > 4$ the number of variants exceeds $10^6$, because a million variants are quite enough for practical purposes.

A modern computer can calculate this amount in a reasonable time, so we will not generate more $10^4$ time series for each student. In this case, specific time series are generated randomly using the Monte-Carlo method.

So,

$$K_n = \begin{cases} C_{N_a}^n, n \le 4, \\ 10^4, n > 4. \end{cases}$$

Apply modification of the SSA method to restore the time series with the missing values for each row in the family $\{ f_{ij}^{(n,k)} \}$.

We receive a family of restored time series

$$\{ g_{ij}^{(n,k)} \}, i = \overline{0, N_s - 1}; \; j = \overline{0, N_a - 1}; n = \overline{1, \tau}; k = \overline{1, K_n}.$$

We study $\{ g_{ij} \}$ and $\{ g_{ij}^{(n,k)} \}$ series.

We will assume that for each $n$ average (for attempts) the relative value of the module for the difference between the values of the restored time series with spaces and without spaces is a random variable with the number of implementations $N_s K_n$:

$$y_i^{(n,k)} = \frac{1}{N_a} \sum_{j=0}^{N_a - 1} \frac{\left| g_{ij}^{(n,k)} - g_{ij} \right|}{g_{ij}}, \; i = \overline{0, N_s - 1}; \; n = \overline{1, \tau}; \; k = \overline{1, K_n}$$

We call this random variable the "error" of the algorithm for restoring the values of the time series with $n$ missing values.

In [18, 19] it is shown that such a value can be used as a measure of proximity of time series.

The statistical analysis of this random variable allows us to accept the hypothesis of a normal distribution law for all n with a significance level of at least 0.95.

The mathematical expectation of the "error" of the recovery algorithm is determined by the formula:

$$\bar{y}^{(n)} = \frac{1}{N_s K_n} \sum_{i=1}^{N_s} \sum_{k=1}^{K_n} y_i^{(n,k)},$$

and the standard deviation equals

$$\delta^{(n)} = \sqrt{\frac{1}{N_s K_n - 1} \sum_{i=1}^{N_s} \sum_{k=1}^{K_n} (y_i^{(n,k)} - \bar{y}^{(n)})^2}$$

Table I presents the statistical results of simulation of the time series recovery algorithm with spaces. The confidence intervals of the "error" algorithm with a confidence level of 90% were determined for specific values of the number of missed values (from 1 to 15).

Statistical analysis proves that if the number of missed values does not exceed seven, then the "error" of the recovery algorithm not more than 20%. This means that the difference between the estimates does not exceed one point on a five-point scale. Many years of testing knowledge at the Kharkiv National University of Urban Economy O. M. Beketov shows that tests of big errors do not adequately assess student knowledge of the students adequately. Therefore, if the number of missed values is greater than seven, the SSA algorithm cannot be used to restore the time series of student test results.

TABLE I. STATISTICAL ANALYSIS RESULTS OF THE ALGORITHM "ERRORS" FOR THE TIME SERIES VALUES RECOVERY

| Number of missed values | Comparative values ($\bar{y}^{(n)}$) | Standard deviation ($\delta^{(n)}$) | Lower limit of confidence interval | Upper limit of the confidence interval |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,012 | 0,006 | 0,002 | 0,022 |
| 2 | 0,018 | 0,007 | 0,006 | 0,030 |
| 3 | 0,032 | 0,010 | 0,016 | 0,048 |
| 4 | 0,039 | 0,011 | 0,021 | 0,057 |
| 5 | 0,068 | 0,013 | 0,047 | 0,089 |
| 6 | 0,087 | 0,015 | 0,062 | 0,112 |
| 7 | 0,171 | 0,018 | 0,141 | 0,201 |
| 8 | 0,272 | 0,021 | 0,237 | 0,307 |
| 9 | 0,319 | 0,022 | 0,283 | 0,355 |
| 10 | 0,346 | 0,025 | 0,305 | 0,387 |
| 11 | 0,382 | 0,028 | 0,336 | 0,428 |
| 12 | 0,409 | 0,034 | 0,353 | 0,465 |
| 13 | 0,453 | 0,041 | 0,386 | 0,520 |
| 14 | 0,481 | 0,052 | 0,395 | 0,567 |
| 15 | 0,516 | 0,059 | 0,419 | 0,613 |

## IV. RESULTS AND CONCLUSIONS

The use of simulation models made it possible to obtain statistical estimations of the efficiency of restoring values of the time series of knowledge test results. The algorithms restore the time series with sufficient accuracy (error not more than 20%) if the number of missed values is not more than seven.

Applying the method of singular spectral analysis for time series with spaces will allow determining the effectiveness of educational influences in situations where the basic method cannot be applied.

Prospective are further statistical studies of the student testing results, the construction of statistical and simulation models of the learning process, the development of expert systems, knowledge bases and decision support systems that allow you to choose rational learning strategies for each student.

## REFERENCES


[1] Голяндина Н. Э. Метод Гусеница – SSA: Анализ временных рядов / Н. Э. Голяндина. – СПб: 2004. – 76 с.

[2] Голяндина Н.Э. Варианты метода «Гусеница»-SSA для анализа многомерных временных рядов / Н.Э. Голяндина, В.В. Некруткин, Д.В. Степанов // Труды II Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'03, Москва, 29-31 января 2003. М.: Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН. 2003. – С. 2139-2168.

[3] Golyandina N. Analysis of Time Series Structure: SSA and Related Techniques / N. Golyandina, V. Nekrutkin, A. Zhigljavsky. - London: Chapman & Hall/CRC, 2001. - 305 p.

[4] Golyandina N. Singular Spectrum Analysis with R. / N. Golyandina, A. Korobeynikov, A. Zhigljavsky. - Springer Verlag, 2018. - 246 p.

[5] de Carvalho M. Real-time nowcasting the US output gap: Singular spectrum analysis at work / Miguel de Carvalho, Antonio Rua // International Journal of Forecasting. - #33.- P185-198.

[6] Воеводина М. Ю. К вопросу об определении эффективности обучающих воздействий / М.Ю. Воеводина // Системи обробки інформації.– Харків: 2007.– № 2(60).– С.153-158.

[7] Воеводина М. Ю. Исследование эффективности обучающих воздействий / М.Ю. Воеводина // Тезисы доклада на XXIV научно-технической конференции ХНАГХ, 2008. – С. 140-141.

[8] Бочаров Б.П. Інформаційні технології в освіті : монографія / Б.П. Бочаров, М.Ю. Воєводіна; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 197 с.

[9] Bocharov B. Decision support system for the management of distributed automated teaching system / B. Bocharov, M. Voevodina, Y. Levikov // Материалы научно-технической конференции «Информационные системы и технологии». – Х.: 2012. – С.14.

[10] Голяндина Н.Э. Метод "Гусеница"-SSA для анализа временных рядов с пропусками / Н.Э. Голяндина, Е.А. Осипов // Математические модели. Теория и приложения.– СПб: изд-во НИИХ, 2005. – С.24-28.

[11] Бондаренко М.Ф. Теория интеллекта / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко. – Харьков: Изд-во СМИТ, – 2007. – 576 с.

[12] Бабаєв В. М. Організаційна культура керівника : навч. посіб. / В. М. Бабаєв, Н. В. Шаронова. – Х. : НТУ "ХПІ", 2005. – 259 с.

[13] ISO 29990:2010. Learning services for non-formal education and training. Basic requirements for service providers [http://www.iso.org/iso/ru/catalogue_detail?csnumber=53392].

[14] ISO/IWA 2 «Quality management systems. Guidelines for the application of ISO 9001:2000 in education» [http://www.iso.org/iso/ru/catalogue_detail? csnumber=42356]

[15] Шаронова Н.В. Модель извлечения глубинных знаний для систем организационного управления / Н.В. Шаронова, В.А. Тарловский, Н.Ф. Хайрова // Информационные технологии: вестник ХНТУ. – №2(38). – 2010. – С.97-102.

[16] Методы и средства принятия решений в социально-экономических и технических системах: учебное пособие / Э.Г. Петров, М.В. Новожилова, И.В Гребенник, Н.А. Соколова.; Под общ. ред. Э.Г. Петрова. - Херсон: ОЛДИ-плюс, 2003. – 380 с.

[17] Бочаров Б. П. Опыт использования дистанционных технологий при подготовке специалистов городского хозяйства / Б.П. Бочаров, М.Ю. Воеводина // Коммунальное хозяйство городов.– К: «Техніка», 2008, № 81.– С.409-413

[18] 84. Бурнаев Е.В. Меры близости на основе вейвлет коэффициентов для сравнения статистических и расчетных временных рядов / Е.В. Бурнаев, Н.Н. Оленев // Труды XLVIII научной конференции МФТИ. Часть VII. – М: МФТИ, 2005.– С. 108-110.

[19] 85. Бурнаев Е. В. Модель функционального состояния участников лабораторных рынков / Е. В. Бурнаев, И. С. Меньшиков // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2009. – №. 6. – С. 187-204.

# Determining the Effectiveness of Educational Impacts

Boris Bocharov, Maria Voevodina
Department of Applied Mathematics and Information Technologies
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
boris.bocharov@kname.edu.ua
voevodina@kname.edu.ua

Anton Yeryomin
Student of CS 2016-1 group
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
anton.yeromin@kname.edu.ua

# Визначення Ефективності Освітніх Впливів

Борис Бочаров, Мария Воєводіна
кафедра прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
Харків, Україна
boris.bocharov@kname.edu.ua
voevodina@kname.edu.ua

Антон Ерьомін
Студент групи КН 2016-1
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
Харків, Україна
anton.yeromin@kname.edu.ua

***Анотація*— У статті пропонується процедура визначення ефективності навчальних впливів методами сингулярного спектрального аналізу часових рядів. Модель запам'ятовування навчального матеріалу відповідає часовому ряду, який поновлений методом сингулярного спектрального аналізу (ССА). Розглянуто електронні методики вимірювань (е-метрики), які дозволяють чисельно проаналізувати ефективність роботи освітнього сайту.**

***Abstract*— The article proposes a procedure for determining the effectiveness of educational impacts using the time series singular spectral analysis methods. The model for memorizing the educational material corresponds to a time series reconstructed by the method of Singular Spectral Analysis (SSA). Electronic measurement methods (e-metrics) are considered that allow you to numerically analyze the effectiveness of the educational site.**

***Ключові слова—дистанційне навчання, ефективність навчальних впливів, освітній сайт, сингулярний спектральний аналіз***

***Keywords—distance learning, the effectiveness of educational impacts, educational site, singular spectral analysis***

## I. INTRODUCTION

In connection with the transition to a credit-module system of study, due to the entry of Ukraine into the Bologna educational process, the educational process should become more structured and meaningful. In our time, the possibility of increasing the terms of training and the amount of training material is almost exhausted. Therefore, the problem of the differentiation of educational material can only be considered in unity with integration. In these conditions, assessment of the effectiveness of the learning process becomes particularly relevant. The ability to numerically assess the effectiveness of curricula involves the widespread use of mathematical methods and progressive information technologies, without which the problem of assessing the quality of education has no reasoned formalization.

To determine the effectiveness of educational impacts, the solution of the problem is proposed by methods of singular spectral analysis (SSA) of time series. The training material memorization model corresponds to the time series rebuilt by the SSA method. The considered electronic methods of measurements (e-metrics) allow to numerically analyze the effectiveness of the educational site.

## II. SINGULAR SPECTRAL ANALYSIS

The process of meaningful memory is influenced by factors such as the structure of the material, the creation of associative connections between concepts, the frequency of the use of concepts [1,2]. But not only the logic of the presentation affects the memory of the material. It is known [3-8] that the process of assimilation and forgetting information can be provided in the form of a curve, which is depicted in Figure 1.

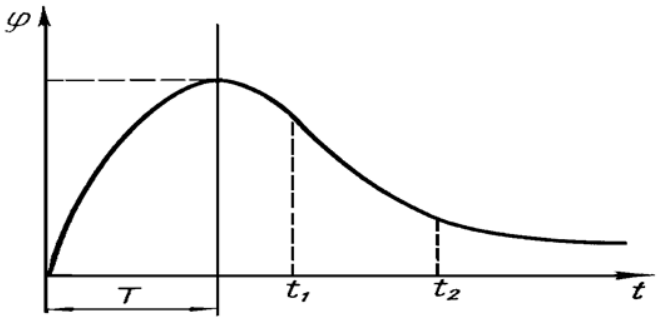



Fig. 1. The process of assimilation and forgetting information

The growing part of the curve reflects the process of perception, falling - forgetting. The time that corresponds to the largest amount of information and which is in memory (T) is the time of the end of the presentation of the material. Immediately after that, the process of forgetting begins.

With $t \to \infty$ the function $\varphi \to 0$, which corresponds to complete forgetting information for a sufficiently large period of time.

An important role in remembering is the periodic repetition of information that occurs during independent work, in laboratory and practical classes, as well as in the case of multiple references by lecturers to familiar material [9]. In order to increase the value $\varphi$ at the end of the semester, educational effects should be distributed rationally throughout the course of study time, since the possibilities of their quantitative growth are rather limited. (Educational influences are lectures, practical or laboratory classes, independent work, reading of educational literature, that is, everything that impedes the process of "forgetting." Interestingly, first and foremost is the influence of active learning factors - classroom activities).

The Singular Spectrum Analysis (SSA) method is described in order to determine the effectiveness of learning effects in [10-14].

Let given time series $F=\{f_0,f_1, \dots ,F_{N-1}\}$. Separate additive components of the output series, such as the trend (smooth and slowly variable part of the row), different vibrational and periodic components, as well as the noise component, should be distinguished.

For a one-dimensional time series, the basic SSA method consists of the following steps [10-14]:

- the transformation of the output one-dimensional series into a multidimensional, which is described by a trajectory matrix;
- singular decomposition of the received trajectory matrix;
- grouping the members of the expansion;
- the next recovery (getting a trend).

Let's describe the steps in more detail.

Step 1. Execute the procedure of an embedding, that is, transforming the output one-dimensional series $F$ into a sequence $L$ - measurable vectors, the number of which, on condition, $K=N-L+1$ , is:

$$X_i = (F_{i-1},\dots,f_{i+L-2})^T,\ 1 \le i \le K.$$

These vectors form a trajectory (hankel) matrix $X$ of series $F$:

$$X = \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \cdots & f_{K-1} \\ f_1 & f_2 & f_3 & \cdots & f_K \\ f_2 & f_3 & f_4 & \cdots & f_{K+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{L-1} & f_L & f_{L+1} & \cdots & f_{N-1} \end{pmatrix}.$$

Step 2. We obtain a singular expansion of a trajectory matrix of a series. Consider the matrix:

$$S = XX^T$$

Since $S$ is positively semispecific, its own numbers are not negative. Let's denote through $\lambda_1,\dots, \lambda_L$ own numbers of the matrix $S$, taken in descending order ($\lambda \ge ,\dots, \ge \lambda_L \ge 0$) and through $U_1, \dots , U_L$. The orthonormal system of eigenvectors of the matrix $S$ corresponding to these eigenvalues.

Get the function:

$$V_i = \frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} \mathbf{X}^{\mathrm{T}} U_i, (i = 1,\dots,d)$$

where $d = max\{\, i,\ \lambda_i > 0\}$.

Ortogonal vectors $V_i$ (so-called factor) are their own vectors of the matrix $X^TX$, corresponding to the same native numbers $\lambda_i$ .

$\sqrt{\lambda_i}$ - singular numbers.

$U_i$ a and $V_i$ -left and right singular vectors of the matrix, respectively.

We obtain a singular expansion of a trajectory matrix:

$$X = X_1 + \dots + X_d \qquad (1)$$

Step 3. The grouping procedure divides the whole set of indices $\{1, \dots , d\}$ on $m$ disjoint subsets $I_1 , \dots , I_m$ .

Let

$$I = \{i_1 , \dots , i_p\}.$$

Then the resulting matrix $X_1$ , which corresponds to the group $I$ , defined as $X_I = Xi_1 + \dots + Xi_p$ . Such matrices are calculated for $I_1 , \dots , I_m$ , consequently, the decomposition (1) can be written in the grouped form:

$$X = X_{I1} + \dots + X_{Im}.$$

Procedure for selecting sets $I_1 , \dots , I_m$ and it is called a grouping of own triples

$$Q_i = (\sqrt{\lambda_i}, U_i, V_i).$$

Step 4. At the last step of the basic algorithm, each matrix of grouped expansion is translated into a new series of lengths $N$.

Let $Y$ – matrix, size is $L$x$K$ with elements.

$$y_{ij} : 1 \le i \le L,\ 1 \le j \le K.$$

Let

$$L^* = min\ (L,K),$$

$$K^* = max\ (L,K).$$

Let $z_{ij} = y_{ij}$, if $L < K$ and $z_{ij} = y_{ji}$ in other case.

Diagonal averaging translates the matrix $Y$ in a row $(g_0, \ , g_{N-1})$ by the formula:

$$g_k = \begin{cases} \dfrac{1}{k+1}\sum_{j=1}^{k+1} z_{j,k-j+2} & \text{for } 0 \le k < L^* - 1; \\ \dfrac{1}{L^*}\sum_{j=1}^{L^*} z_{j,k-j+2} & \text{for } L^* - 1 \le k < K^*; \\ \dfrac{1}{N-k}\sum_{j=k-K^*+2}^{N-K^*+1} z_{j,k-j+2} & \text{for } K^* \le k < N. \end{cases}$$

That is, the elements of the matrix are averaged along the "diagonals" $i + j = k + 2$. Applying a diagonal averaging to matrices $X_I$, obtained at the stage of grouping, we arrive at the expansion of the initial series in the sum of $m$ the series.

## III. Description of the Research Process

For the research was selected the course "Computer Engineering", which is read at the Faculty of Engineering Ecology of Cities at the Kharkiv National University of Urban Management. O. M. Beketov [8, 15-19]. Testing was done twice a week during the semester. The total test was 35 times. Suppose that the time intervals between the tests are the same, so we will consider the time from 1 to 35. Studies using the SSA method have shown that the typical range of estimates can be divided into trends and noise, with the trend forming two first components (significance 95-98%), and noise - other (periodic components are also counted to noise).

Fig. 2 gives a series of ratings. We are exploring this time series is via the SSA method.

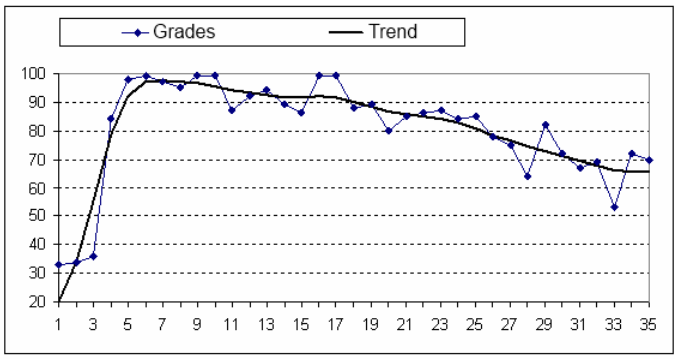



Fig. 2. Output range of estimates and its approximation

Get decomposition a series of three components (Fig. 3). Series can be separated in a row sites "remembering" and "forgetting".

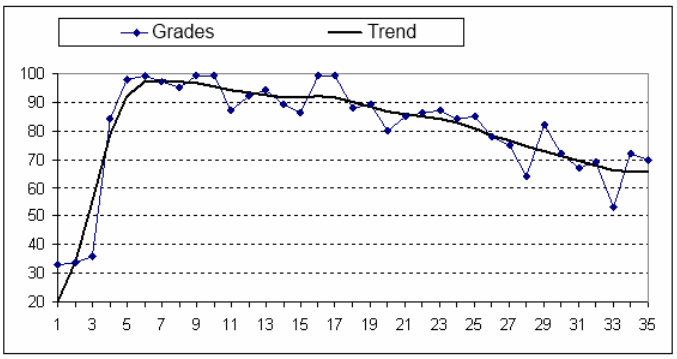



Fig. 3. Output range of estimates and its approximation

Note that in the area of "forgetting" the 2nd component is practically zero. By removing noise, we obtain the trend (approximation) of the output series as a time series, restored by the SSA method (Fig. 2).

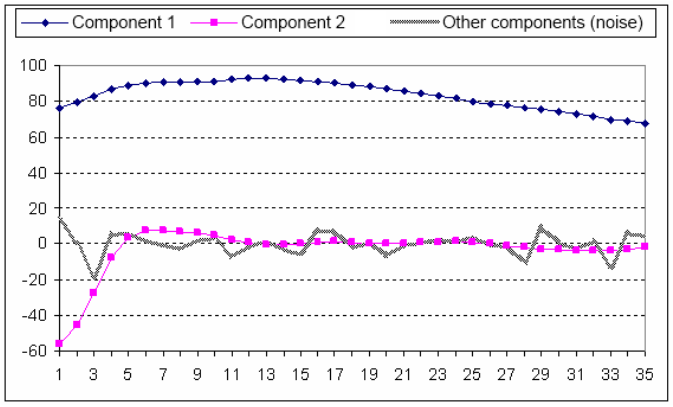



Fig. 4. Components of a row

During the first 4 weeks of the semester, students are studying two modules. Each module consists of 2 educational impacts (IE). Thus, students undergo 4 educational impacts:

- educational impact EI 1 (module 1): start time - 1;
- educational impact EI 2 (module 1): start time - 4;
- educational impact EI 3 (module 2): start time - 5;
- educational impact EI 4 (module 2): start time - 8.

We are interested in how EI 3 and EI 4 influence the knowledge of module 1, we have sampled students:

- set {1, 2, 3, 4} 83 persons - students who were present at all classes;
- set {1, 2, 3} 34 persons - students who attended all classes, except 4th;
- set {1, 2, 4} 27 persons - students who attended all classes except 3rd.

Average estimates for all three sets. The averaging effect - the noise is inverted, the accuracy of the approximation increases (Fig. 4).

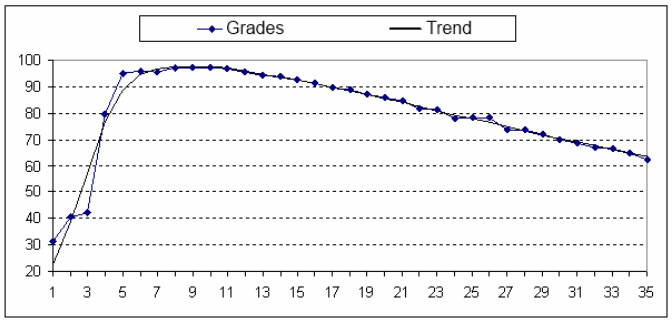



Fig. 5. Average estimates for the set {1,2,3,4}

We investigate the difference in estimates for sets. Time series which characterize the effectiveness of EI 3 - the difference between the average estimates sets {1, 2, 3, 4} and {1, 2, 4}, and the time series that characterizes the efficiency of EI 4 is the difference between the mean estimates for the sets {1, 2, 3, 4} and {1, 2, 3}.

To precisely determine the area of "memorization" for differences is not possible. Therefore, the trend of the series determines only the 1st component.

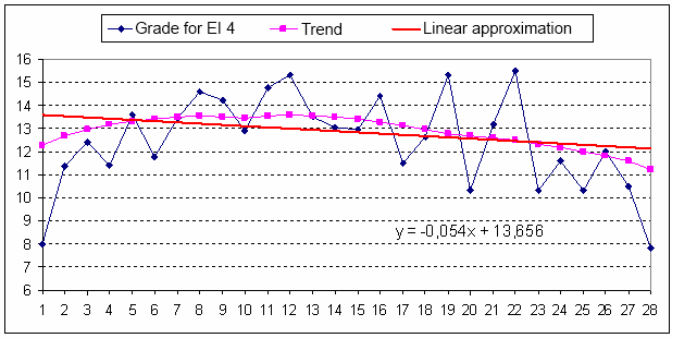



Fig. 6. Estimation of the effectiveness of EI 4

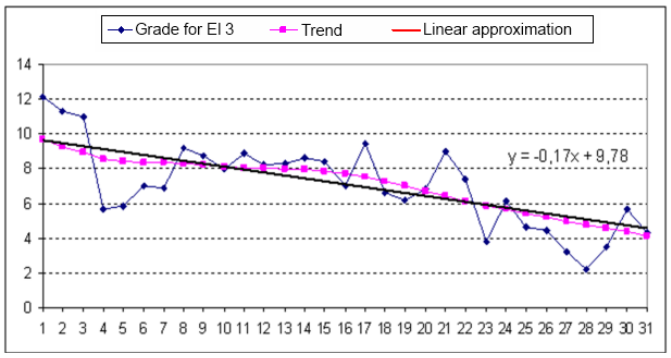



Fig. 7. Estimation of the effectiveness of EI 3

## IV. Results and Conclusions

As an estimation of efficiency, it is proposed to use the coefficients of the linear approximation of the trend obtained using the SSA method [10-12].

For EI 4 the equation of the trend is as follows:

$$y = -0{,}054x+13{,}656.$$

For EI 3 the equation of the trend is as follows:

$$y = -0{,}17x+9{,}78.$$

In the equation $y=ax+b$ coefficient $a$ can characterize the effectiveness of "memorization", and coefficient $b$ – memory speed. In our example, EI 4 is more effective than EI 3, because $a_4 < a_3$ and $b_4 > b_3$.

While organizing distance education, the assessment of the effectiveness of educational influences can be realized with the help of e-metric [17]. This will allow you to rationally distribute the training effects during the course study period and increase the value of mastering the material at the end of the period.

## References


[1] Приобретение знаний: Пер. с япон. / Под ред. С. Осуги, Ю. Саэки. - М.: Мир, 1990.– 304 с.

[2] 4. Бабаєв В. М. Організаційна культура керівника : навч. посіб. / В. М. Бабаєв, Н. В. Шаронова. – Х.: НТУ "ХПІ", 2005. – 259 с.

[3] Dewey J. How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educational process. Boston etc., 1933.

[4] ISO 29990:2010. Learning services for non-formal education and training. Basic requirements for service providers [http://www.iso.org/iso/ru/catalogue_detail?csnumber=53392].

[5] ISO/IWA 2 «Quality management systems. Guidelines for the application of ISO 9001:2000 in education» [http://www.iso.org/iso/ru/catalogue_detail? csnumber=42356].

[6] Шаронова Н.В. Модель извлечения глубинных знаний для систем организационного управления / Н.В. Шаронова, В.А. Тарловский, Н.Ф. Хайрова // Информационные технологии: вестник ХНТУ. – №2(38). – 2010. – С.97-102.

[7] Методы и средства принятия решений в социально-экономических и технических системах: учебное пособие / Э.Г. Петров, М.В. Новожилова, И.В Гребенник, Н.А. Соколова.; Под общ. ред. Э.Г. Петрова. - Херсон: ОЛДИ-плюс, 2003. – 380 с.

[8] Бочаров Б.П. Інформаційні технології в освіті: монографія / Б.П. Бочаров, М.Ю. Воєводіна; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 197 с.

[9] Метешкин К.А. Кибернетическая педагогика. Лингвистические технологи в системах с интегрированным интеллектом / К.А. Метешкин. – Х.: Междунар. Славянский университет, 2006. – 239 с.

[10] Голяндина Н. Э. Метод Гусеница – SSA: Анализ временных рядов / Н. Э. Голяндина. – СПб: 2004. – 76 с.

[11] Голяндина Н.Э. Варианты метода «Гусеница»-SSA для анализа многомерных временных рядов / Н.Э. Голяндина, В.В. Некруткин, Д.В. Степанов // Труды II Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'03, Москва, 29-31 января 2003. М.: Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН. 2003. – С. 2139-2168.

[12] Golyandina N. Analysis of Time Series Structure: SSA and Related Techniques / N. Golyandina, V. Nekrutkin, A. Zhigljavsky. - London: Chapman & Hall/CRC, 2001. - 305 p.

[13] Golyandina N. Singular Spectrum Analysis with R. / N. Golyandina, A. Korobeynikov, A. Zhigljavsky. - Springer Verlag, 2018. - 246 p.

[14] de Carvalho M. Real-time nowcasting the US output gap: Singular spectrum analysis at work / Miguel de Carvalho, Antonio Rua // International Journal of Forecasting. - #33.- P185-198.

[15] Воеводина М. Ю. К вопросу об определении эффективности обучающих воздействий / М.Ю. Воеводина // Системи обробки інформації.– Харків: 2007.– № 2(60).– С.153-158.

[16] Воеводина М. Ю. Исследование эффективности обучающих воздействий / М.Ю. Воеводина // Тезисы доклада на XXIV научно-технической конференции ХНАГХ, 2008. – С. 140-141.

[17] Э. Уайт. Статистические методы работы с электронными документами в библиотечной сфере, или Э-метрики / Э. Уайт, Э. Д. Камаль. – Москва: Омега-Л, 2006. – 395 с.

[18] Бочаров Б. П. Опыт использования дистанционных технологий при подготовке специалистов городского хозяйства / Б.П. Бочаров, М.Ю. Воеводина // Коммунальное хозяйство городов.– К: «Техніка», 2008, № 81.– С.409-413.

[19] Bocharov B. Decision support system for the management of distributed automated teaching system / B. Bocharov, M. Voevodina, Y. Levikov // Материалы научно-технической конференции «Информационные системы и технологии». – Х.: 2012. – С.14.

# Digitalization of the Master Education in the Business Sphere

Aliaksei Danilchanka
Faculty of Marketing, Management and Entrepreneurship
Belarus National Technical University
Minsk, Republic of Belarus
danilchanka@mail.ru

Boris Zhalezka
Department of Marketing
Belarus National Technical University
Minsk, Republic of Belarus
boriszh@yandex.ru

Volha Siniauskaya
Department of Industrial Marketing and Communications
Belarus State Economic University
Minsk, Republic of Belarus
olechka_si@mail.ru

Kseniya Yakushenka
Department of Marketing
Belarus National Technical University
Minsk, Republic of Belarus
Yakush.k.V@mail.ru

# Дигитализация Магистерского Образования в Сфере Бизнеса

Алексей Данильченко
факультет маркетинга, менеджмента и предпринимательства
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
danilchanka@mail.ru

Борис Железко
кафедра маркетинга
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
boriszh@yandex.ru

Ольга Синявская
кафедра промышленного маркетинга и коммуникаций
Белорусский государственный экономический университет
Минск, Республика Беларусь
olechka_si@mail.ru

Ксения Якушенко
кафедра маркетинга
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь
Yakush.k.V@mail.ru

***Abstract*—The study is devoted to analysis of the education services market in the sphere of analytical logistics, digital entrepreneurship and economic informatics. New directions of master education are supposed including synthesis of studying of business analysis, logistic information systems and entrepreneurship. Entry of the Republic of Belarus in Bologna Process, on the one hand, promotes integration of the national educational environment of Belarus and Europe, however, on the other hand, imposes new requirements to development of the Belarusian higher education. Analysis of the European educational system has allowed revealing such relevant directions of capacity building in master training as a combination of: logistics and data analysis; engineering and entrepreneurship; operation research and supply chain management. The graduates of such programs are demanded practically in all branches of business and at the different administrative levels – from top management to project management. Most of the modern enterprises in the world passed and pass to digital form of business, in combination with traditional form or without it. Therefore the business development strategy, both in the European countries, and in the CIS, includes such obligatory element as digitalization of logistics, economic, marketing and other key business processes. At the same time the higher education as the supplier of personnel resources for business, has to follow this strategy.**

***Аннотация*—Исследование посвящено анализу рынка образовательных услуг в сфере аналитической логистики, цифрового предпринимательства и экономической информатики. Предложены новые направления магистерской подготовки, включая синтез обучения бизнес-анализу, логистическим информационным системам и**

**предпринимательству. Вступление Республики Беларусь в Болонский процесс, с одной стороны, способствует интеграции национальной образовательной среды Беларуси и Европы, однако, с другой стороны, предъявляет новые требования к развитию Белорусского высшего образования. Анализ Европейской образовательной системы позволил выявить такие актуальные направления по созданию потенциала в сфере магистерской подготовки, как сочетание: логистики и анализа данных; инженерии и предпринимательства; исследования операций и управления цепочками поставок. Выпускники таких программ востребованы практически во всех областях бизнеса и на разных уровнях управления – от высшего руководства от проектного менеджмента. Большинство современных предприятий в мире перешли или переходят к цифровой форме ведения бизнеса, в сочетании с традиционной формой или без нее. Поэтому стратегия развития бизнеса, как в европейских странах, так и в Содружестве Независимых Государств, включает в себя в качестве необходимого элемента дигитализацию логистики, экономики, маркетинга и других ключевых бизнес-процессов. При этом высшее образование как поставщик кадров для бизнеса должно следовать данной стратегии.**

***Keywords—higher education; master studying; digitalization; analytical logistics; engineering entrepreneurship; supply chain management; economic informatics***

***Ключевые слова—высшее образование; магитсерская подготовка; дигитализация; аналитическая логистика; инженерное предпринимательство; управление цепочками поставок; экономическая информатика***

## I. INTRODUCTION

In the international practice the second stage of higher education – magistracy – is represented by two directions: scientific-oriented (M.Sc.) as pre-PhD training stage, and practical-oriented (Mgr.) as next stage professional education which give additional opportunities in professional career, for example, possibility to be project managers and top managers.

Digitalization and internationalization are the main tendencies of modern master education. Internationalization assumes the standardization of the curricula contents in different countries, and mutual recognition of master diplomas. In the international practice "brands" in the field of master preparation which are highly appreciated in any country are known, for example, to MBA – Master of Business Administration. The second tendency is closely connected with the first – digitalization of master preparation allows managers of the higher school to exchange experience, using online communications, to agree contents of joint master programs, to advertise new specialties and master programs. Other party of digitalization of magistracy is implementation of distance learning elements of in educational process, which allow students to find the interesting master programs in foreign higher education institutions. English-language master programs became the separate direction of master education. The choice of education in foreign countries caused of lower cost, or higher prestige of the master academic degree received abroad. Often also training is abroad connected with desire subsequently to find a job in the country where the master's degree has been received.

In EU countries the tendency of cross-disciplinary synthesis in the higher education is distributed widely, especially during master training. It is caused, first of all, with total digitalization of public life, economic activity and science. Along with the traditional directions of master training (masters of business administration, applied science, laws, philosophy, theology, etc.), there are new master programs combining two different but interconnected directions, for example: master in financial technical analysis, master in management and engineering of water resources, master in management and design in electrical power systems.

The purpose of this article – the analytical review of specialties and programs and also identification of the perspective directions of master education in the field of digital logistics, business and management as the subject domains interconnected among themselves.

## II. EXPERIENCE AND TENDENCIES IN MASTER STUDYING DIGITALIZATION IN THE SPHERES OF LOGISTIC, ENTREPRENEURSHIP AND MANAGEMENT

Digitalization of master education assumes not only use of distance learning elements, Internet advertising of master programs and use of electronic tutorials. It first of all implementation of the disciplines connected with information technologies in curricula which subject domain isn't directly connected with digital technologies.

By opening new perspective master programs and specialties the universities improve their image in the international education market. As a result demand from foreign citizens will appear and universities will get additional profit due to enrolling master students on popular and perspective specialty. The master students improve the competence and demand in labor market, including on international. Those who had engineering or IT training at the first step of education will be able to complement it with knowledge in the field of logistics, business, entrepreneurship; graduates of economic, logistics and administrative specialties will be able to improve engineering training. Let us consider two directions of master education digitalization:

- economic informatics (business informatics) and digital entrepreneurship;
- digital logistics and supply chain management (SCM).

In such programs one of the directions is connected with digital technologies, and the second – with narrow subject domain where digital technologies are applied.

Experience of European Union universities in cross-disciplinal master studying, with synthesis of economic (business) and engineering (technical) education, is generalized in table 1. This research is based on the data from the resource [1].

With the digitalization of all the areas of business digitalization of logistics became very popular and actual.

TABLE 1. EXPERIENCE OF EUROPEAN UNION UNIVERSITIES IN CROSS-DISCIPLINAL MASTER STUDYING, WITH SYNTHESIS OF ECONOMIC (BUSINESS) AND ENGINEERING (TECHNICAL) EDUCATION

| **Master specialty (program) title** | **Countries, universities** | **Short description of master specialty (program)** |
|---|---|---|
| Master in Digital Entrepreneurship | Spain (Zigurat Global Institute of Technology, ESEI International Business School of Barcelona) | Master program is focused on teaching and mentoring entrepreneurs or people who are willing to found a technology-based start-up. Their main courses are entrepreneurship and lean startups, business models, digital marketing, product management, startup finances, agile prototyping, quality assurance, business management leadership. |
| Master in Electronic Business Management | Lithuania (Mykolas Romeris University) | Master program includes management, economics disciplines and interdisciplinary subjects analyzing key aspects of cyberspace in a knowledge-based society, among them – the legal environment of e-business, models, strategies of knowledge management, e-services, entrepreneurship in cyberspace, etc. This study program also provides fundamental knowledge about the information environment of knowledge-based society. |
| Master in Digital Business Informatics | Macedonia (University For Information Science And Technology) | Master program includes various courses such as Fundamentals of Economics, Financial mathematics, Stochastic Processes, Databases, Algorithms, Theory of Decision Making, Cognitive Science, etc. While studying the courses such as software engineering, quality control, and assurance, the students will be introduced to the possibility of reaching higher cognitive levels and look at the information science from different aspects. |
| Master in Digital Business Strategy | France (Grenoble Ecole de Management) | Master program gives possibility to enable middle and top management as well as future managers to make the right technology choices for a digital transformation and deploy them effectively within their organizations. It combines topics in management sciences, information technology and other web-related fields of study. |
| Master In Digital Business | Spain (ESIC Business & Marketing School, Universidad Católica de Murcia, Zigurat Global Institute of Technology, Spain, ESDEN, The Valley Digital and GBSB Global Business Schools), Switzerland (EU Business School) | Master program includes following main modules: digital management, technology and innovation, digital marketing, digital sales and e-commerce, digital business development, etc. Students study new businesses, technological and legal foundations applied to Internet products, digital consumer and e-commerce, marketing in all its forms (digital, mobile, social networking, loyalty client), online content management, web analytics, advertising, digital management. |
| Master In Digital Marketing & E-commerce | Spain (Instituto Internacional de Marketing, GBSB Global Business School) | Master students learn tools and methodologies to boost a business in online sales or start a business from scratch. It is the most complete training devoted to the dynamics of Digital Marketing in depth and specialized in the E-Commerce sector. Master program includes such narrow disciplines as Google Adwords, Google Tag Manager, Topic Search Engine Optimization, Agenda Creativity in Digital Environments, Mobile Marketing, etc. |
| Master in Marketing, Communication and Digital Strategy | Italy (Il Sole 24 ORE Business School) | Master program follows a modular structure and offers a complete and thorough overview of the issues of Marketing and Communication: preparatory courses (business system, business strategy, fundamentals of business administration, the legislative framework), market, consumer and digital media, marketing and competitive analysis, marketing accounting, services marketing< international marketing, digital strategy, etc. |

The relevance and high demand of digitalization of logistics and scientific research in the field is confirmed by the following example. The automated control system for delivery of production of bakeries to points of retails is developed. The system allows the dispatcher to control completely location of drivers and also helps the drivers to find optimum ways on roads. Thereby the efficiency of delivery increases, costs of fuel decrease, including at the expense of an exception of a possibility of use office transport by drivers for personal reasons [2]. The modern logistics can't be effective without SCM – automated control systems for supply chain management. In foreign practice the specialties and master programs connected with logistics have SCM in the abbreviation, and include obligatory SCM disciplines.

Experience of European Union universities in digital logistics master studying is generalized in table 2 [1].

TABLE II EXPERIENCE OF EUROPEAN UNION UNIVERSITIES IN DIGITAL LOGISTICS MASTER STUDYING

| **Master specialty (program) title** | **Countries, universities** | **Short description of master specialty (program)** |
|---|---|---|
| MSc in Logistics and SCM | UK (Sheffield University, University of Kent, Cranfield University, University of Westminster, University of Nottingham, Northumbria University, Kingston University London, Hull University, Manchester Metropolitan University) | Master program include such disciplines as Supply Chain Accounting and Finance, Supply Networks Management, Logistics Systems, Green Logistics and SCM, Spreadsheets and Decision Support Systems, Data Mining and Forecasting, Business Statistics and Database Management, Digital Marketing, Simulation and Optimization Software Structure and Organization of the E-Commerce Enterprise, etc. This program is designed for high-calibre graduates from science, engineering, and business and management disciplines, seeking to gain experience to work at all levels of the company from operational to strategic level. |

| | | |
|---|---|---|
| MSc in Engineering: Logistics and Traffic | Belgium (KU Leuven) | Master program forms engineering students in traffic and intelligent transportation systems (design, maintenance, and management of infrastructure and (public) transportation systems), and in logistics and transportation (supply chain engineering, distribution logistics, etc.). The program is all about the complex interaction between different aspects and the possibility for optimization of processes both for logistic as for traffic. |
| Master in SCM & Logistics | Spain (EAE Business School International, OBS Business School), UK (Leeds Beckett University) | Master program provides an overview of the supply chain with a multidisciplinary approach and an optimal combination of content design and planning and implementation and management. Master program include such disciplines as Business Process & Operations Management, Green SCM, Corporate Strategy, Sourcing & Supplier Management, Logistics & Supply analysis using SAP, etc. |
| MSc in Intelligent Transport Systems and Logistics | Sweden (Linköping University) | Master program focuses on the integration of IT and telecommunications into transport and logistics systems, with the aim of increasing efficiency, safety, mobility and customer satisfaction while reducing environmental impact. The program provides the tools required to understand, develop and control future transport and logistics systems through the use of optimization, simulation and geographical information systems. |
| Master of Engineering in Logistics | Finland (Metropolia University of Applied Sciences) | Master program includes the following modules: SCM, Advanced transportation systems, Advanced intralogistics, Strategic management and leadership, Performance management The program is tailored for engineers who need to combine their technical knowledge with management competencies and understanding of advanced logistics processes. |
| Master in e-Logistics and SCM | UK (University of Greenwich) | Master program include such disciplines as E-Logistics, Leadership, Professional Development and Career Management, Logistics and SCM Consultancy, International Purchasing and Procurement, Strategic Management and Transport Policy, etc. |
| Master in Engineering Management and Logistics | Spain (Carlos III University of Madrid) | This dual background (management and technology) of master program prepares the candidates for management positions in the industrial and services sectors, with special focus on consultancy, particularly in areas such as purchasing, logistics, production, business process management, products, costs, maintenance and project management, as well as for R+D activities, preparing interested students for an eventual Ph.D. program. |

This review allows finding following tendencies in EU education in the field of logistics, economic, and entrepreneurship in synthesis with engineering and digital technologies:

- in the sphere of digital entrepreneurship the graduates are able to use innovation technologies (digital, mobile, cloud, web) in entrepreneur and start-up activity, master programs include economic disciplines as necessary components of curricula, traditional disciplines (economics, marketing, project management) are considered with emphasis on entrepreneurship activity, e-business and e-marketing are included in study process in most of the programs;
- in the sphere of digital logistic the graduates are able to use innovation SCM-technologies in logistic optimization processes, master programs include engineering disciplines as necessary components of curricula, traditional disciplines (logistic, procurement, distribution. etc.) are considered with emphasis on digital technologies, SCM are included in study process in all of the programs.

## III. Experience and ways of development of the master training in the digital logistic, economic and entrepreneurship in Belarus

Digitalization of master education assumes not only use of distance learning elements, Internet advertising of master programs and use of electronic tutorials. It first of all implementation of the disciplines connected with information technologies in curricula which subject domain isn't directly connected with digital technologies.

Belarusian HEIs have some experience in digitalization of the education in the spheres of logistic, entrepreneurship and management. Let us consider several examples of master programs, in which digital technologies combined with logistics, business and economic.

Master program “Logistics and SCM” of “Logistics” specialty was opened in BSEU in 2012 and it forms modern knowledge about processes of strategic decision making in logistics on the base of SCM conception. Graduates are able to work in the sphere of strategic planning and development of supply chains. The program trains coordinators of supply chains, analysts and researchers owning methodology of strategic management of key business processes with use of the principles of the SCM-theory. Graduates receive key skills and competences in SCM solutions on resources optimization and the SCM added value. They get acquainted with the advanced international supply practice.

Master program “IT-Management” of “Economic Informatics” specialty also was opened in BSEU in 2012. Mission of this master program is professional and intellectual development of experts in the sphere of economic informatics, training of the qualified information technologies managers having high competence capable to provide progress and development of IT-sphere. The graduates receive degree of the master of economy. It prepares future master for work in the IT enterprises at prestigious positions and also in the organizations of any form of ownership and a field of activity where implement the corporate information systems. Feature of the program is acquisition of knowledge and skills in the field of SAP technologies, which are organized on the basis of joint SAP-laboratory of BSEU and "EPAM Systems"

company. Educational process is directed to studying of the perspectives of economy digitalization. The main disciplines are IT-entrepreneurship, Integrated ERP-systems, IT-project Management, Efficiency of ERP-systems and IT implementation, CALS-technologies, Business processes modelling and optimization, Software testing, Intelligent Information Systems.

Such biggest Belarusian HEIs as BNTU, BSU, BSUIR have big experience of engineering education and implementation of the entrepreneurship training on the first stage of higher education. Belarus HEIs have the necessary resources for opening new master specialty representing synthesis of engineering and digital entrepreneurship training. So, BSU is versatile HEI in which the innovative-oriented directions of education are presented: applied mathematics, radio-physics, cybernetics, nano-mechanics, etc. In BNTU the new faculty of marketing, management and entrepreneurship is created where engineering training is combined with elements of economic. BSUIR is the leader in training of IT specialists in Belarus, there is also an engineering economics faculty [3]. The Minsk Innovative University (MIU) represents the non-state sphere of the higher education and the range of MIU specialties also have innovation character and include digitalization elements. The regional HEIs provide branches of the large IT-companies in regions with the engineering staff.

In modern conditions IT and digital transformation of economy is the driver of technological changes and a condition of competitiveness both at the level of the separate enterprises, and at the level of the countries. Digitalization leads to reorganization of all economic and productions, to radical increase in productivity, improvement of quality, decrease in costs of goods and services. That's why additional education of the specialists in digitalization of entrepreneur activity is very relevant.

The perspective direction of the development of master training in the business is "Digital Engineering Entrepreneurship" master program opening. Main objective of the program is training of the highly skilled engineers-economists for the industrial sector having profound knowledge in implementation of business activity in the conditions of digital transformation of business processes and infrastructure at the enterprise. The main disciplines of new master program are Innovation Economics and Business, Enterprise Economics, Information management, Theory of Innovation Development and Competitive Advantages, Digital Management of Raw Flows, Investment Project Management in Technological Entrepreneurship, Common Information Space of Enterprise Planning and Management, Engineering, etc.

The Digital Engineering Entrepreneurship master program is absolutely new for Belarusian educational organizations, when not only theoretical material is used during the educational process of engineers-economists but also a digital approach that takes into account the current requirements of potential employers, competencies, experience and best practices of specialists from EU universities.

Belarusian HEIs have a big experience of participation in international projects including TEMPUS and ERASMUS+ projects, some of them are described in [3, 4; 5, 6].

TEMPUS projects help to organize effective interaction between universities and business in different spheres with accordance of EU experience. For example, UNITE ("University and Industry for the modernization of textile manufacturing sector in Belarus") project is devoted to cooperation between higher education and textile industry representatives and has allowed to create on-line courses for education in this sphere based on the experience of Greece, Spain, Portugal, Belgium and Lithuania [7]. FKTBUM ("Fostering the knowledge triangle in Belarus, Ukraine and Moldova") project is the structure measure project which has allowed initiating the modernization of legislation in the spheres of higher education, innovation and research to improve interaction of these three spheres [4].

Also 6 Belarusian HEIs take part in the international education project SAP University Alliance, which concerned with the cooperation between SAP company, university and business partner. Business partner in this project is IT-company which finances purchasing of licensed SAP software for university and get from university graduated specialist with deep knowledge in SAP. Such cooperation more cheep for the business partner IT-company than organization of the SAP courses on the base of company with involvement of own employees as SAP teachers [8, 9].

BSU also have an experience of participation in the project supported by International Bank. This project has allowed opening of "Engineering of Complex Integrated Systems" master program. This master program is differs from others by involving in educational and organization processes many partners: IT-companies as financial partners and curricula co-authors, IT-specialist as both master students and teachers, lawyers and international consultants as experts [10]. All of the participants form education cluster in which master studying is realized.

Another innovation experience of Belarusian HEIs is opening of master programs in English language for foreign and Belarusian master students. For example, in BSEU there are 5 English language master programs: "Event Marketing", "Business Administration (MBA)", "International Bookkeeping", "International Economics and Commercial Diplomacy", "International Economics and Trade Policy".

Such wide experience in master education will allow Belarusian HEIs to create its new innovation directions, which will be correspond to European level of master education.

Another best practice of higher education is dual education. It is distributed widely in EU, and some elements are implemented in Belarusian HEIs also. Dual education is popular form of education in EU countries, especially in Germany, which assumes that classes partially take place at the enterprises [11].

Despite Belarusian experience, knowledge of universal tendencies of digitalization of master education in logistics, economic and entrepreneurship is insufficient, and their studying in EU demands financial support. The budgetary financing of HEIs activity in Belarus is limited, and financing

from internal funds is directed generally to scientific developments, but not educational activity. Therefore use of international technical assistance is optimum for creation of the new potential directions of the higher education development.

Consultations and participation in educational process of EU HEIs representatives will create opportunities for harmonization of education in the field of Digital Logistics, Economic and Entrepreneurship in Belarus and in the EU that is especially important in connection with the entry of Belarus in Bologna Process.

## IV. Conclusion

With accordance of abovementioned, business partners' support and EU international technical assistance is needed for initiation and organization of new master programs and specialties. Such projects may be realized as ERASMUS+ project of Capacity Building in the field of higher education.

Also following best practices may be used when master studying, that will be profitable both for universities and their business partners: elements of dual education; experience of education cluster functioning; experience of earlier international projects concerned with interaction between business and higher education.

The development of the Master Programs in Digital Logistics, Economic Informatics, Digital Engineering Entrepreneurship in accordance with the Bologna principles will provide increased opportunities for students to acquire new knowledge as well as drawing on the experience and competence of experts from EU universities through the development and provision of modern educational tools; it will reveal the real needs of potential employers by involving them into the educational projects through carrying out activities, surveys, analytical studies.

Mutual development of Belarusian and EU universities' training programs and their implementation into the educational process will promote the convergence and joint integration of the European and Belarusian education systems on the experience of the Digital Logistics, Economic Informatics, Digital Engineering Entrepreneurship master programs, will accelerate the transformation of the Belarusian education system in terms of improving its competitiveness by increasing student mobility, access to modern information technologies during training and decision-making. All this corresponds with the national interests of Belarus and the EU countries in the convergence and harmonization of education systems within the framework of the Bologna Process.

## References


[1] Best Masters Degrees & Masters Programs (2018) [Online]. Available: masterstudies.com

[2] A. O. Brilevski, "Economic-mathematical modelling and tools for management of distribution networks designed for baking industry of the Republic of Belarus". PhD Thesis on specialty 08.00.13 – mathematical and instrumental methods of economy, Minsk: BSEU, 2016.

[3] U. Khmialnitski, B. Zhalezka and V. Siniauskaya, "Directions of Fostering of Knowledge Triangle "Education-Research-Innovation" in the Republic of Belarus", in *System "science-technologies-innovations": methodology, experience, perspectives*: International scientific-practical conference, Minsk, December 1, 2016, Ed. V.V. Goncharov, Minsk: Center of system analysis and strategic research of NASB, 2016, pp. 236- 240.

[4] H. Zhivitskaya, M. Lukashevich and V. Smirnou, "Functioning of the Knowledge Triangle in the Example of IT education", *EEJRS. Eastern European Journal of Regional Studies*, vol. 1, issue 1, pp. *31-38*, June 2015.

[5] B. A. Zhalezka and V. A. Siniauskaya, "Knowledge Triangle Realization in IT-education, IT-industry and Banking (by the Example of Economic Informatics)", in *Leading and Managing Change in Higher Education;* final scientific-practical conference on Tempus program La Manche: Minsk, May 22, 2015, Minsk: NIHE, 2015, pp. 12-13.

[6] B. A. Zhalezka, V. A. Siniauskaya and U. A. Khmialnitski, "Integration of Education, Research and Innovations in Belarus State Economic University", in *Engineering education: challenges and developments*: VII International scientific-methodical conference: Minsk, November 20-21, 2014, Minsk: BSUIR, 2014, pp. 264-265.

[7] UNITE – University and Industry for the modernization of textile manufacturing sector in Belarus (2014) [Online]. Available: http://unite-tempus.eu/index.html

[8] SAP University Alliance (2018) [Online]. Available: https://www.sap.com/cis/training-certification/university-alliances.html

[9] B. A. Zhalezka, V. A. Siniauskaya and V. A. Mironenko "Experience of SAP-technologies implementation in educational process of Belarus State Economic University", in *Information Systems and Technologies* 2nd International scientific-technical conference IST-2013, Yevpatoriya-Kharkiv, September 16-22, 2013, abstracts, [ed.: A.D. Tevyashev (responsible editor) and al], Kharkiv: NYMT, pp. 122-123.

[10] Practical oriented magistracy "Engineering of Complex Integrated Systems" (2017) [Online]. Available: http://msys.bsu.by/

[11] Wegweiser Duales Studium (2017) [Online]. Available: http://www.wegweiser-duales-studium.de

# Інтелектуальна Система Управління Процесами Збору та Переробки Енергетичних Культур у Біогазових Комплексах

Юрій Гунченко, Анастасія Позднікова
кафедра математичного забезпечення комп'ютерних систем
Одеський національний університет імені І.І.Мечнікова
Одеса, Україна
gunchenko@onu.edu.ua

Сергій Шворов, Володимир Лукін
кафедра автоматики та робототехнічних систем
Національний університет біоресурсів і природокористування
Київ, Україна
sosdok@i.ua, lukin2008@ukr.net

# Intelligent System for Managing the Processes of Collection and Processing of Energy Crops in Biogas Complexes

Yurii Gunchenko, Anastasia Pozdnikova
Department of Mathematical Support of Computer Systems
Odessa I.I.Mechnikov National University
Odessa, Ukraine
gunchenko@onu.edu.ua

Sergey Shvorov, Volodymyr Lukin
Department of Automation and Robotic Systems
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
sosdok@i,ua, lukin2008@ukr.net

***Анотація*—У роботі розглянуті методичні основи побудови інтелектуальної системи управління (ІСУ) процесами збору та переробки енергетичних культур (ЕК) у біогазових комплексах (БГК), обгрунтована її функціональна структура. Розроблено метод розпізнавання та визначення обсягів біомаси на полях за допомогою безпілотних літальних апаратів, метод синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху роботизованої збиральної техніки (РЗТ) з мінімальною довжиною маршрутів їх руху в процесі збору біомаси та з урахуванням пасивних (нерухомих) перешкод, метод розпізнавання ЕК та активних (рухомих) перешкод на шляху пересування РЗТ.**

***Abstract*—In this article, the methodical foundations of the construction of the intellectual control system (ISU) for the processes of collection and processing of energy crops (EC) in biogas complexes (BGCs) are considered, and its functional structure is substantiated. The method of recognition and determination of biomass volumes on fields by means of unmanned aerial vehicles, a method of synthesis of compromise-optimal robotic harvesting techniques routes (RZT) with a minimum length of their routes in the process of biomass collection and taking into account passive (stationary) obstacles, the method of recognition of EC and active (moving) obstacles to the movement of RZT.**

***Ключові слова*—біогазові комплекси, роботизована збиральна техніка**

***Keywords*—biogas complexes, robotic harvesting equipment**

## I. Вступ

За допомогою запропонованої ІСУ вирішуються наступні задачі: моніторинг процесу вирощування ЕК та визначення обсягів ЕК на основі застосування БПЛА; розпізнавання ЕК, активних і пасивних перешкод на шляху руху РЗТ; розподіл РЗТ по полях та планування оптимальних маршрутів їх руху для збору ЕК; оперативне управління процесами завантаження та доставки до БГК сировини, оптимізація технологічних процесів щодо подрібнення, деструкції (кавітації), підігріву, дозуванню різних видів сировини та ензимів, підтримання високостабільних температурних режимів та режимів перемішування і бродіння субстрату в БГК. Для вирішення перерахованих задач ІСУ поділяється на підсистеми моніторингу, планування та оперативного управління процесами збору і переробки органічної сировини.

Одним із найважливіших завдань на сьогоднішній день є розробка та реалізація перспективних технологій промислового виробництва біометану для заміщення

природного газу. Для отримання максимальних об'ємів біометану необхідно використовувати не тільки відходи сільськогосподарських ферм, агрофірм рослинництва, цукрових заводів та птахофабрик, а також і спеціально вирощені енергетичні культури для біогазових комплексів. Вирішення цього завдання в великих промислових масштабах передбачає розробку та застосування інтелектуальних систем управління процесами збору та переробки ЕК і відходів в БГК. Однак, на даний час недостатньо повно досліджені методи визначення обсягів енергетичних культур з БПЛА, планування збиральних робіт, синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху перспективної безпілотної роботизованої збиральної техніки та побудови інтелектуальних систем управління щодо збирання енергетичних культур для біогазових установок (комплексів і заводів).

## II. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз [1-8] показує, що на даний час широко застосовуються глобальні і локальні методи навігації мобільних роботів (МР). Глобальні методи засновані на тому, що перед початком руху МР повністю відома карта місцевості. Знаючи своє місцезнаходження, точку фінішу, а також розташування всіх перешкод, МР, користуючись заданим алгоритмом дій, забезпечує знаходження найкоротшого шляху від старту до фінішу і після цього долає цей шлях.

На практиці найбільш часто використовуються методи фронту хвилі, A *, дерева квадратів, видимого графа [1-4]. До недоліків таких методів відноситься необхідність збереження карти місцевості (найчастіше великих розмірів) і підвищена обчислювальна складність. Локальні методи навігації використовуються в тих випадках, коли МР невідомі стаціонарні (пасивні) та рухомі (активні) перешкоди, які можуть з'являтися і зникати та змінювати своє місце розташування. У цьому випадку МР отримує навігаційну інформацію про локальну область зовнішнього середовища, перебуваючи у межах дії його датчиків. До таких методів навігації МР можна віднести: методи, засновані на використанні потенціальних полів перешкод [2], методи сімейства BUG [5, 6], що використовують для отримання навігаційної інформації тактильні датчики, а також методи сімейства VisBUG [6-8], які припускають отримання навігаційної інформації від ультразвукових датчиків. До переваг методів локальної навігації слід віднести їх обчислювальну простоту. Недоліки цих методів, порівняно з методами глобальної навігації, полягають у відхиленні реальної траєкторії руху МР від оптимального маршруту і більш складній процедурі локалізації МР у просторі. Для обох груп методів навігації МР характерна проблема своєчасного визначення пасивних та, особливо, активних перешкод на шляху руху МР. Крім того, існуючі методи та алгоритми розв'язання задач планування траєкторій руху наземного МР застосовуються в два етапи: спочатку знаходиться глобальна траєкторія по картографічних даних, яка потім у процесі руху періодично уточняється за даними бортової системи технічного зору (СТЗ) МР. Такому підходу властиві суперечності і недоліки, обумовлені суттєвою відмінністю масштабів подання інформації на цих двох етапах. Використання СТЗ на базі БПЛА, що поставляє проміжну між етапами планування інформацію про ділянки місцевості, дозволяє з одного боку оперативно уточнювати картографічні дані, а з іншого – на порядок розширити зону огляду бортової СТЗ МР, що підвищує ефективність вирішення всіх цільових завдань РЗТ. Незважаючи на значний обсяг досліджень в даній області, проблема навігації РЗТ з використанням БПЛА для визначення (уточнення) маршрутів та різних видів перешкод на шляху руху безпілотної збиральної техніки залишається відкритою.

Традиційної сировини для біогазових реакторів, зокрема відходів тваринництва і птахівництва через зменшення поголів'я, може виявитись недостатньо для отримання необхідної кількості енергоресурсів. Як додаткові джерела для отримання біогазу в країнах ЄС використовують рослинну сировину, а саме енергетичні культури та відходи рослинництва, що показано в роботах A. Meyer та ін. (2017) [9] і P. Schröder та ін. (2018) [10]. Посіви енергетичних культур планують з урахуванням, передусім, площ малопридатних для рослинництва земель, наприклад торф'яників (K. Laasasenaho та ін., 2017) [11], а також логістики щодо наявних біогазових реакторів. Технології, що розроблялись для отримання біогазу з відходів, які накопичуються на переробних ділянках, адаптуються під конкретну сировину (R.Ciccoli та ін., 2018) [12], що обмежує її застосування для сезонної сировини. У роботі K.Sahoo та ін. (2018) [13] показано, що рослинні залишки на полях мають певний економічний потенціал для виробництва біогазу, проте залишається проблема моніторингу обсягів цієї сировини та оптимізації логістики щодо її перевезення до реактоів. Питання оптимізації транспортування біомаси в межах регіону розглядалося J. Höhn та ін. (2014) [14] для Фінляндії, у роботі V. Burg та ін. (2018) [15] – для Швейцарії, проте оцінювали, передусім, місця перспективного будівництва стаціонарних біогазових реакторів. У роботах показано, що з року в рік розташування джерел біомаси змінюється, що ускладнює вирішення питання оперативного моніторингу стану та обсягів біомаси впродовж року для оптимізації логістики.

## III. Мета дослідженя

Мета полягає в розробці функціональної структури інтелектуальних систем управління процесами збору та переробки ЕК для біогазових комплексів.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні задачі:

- розробка методу та алгоритму розпізнавання та визначення обсягів біомаси на полях за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА);
- обґрунтування методу синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху роботизованої збиральної техніки з мінімальною довжиною маршрутів руху РЗТ у процесі збору біомаси та з урахуванням пасивних (нерухомих) перешкод;

- розробка методу та алгоритму розпізнавання ЕК та активних (рухомих) перешкод на шляху пересування РЗТ;
- обгрунтування функціональної структури гібридної інтелектуальної системи управління процесами збору та переробки органічної сировини шляхом створення бази знань і системної інтеграції методів, алгоритмів та продукційних правил інтелектуальної підтримки прийняття рішень.

За допомогою запропонованої ІСУ повинні вирішуватися наступні задачі:

- моніторинг процесу вирощування ЕК та визначення обсягів ЕК на основі застосування БПЛА;
- розпізнавання ЕК, активних і пасивних перешкод на шляху руху РЗТ, розподіл РЗТ по полях та планування оптимальних маршрутів їх руху для збору ЕК;
- оперативне управління процесами завантаження та доставки до БГК сировини, оптимізація технологічних процесів щодо подрібнення, деструкції (кавітації), підігріву, дозуванню різних видів сировини та ензимів, підтримання високостабільних температурних режимів та режимів перемішування і бродіння субстрату в БГК.

Для вирішення перерахованих задач ІСУ повинна включати підсистеми моніторингу, планування та оперативного управління процесами збору і переробки органічної сировини. Крім того, однією з найбільш важливих задач, яка вирішується за допомогою ІСУ, є розміщення посівів різних енергетичних культур, моніторинг їх стану та їх диференційне підживлення на спеціально визначеній місцевості з урахуванням геофізичних особливостей для кожної культури.

Досвід використання біогазових установок та заводів у європейських країнах, особливо в Німеччині, свідчить про те, що суттєве нарощування обсягів виробництва біогазу потребує застосування гібридів енергетичної кукурудзи. Частка силосу кукурудзи в суміші з іншими ко-субстратами може складати від 2 до 99%. Аналіз існуючих біогазових технологій показує, що в Німеччині вже у 2012 р. під вирощування енергетичних культур (переважно кукурудзи) для виробництва біогазу використовувалось близько 1 млн га земель. При цьому виникає необхідність в подальшому дослідженні способів та технологій збирання ЕК, а також підвищення продуктивності БГК.

На даний час все більше уваги приділяється «точному землеробству», що забезпечує максимальну продуктивність сільськогосподарських робіт. Найбільш перспективним є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для планування та керування рухом безпілотної збиральної техніки в залежності від наявності врожаю та перешкод на кожній ділянці поля.

Процес планування змісту та часу виконання робіт поділяється на декілька етапів, а саме: сівба ранніх озимих культур та їх збирання, сівба наступних ЕК та їх збирання. Кожний з перерахованих етапів планування має свої особливості, і для їх реалізації доцільно передбачити в ІСУ відповідну базу даних та знань.

Підсистема моніторингу ЕК являє собою геоінформаційну систему, яка отримує дані про кількість і якість сировини з датчиків інформації, що розташовані на БПЛА, а також з інших інформаційних джерел. На основі цих даних формується множина припустимих рішень щодо поліпшення стану енергетичних культур, а також організації збору та подальшого використання органічної сировини в БГК.

Як показують результати експериментальних досліджень, звичайні цифрові фотокамери БПЛА можна ефективно використовувати при визначенні обсягів урожаю та ідентифікації різних перешкод на шляху руху РЗТ на кожній ділянці поля. Після проведення фотозйомки на електронній карті поля на основі статистичної обробки RGB-сигналів визначається декілька контрастних за оптичними характеристиками зон (ділянок). Для кожної із цих зон експериментально розраховуються контрольні обсяги врожаю, які використовуються для навчання нейронної мережі. За допомогою спеціального програмного забезпечення обробки спектральних характеристик цифрових знімків кожної ділянки місцевості з використанням апарату нейронних мереж визначаються обсяги врожаю на шляху руху безпілотних комбайнів, що забезпечує оперативне прийняття рішень для їх розподілу, планування маршрутів та керування рухом РЗТ.

## IV. Роботизована збиральна техніка

Основою підсистеми є спеціальні методи та алгоритми розпізнавання образів, за допомогою яких забезпечується вирішення наступних задач: сприйняття образу (технічний вимір), попередня обробка отриманого сигналу (фільтрація), виділення потрібних характеристик і класифікація образу (прийняття рішення). Для цього синтезована нейромережева структура і перевірений на адекватність відповідний багатошаровий перцептрон. Обробка графічних даних за результатами фотозйомки з БПЛА здійснюється з використанням інформаційної технології, що базується на застосуванні спеціального програмного забезпечення виробництва НУБіП LDE – Land damage expert. Програма має можливість на основі статистичної обробки RGB сигналів визначати координати перешкод для БЗТ на електронній карті місцевості та обсяги ЕК.

Як показує практика, неоптимальне планування польових робіт призводить до накладання маршрутів руху збиральної техніки, затримок в її роботі і, як наслідок, надмірних витрат пального. З метою усунення цих недоліків за допомогою ІСУ повинно забезпечуватися планування збиральних робіт і розрахунок оптимальних траєкторій руху збиральної техніки, які вводяться в навігаційне обладнання кожного збирального засобу. На основі отриманої інформації про біомасу з БПЛА забезпечується планування маршрутів руху та розподіл РЗТ по технологічним ділянкам з використанням методів

динамічного та лінійного програмування. Крім того, за допомогою ІСУ обгрунтовується рішення про доцільність залучення до збирання ЕК необхідної кількості роботизованих збиральних комбайнів і безпілотних транспортних засобів.

При розробці методу та алгоритму планування збиральної техніки передбачається, що процес планування збиральних робіт для РЗТ являє собою керований багатоетапний динамічний процес, який на кожному етапі характеризується двома видами параметрів: параметрами керування (кількістю спланованих безпілотних комбайнів) і параметрами стану (об'ємом зібраної біомаси на кожному етапі). У вигляді обмежень виступає сумарний ресурс часу збиральних робіт та витрат пального, що виділяється на збиральну кампанію. Кінцевою метою планування збиральних робіт на кожному полі є максимальний обсяг зібраних ЕК.

У підсистемі планування, залежно від наявності роботизованих технічних засобів і прогнозованих умов збиральної кампанії, генерується множина варіантів виконання робіт РЗТ. Серед існуючої множини варіантів визначається такий, що забезпечує отримання максимального прибутку від реалізації біометану. За допомогою ГІС забезпечується формування електронної карти місцевості та визначення обсягів урожаю на кожній ділянці, а також визначення компромісно-оптимальних маршрутів руху збиральної техніки на полях з перешкодами та складними геометричними формами. Застосування запропонованої технології передбачає більш високу оперативність та точність керування БЗТ, а також зменшення вартісних витрат на збиральну кампанію.

Таким чином, розроблено метод планування збиральних робіт РЗТ, за допомогою якого на основі використання процедури динамічного програмування здійснюється оптимальний розподіл безпілотних комбайнів між полями при обмеженнях на часові та вартісні витрати, що забезпечує обгрунтоване прийняття рішень на застосування РЗТ.

Постановка задачі синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів полягає у наступному. Відомою інформацією є координати площі, на якій знаходиться біомаса, початкове місце знаходження кожної РЗТ, та кінцева точка її маршруту, координати пасивних перешкод та координати ділянок без біомаси, які отримані за допомогою підсистеми моніторингу стану та визначення обсягів енергетичних культур з БПЛА. Необхідно знайти такі компромісно-оптимальні маршрути руху РЗТ, при яких забезпечується: мінімальний шлях руху РЗТ, об'їзд перешкод, об'їзд ділянок без біомаси.

Метод синтезу компромісно-оптимальних маршрутів руху безпілотних комбайнів включає виконання наступних операцій: відправна задача приводиться до дискретного виду; для кількісної оцінки небезпеки наближення безпілотних комбайнів до перешкод застосовується метод потенційних функцій [2]; довжина шляху визначається довжиною можливих переходів з початкової до кінцевої точки поля з урахуванням об'їзду безпілотними комбайнами перешкод і районів відсутності енергетичних культур; задача синтезу оптимальної траєкторії руху безпілотних комбайнів у заданих умовах розв'язується методом динамічного програмування з узагальненим критерієм оптимальності по нелінійній схемі компромісів [16]. Структура узагальненого критерію будується у відповідності з методологією нелінійної схеми компромісів з урахуванням оцінки небезпеки наближення безпілотних комбайнів до перешкод, довжини маршруту руху безпілотних комбайнів, оцінки імовірності заходу безпілотних комбайнів в район відсутності енергетичних культур.

Реалізація оптимальних траєкторій у процесі збиральних робіт передбачає зменшення витрат пального за рахунок мінімізації часових затримок збиральної техніки та кількості накладання маршрутів їх руху з урахуванням особливостей та геометричної форми поля.

## V. Керування збиральною компанією

На даний час залишаються невирішеними питання щодо побудови систем підтримки прийняття рішень з керування збиральною технікою у режимі реального часу з урахуванням умов динамічного та частково визначеного зовнішнього середовища. З метою усунення відхилень між запланованими та фактичними показниками роботи технологічних підрозділів виникає необхідність розв'язування задачі оперативного керування та перепланування робіт. Процедура розв'язування цієї задачі складається з цих самих пунктів, що й процедура розв'язування задачі планування, відрізняється тільки початковими даними.

Підсистема оперативного управління процесами збору та переробки органічної сировини побудована на базі гібридної інтелектуальної системи підтримки та прийняття рішень (СППР), до основних складових якої входять: база знань, блок імітації роботи РЗТ, підсистеми моніторингу, планування, контролю та управління, модуль навчання й інтерфейс. При розробці бази знань та ІСУ здійснено системну інтеграцію моделей і алгоритмів та продукційних правил, які ґрунтуються на класичних методах моделювання та оптимізації систем і методах штучного інтелекту, що забезпечує ефективне розв'язування задач планування, контролю й оперативного управління процесами збору та переробки різних видів органічної сировини.

Необхідною умовою ефективного керування збиральною кампанією є постійний контроль технологічного процесу збирання ЕК. Відхилення від плану роботи у більшості випадків виникає внаслідок несправності технічних засобів або за несприятливих погодних умов проведення робіт. Але існують ситуації, коли на відхилення «план-факт» впливають і інші фактори, в результаті чого можливе як недовиконання плану, так і навпаки. Збільшення планових показників може бути внаслідок підвищення швидкості проведення технологічних операцій, що може призвести до додаткових втрат біомаси або зниження її якості. Також на етапі впровадження інтелектуальної системи в процес збиральних робіт виникає необхідність донавчання системи з метою отримання більш адекватних рішень.

Одним із напрямків інтенсифікації процесів зброджування біомаси в БГК є подрібнення, виготовлення пелет та деструкційна (кавітаційна) обробка ЕК, оптимальне дозування спеціальних домішок для різних видів сировини, підігрівання й перемішування з оптимальною інтенсивністю завантажуваного субстрату, що забезпечує ефективне використання всього об'єму резервуара БГК, виключає утворення «мертвих» зон, розшарування осаду, відкладання мінералізованого осаду та утворення кірки, а також сприяє вирівнюванню температурного поля та покращенню газоутворення. Процес інтенсифікації зброджування полягає в тому, що потік різних видів сировини спочатку подрібнюється та гомогенізується в роторно-пульсаційному апараті до необхідного мікроскопічного рівня. При цьому, в процесі обробки рвуться зв'язки довгих волокон. Дисперсність збільшується так, що частинки значно зменшуються в розмірах. Тому штамам бактерій, які беруть участь у процесах утворення біогазу, легше розкладати біогенні матеріали. У результаті вміст метану в біогазі збільшується до 70-75%.

За допомогою REDOX-сенсора вимірюється швидкість зниження окисно-відновлюваного потенціалу (ОВП) без розгерметизації БГК в рідкому середовищі, а також визначається стереометричне розподілення редокс-зон у рідкому або агаризованому середовищах для оптимального дозування та перемішування субстратів і різних видів спеціальних домішок, що дозволяє значно збільшити вихід біогазу.

Практичне застосування ІСУ в ТДВ «Терезине» дозволило знизити довжину маршрутів руху збиральної техніки та загальні витрати на проведення збиральної кампанії на 12-15% за рахунок оперативного визначення обсягів енергетичних культур, планування збиральних робіт та реалізації компромісно-оптимальних маршрутів руху збиральної техніки. Виходячи з цього прибуток підприємства при застосуванні ІСУ збільшився більш ніж на 12%. Крім того, як показують результати практичного застосування СППР, значно скорочуються часові витрати на прийняття обґрунтованих рішень за рахунок обробки системою великих об'ємів інформації.

## Висновки

Таким чином, на основі проведеного аналізу процесів збирання ЕК та ключових умов, що впливають на ефективність виробництва біометану, розроблено функціональну структуру ІСУ процесом збирання ЕК, підготовки вхідних субстратів та оптимального дозування енергетичних культур для отримання максимальних об'ємів біогазу з урахуванням всіх нормативних умов промислового виробництва біометану для заміщення природного газу.

## Література References


[1] Защелкин, К.В. Реализация комбинированного способа навигации автономного мобильного робота / К.В. Защелкин, В.В. Калиниченко, Н.О. Ульченка // Электротехнические и компьютерные системы – 2013. – № 9 (85). – 102-109.

[2] Адамів, О. П. Моделі та інтелектуальні засоби адаптивного керування автономним мобільним роботом [Текст] дис. … канд. техн. наук: захищена 12.12.2007 / Адамів Олег Петрович. – Одеса, 2007. – 124 с.

[3] Fahimi, F. Autonomous Robots. Modeling, Path Planning and Control / F. Fahimi – New York : Springer, 2009. – 348 p.

[4] Hachour, O. Pathplanning of Autonomous Mobile robot / O. Hachour // International Journal of Systems Applications, Engineering and Development. – 2009. – Issue 4. – P. 178 – 190.

[5] Lumelsky, V. Sensing, intelligence motion / V. Lumelsky – New Jersey: Wiley-Interscience,2006. – 456 p.

[6] Song, H. Research on Path Planning for the Mobile Intelligent Robot / H. Song, L. Hu // World Congresson Computer Science and Information Engineering. – 2009. – № 1. – P. 121 – 144.

[7] Siegwart, R. Introduction to Autonomous Mobile Robots / R. Siegwart, I. Ourbakhsh – Boston : MIT Press, 2004. – 336 p.

[8] Jian, Y. Comparison of Optimal Solutions to Realtime Path Planning for a Mobile Vehicle / Y. Jian, Q. Zhihua, W. Jing, C. Kevin// IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. Part A: System and Humans. – 2010.– Vol. 40. – P. 721 – 725.

[9] A.K.P. Meyer, E.A. Ehimen, J.B. Holm-Nielsen. Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production. Biomass and Bioenergy. 2017 https://doi.org/10.1016/j.biombioe. 2017.05.013;

[10] P. Schröder, B. Beckers, S. Daniels, F. Gnädinger, E.Maestri, N.Marmiroli, M.Mench, R. Millan, M.M. Obermeier, N. Oustriere, T. Persson, C. Poschenrieder, F. Rineau, B. Rutkowska, T. Schmid, W. Szulc, N.Witters, A. Sæbø. Intensify production, transform biomass to energy and novel goods and protect soils in Europe—A vision how to mobilize marginal lands Science of the Total Environment. Vol 616–617, 2018, pp.1101–1123;

[11] K. Laasasenaho, A.Lensub, J.Rintalac Planning land use for biogas energy crop production: The potential of cutaway peat production lands. Biomass and Bioenergy. Vol. 85, 2016, pp. 355-362;

[12] 12. R.Ciccolia, M.Sperandei, F.Petrazzuolo, M.Broglia, L.Chiarini, A.Correnti, A.Farneti, V.Pignatelli, S.Tabacchioni Anaerobic digestion of the above ground biomass of Jerusalem Artichoke in a pilot plant: Impact of the preservation method on the biogas yield and microbial community. Biomass and Bioenergy. Vol.108, 2018, pp 190-197;

[13] 13. K.Sahoo, S.Mani, L.Das, P.Bettinger GIS-based assessment of sustainable crop residues for optimal siting of biogas plants Biomass and Bioenergy. Vol. 110, 2018, pp. 63-74;

[14] J.Höhn, E.Lehtonen, S.Rasi, J.Rintala A Geographical Information System (GIS) based methodology for determination of potential biomasses and sites for biogas plants in southern Finland. Applied Energy Vol.113, 2014, pp. 1-10;

[15] V.Burg, G.Bowman, M.Erni, R.Lemm, O.Thees. Analyzing the potential of domestic biomass resources for the energy transition in Switzerland. Biomass and Bioenergy Vol.111, 2018, pp. 60-69;

[16] Gunchenko, Y.A. Using UAV for unmanned agricultural harvesting equipment route planning and harvest volume measuring // Gunchenko, Y.A., Shvorov, S.A., Zagrebnyuk, V.I., Kumysh, V.U., Lenkov, E.S. // 2018// 2017 IEEE 4th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD 2017 –

# Анализ Дизайна Оформления Настольных Карточных Игр

Юлия Губницкая
кафедра Медиасистем и технологий
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
Харьков, Украина
julgub@ukr.net

Елизавета Одегова
кафедра Медиасистем и технологий
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
Харьков, Украина
elizavetta.od@gmail.com

# Analysis of the Desktop Card Games Design

Julia Gubnitskaya
Department of Mediasystems andtechnologies
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
julgub@ukr.net

Elizaveta Odegova
Department of Mediasystems and technologies
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
elizavetta.od@gmail.com

***Аннотация* — Целью данной работы был анализ дизайна оформления в настольных карточных играх, для составления закономерностей, рекомендаций и советов для разработчиков игр, издателей, художников-иллюстраторов, дизайнеров, полиграфистов и иных специалистов задействованных в данной сфере. Было проведено исследование, определяющее зависимости между тематикой, целевой аудиторией и художественным стилем, используемым в оформлении игр.**

***Abstract*— The purpose of this work was to analyze design of desktop card games, to draw up patterns, recommendations and tips for game developers, publishers, illustrators, designers, printers and other professionals involved in this field. A study was conducted to determine the relationship between the subject matter, the target audience and the artistic style used in games design.**

***Ключевые слова – настольная игра; дизайн; оформление; персонаж; стиль***

***Keywords – desktop game; design; decoration; hero; style***

## I. Введение

На сегодняшний день настольные карточные игры стабильно набирают популярность во всем мире из года в год, что обусловлено многими факторами: приятный досуг для любого возраста и на любой вкус, возможность укрепить социальные связи посредством игры, живое общение, и, что не мало важно, обучение. Различные типы настольных игр, развивают память, реакцию, внимания и мелкую моторику рук. Карточные игры являются в основном стратегиями, которые мотивируют игроков для победы продумывать каждый ход и принимать различные по сложности решения.

Стиль — единство морфологических особенностей, отличающее творческую манеру отдельного мастера, национальную или этническую художественную традицию, искусство эпохи, цивилизации и т.д. [1].

В исследовании проанализированы 102 настольные игры, являющиеся самыми популярными и продаваемыми на сегодняшний день [2]. Иллюстративный материал в настольных играх оценивался по двум шкалам (рис. 1): детализация и упрощение, пропорциональность и стилизация.




Fig. 1. Шкала анализа настольной игры

Детализация и упрощение в нашем исследовании подразумевает качество исполнения изображения, его глубину, детальность прорисовки.

Пропорциональность и стилизация – подразумевает сохранение изначальных свойств (фактура, размеры, пропорции) предмета при передачи через изображение.

1. Изображение наиболее близко к реальным объектам, явлениям, реалистично и сохраняет пропорции.

2. Среднее между 1-3.

3. Изображение сохраняет оригинальные пропорции, но при этом имеет упрощенную рисовку.

4. Среднее между 3-5.

5. Изображение стилизованно и имеет упрощенную рисовку, многие пропорции не соответствуют оригиналу.

6. Среднее между 5-7.

7. Изображение детально прорисовано, при этом не сохраняет реальные пропорции объектов, может присутствовать преувеличение или приуменьшение некоторых деталей на изображении.

8. Среднее между 1-7

9. Не может быть однозначно причислено ни к одной группе.

На рис. 2 проиллюстрированы некоторые вышеизложенные положения для понимания разницы между различными стилями изобразительной информации и критериями оценки.




Fig. 2. Персонаж в разных стилях

## II. Итоги исследования

В большинстве проанализированных игр возрастной категории 8+ преобладает иллюстративный материал типа 7-9. Детализированные, но не лишенные авторского виденья изображения, являющиеся воплощением сказки.

Игры с возрастным ограничением 10+ используют наиболее упрощенную и стилизованную графику (стили 3-5) и зачастую являются стратегиями.

В играх связанных с экономикой, тактикой и стратегией чаще всего используется тип 1, как наиболее реалистичный и приближенный к реальности. Так же это игры с возрастным ограничением 12+.

Можно подытожить, что для игр, нацеленных на более юную возрастную аудиторию семейной направленности, больше всего подходят детальные, но при этом стилизованные изображения. Для игр более старшей аудитории, от 10 лет, наиболее оптимальным будет применение упрощенного стиля изобразительного материала. Для игр старшей возрастной аудитории подойдут более детализованные стили иллюстраций, как наиболее часто используемые, среди образцов, которые были проанализированы.

## Литература

[1] Стиль (искусство) [Электронный ресурс] // Энциклопедия Кругосвет – Режим доступа: http://www.krugosvet.ru/enc/kultura_i_obrazovanie/izobrazitelnoe_iskusstvo/STIL.html

[2] Мировой рейтинг настольных игр для взрослых и детей [Электронный ресурс] // Клуб настольных игр. – Режим доступа: – http://www.cbgames.kiev.ua/stati/mirovoj-rejting.html

[3] Диденко Глеб, Игровой арт: базовые принципы [Электронный ресурс] // DTF – Режим доступа: https://dtf.ru/gamedev/5839-igrovoy-art-bazovye-principy

# Обробка Даних при Вирішенні Завдань Педагогічної Кваліметрії

Юрій Козлов
Кафедра метрології та вимірювальної техніки
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
kozlov83@yandex.ru

# Data Processing for Solving Tasks of Pedagogical Qualimetry

Yuri Kozlov
Department of Metrology and Measuring Technology
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
kozlov83@yandex.ru

***Анотація*—Розглянуто метод обробки результатів оцінювання рівня засвоєння знань, умінь та навичок суб'єктів навчання, отриманих за різними шкалами.**

***Abstract*—The method of processing the results of evaluation of the level of knowledge acquisition, skills and skills of subjects of study received on different scales is considered.**

***Ключові слова—кваліметрія, експертне оцінювання, педагогічна діяльність, обробка даних.***

***Keywords—qualimetry, expert evaluation, educational activities, data processing.***

## I. Вступ

Одним із основних завдань педагогічної кваліметрії є побудова рейтингових списків суб'єктів навчання (СН) – об'єктів порівняння (ОП). При цьому застосовують різноманітні шкали: чотирибальну, десятибальну, дванадцятибальну, двадцятибальну, двохсотбальну, стобальну і відповідну їй ECTS-шкалу, втілені у практику навчальних закладів України.

З усіх шкал педагогічної кваліметрії стобальна рейтингова шкала (СРШ) у найбільшій мірі заслуговує критики. Основний недолік цієї шкали криється в тому, що правила прийняття рішення встановлені для діапазонів оцінок [1], а відповідність конкретного бала з діапазону визначає викладач або група викладачів на власний розсуд. Ще один недолік СРШ пов'язаний з її логарифмічним характером і необхідністю подання остаточних результатів оцінювання також в системах оцінювання, що використовують порядкові шкали. І головне – не визначено метод обробки результатів, поданих у стобальній рейтинговій шкалі.

## II. Виклад основногоматеріалу

При побудові рейтингових списків за середніми значеннями оцінок, отриманих за різними шкалами, відстань між об'єктами порівняння виражається у поділках вибраної шкали. Поділка шкали як одиниця вимірювання може бути встановлена виходячи з умови отримання потрібної розрізнювальної здатності. Подання результатів оцінювання знань із залишенням двох знаків після коми відповідає відомому з метрології методу ноніуса [2] розмірністю 1/100. Абсолютна похибка при цьому не перевищить ±0, 010. З тих же міркувань кожна з поділок будь-якої із шкал може бути поділена на п'ять, десять або двадцять поділок. Таку шкалу, наприклад, чотирибальну можна назвати удосконаленою чотирибальною шкалою (УЧШ).

Зазвичай для визначення рівня засвоєння знань, умінь та навичок СН використовують письмове та усне опитування, різноманітні технічні засоби, у тому числі комп'ютери, опитувальники і тести загального призначення та спеціальні тощо. При тестуванні, наприклад, виконують вимірювання за абсолютною шкалою і підраховують кількість $n_в$ вірних відповідей на запитання. Кінцевий результат контролю $q = n_в/ n_з$, де $n_з$ – загальна кількість запитань, завдань, задач. Аналогічним чином підраховують кількість правильно вирішених завдань або розв'язаних задач тощо при будь-якому іншому способі контролю.

Якщо вважати, що частка q повернутої об'єктом контролю інформації виражена у відсотках, то оцінка за стобальною рейтинговою шкалою $Q_{СРШ} = 100 \cdot q$. Відповідну їй оцінку в логарифмічній чотирибальній шкалі (ЛЧШ) визначають за спеціальною табличною або графічною номограмою.

У випадку, коли за кожну з вірних відповідей на запитання, правильно вирішених завдань або розв'язаних задач виставляють оцінку за чотирибальною або удосконаленою чотирибальною шкалою, кінцевий результат оцінювання розраховують як середнє арифметичне отриманих оцінок, що для вузьких шкал не суперечить теорії [3].

Порядкові чотирибальна, десятибальна, дванадцятибальна шкали педагогічної кваліметрії лінійні і зв'язок між ними легко встановлюється завдяки так званим реперним точкам 0-1-2, 4-4-3, 8-7-4, 12-10-5 відповідно. Виникає питання зіставлення оцінок логарифмічних стобальної рейтингової та чотирибальної шкал із удосконаленою чотирибальною шкалою.

Безпосереднє отримання оцінок в УЧШ призведе до значних похибок, особливо праворуч від середини всього інтервалу ($q > 0{,}57$). Процедуру перерахунку даних логарифмічної шкали до лінійної можна реалізувати на програмному рівні з використанням додатку Microsoft Excel, виконавши перехід від логарифму за основою два до натурального логарифму, а потім потенціювання з використанням функції EXP. Для практичного застосування такий підхід не зовсім прийнятний.

Лінеаризація ЛЧШ шляхом апроксимації в межах всієї логарифмічної чотирибальної шкали спрощує процедуру перерахунку.

Ланцюжок переходу від оцінок удосконаленої чотирибальної шкали до оцінок логарифмічної чотирибальної шкали і до оцінок стобальної рейтингової шкали показано на прикладі ( рис. 1):

$Q_{УЧШ} = 3{,}50 \rightarrow Q_{ЛЧШ} = 2{,}83$;

$Q_{УЧШ} = 3{,}50 \rightarrow Q_{СРШ} = 100 \cdot q. = 100 \cdot 0{,}5 = 50$.

Аналогічним чином виконують зворотний перехід від оцінок СРШ і ЛЧШ до оцінок удосконаленої чотирибальної шкали.

Вибірки оцінок у двобальній, чотирибальній і удосконаленій чотирибальній шкалі можна усереднювати і використовувати для побудови рейтингових списків.

З точки зору однієї з аксіом теорії множин [4] шкали порядку, інтервалів (різниць), відносин і абсолютна є не що інше, як упорядковані множини, тобто такі, для яких встановлено правило порядку – прямування або передування. При перетвореннях шкали значення оцінюваної величини, очевидно, змінюється, але висновки щодо співвідношення (більше-менше-дорівнює) середніх значень, не повинні змінюватися. Це відповідає вимогам інваріантності, прийнятим як основні в теорії вимірювань [5].

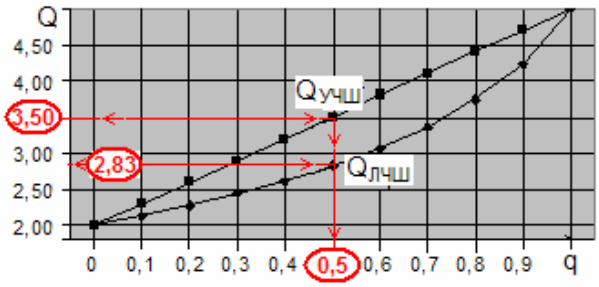



Рис. 1. Ланцюжки переходу від $Q_{УЧШ}$, до $Q_{ЛЧШ}$ та навпаки для апроксимації в межах ЛЧШ

Таким чином, процедура обробки даних експертного оцінювання в педагогічної кваліметрії складається з послідовності таких дій:

- формування сукупностей результатів оцінювання знань, умінь і навичок суб'єктів навчання одним із двох способів:

- в абсолютній шкалі як частки повернутої СН інформації при контролі;

- у традиційній чотирибальній шкалі або удосконаленій чотирибальній шкалі;

- розрахунок усереднених оцінок;

- вираз усереднених оцінок у вигляді, прийнятному для побудови рейтингового списку в двобальній, удосконаленій чотирибальній шкалі, логарифмічній чотирибальній, стобальній рейтинговій шкалі і відповідній їй шкалі ECTS або в інший спосіб.

## III. Висновки

Розглянуто метод вирішення завдань педагогічної кваліметрії, сутність якого полягає у використанні чотирибальної шкали порядку декількох різновидів, що дає можливість зіставлення оцінок, у тому числі отриманих за різними шкалами, застосовуваних при контролі рівня засвоєння знань, умінь та навичок суб'єктів навчання.

Практичне застосування методу показало його придатність для експертного оцінювання підготовленості суб'єктів навчання і побудови їх рейтингових списків.

Простота методу забезпечує можливість його формалізації та реалізації у середовищі програмного додатку Microsoft Excel для оптимізації часових витрат при вирішенні завдань педагогічної кваліметрії.

## Література References


[1] В. Варгалюк, Т. Деркач. Аналіз результатів педагогічного експерименту з впровадження шкали ECTS у ВНЗ України // *Інформатика та інформаційні технології в навчальних закладах*. №2, 2007, - с. 66-70.

[2] С.А. Шабалин. Прикладная метрология в вопросах и ответах, Москва: Изд. стандартов, 1990.

[3] А.И. Орлов. Эконометрика. – Москва: Экзамен, 2002.

[4] Ю.М. Бардачов, Н. А. Соколова, В. Є. Ходаков. Дискретна математика. - Київ: Вища школа, 2002.

[5] И. Пфанцагль. Теория измерений. - Москва: Мир, 1976.

# Використання Інформаційних Технологій в Управлінні Складними Ієрархічно Впорядкованими Нелінійними Системами, які Знаходяться у Стані Конфліктної Взаємодії

Андрій Литвиненко
кафедра фізичного виховання та спорту
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
wtka-iaksa@ukr.net

Юлія Губницька
кафедра медіасистем і технологій
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
julgub@ukr.net

# The Use of Information Technologies in Management of Complex Hierarchically Arranged Nonlinear Systems, which are in the State of Conflict Interaction

Andii Lytvynenko
Department of Physical education
and sport
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
wtka-iaksa@ukr.net

Julia Gubnitskaya
Department of Mediasystems and
technologies
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
julgub@ukr.net

***В статті представлено метод корекції поведінки складних систем, побудований на основі синтезу класичних евристичних підходів теорії спорту та даних міждисциплінарних досліджень відкритих ієрархічно впорядкованих нелінійних (синергетичних) систем.***

***The article presents the method for the correction of the behavior of complex systems, based on the synthesis of classical heuristic approaches to the theory of sport and data of interdisciplinary research of open hierarchically ordered nonlinear (synergetic) systems.***

***Ключеві слова – інформаційна технологія, ефективна модель, аналіз, класифікація, цінна інформація, експеримент***

***Keywords – information technology, effective model, analysis, classification, valuable information, experiment***

## I. Вступ

В останні десять років відбувається різке збільшення інформаційного потоку [1, 2, 4]. Це об'єктивний процес зумовлений швидким прогресом в сфері розвитку інформаційних технологій та появою нових можливостей отримання, класифікації, аналізу та архівування значних масивів інформації. Особливо це проявилося при дослідженні структури та еволюції складних нелінійних систем. Неможливість, а в ряді випадків, і відсутність необхідності в обробці неважливої інформації про структуру та функціонування цих систем, зумовило широке застосування в процесі дослідження методу моделювання.

## II. Опис проблеми

Існують декілька підходів для класифікації моделей [3, 5]. В практиці застосування передових педагогічних технологій в освітньому процесі студентів прийнято виділяти узагальнюючі, гуртові та індивідуальні моделі. Узагальнюючі моделі відображають вибрані характеристики великої групи студентів. Гуртові моделі будуються на основі вивчення, конкретної сукупності студентів, які мають певну специфічну відмінність. Індивідуальні моделі будуються для окремих студентів.

Розробка ефективних моделей передбачає використання важливої для цілей дослідження інформації про об'єкт-оригінал *(цінної інформації)*. Вважаємо за необхідне підкреслити, важливість, на першому етапі формування моделі, відокремлення найбільш значущої -

цінної інформації. В процесі модельного експерименту цілеспрямовано змінюються умови її функціонування. Отримані дані переносяться на об'єкт-оригінал. Надалі проводиться перевірка отриманих даних та подальше їх теоретичне обгрунтування.

Згідно сучасних наукових уявлень, організм спортсмена, за наявністю певних класифікаційних ознак, можливо представити у якості синергетичної системи. Спортивний поєдинок може бути розглянутий у якості конфліктної взаємодії двох складних відкритих ієрархічно впорядкованих, нелінійних (синергетичних систем) [1, 5-7]. Проводячи експертний аналіз бойових дій у поєдинку, було отримано дані про наявність у спортивному поєдинку окремих періодів різкого загострення змагальної боротьби – по синергетичній термінології *режиму із загостренням*. При цьому різко змінюються фізіологічні режими функціонування організму спортсмена та параметри рухових дій. Дані, наведені у таблиці І, характеризують відмінності в роботі кардіореспіраторної системи спортсмена на різних етапах поєдинку.

TABLE I. РОЗПОДІЛ ХВИЛИННОГО ОБ'ЄМУ КРОВІ ПО ОРГАНАХ ТА ТКАНИНАМ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ НАВАНТАЖЕННЯ [LANGE, 1968]

| **Кровоток** | **Середня (характерна для розвідувальної фази змагального поєдинку)** | | **Важка (характерна для фази режиму із загострення змагального поєдинку)** | |
|---|---|---|---|---|
| | мл/хв | % | мл/хв | % |
| В органах черевної порожнини | 600 | 3 | 300 | 1 |
| Нирковий | 600 | 3 | 250 | 1 |
| Мозковий | 750 | 4 | 750 | 3 |
| Коронарний | 750 | 4 | 1000 | 4 |
| В скелетних м'язах | 125000 | 71 | 220000 | 88 |
| В шкірі | 1900 | 12 | 600 | 2 |
| В інших органах | 400 | 3 | 100 | 1 |
| Усього | 175000 | 100 | 25000 | 100 |

В *режимі із загостренням* в ієрархії функцій на перше місце виходять підсистеми, які володіють максимальною швидкодією та функціональною потужністю і можуть забезпечити подолання активності конфліктуючої системи (противника). На певній стадії конфліктної взаємодії система підходить до *точки біфуркації,* після проходження якої становляться можливими різні варіанти розвитку подій. Спектр можливих ймовірних, потенційних варіантів взаємодії між конфліктуючими системами, які знаходяться в *точці біфуркації*, визначається терміном *«динамічний хаос»*. Кожна система володіє структурними та функціональними особливостями, які визначають специфіку прояву активності домінуючих при вирішенні конфлікту підсистем. У спортивному поєдинку ефективність арсеналу техніко-тактичних дій зумовлено жорстко детермінованими генетично, певними біологічними факторами, що в свою чергу впливає на вибір *атрактору*.

Під *атрактором* в даному контексті ми будемо розуміти сукупність умов, за яких вибір шляхів еволюції складних систем проходить по траєкторіям що сходяться (притягуються) до однієї точки. Реакція і стан синергетичних систем, як проміжний результат їх конфліктної взаємодії, є сигналом, який указує час та місце, в якому необхідна певна флуктуація, спрямована на вибір оптимального *атрактору* і сприяюча реалізації бажаного сценарію розвитку системи.

В умовах, коли отримання аналітичного матеріалу о поведінки системи в стані *гострої конфліктної взаємодії* не лімітується жорсткими часовими обмеженнями, для обробці отриманих математичних даних застосовується високопродуктивна обчислювальна техніка, яка має відповідне програмне забезпечення. Вона дозволяє будувати математичні моделі змагальної боротьби, які спрощують аналіз змагальної діяльності, мають значний прогностичний потенціал і дозволяють ефективно корегувати параметри спортивної підготовки студентів.

## III. ВИСНОВКИ

Синергетична методологія аналізу складних відкритих ієрархічно впорядкованих нелінійних систем дозволяє ефективно отримувати цінну інформацію про їх функціонування в режимі із загостренням.

Синергетичні системи, які знаходяться в гострій конфліктній взаємодії різко перебудовують режим функціонування зі значною зміною енергетичних, біомеханічних та інформаційних характеристик.

Існують можливості корегування поведінки синергетичної системи, які дозволяють реалізувати бажаний сценарій розвитку її конфліктної взаємодії з подібною системою.

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Ашанин, В. С. Синергетический метод управления в спортивных единоборствах [Текст] / В. С. Ашанин, А. Н. Литвиненко // Физическое воспитание и спорт в высших учебных заведениях / Сб. стат. II - й межд. электронной научн. конф. Харьков-Белгород-Красноярск, 2006. – С. 13–17.

[2] Капица С.П. Синергетика и прогнозы будущего / С.П.Капица, С.П.Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. – М.:Эдиториал УРСС, 2001. – 288 с.

[3] Коган М. С. Синергетическая парадигма – диалектика общего и особенного в познании различных сфер бытия [Текст] / М. С. Коган // В кн. Синергетическая парадигма. Нелинейное мышление в науке и искусстве. Под общ. ред. В. И. Аршинова, В. Г. Буданова, В. Э. Войцеховича. – М.: Прогресс-Традиция, 2002. С. 28 – 50.

[4] Литвиненко А.М. Исследование синергетического подхода к моделированию соревновательной деятельности [Текст] // Информационные системы и технологии – Х.: НТМТ, 2015. С. 80 – 81.

[5] Платонов В. Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и её практические приложения / В. Н. Платонов – К.: Олимпийская литература, 2004. – 808 с.

[6] Billater B., Hoppeler H. Muscular basis of strength // Strength and power in Sport. - Oxford: Blackwell Scientific Publications. 1992, S. 39-63.

[7] Prigogine I. The Die is Not Cast // Futures. Bulletin of the World Futures Studies Federation. Vol. 25, No. 4. January 2000. P. 17-19.

# Інтероперабельність Компонентів Інформаційних Систем в Галузі Охорони Здоров'я

Тетяна Назірова, Олександр Костенко, Ілля Цуман
кафедра прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова
Харків, Україна
tatyana.nazirova@kname.edu.ua, ks42@ukr.net

# Interoperability of Information System's Components in the Field of Health Care

Tatiana Nazirova, Olexsander Kostenko, Ilya Tsuman
Department of Applied Mathematics and Information Technologies
O.M. Beketov Kharkiv National University of Urban Economics
Kharkiv, Ukraine
tatyana.nazirova@kname.edu.ua, ks42@ukr.net

***Анотація*—Метою даної статті є розробка та вдосконалення методів сумісності компонентів існуючих і майбутніх проектів, та програм в медичних інформаційних системах та визначення вимог до об'єктивності використання компонентів у сучасних умовах. Забезпечення інфраструктури інтероперабельності для електронних медичних документів (EHR) є на порядку денному багатьох національних та регіональних ініціатив із електронної охорони здоров'я. Традиційно система охорони здоров'я має два типи: децентралізована або централізована. Українська система охорони здоров'я стикається з серйозними проблемами, які чітко вказують на нагальну потребу реформування. У сфері охорони здоров'я, нарешті, починає усвідомлюватися необхідність кращого управління системами та процесами, що сприяє розробці нових методів та технологій обробки даних. Деякі проблеми, що стоять перед оцінкою якості, включають: відсутність узгодження основних заходів між державним та приватним секторами; питання передачі даних, злиття даних в різних системах інформаційних технологій; забезпечення надійного захисту чутливих даних пацієнтів та відомостей про власність; а також розробка, затвердження та впровадження заходів оцінювання, тобто набори заходів, що включають сумісно інформацію про якість та вартість..**

***Abstract*—The purpose of this article is to develop and improve methods for the interoperability of components of existing and future projects and programs in the medical information systems, and to determine the requirements for the objectivity of the use of components in modern conditions. Providing an interoperability infrastructure for Electronic Healthcare Records (EHRs) is on the agenda of many national and regional eHealth initiatives. Traditionally, health system is of two types either - decentralized or centralized. Improving how care is delivered is essential and improving the patient's comfort. The Ukrainian health care system faces significant challenges that clearly indicate the urgent need for reform. In health care, awareness of the need for better management of systems and processes is finally starting to take root, that promotes development of new methods and technologies of data processing. Some of the challenges facing quality measurement include: lack of alignment of key measures between public and private sector quality improvement efforts; issues regarding data transfer such as merging data across different information technology systems; ensuring secure protection of sensitive patient data and proprietary information; and developing, endorsing, and implementing measures of value – that is, sets of measures that include both quality and cost information.**

***Ключові слова—медична інформаційна система, штучна нейронна мережа, дані регіональної охорони здоров'я, штучний інтелект, інтероперабельність, взаємодія.***

***Keywords—medical informatics system, artificial neural network, regional health data, artificial intelligence, interoperability, interaction.***

## I. Вступ

Поточний стан системи охорони здоров'я України характеризується високими статистичними показниками захворюваності та смертності від неінфекційних захворювань, таких як ракові пухлини, захворювання серця і судин та цереброваскулярні захворювання, хвороби обміну речовин [1]. Україна демонструє одні з негативних результатів охорони здоров'я в Європейському регіоні, що характеризується високими показниками смертності, захворюваності та інвалідності. За показниками смертності, що в період між 1991 і 2017 роками збільшилися на 17,6%, Україна посідає друге місце в європейському рейтингу (14,4 померлих на 1000 осіб)[2]. У сполученні з міграцією це негативно впливає

на формування глибокої демографічної кризи в Україні, в результаті чого населення скоротилося майже на 10 мільйонів (з 52,6 до 42,21 млн. осіб) протягом двох десятиліть[3].

Сучасна медицина прагне перейти від словесного опису до формалізованих процесів, математичних моделей та новітніх інформаційних технологій. Адаптивні алгоритми навчання можуть обробляти різноманітні типи медичних даних та інтегрувати їх у класифіковані результати.

## II. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Інформаційні технології медичної інформації базуються на низці загальнодержавних нормативних актів, що скеровують роботу в напрямі електронного урядування організацій, підпорядкованих різним галузевим міністерствам. Зокрема: 6 червня 2012 року Кабінет Міністрів України затвердив Постанову «Про затвердження Положення про електронний реєстр пацієнтів». Цим Положенням визначено процедуру створення та функціонування електронного реєстру пацієнтів, метою якого є підвищення ефективності медичної допомоги, забезпечення своєчасності її надання та достовірності статистичної інформації.

Теоретико-методологічним підґрунтям дослідницької роботи стали наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених. Окремі аспекти інформатизації даної галузі досліджено в роботах К.Мельник [5], Girosi F. [6]. На важливості наукового пошуку щодо різних складових модернізації сфери Охорони здоров'я України наголошують Маркіна І. А. [10], С. Литвинська [11] та багато інших. На проблемних питаннях впровадження і розвитку інформаційних технологій медичної галузі акцентують увагу суспільства провідні зарубіжні науковці, наприклад: Murthy V. [7], Xiang Li. [8], Grйgoire Montavon [9], Тертишний В.А. [11].

## III. Матеріал і результати досліджень.

На протязі всього життя людина може взаємодіяти з великою кількістю різних провайдерів медичних послуг - компаній постачальників, які можуть територіально знаходитися в різних географічних точках. Тому питання зберігання й взаємодії даних анамнезу завжди актуальні, та потреба в них може виникати стихійно.

Комунікаційними перешкодами, які заважають впровадженню результативних електронних засобів у процес медичного обслуговування є:

- відсутність єдиного медико-інформаційного простору на рівні держави;
- відокремленість та обмеженість ІТ-інфраструктури;
- неоднорідність та несумісність програмного забезпечення приватних та галузевих МІС;
- постійні зміни нормативних актів щодо інформатизації, через активне реформування галузі;
- недостатнє інвестування в інформатизацію галузі через відсутність централізації на всіх рівнях.

Основні етапи забезпечення інтероперабельності, згідно міжнародних стандартів E-Health, наведені на рис. 1. Послідовна реалізація етапів повинна привести до створення інтероперабельних систем. Для успішної реалізації процесу з досягнення інтероперабельності необхідно також створити «Загальний план розробки стандартів», який має назву «Технологічна дорожня карта» (Technology Roadmap), і розробити необхідні стандарти з їх актуалізацією. Крім того, необхідно розробити глосарій (Терміни і визначення) з тим, щоб всі учасники (Користувачі, розробники ІС і постачальники програмно-апаратних засобів) на всіх етапах впровадження інтероперабельності могли взаємодіяти.

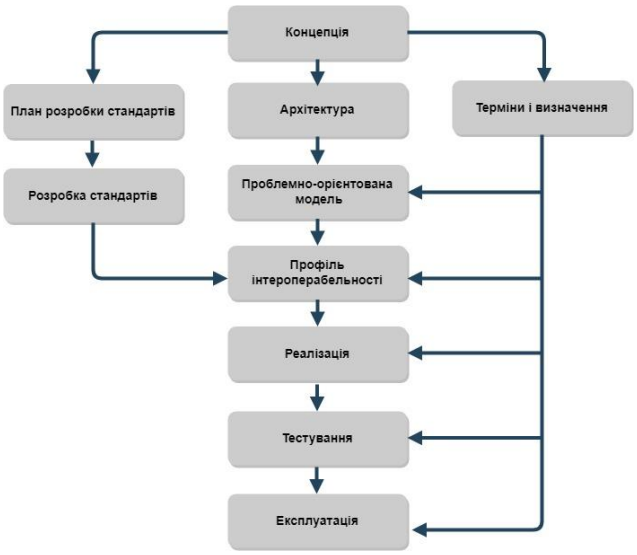



Fig. 1. Основні етапи забезпечення інтероперабельності

Використовуючи теоретико-множинну дефініцію, типову модель системи С визначають за виразом:

$$C = \langle V, P, A, T \rangle, \quad (1)$$

де: V – вузли системи, під якими розуміються розгалужені МІС закладів та сховища даних, що містять інформацію про пацієнтів; Р – цілісний процес функціонування системи як набір інтегрованих процесів.

$$P = \{Pk\}, \quad (2)$$

де k = 1, 2, 3... – порядковий номер процесу (припустімо у межах звітного року); А – множина припустимих подій, які впливають на процеси Pk ; Т – часові залежності, обмеження при активізації інцидентів та виконанні процесів. В залежності від технології інтероперабельності процесів це може бути інтервальний час, вузловий або звітний час тощо.

Охарактеризувати вузли можна наступною формулою:

$$V = \{S, \Delta\} = \{Vl\}, l = 1, \ldots, N + R, \quad (3)$$

де: $S = \{S_j\}$, j =1,.. , N – множина персоналу(експертів), $\Delta = \{\Delta r\}$,r =1,..., R – множина ресурсів.

Вузол V системи – це самостійний компонент, що включає в собі ресурсні об'єкти і компоненти – технічні (експертно-навчаючі МІС експерта, сховища даних тощо), програмні (ОС, мережні процедури, прикладні програмні комплекси та інше) також інформаційно-порадчі (БД, локальні засоби обробки інформації та управління, файли даних та інше). Для С системи процес $P_k$ – це повний цикл

опрацювання даних від їх отримання до відправлення результату одержувачу. Процеси нумеруються у порядку виникнення. У даному дослідженні під процесами взаємодії будемо вважати процеси аналізу медичних даних $d_i$ , що ініційовані експертами $S_j$ , тобто $P_k \equiv P_{ij}$ .

Процедури A $\{A_k^m\}$, k.m ∈ z, тобто змінна $A_k^m$ – це дія, що спричинила новий стан m процесу $P_k$. Відповідні дії, активовані вузлом $V_i$ або процесом $P_{k+1}$, що зумовили новий стан m процесу $P_k$ є $A_k^m(V_i)$ або $A_k^m(R_k)$. Відповідними подіями можуть бути, наприклад, передача документа від одного медичного працівника до іншого, відправлення запиту до інформаційного сховища, перенаправлення пацієнта до вузькопрофільного фахівця, переривання процесу іншим більш пріоритетним тощо.

Описані процеси можна проілюструвати малюнком (рис.2)

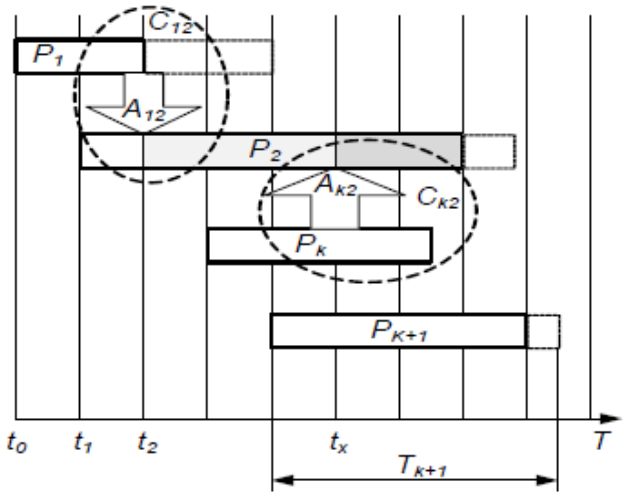



Рис. 2 – Керування взаємодією та вплив процесів

Процеси можуть бути пов'язаними з обробкою одним експертом різних документів, одного документа різними експертами, спільним та одночасним використанням одного ресурсу декількома процесами.

В сучасних медичних закладах спостерігається надмірна кількість документів для опрацювання різними спеціалістами, які при цьому мають водночас вимоги до скорочення термінів прийняття рішень, це може спричинити гіпертофірування обсягів інформації закладу.

Для запобігання подібного розвитку ситуації потрібно державне регулювання законодавчими актами обсягів необхідної та допоміжної документації, а також ефективну політику використання інформаційних ресурсів: серверного обладнання; індивідуальних комплексів технічних і програмних засобів, які призначені для автоматизації професійної праці медичного фахівця; інформаційних ресурсів тощо. Для подолання виникаючих конфліктних та позаштатних ситуацій, які здатні призвести до недоступності інформації до запиту, зниженню працездатності системи, несвоєчасності опрацювання завдань, доступ до інформаційних ресурсів - вимагає активної синхронізації, що полягає в координації та часовому узгодженні всіх процесів. Специфіка інформаційного обороту в медичних закладах полягає у тому, що інформаційні документи (обстеження, додаткові призначення, характеристика стану під впливом лікування або оперативного втручання тощо) можуть прибувати до фахівця (експерта) з часовими затримками, якими не можна зневажати, і часто не в тому ієрархічному порядку, що затверджений, все зазначене впливає на порядок опрацювання інформації. Тому методи синхронізації мають враховувати часові характеристики інформації що надійшла, та тієї що має бути відправлена.

## IV. ВИСНОВКИ

Ефективне впровадження автоматизації в галузі Охорони здоров'я України упорядковує процеси надання медичних послуг, позитивно впливає на якість та вартість медичної допомоги.

Початкові роботи з визначення стратегії забезпечення інтероперабельності, дозволять скоротити витрати на дослідження в області створення перспективних систем та програмного забезпечення, за рахунок вибору визначальних шляхів реалізації рішень на основі стандартизованих підходів. Подальше впровадження запропонованого в статті підходу щодо інтероперабельності медичних систем, дасть змогу вибрати пріоритетні напрямки необхідного реформування у регіонах України, здійснювати постійний моніторинг стану здоров'я населення, що позитивно впливатиме на загальний стан здоров'я нації.

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Всесвітня організація охорони здоров'я - ВОЗ URL:http://www.who.int/ru/ (дата звернення: 04.06.2018)

[2] European health for all database/HFA-DB URL:http://data.euro.who.int/hfadb/ (дата звернення: 04.06.2018)

[3] Т. О. Назірова, О. Б. Костенко, Манакова Н.О. (2017) Декомпозиція функціонального модулю інформаційної системи в галузі охорони здоров'я «Системи обробки інформації». Харків. Випуск 4 (150)//ХНУПС ім. І. Кожедуба/с.230-236

[4] Т. О. Назірова, О. Б. Костенко(2017). Огляд моделей розвитку eHealth та існуючих медичних інформаційних систем. Проблеми створення єдиного медико-інформаційного простору. Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць. Львів, т. 27, № 10 с. 151-155

[5] Мельник К. В. (2015) Применение алгоритма коллаборативной фильтрации для обработки медицинских данных. Вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», – № 2 (1111). – С. 193-198.

[6] Girosi F. (2005) Extrapolating evidence of health information technology savings and costs /Girosi F., Meili R., Scoville R./ Health affairsvol 354 p. (дата звернення: 04.06.2018)

[7] Murthy V. (2017) Automated problem list generation and physicians perspective from a pilot study Murthy V. Devarakonda, Neil Mehta, Ching-Huei Tso] / International Journal of Medical Informatics. 148 p.

[8] Xiang Li. (2017) Remaining useful life estimation in prognostics using deep convolution neural networks/ Xiang Li, Qian Ding, Jian-Qiao Sun // Reliability Engineering & System Safety - 675 p.

[9] Grйgoire Montavon.(2017) Methods for interpreting and understanding deep neural networks/Digital Signal Processing. 280-284p.

# Розподіл Надзвичайних Ситуацій на Інженерній Інфраструктурі Мегаполісу

Марина Новожилова
Кафедра прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства імені О.М.Бекетова
Харків, Україна
m.novozhilova04@gmail.com

Роман Мележик, Ігор Чуб
Кафедра пожежної профілактики в населених пунктах
Національний університет цивільного захисту України
Харків, Україна
igorchub1959@gmail.com

Ольга Чуб
Кафедра економічної кібернетики та управління економічною безпекою
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
olyachub@gmail.com

# Distribution of Emergenices on Megapolis Engineering Structure

Maryna Novozhylova
Department of Applied mathematics and information technologies
O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
m.novozhilova04@gmail.com

Roman Melezhek, Igor Chub,
Department of Fire prevention in settlements
National University of Civil Defence of Ukraine
Kharkiv, Ukraine
igorchub1959@gmail.com

Ольга Чуб
Department of economic cybernetics and economic security management
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
olyachub@gmail.com

***Анотація*–Проведено аналіз та моделювання просторово-часового розподілу надзвичайних ситуацій на інженерній інфраструктурі мегаполісу на прикладі мереж водопостачання.**

***Abstract*–The analysis and modeling of spatial-temporal distribution of emergency situations on the engineering infrastructure of a metropolis on the example of water supply networks is carried out.**

***Ключові слова*–управління мегаполісом, надзвичайна ситуація, просторово-часовий розподіл**

***Keywords*–metropolis management, natural emergency, spatial-temporal distribution**

## I. Вступ

Визначення оптимального регламенту дії підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій (ДСНС) України та ресурсного забезпечення щодо локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій техногенного характеру (ТНС) в умовах мегаполісу базується прогнозних оцінках можливої локації та ступеню тяжкості ТНС. Це передбачає параметричну та структурну ідентифікацію імітаційної моделі прогнозу виникнення та розвитку ТНС в умовах міського середовища. Структура сучасного мегаполісу має відповідати різноманітним викликам, що генерує як зовнішнє, так і внутрішнє середовище, включаючи виробничу базу, транспортну мережу міста

тощо. В даній роботі розглядається підхід до моделювання просторово-часового поля подій виникнення ТНС на інженерній інфраструктурі мегаполісу на прикладі мереж водопостачання.

## II. Побудова моделі

Нехай $\Omega \subset R^2$ – територія міста, де розглядається розвиток ТНС. Нехай також є інтервал часу $T$, протягом якого велися спостереження, які складають множину $M=\{(v_n, \tau_n, \Re_n)\}$, $n=1,2,...,N$, історичних даних щодо моментів і локацій виникнення ТНС, де $v_n = (x_n,y_n)$ – вектор параметрів локації ТНС у межах міської забудови, $v_n \in \Omega$; $\tau_n$ – моменти виникнення ТНС, $\Im$ – тип можливої ТНС, $\Re_n$ – рівень тяжкості ТНС.

Моделювання виникнення та розвитку ТНС в умовах мегаполісу має враховувати такі основні особливості:

- часова та просторова розподіленість ТНС,
- випадковість моментів та місця настання ТНС,
- випадковість рівню тяжкості $\Re$.

Вивчення проблеми оцінки ресурсів територіальних підрозділів ДСНС України включає не тільки середні характеристики множини М, але також і закономірності просторової зміни характеристик елементів множини М в межах території мегаполісу. З цієї точки зору статистичні моделі не є придатними, більш того, статистичні характеристики забезпечують об'єктивні оцінки рівня спостережуваної мінливості ознаки лише в тих випадках, коли вибіркові дані представляють собою сукупність незалежних випадкових величин. Для оцінок реальних похибок кореляційно пов'язаних вихідних даних, якими у загальному випадку є елементи множини М, потрібно вводити відповідні поправки.

Таким чином, моделювання закономірностей простору розміщення досліджуваних властивостей ($v_n$, $\tau_n$, $\Re_n$) множини ТНС, їх ознаки розглядаються як просторові змінні, що мають ряд специфічних характеристик: міру, область існування та впливу.

Застосуємо поняття поля просторової змінної [1], котре є областю простору, кожній точці якого поставлено у відповідність деяке значення змінної, що вивчається. У даному випадку в якості поля ТНС може розглядатися область простору, кожному елементу відповідає певне значення такої ознаки, як $\Re_n$ – рівень тяжкості ТНС. В роботі оцінка рівню тяжкості $\Re_n$ проводиться з урахуванням часу $t_n$ локалізації та ліквідації $n$-ї ТНС.

При цьому розрізняють неперервні та дискретні просторові поля [1].

Зауваження 1. Поле розміщення локацій ТНС на мережах водопостачання є дискретним, однак в подальшому представляється розумним здійснити релаксацію задачі до неперервної, зважаючи на неперервність водопровідних мереж.

Далі називатимемо елементи множини М точками-генераторами по аналогії з [2].

Для проведення просторового аналізу та визначення координат можливої аварії проводиться розбиття контрольованої території $\Omega$ сіткою вимірів на осередки.

Для подібних задач застосовують різні засоби побудови сітки вимірів: тріангуляція, діаграми Вороного [3] тощо, а також стандартна прямокутна (регулярна) сітка з осередком ($\Delta x$, $\Delta y$), яка використовується у подальшому.

Очевидно, поле розміщень локацій ТНС на мережі водопостачання є скалярним.

При цьому виникає ефект просторової роздільної здатності, тобто визначення адекватного розміру осередку ($\Delta x$, $\Delta y$). Покладемо адекватним розмір осередку такий, $\Delta x>0$, $\Delta y > 0$ та кожний осередок ($\Delta x$, $\Delta y$) сітки на $\Omega$ містить одну точку-генератор у кожному часовому зрізі.

Важливим питанням є урахування часового розподілу моментів виникнення ТНС. В роботі пропонується реалізація підходу порівнювальної статики з так званим накопичувальним ефектом. Для кожної точки-генератора з координатами $v_n$ введемо поняття потужності $\vartheta_n$, що виражається інтегральною характеристикою

$$\vartheta_n = \int_{T0}^{TF} t_n ,$$

де $T0$ та $TF$ – початкова та кінцева точки часового інтервалу, що розглядається, назвемо інтервал [$T0$, $TF$] часовим вікном.

Таким чином реалізується можливість розглядати динамічну за постановкою основну задачу дослідження просторово-часового поля локацій ТНС на мережі водопостачання як задачу порівняльної статики.

Найбільш поширеною моделлю неперервного скалярного поля локацій є модель адитивного випадкового поля, коли на площині $R^2$ задається значення неперервної скалярної змінної $f(x, y)$, значення якої використовуються для опису адитивного скалярного поля

$$u = f(x,y) + \varepsilon, \qquad (1)$$

де $f(x,y)=\tilde{u}$ – функція координат; $\varepsilon$ – випадкова змінна.

Головним завданням вивчення просторових закономірностей є опис невипадкової компоненти

$$f(x,y)=\tilde{u},$$

яка характеризує основну частину просторового поля, що моделюється, та називається його фоном.

В даному випадку у якості історичних значень функції $f(x,y)$ виступає потужність $\vartheta_n$ точки-генератора з координатами $v_n$.

Фонова частина поля виявляє область щодо підвищених або знижених значень досліджуваної ознаки. Для виділення фону необхідна генералізація основних властивостей поля з подавленням більш-менш істотних

часткових відхилень. У кожному конкретному випадку відхилення від фону розглядаються як аномальні.

Методи виділення фонової частини просторового поля з поділом на невипадкову і випадкову складові досліджуваних ознак по емпіричним даним отримали назву аналізу поверхонь тренда [3].

Взагалі для цілей тренд-аналізу використовують два різних методичних підходи [3]: 1) згладжування вихідних даних ковзними статистичними вікнами; 2) апроксимація полів єдиною функцією просторових координат (ортогональними поліномами тощо). Методи ковзних середніх більш універсальні і забезпечують найкращі оцінки середніх параметрів просторово обмежених ділянок полів в порівнянні з методами поліноміального тренд-аналізу вихідних даних, які використовуються переважно для виявлення регіональних закономірностей.

Відносний характер трендової і випадкової складових мінливості ознаки, що спостерігається, а саме рівню тяжкості $\Re_n$ ТНС, має помітний вплив на результати тренд-аналізу просторового поля ознаки. У зв'язку з цим при моделюванні необхідно зважати на масштаби, цілі, завдання і умови дослідження. Таким чином, процес моделювання має ітераційний характер і фоном можуть слугувати поверхні тренда різного ступеня плавності, а під аномаліями розуміють будь-які відхилення від фону, що перевищують заданий умовний рівень відхилень, прийнятний з точки зору адекватності моделі.

Оцінка ступеня наближення щільності тренда до історичного ряду значень, що спостерігається, тобто середня мінливість їх відхилень, може бути охарактеризована величиною $SS_{DD}=SS_T - SS_R$, де

$$SS_T = \sum u^2 - \frac{\left(\sum u\right)^2}{N},\ SS_R = \sum \tilde{u}^2 - \frac{\left(\sum \tilde{u}\right)^2}{N}.$$

Відсоток врахування загальної мінливості поверхнею тренда здійснюється за формулою

$$K^2 = \frac{SS_R}{SS_T} 100\%.$$

Окремо розглядалось завдання визначення ступеню апроксимуючого поліному для вияву закономірної мінливості.

Зауваження 1. Якщо функція (1), що наближується, отримана при дії завад – очевидно, це так – то збільшення ступеню апроксимуючого поліному поряд з наближенням до істинної функції призводить зазвичай до все більшого впливу на цю залежність ефектів завад. Крім того, збільшення складності апроксимуючих виразів ускладнює його застосування при подальших розрахунках.

Був проведений аналіз підходів до вибору ступеня апроксимуючого полінома і оцінки значущості виявлених закономірностей на основі дисперсійного аналізу та визначення середніх квадратів відхилень емпіричних значень ознаки $\vartheta_n$ в точках виміру $(x_n,y_n)$ від середнього арифметичного і від апроксимуючих поверхонь різного порядку, а також середні квадрати відхилень від середнього арифметичного самих апроксимуючих поверхонь. Значимість закономірностей, описуваних поліномами певного порядку, перевірялась за допомогою критерію Фішера.

Взагалі задача визначення оптимального ступеню $m$ апроксимуючого поліному $P_m(x,y)=\tilde{u}$, є ітераційною, причому вибір оптимального ступеню $m$ об'єктивно ускладнюється наявністю випадкових похибок у вихідних даних. Для кожного значення $m= 1, 2\ldots$ в роботі обчислювалась величина

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{1}{N-m}\sum_{n=1}^{N}\left(P_m(x_n,y_n)-u\right)^2},$$

за значенням якої за з точки зору найменшого числа параметрів обиралось оптимальне значення величини $m$.

Апроксимуючі функції координат простору як моделі просторових об'єктів мають і деякі інші недоліки:

- допускають існування нереальних значень досліджуваних змінних;
- не враховують різких, стрибкоподібних змін значень досліджуваної властивості на межі території, прояву властивості у осередку, що завідомо вільний від можливої реалізації ознаки;
- непридатні при використанні їх для опису багатозв'язних та незв'язних просторових полів.

В роботі була вирішена задача побудови поверхні фонової частини просторового поля $f(x,y)=\tilde{u}$, що задається рівнянням

$$\tilde{u} = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 y + \beta_3 x^2 + \beta_4 y^2 + \beta_5 xy,$$

тобто поліномом другого порядку.

Вихідний ряд значень $\{(x_n,y_n), \vartheta_n\}$, $n=1,2,\ldots,N$, формувався за даними офіційного сайту Комунального підприємства "Харківводоканал" [5]. Інтервал [*T0, TF*] покладався рівним півроку. При цьому інтенсивність ліквідації покладась однаковою для всіх точок-генераторів. Моделювання проводилось як за районами мегаполісу, так і зонами відповідальності територіальних підрозділів ДСНС України.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] А. Мартьянова *Математические методы моделирования в геологии*: Астрахань: АГТУ, 2008.

[2] Е. Киселева, Л. Коряшкина "Теория непрерывных задач оптимального разбиения множества как универсальный матемтический аппарат построении диаграммы Вороного и ее обобщений", Кибернетика и системный анализ, вип. 51, №. 3, с. 3-12, 2015.

[3] В. Демьянов, Е. Савельева *Геостатистика: теория и практика*: М.: Наука, 2010. — 327 с.

[4] І. Чуб, М. Новожилова, Р. Мележек "Імітаційне моделювання міської інженерної інфраструктури як джерела техногенної надзвичайної ситуації", Проблеми надзвичайних ситуацій, вип. 27, с. 169-174, 2018.

[5] Комунальне підприємство "Харківводоканал". Карта ремонтних робіт [Онлайн]. Режим доступу: https://vodokanal.kharkov.ua/content/repairsmap.

# Формалізація Задачі Маршрутизації Сил та Засобів в Зоні Надзвичайної Ситуації

Марина Новожилова
Кафедра прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства імені О.М.Бекетова
Харків, Україна
m.novozhilova04@gmail.com

Вадім Попов, Роман Гудак
Кафедра пожежної профілактики в населених пунктах
Національний університет цивільного захисту України
Харків, Україна
v.1962.popov@gmail.com

# Formalization of Routing Forces and Means in an Emergency Zone

Maryna Novozhylova
Department of Applied mathematics and information technologies
O.M.Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Kharkiv, Ukraine
m.novozhilova04@gmail.com

Badim Popov, Roman Gudak
Department of Fire prevention in settlements
National University of Civil Defence of Ukraine
Kharkiv, Ukraine
v.1962.popov@gmail.com

***Анотація*** **– Проведено аналіз та формалізацію процесу планування маршрутів доставки засобів локалізації і ліквідації надзвичайних ситуацій природного характеру, вантажів екстреної допомоги та евакуації постраждалих в умовах гірської місцевості – задачі маршрутизації.**

***Abstract*** **– The analysis and formalization of the route planning process of the delivery of localization and liquidation means and cargoes and evacuation of victims in emergency situations of a natural nature under in mountainous conditions, known as routing problems.**

***Ключові слова*** **– надзвичайна ситуація природного характеру, ресурсне забезпечення, планування маршрутів, задача маршрутизації, оптимізація**

***Keywords*** **– natural emergency, resource provision, route planning, routing problem, optimization**

## I. Вступ

Зміна клімату, погіршення природно-ландшафтних характеристик територій, зростаючий антропогенний вплив людини на природне середовище посилюють вплив небезпечних факторів надзвичайної ситуації (НС) природного характеру на життя і здоров'я людей, а також на економіку держави. Здійснення достовірного прогнозу місця, типу, моменту виникнення НС, а також визначення рівня тяжкості наслідків і необхідної номенклатури ресурсного забезпечення аварійно-рятувальних і відновлювальних робіт – ці прогнозні задачі об'єктивно важкі для адекватного рішення. Проте, отримання такого роду оцінок для тих чи інших типів надзвичайних ситуацій та територій, що володіють певними характеристиками – основа для прийняття конструктивного управлінського рішення щодо забезпечення процесів локалізації НС та ліквідації її наслідків.

В останні 10-15 років з'являються наукові публікації, що розглядають питання розробки інструментальних засобів моделювання і розв'язання таких задач і отримання відповідних оцінок [1-3]. На основі використання арсеналу сучасної теорії дослідження операцій для вирішення завдань ліквідації НС природного характеру формується нова наукова дисципліна – гуманітарна логістика. Узагальнюючи інформацію щодо наявних вітчизняних і зарубіжних наукових результатів в цій галузі людської діяльності, відзначимо, що як магістральні напрями дослідження в гуманітарній логістиці на сьогодні умовно можна виділити наступні:

- задачі визначення оптимального обсягу засобів першої необхідності для постраждалого населення і засобів ліквідації НС, в тому числі парку транспортних засобів, тобто задачі ресурсного забезпечення,

- задачі визначення оптимальних шляхів доставки коштів і евакуації постраждалих із зони НС, тобто задачі маршрутизації.

Разом з тим, необхідно відзначити, що, незважаючи на значний інтерес до даної тематики, викликаний велінням часу, існує велика множина невирішених проблем, які відносяться як до першого, так і до другого наукового напряму [4].

Однією з таких цікавих проблем є складання повного переліку можливих маршрутів доставки вантажів та евакуації потерпілих у зоні на основі побудови графової моделі множини маршрутів. У переважній більшості публікацій ця множина маршрутів має статичну структуру і вже вважається заданою.

У даній роботі основна увага приділена аналізу та формалізації процесу планування маршрутів доставки засобів локалізації і ліквідації НС природного характеру, вантажів екстреної допомоги та евакуації постраждалих в умовах гірської місцевості.

Умови гірської місцевості крім визначених типів НС природного характеру позначаються на моделі рядом важливих характеристик, які можна розділити на дві групи:

- умовно стаціонарні характеристики регіону можливої НС природного характеру, такі, як уклін рельєфу, принципова неможливість розширення доріг, відсутність асфальтового покриття тощо,
- динамічні характеристики стану транспортної інфраструктури, що залежать від пори року, типу реалізованої НС природного характеру, погодних умов у зоні НС.

При цьому будемо вважати, що завдання побудови оптимальних маршрутів і її облік її особливостей розглядаються на стадії підготовки сил і засобів швидкого реагування до можливої НС, тобто так званої (pre-disaster) pre-paredness phase [1].

## II. Побудова моделі

Отже, множина вихідних даних задачі планування маршрутів включає масив поточних даних, а саме

- характеристики регіону можливої НС природного характеру – склад ґрунту, наявність природних джерел води, характеристики рельєфу місцевості,
- період прогнозу $T_{season}$ – урахування сезонної складової, яка впливає як на тип можливої НС природного характеру, так і на оцінку стану транспортної інфраструктури,
- наявність та локація стаціонарних пунктів $V_D^R$ штатного розташування сил та засобів територіальних підрозділів ДСНС України [4], де розміщені ресурси $R = (r_1, r_2, \ldots, r_N)$, $r_n = \sum_{i=1}^{D_R} r_n^i$, необхідні для локалізації та ліквідації ТНС природного характеру, при цьому покладемо ресурси $r_1^i$, $i = 1, \ldots, D_R$ – векторна множина, що формалізує інформацію про типи $\{p_1, p_2, \ldots, p_C\}$ та чисельність транспортних засобів, що базуються у $i$-у стаціонарному пункті штатного розташування територіальних сил ДСНС,
- наявність та локація стаціонарних пунктів $V_D^\Omega$ ресурсів $\Omega=(\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_m, \ldots, \theta_M)$ життєзабезпечення району, постраждалого від ТНС,
- історичні дані за деякий попередній період $T_{pre}$, які включають: статистичні дані за типами $\varsigma=\{\gamma_1, \gamma_2, \ldots, \gamma_K\}$, рівнями тяжкості $H=\{h_1, h_2, \ldots, h_L\}$ та частоті $\Phi=\{\psi_1, \psi_2, \ldots, \psi_K\}$ реалізованих НС природного характеру типів $\varsigma$ за деякий попередній період $T_{pre}$. Очевидно, елементи $\{h_l\}$ множини $H$ є векторними величинами.

Тоді задача планування оптимальних маршрутів являє собою множину таких взаємопов'язаних підзадач:

*A. Побудова графової моделі $G(\{V_D, V_{transit}, V_{arrival}\}, E)$*

На основі аналізу множини вихідних даних будується граф – шаблон $G(\{V_D, V_{transit}, V_{arrival}\}, E)$ мережі можливих маршрутів доставки вантажів у постраждалі райони певної території.

Процес побудови графу $G$ включає:

- визначення множини $V_D = V_D^R \cup V_D^\Omega$ вузлів графу, що формалізує наявність та положення стаціонарних пунктів $V_D$ повсякденного розташування сил та засобів територіальних підрозділів ДСНС України, та сховищ ресурсів життєзабезпечення. Координати $\left(x_i^D, y_i^D\right)$, $i=1,\ldots, I_D$ пунктів $V_D$ можна вважати незмінними.
- Прогнозне визначення множини $V_{arrival} = \{v_1, \ldots, v_{I_{arrival}}\}$ місць доставки вантажів – пунктів невідкладної допомоги, точніше локацій, постраждалих в результаті можливої реалізації НС природного характеру в залежності від характеристик періоду прогнозу $T_{season}$, типу $\varsigma=\{\gamma_1, \gamma_2, \ldots, \gamma_K\}$, і рівня тяжкості $H=\{h_1, h_2, \ldots, h_L\}$ НС, а саме визначення масиву координат $\left(x_i^{arrival}, y_i^{arrival}\right)$, $i = 0, 1, \ldots, I_{arrival}$, де $I_{arrival}$ – величина змінна, $I_{arrival}=f(\gamma_k, T_{season})$.
- Прогнозне визначення множини $V_{transit} = \{v_1, \ldots, v_{I_{transit}}\}$ тимчасових вузлів розташування польових шпиталів, пунктів координації, складів ресурсного забезпечення тощо з урахуванням рельєфу місцевості, тобто визначення масиву координат $\left(x_l^{transit}, y_l^{transit}\right)$, $l=0,1,\ldots, I_{transit}$, де $I_{transit} = f(\gamma_k, T_{season})$. Відмітимо, що необхідність у розміщенні тимчасових вузлів $V_{transit}$ виникає, наприклад, при наявності віддалених або важкодоступних районів НС, тобто при невиконанні обмеження, що вантаж

від пункту $v_i^R \in V_D^R$ локації рятувальних сил та засобів до пункту призначення $v_\psi \in V_{arrival}$ має бути доставлений протягом світлового періоду часу.

- Побудова множини $E=\{e_j\}$, $j=1,2,\ldots,J$ зважених (за типами транспортних засобів) ребер графу $G$, що моделюють шляхи пересування вантажів та евакуації потерпілих від пунктів відправлення вантажів (евакуації постраждалих), до пунктів доставки. Характеристика зваженості ребер графу означає, що кожне ребро $e_j$ графу супроводжується певним значенням функції приналежності $\mu_c(e_j) \in [0, 1]$ елемента $e_j$ нечіткій множині $A_c$, що характеризує можливість (комфортність) використання ребра $e_j$, що розглядається, $c$-м типом транспортного засобу.

Зауваження 1. Задача побудови графу $G(\{V_D, V_{transit}, V_{arrival}\}, E)$ розглядається у припущенні, що від пунктів відправлення вантажів (евакуації постраждалих), до пунктів доставки використовується виключно один вид транспорту. Більш того, вважається, що транспортний засіб може подолати в автономному режимі подвійну відстань від пунктів відправлення до пунктів доставки. Якщо це неможливо, на графі додається ще одна вершина з множини $V_{transit}$.

При цьому у подальшому на етапі В моделювання і розв'язання задачі маршрутизації вартість та час розгортання множини $V_{transit} = \{v_1, \ldots, v_{I_{transit}}\}$ тимчасових вузлів мають бути врахованими.

Зауваження 2. Граф $G$ є, в загальному випадку, орієнтованим, коли певне ребро $e_j$ графу моделює транспортний шлях між пунктами такий, що доставку вантажів можна здійснити, а доставку потерпілих – ні.

У випадку, коли ребро $e_j$ є неорієнтованим, необхідно зважати на упорядкування руху, зважаючи на пропускну можливість ланки шляху, що моделюється.

Зауваження 3. Граф $G$ є графом із циклами, тобто певні пункти відправлення вантажів (евакуації постраждалих), до пунктів доставки можуть з'єднувати кілька ребер графу, що моделюють відмінні за характеристиками шляхи.

Зауваження 4. Функція приналежності $\mu_c(e_j)$ що характеризує можливість використання ребра $e_j$, $c$-м типом транспортного засобу, в класичному випадку є неперервною. Однак з метою спрощення подальших побудов, покладемо множину значень функції $\mu_c(e_j)$ дискретною, тобто такою, що приймає скінчену множину значень від $\mu_c(e_j) = 0$ – дане ребро відсутнє на графі $G$ для виду транспортного засобу $c$, до $\mu_c(e_j) = 1$ ребро моделює транспортний шлях, цілком прийнятний до використання $c$-м транспортним засобом.

В термінах Зауваження 3 приймається, що не є важливим, є шлях, закодований позначенням $e_j$, неприйнятним до використання цілком, або тільки його окрема ділянка. Іншими словами, значення функції приналежності $\mu_c(e_j)$ задається як

$$\mu_c(e_j) = \min_{k=1.K} \mu_c\left(e_j^k\right),$$

де $e_j^k$ – складові ланки шляху $e_j$.

*B. Побудова оптимізаційної моделі планування маршрутів на графі G.*

Ендогенні змінні оптимізаційної задачі: $u=\{v_l, u_{cij}\}$, $l=0,1,\ldots, I_{transit}$, $c=1,\ldots,C$, $i=1,\ldots, r_1^i$, $j=1,\ldots,J$, містять змінні $u_{cij} \in \{0,1\}$ що означають призначення $i$-го транспортного засобу на $j$-й маршрут доставки вантажів/евакуації.

Функцією мети $f(V_{transit},u)$ покладемо час локалізації та ліквідації наслідків НС

$$f(u) = f_t(V_{transit}) + f_{exp}(u) + f_{operation}(u),$$

де $f_t(V_{transit})$ – час розгортання тимчасових пунктів розташування, $f_{exp}^t(u)$ – час завантаження транспортних засобів, $f_{operation}^t(u)$ – час доставки вантажів/евакуації.

Система обмежень задачі $F(u) \le B$ містить обмеження, функції яких є:

- $f_s(V_{transit})$ – вартість розгортання тимчасових пунктів розташування, $f_{exp}^S(u)$ – витрати на транспортні засоби за весь період експлуатації, $f_{operation}^S(u)$ – витрати за здійснення одного маршруту,
- $f(\Omega)$ – функції доставки необхідного обсягу вантажів,
- $f(u_{cij})$ – функції відповідності транспортного засобу типу вантажу, що перевозиться.

Вектор $B$ акумулює граничні значення відповідних функцій.

Процес реалізації задач $A$ і $B$ є ітераційним, тобто розв'язання однієї задачі є початковою точкою для процесу розв'язання іншої задачі.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] L. Ozdamar, M. Ertem , "Models, solutions and enabling technologies in humanitarian logistics", European Journal of Operational Research, 244, pp. 55–65, 2015.

[2] G. Li, L. Zhang, and Z. Wang. (2014) "Optimization and Planning of Emergency Evacuation Routes Considering Traffic Control" [Online]. Available: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4060166/

[3] G. Barbaroso, L. Ozdamar, and A. Cevik "An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations", European Journal of Operational Research, 140, pp.118–133, 2002.

[4] В.Попов, І. Чуб, Р. Гудак "Оцінка ефективності розподілу ресурсного забезпечення ліквідації надзвичайної ситуації", Проблеми надзвичайних ситуацій, вип. 26, с. 68-73, 2017.

[5] В. Попов, Р. Гудак "Графова модель задачі ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного характеру" в *Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку*: 19 Всеукраїнська науково-практична конференція рятувальників: ІДУЦЗ, Київ, 2017, с. 317-320.

# Интерактивные Системы и Технологии в Интегрированом Обучении Студентов

Валерий Семенец
Ректор
Харьковский национальный
университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
rector@nure.ua

Андрей Тевяшев
кафедра прикладной математики
Харьковский национальный
университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
andrew.teviashev@nure.ua

Петр Подпружников
кафедра прикладной математики
Харьковский национальный
университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
petro.podpruzhnykov@nure.ua

Алина Овченко
студентка, кафедра биомедицинской инженерии
Харьковский национальный университет
радиоэлектоники
Харьков, Украина

Сергей Позняков
Инженер ЦНТМ
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
Харьков, Украина

# Interactive Systems and Technologies in Integrated Students' Teaching

Valerii Semenets
Rector
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
rector@nure.ua

Andriy Tevyshev
Applied Mathematics Department
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
andrew.teviashev@nure.ua

Petro Podpruzhnikov
Applied Mathematics Department
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
petro.podpruzhnykov@nure.ua

Alina Ovchenko
Student
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine

Sergey Pozniakov
Engineer
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine

***Аннотация*—В статье описаны новые возможности в обучении лиц с ограниченными возможностями, которые осуществимы благодаря использованию интерактивных систем и технологий. Выделены четыре основные категории лиц с инвалидностью, для которых доступ к информации и информационным компьютерным технологиям является жизненно важным.**

***Abstract*—The article describes new opportunities for teaching students with disabilities through interactive systems and technologies. There are four main categories of people with disabilities, for which access to information and information technology is vital.**

***Ключевые слова*—обучение интегрированное; мультимедийность, доступность, видеоувеличение, доска интерактивная.**

***Keywords*—integrated teaching; multimedia, accessibility, video magnification, interactive board.**

## I. Введение

Современный учебный процесс невозможен без обучающих компьютерных программ, построенных на технологии гипермедиа [1].

Лица с заболеваниями органов зрения и слуха, в силу специфики осложнений ограничены в возможностях получения информации в обычном понимании. Цвет,

движение, звук – это те факторы, которые достаточно долго удерживают внимание, делают процесс обучения более доступным и осознанным. Самые прогрессивные методики обучения все чаще используют компьютерные технологии. Современный учебный процесс невозможен без обучающих компьютерных программ, построенных на технологии гипермедиа. Информатизация всех сфер жизни общества привела к появлению новой категории культуры – информационной. Поэтому сегодня главными задачами образования являются подготовка учащихся к быстрому восприятию и обработке больших объемов информации [2].

В процессе обучения студентов с ограниченными возможностями здоровья психологи рекомендуют развивать восприятие, которое связано с функционированием различных сенсорных систем: визуальной аудиальной и особенно кинестетической. Именно кинестетическая система связана с моторной памятью и помогает довести навыки до автоматизма, перевести на уровень подсознания.

На сегодняшний день актуальным является обеспечение всех студентов равными возможностями получения качественного образования.

Можно выделить четыре основные категории индивидов, для которых доступ к информации и информационным компьютерным технологиям (ИКТ) является жизненно важным: незрячие и слабовидящие, глухие и слабослышащие, инвалиды с нарушением опорно-двигательных функций. Оценку потребностей в соответствующих услугах и продуктах, а также выбор путей преодоления информационных барьеров применительно к указанным категориям инвалидов необходимо осуществлять, опираясь на Международную классификацию функционирования, ограничения жизнедеятельности и здоровья, принятую Всемирной организацией здравоохранения (ICF).

## II. Основная часть

Электронный цифровой интерактивный экран (SMART Board), позволяет выводить изображения с компьютера, видеомагнитофона или DVD-проигрывателя, доска позволяет выполнять любые цветные графические комментарии, при этом надписи остаются в памяти компьютера, и студенту необязательно переносить фразы и формулы в конспект. С помошью специальной программы все написанное на большом экране можно передать на персональные компьютеры студентов, или распечатать лекцию.

Благодаря использованию интерактивной доски, можно адаптировать материал для учащихся со слабым зрением. Например, изменять размер текста или графических изображений и корректировать яркость и контрастность по мере необходимости. Студенты могут писать на поверхности доски, поскольку яркость и масштаб здесь больше, чем при использовании бумаги и ручки или традиционной доски. Есть возможность воспроизводить видеоматериалы, увеличивая изображение, чтобы учащиеся могли рассмотреть детали, увидеть информацию, которая была бы недоступной, а также взаимодействовать с экранными объектами, принимая на практике более полноценное и активное участие [3].

Интерактивные доски позволяют одновременно удерживать внимание всех учащихся. Когда при обучении глухих студентов используются учебники или письменные задания, им приходится смотреть вниз, и чтобы привлечь их внимание, требуется очень много времени. Интерактивные доски в значительной мере упрощают эту проблему. Мы можем читать информацию на доске и жестикулировать одновременно. Это повышает возможности обмена информацией.

Для учащихся, страдающих аутизмом, синдромом Аспергера, синдромом дефицита внимания и другими ментальными или поведенческими проблемами, поддержание концентрации может вызывать серьезные трудности при выражении своих мыслей, поэтому возможность манипулировать информацией на интерактивной доске для ответа на вопросы открывает перед ними новый путь обмена знаниями. Интерактивные доски не только захватывают внимание, но и постоянно подкрепляют и дополняют объясняемый материал визуальными средствами, обеспечивая еще одним сенсорным каналом, который помогает усваивать информацию.

Использование интерактивной доски дает новые возможности образовательному процессу, такие как:

1. Доступность – предоставление студентам с ограниченными возможностями равных возможностей образования наряду с их здоровыми сверстниками,.
2. Интерактивность – поочередное взаимодействие преподавателя и студента с использованием цифрового образовательного ресурса. Каждое действие участников взаимодействия отражается на доске, доступно для рассмотрения и обсуждения всеми участниками образовательного процесса.
3. Моделинг – имитационное моделирование реальных объектов или процессов, явлений. В данном случае функции доски предоставляют возможность как индивидуального, так и коллективного взаимодействия с моделью, обсуждения ее работы и получившихся результатов;
4. Мультимедийность – это представление объектов и процессов с помощью фото, видео, графики, анимации, звука, комбинации средств передачи информации. Интерактивная доска выводит мультимедийность на качественно новый уровень, включая в процесс восприятия информации не одного человека (как в случае работы ученика с компьютером), а весь коллектив обучающихся, что более удобно и целесообразно для последующего процесса обсуждения и совместной работы.
5. Коммуникативность – это возможность непосредственного общения участников образовательного процесса, оперативность диалога каждого участника, контроль за состоянием процесса [4].

В настоящее время постепенно появляются в самых современных вузах многофункциональные лингафонные кабинеты, оснащенные аудио-, видео- и компьютерной аппаратурой, которые дают возможность вести занятия не только по языку, но и практически по всем дисциплинам.

Преподаватель на своем мониторе может отслеживать работу каждого студента, объединять их в группы или, наоборот, давать индивидуальные задания. Kingston University поставил чат-общение между преподавателем и студентом на уровень, позволяющий даже сдавать зачеты и курсовые с помощью компьютера.

Посредством объединения центрального компьютера с портативными гаджетами беспроводной сетью и интерактивной доской появляется возможность создания автоматизированного учебного места (АУМ) для студентов с ограниченными возможностями. АУМ обеспечивает возможность получения информации, новых навыков и полноценное, беспрепятственное общение с одногрупниками не имеющих нозологических особенностей. АУМ состоит из настольного компьютера, оснащенного монитором, клавиатурой и программным обеспечением экранного доступа является функциональным решением для обеспечения инклюзивного образования (рис.1).

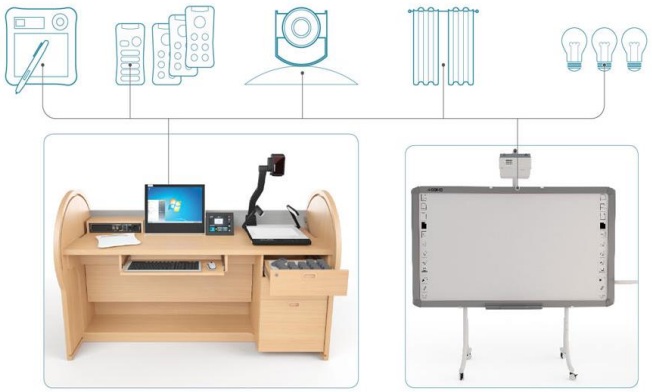


Рис. 1 – Автоматизированное учебное место

Использование интерактивных технологий обеспечивает:

• предоставление студентам с ограниченными возможностями здоровья равных возможностей образования наряду с их здоровыми сверстниками;

• избежание появления ощущения изолированности у детей с особыми потребностями путем создания условий в аудитории, максимальной доступности;

• повышение мотивации учащихся и максимального вовлечения их в учебный процесс путем обеспечения возможности организации всех форм обучения: видеолекции, видеосеминары, практические работы в интерактивном режиме, онлайн контроль знаний;

• достижение максимальных результатов в максимально короткие сроки путем внедрения технологий синхронного обучения с применением средств интерактивных технологий и средств коллективной работы [5].

Автоматизированное учебное место для студентов с нарушением опорно-двигательного аппарата и ДЦП позволит слабовидящим ученикам осуществлять быструю навигацию по сети Интернет, работать в среде Windows и с офисными приложениями [7].

Высокая контрастность черного и белого, возможность инверсии цветов, является неотъемлемым для студентов с нарушениями зрения. Видеоувеличитель позволяет чтение слабовидящим студентам с бумажного источника с возможностью изменения масштаба увеличения и яркости. С помощью видеоувеличителя можно также писать, выполнять построение схем в конспекте, контролируя свои действия.

Программные продукты SMART Board можно адаптировать для обучения студентов с различными нозологиями. Возможность объединения сетью интернет основного компьютера и портативных гаджетов позволяют подготовить достаточно сложные задания с несколькими вариантами ответов и обеспечить произвольный ввод и выбор информации студентам с ограниченными возможностями.

Так, программа Qwizdom WizTeach содержит специализированный научный инструмент **с** элементами необходимыми для построения схем электрических цепей и графического представления схемы протекания электрического тока [6].

Используя специализированные программы можно расширить географию аудитории и проводить обучение дистанционно, используя онлайн-передачу данных. Участники обучения могут манипулировать информацией со своих мониторов, активно участвовать в обсуждении материалов.

## III. Выводы

Таким образом, использование интерактивной доски выводит мультимедийность на качественно новый уровень, включая в процесс восприятия информации без необходимости записывать ее, благодаря возможности сохранять и печатать все, что появляется на доске. На лекции с интерактивной доской можно использовать все материалы, доступные на компьютере: таблицы, схемы, анимацию, аудио- и видео-записи. Разнообразие ресурсов интерактивного обучения предоставляет широкий выбор подходов к обучению студентов с ограниченными возможностями, избежание ощущения изолированности путем создания условий максимальной доступности информации в аудитории.

## Литература REFERENCES


[6] Бондар, В. Інклюзивне навчання як соціально- педагогічний феномен / В.Бондар // Рідна школа – 2011. – №3. – С. 10-14.

[7] Гайворонюк, Н.А. Особенности работы с лицами с ограниченными возможностями / Н. Гайворонюк // Практич.психологія та соц. робота. –2012 – № 12 – С. 41 – 46.

[8] Дашковська, В. Нова тема: досвід впровадження інклюзивної освіти / В. Дашковська // Шк.світ – 2012 – №34 – С. 5 – 6.

[9] Компанець, Н. Організація роботи асистента педагога в інклюзивному середовищі за допомогою програмово-методичного комплексу / Н.Компанець // Особлива дитина: навчання і виховання. – 2013 – №3 – С. 21 – 25.

[10] Ярмощук І. На шляху до інклюзивного навчання / І Ярмощук // Математика в сучасній школі. – 2010 – № 1-2 – С. 51 – 54

[11] Электронные интерактивные доски SmartBoard, новые технологии в образовании, Москва, 2006г./ http:// www.smartboard.ru

[12] Кондратова О.А. Уроки физики с интерактивной доской // XVII конференция-выставка «Информационные технологии в образовании»: Сборник трудов участников конференции. Часть III. – М.: «БИТ про», 2007. – 248 с.

# Апаратні та Програмні Засоби Ідентифікації Аномальних Неврологічних Рухів у Пацієнтів з Проявами Есенціального Тремору

Михайло Петрик
mykhaylo_petryk@tu.edu.te.ua

Дмитро Михалик
d.mykhalyk@gmail.com

Оксана Петрик
oopp3@ukr.net

Іван Мудрик
i1mudryk@ukr.net

кафедра програмної інженерії
Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя
Тернопіль, Україна

# Hardware and Software Solution for Identification of Abnormal Neurological Patients' Movements with Essential Tremor

Mykhaylo Petryk
mykhaylo_petryk@tu.edu.te.ua

Dmytro Mykhalyk
d.mykhalyk@gmail.com

Oksana Petryk
oopp3@ukr.net

Ivan Mudryk
i1mudryk@ukr.net

Department of Software Engineering
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
Ternopil, Ukraine

***Анотація* — Дослідження реальних фізичних рухів, пов'язаних з тремтінням, тобто дуже малими швидкими коливаннями, що сильно відрізняються амплітудою і частотою, а також надійне вимірювання характеристик рухів та інтерпретація результатів таких вимірювань представляють важливе значення для діагностування захворювань. У практичному використанні спосіб визначення ступеню тремору має не лише точно виміряти відхилення аномальних рухів, але також повинен відображати результати таких вимірювань таким чином, щоб це було можливо досить легко інтерпретувати медичним персоналом. Підвищення амплітуди і зміна частоти і форми коливань щодо норми (частота і амплітуда фізіологічного тремору) служать ознаками порушення центральних і периферійних нейронних механізмів регуляції рухів. Програмний аналіз цих параметрів важливий як для розуміння ролі дисфункції окремих структур мозку в процесах управління рухами, так і для клініки в аспектах раннього виявлення, більш точної діагностики рухових порушень, вибору і корекції оптимальних методів лікування, пов'язаних з підбором дієвої лікувальної терапії. Аналіз форм тремору має велике значення в неврологічній практиці, зокрема, при діагнозі синдрому паркінсонізму, коли підвищений видимий неозброєним оком тремор є індикатором патологічного стану центральної нервової системи. Розроблюване програмно-апаратне забезпечення для визначення та діагностування тремору в пацієнтів є важливою прикладною задачею інженерії ПЗ в медичних та суспільно-корисних цілях. А використання новітніх методик проектування, розробки архітектур та моделей програмного забезпечення, штучного інтелекту сприяє зростанню ролі автоматизації діагностування в сучасних дослідженнях та терапевтичних заходах.**

***Abstract* — Because of the real physical movements associated with tremor, that is, very small rapid fluctuations that vary greatly in amplitude and frequency, reliable measurements of motion characteristics and the interpretation of the results of such measurements are important for the diagnosis of diseases. In practical use, the method for determining the degree of tremor should not only accurately measure the deviation of abnormal movements, but also must reflect the results of such measurements in such a way that it could be easily interpreted by medical personnel. Increasing of amplitude and changing the frequency and form of oscillation in relation to the norm (frequency and amplitude of physiological tremor) are signs of**

**disturbance of central and peripheral neural mechanisms of regulation of movements. Program analysis of these parameters is important for understanding the role of dysfunction of individual structures of the brain in the processes of motion management, and for the clinic in the aspects of early detection, more accurate diagnosis of motor disorders, the choice and correction of optimal treatment methods associated with the selection of effective therapy. The analysis of forms of tremor is of great importance in neurological practice, in particular, in the diagnosis of Parkinson's syndrome when the raised visible to the naked eye tremor is an indicator of the pathological condition of the central nervous system. Developed software and hardware for the determination and diagnosis of tremor in patients is an important application of software engineering for medical and public benefit purposes. And the use of the latest design techniques, the development of architectures and software models, artificial intelligence contributes to the growth of the role of diagnostic automation in modern research and therapeutic measures.**

***Ключові слова — комп'ютерне моделювання; діагностика; тремор; автоматизація; програмна система***

***Keywords — computer simulation; diagnostics; tremor; automation; software system***

## I. Вступ

Із розвитком техніки та потужності комп'ютерних обчислень виникає можливість та необхідність підкріплювати математичні моделі програмним забезпеченням, щоб ще більш наочно, швидко та точно отримувати результати досліджень та візуалізувати їх. А завдяки розробці вдалих та якісних алгоритмів та правильно підібраній архітектурі такі комп'ютерні системи стають необхідним атрибутом будь-якого наукового та технологічного процесу.

Використання новітніх наукоємних технології штучного інтелекту, радикально нові обчислювальні рішення з урахуванням сучасних архітектур комп'ютерних систем та програмного забезпечення (паралельні багатокрокові обчислення, нові алгоритми багатопараметричної ідентифікації) дозволяють забезпечити системний підхід до проектування наукоємних методів цифрової діагностики і моніторингу стану здоров'я, що потребує поступових змін в науково-інженерні методи, їх проектування та експлуатацію.

## II. Проблематика задачі діагностування

В медичних дослідженнях особлива увага приділяється новим цифровим системам діагностики, лікування та наномедицині. В контексті цього, проектована наномедична нейро-біо-система орієнтована на визначення параметрів анормальних рухів пацієнтів з тремор-ознаками (Т-об'єкт), що спричинені негативними впливами певної множини нейронних вузлів кори головного мозку. Ідентифікація параметрів цих впливів дозволить окреслити шляхи вирішення проблеми.

До найбільш прогресивних на сьогодні технологій діагностування відносять 3D-motion test [1], або запис рухів людини в просторі з допомогою високочутливих швидкісних камер. Це надзвичайно передова технологія, рівних якій в багатьох аспектах немає. Її суть - в повному зчитуванні рухів більшості елементів і частин тіла людини, і не тільки, з допомогою інфрачервоних міток та 3d-камер.

В сучасних умовах, для реєстрації тремору широко використовують системи і методи, призначені для визначення високоамплітудного тремору, характерного для хвороби Паркінсона і есенціального тремору. Так, відомий спосіб ідентифікації тремору на площині з допомогою розпізнавання рисунку спіралі Архімеда, який можна виконувати на перовому графічному планшеті[2].

### *A. Природа тремору рук*

Тремор - це серія небажаних, малих коливних рухів, що стосуються органу або частини тіла (пальці рук, повіки, очні яблука, органи мовлення та ін.), переміщені скелетними м'язами. Тремор виникає в результаті мимовільного скорочення м'язів [2]. Підвищення амплітуди і зміна частоти і форми коливань щодо норми (частота і амплітуда фізіологічного тремору) служать ознаками порушення центральних і периферичних нейронних механізмів регуляції рухів. Аналіз цих параметрів важливий як для розуміння ролі дисфункції окремих структур мозку в процесах управління рухами, так і для клініки в аспектах раннього виявлення, більш точної діагностики рухових порушень, вибору і корекції оптимальних методів лікування, пов'язаних з підбором дієвої лікарської терапії.

### *B. Актуальність задачі автоматизованого діагностування*

Визначення міри та походження тремтіння є надзвичайно корисними показниками при лікуванні різних неврологічних захворювань або дослідженні інших аномальних станів тіла людини. Для практичного використання пристрій для вимірювання тремору має не лише точно виміряти відхилення аномальних рухів, але також повинен відображати результати таких вимірювань в спосіб, легкий для інтерпретування медичним персоналом.

Автоматизація діагностування захворювання в ході виконання тесту 3D-motion test або ж інших подібних експериментів з використанням цифрового пера графічного планшету з вбудованим 3D-мікроакселерометром передбачає збір та аналіз вхідних оцифрованих даних з допомогою моделей та математичних перетворень. Використовуючи попередньо розроблену та реалізовану у вигляді програмної системи комп'ютерну модель, можна отримати якісне аналітичне та чисельне представлення мікро рухів рук пацієнта.

### *C. Проблематика галузі*

Проблема складності ідентифікації та оцінювання захворювання на тремтіння кінцівок існує внаслідок недосконалості методів діагностування в медичних закладах. Під час дослідження проблематики, було виявлено ряд основних проблем виконання автоматизованого діагностування пацієнтів:

- застарілі методи тестування пацієнтів в медичних закладах;
- низька точність оцінювання ступеню захворювання;
- відсутність однозначності в результатах оцінювання (суб'єктивна оцінка);
- неможливість аналізу отриманої інформації в розрізі багатьох характеристик, «вузький» погляд на отриману інформацію;
- складність та дороговартісність впровадження новітніх високотехнологічних способів діагностування в профільних клініках.

Ціла низка причин говорить про необхідність реформування способів та підходів до питання діагностування тремору в реальних умовах.

## III. Сучасні способи автоматизованого діагностування тремору

Дослідження пов'язані з нейро-біо-системами що до аналізу стану та поведінки Т-об'єктів під когнітивним впливом нейронних вузлів кори головного мозку (КГР) проводились низкою зарубіжних та вітчизняних дослідників, таких як А.Легранд. М.Відає, Ж. Серано., Е.Бакштейн, Р.Енаф, А.Попов та ін.[2,3]. Основна увага в них зосереджена вивченню параметрів відносно нормальних станів та поведінки (нормальні хвильові рухи певних частин тіла), для аналізу яких застосовувались класичні методи цифрової обробки на основі перетворення Фур'є та наближено оцінювались когнітивні зв'язки методами і програмними технологіями нейронних мереж[3]. Такий підхід не дає можливості для аналізу анормальних станів та поведінки (ненормальні хвильові рухи), що притаманні реальним Т-об'єктам з високими ступенем тремору. Ще однією проблемою є те, що для аналізу в основному використовують одновимірні моделі та пристрої, що реєструють параметри руху тільки по одній координаті [3]. За рахунок цього, втрачається від 40 до 80% інформації, що, де-факто, визначає низький рівень результатів такого аналізу. З іншого боку, використання лише класичних моделей цифрової обробки у свою чергу ще на 60 - 80% знижується якість цих досліджень для Т-об'єктів з анормальними станами, оскільки такі методи відкидають в шуми, знову ж таки, від 60 до 80% важливих даних, які можуть давати відповідь на питання про реальні когнітивні механізми впливу на окремі сегменти анормальних неврологічних рухів (АНР-кривих)[3].

TABLE II. Порівняння втрат інформації при виконанні тесту спіралі Архімеда різними пацієнтами з різним степенем тремору

| *№ тесту* | *Час виконання, с* | *Покази з акселерометра пера при відриві, %* | *Ступінь тремору* | *Оцінка згідно шкали Fahn-Tolossa-Marin* |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 37 | 5 | низький | 1.8 |
| 2 | 44 | 9 | низький | 2.5 |
| 3 | 65 | 24 | суттєвий | 6.8 |
| 4 | 57 | 37 | суттєвий | 6.9 |
| 5 | 47 | 49 | середній | 4.5 |

Пропонована гібридна модель нейро-біо-системи, яка описує на основі поширення хвильового сигналу стан і поведінку Т-об'єктів, а саме посегментний опис 3D-елементів траєкторій анормальних неврологічних рухів досліджуваної частини (кінцівки руки) тіла Т-об'єкта з врахуванням матриці когнітивних впливів груп нейро-об'єктів КГР. Елементи моделі інтегруються в систему шляхом використання відповідних інтерфейсних умов. На основі гібридних інтегральних перетворень (Фур'є, Бесселя, Гільберта) [4] отримується швидкісний аналітичний розв'язок моделі у вигляді вектор-функції, що описує 3D-елементи траєкторій на кожному АНР-сегменті. З метою декомпозицій складних АНР-рухів на простіші елементи, кількість розбиття може вибиратись довільною в залежності від складності АНР-зображення.

На основі цього запропонована нова методика обчислення гідридної спектральної функції АНР, системи ортогональних базових функцій та спектральних значень, що складають основу запропонованого гібридного перетворення та забезпечує отримання інтегрального векторного розв'язку моделі. Основним елементом розв'язку є адаптивна матриця (відклику), що визначає параметри станів від дії визначених груп нейро-об'єктів КГР.

## IV. Апаратні засоби ідентифікації

В основу задачі апаратного рішення покладено спосіб постійного безперервного визначення позиції електронного пера по відношенню до будь-якої контрольної координати.

Для виконання емпіричних досліджень було використано сенсорний перовий планшет (дігітайзер Wacom Cintiq 12WX) з частотою дискретизації 133Гц та точністю ± 0,25 мм. Шаблон являє собою спіраль Архімеда з декількома оборотами за або проти годинникової стрілки, з інтер-петлею 9 мм. Даний шаблон розташовується на екрані інтерактивного планшета, з можливістю виконання рисунку пацієнтом з допомогою дистанційного пера. Зразок вікна програми зчитування спіралі пацієнта зображено на рисунку.

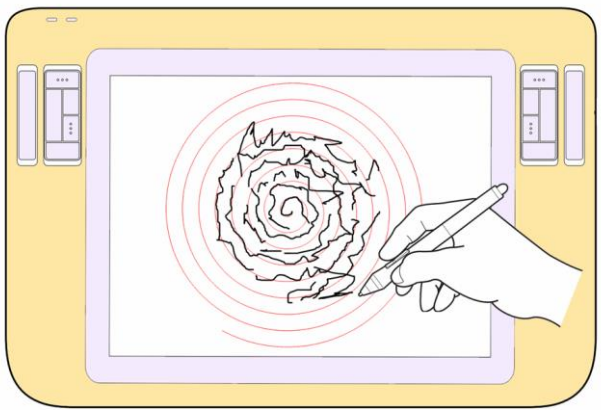


Fig. 2. Спосіб застосування ПЗ для відтворення шаблону спіралі Архімеда на графічному планшеті Wacom Cintiq

Електронне перо використовують з метою ідентифікації рукописного вводу інформації (цифри, текстова інформація, шаблонні рисунки) або виконання запису та оцифровування довільних рухів руками.

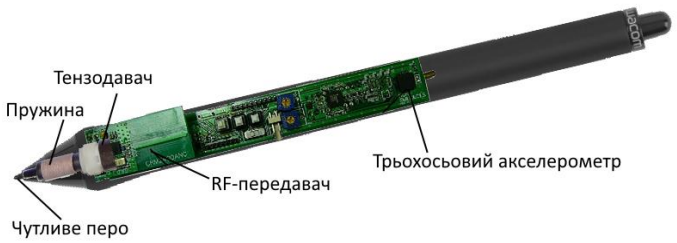
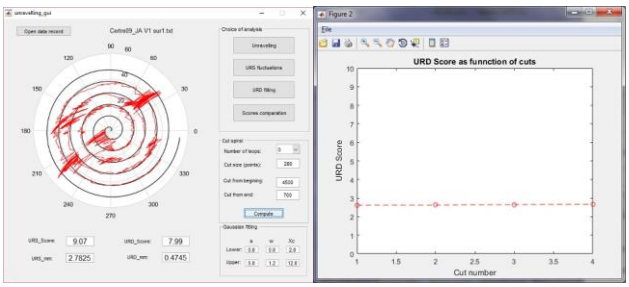



Fig. 3. Пристрій графічного цифрового пера з вубдованим 3D-мікроакселерометром для для проведення діагностичного тесту

Мікроконтролер здійснює зчитування та обробку інформації з трьохосьового давача прискорення (мікроакселерометра). Відповідно до запропонованих формул визначаються покази миттєвих координат положення акселерометра в просторі. У паралельному потоці відбувається отримування інформація про переміщення цифрового пера на площині графічного планшета. При виявленні нульового значення тиску пера на чутливій поверхні планшета (що вказує на відрив пера від поверхні), необхідна інформація про переміщення пера отримується із показів мікроакселерометра - визначають миттєві координати положення MEMS [5] акселерометра в просторі. Оцифроване значення позиції пера передають через WIFI-передавач на ПК. В такий спосіб підвищується надійність системи ідентифікації рухів пацієнта шляхом ідентифікації переміщення як з допомогою чутливого елемента планшета з пером, так і з допомогою додатково вбудованого в перо MEMS акселерометра.

## V. Комп'ютеризовані методи аналізу

В якості реалізації було вирішено розробити модуль-бібліотеку з набором алгоритмів, що реалізують попередньо розроблені математичні моделі. Математична модель передбачає отримання кількісних характеристик тремору. У даній методиці аналізу даних тесту спіралі надзвичайно важливим та актуальним результатом є можливість отримати частотну характеристику, використовуючи перетворення Фур'є та ряд інших математичних обчислень [6,7]. Результати, представлені у вигляді частотних та амплітудних характеристик кривої, становлять основу оцінювання стану пацієнта методом комп'ютеризованого діагностування. Важливі елементи розробки – це алгоритми отримання значень параметрів модельованої системи, можливість візуального представлення отриманих результатів, необхідність динамічного задання параметрів системи. Все це дозволяє з більшою наочністю представляти результати та сприяє цільовому використанню технології. Хорошим рішенням та позитивним елементом даної розробки є імплементація у вигляді окремого модуля, бібліотеки з можливістю постійно оновлювати методи та підтримувати актуальність досліджень. Реалізація програмного забезпечення у такий спосіб сприяє підвищенню адаптивності, зручності використання у різноманітних системах в ході ведення досліджень. Математичні методи, а саме їх алгоритми обчислення, реалізовано у вигляді набору класів з методами, що моделюють поведінку. Програмні модулі, класи, та їх взаємодію реалізовано в вигляді єдиного модуля-бібліотеки, що дозволить гнучко використовувати метод аналізу вхідних даних у різноманітних прикладних задачах та програмах.




а) б)

Fig. 4. Візуалізована модель зчитаних з поверхні графічного планшета показів а) та отримання оцінок ступеню тремору пацієнта б)

З допомогою використання вбудованого модуля 3D-мікроакселерометра в цифрове перо графічного планшета забезпечується умова збереження існуючої задовільної точності вимірів з додатковою можливістю контролю відриву пера від поверхні (вісь Z).

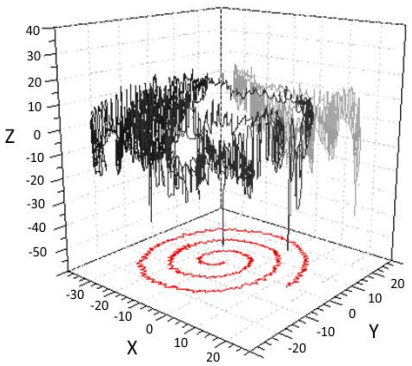



Fig. 5. 3D-модель зчитаних з мікроакселерометра показів

## Комп'ютеризовані Результати досліджень

Корисним і ефективним способом аналізу отриманих результатів, є можливість виконувати циклічні обчислення на основі пропорційного зменшення аналізованих масивів даних. Іншими словами, оцінки отримуються та порівнюються для кожної ітерації обмеження аналізованих даних.

## Висновки

Аналіз форм тремору має велике значення в неврологічній практиці, зокрема, при діагнозі синдрому паркінсонізму, коли підвищений видимий неозброєним оком тремор є індикатором патологічного стану пацієнта.

Даний спосіб може бути використаний в медичній техніці для проведення об'єктивної ранньої діагностики захворювань, а також для біомеханічних досліджень, при оцінці професійної придатності, в спорті, в нейрофізіологічних дослідженнях центральної нервової системи.

З огляду на те, що сьогодні слабо розвинені методи прогресивного тестування та аналізу даних для діагностування захворювань синдрому паркінсонізму, зацікавленість до систем такого типу є висока. Розроблювані методи та засоби ідентифікації значно полегшують роботу медичних працівників з пацієнтами, дають можливість оцінювати ступінь захворювання з однозначної та об'єктивної сторони. Також системи даного сегменту дають розширені можливості для розгляду отриманих даних, не тільки в межах даного захворювання, а й стану здоров'я пацієнта загалом.

ПОДЯКА

Висловлюємо вдячність Вищій школі промислових фізики та хімії м. Париж (Франція, ESPCI Paris) та Інституту головного та спинного мозку ICM Paris за надані технічні засоби для дослідження та можливість проведення діагностичних тестів з пацієнтами.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] V Rajaraman, D Jack, S.V Adamovich, W Hening, J Sage, H Poizner *A novel quantitative method for 3D measurement of Parkinsonian tremor*. Clinical neurophysiology

[2] Haubenberger D, Kalowitz D, Nahab F B, Toro C, Ippolito D, Luckenbaugh DA, Wittevrongel L, Hallett M. Validation of Digital Spiral Analysis as Outcome Parameter for Clinical Trials in Essential Tremor. Movement Disorders 2011;26(II):2073-2080

[3] André Pierre Legrand, Isabelle Rivals, Aliénor Richard, Emmanuelle Apartis, Emmanuel Roze, Marie Vidailhet, Sabine Meunier, Elodie Hainque. New insight in spiral drawing analysis methods – Application to action tremor quantification. J Clinical Neurophysiology. October 2017Volume 128, Issue 10, Pages 1823–1834.

[4] "The Brain and Essential Tremor,"WebMD. [Online]. Режим доступу: http://www.webmd.com/brain/essential-tremor-basics#1. [Accessed:20-Jul-2017]

[5] *Міжнародний патент US7236156. Methods and devices for identifying users based on tremor (https://patents.google.com/patent/US7236156)*

[6] Jeen-Shing Wang, Fang-Chen Chuang. An Accelerometer-Based Digital Pen with a Trajectory Recognition Algorithm for Handwritten Digit and Gesture Recognition. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 59, No. 7, 2998-3007 (2012)

[7] Louis, E. D., Gillman, A., Böschung, S., Hess, C. W., Yu, Q., & Pullman, S. L (2012). High width variability during spiral drawing: Further evidence of cerebellar dysfunction in essential tremor. Cerebellum, 11, 872-879.

# Байєсівська Класифікація Ситуацій в Інформаційних Системах Медичної Діагностики

Сергій Удовенко
кафедра Інформатики та комп'ютерної техніки
Харківський національний економічний університет
Харків, Україна
serhiy.udovenko@hneu.net

Лариса Чала
кафедра Штучного інтелекту
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
larysa.chala@nure.ua

Вадим Шергін
кафедра Штучного інтелекту
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
vadim.shergin@nure.ua

# Bayesian Classification of Situations in Information Systems of Medical Diagnostics

Serhiy Udovenko
Informatics and Computer Engineering dept.
Kharkiv National University of Economics
Kharkov, Ukraine
serhiy.udovenko@hneu.net

Larysa Chala
Artificial Intelligence dept.
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkov, Ukraine
larysa.chala@nure.ua

Vadim Shergin
Artificial Intelligence dept.
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkov, Ukraine
vadim.shergin@nure.ua

***Анотація*—Запропоновано класифікатор ситуацій в системах медичної діагностики з використанням байєсівського підходу. Запропонований підхід дозволяє ідентифікувати ситуації, що вимагають прийняття невідкладних заходів, і може бути корисним для створення інтелектуальних систем діагностики критичного призначення.**

***Abstract*—The report proposes a classification of situations in systems of medical diagnostics using the Bayesian approach. The proposed approach allows identifying situations requiring urgent action and may be useful for the creation of intelligent diagnostic systems for critical use.**

***Ключові слова—байєсівський класифікатор, медична діагностика, функція ризику***

***Keywords—Bayesian classifier, medical diagnostics, risk function***

## I. Вступ

Останнім часом набули поширення наукові та практичні дослідження, пов'язані з застосуванням методів обчислювального інтелекту в системах діагностування ситуацій та станів об'єктів [1]. До таких методів слід, зокрема, віднести методи нейромережевого моделювання, методи фрактального аналізу та байєсівські методи.

Алгоритми розпізнавання в інформаційних системах медичної діагностики часто ґрунтуються на діагностичних моделях, що встановлюють зв'язок між станом пацієнта (поточною ситуацією) і його відображенням у просторі діагностичних параметрів. Важливою частиною проблеми класифікації поточної ситуації є вибір правил прийняття діагностичних рішень (насамперед, за результатами аналізу клінічних даних).

Завдання такого вибору полягає в знаходженні способу прийняття оптимального рішення про належність діагностованої ситуації до того чи іншого класу в умовах невизначеності, яка визначається наявністю випадкових факторів, які маскують зв'язок між ознаками і класом ситуацій. Є доцільним розглянути можливість застосування байєсівського класифікатора для ідентифікації ситуацій в системах медичної діагностики, В доповіді пропонується один з можливих варіантів побудови такого класифікатора.

## II. Алгоритм класифікації

Припустимо, що кожна кодова комбінація, що характеризує поточну ситуацію, містить блоковий префікс ($m$-вимірний), що задає сукупність основних характеристик $x=\{x_1,x_2,\ldots,x_m\}$ цієї ситуації.

Побудуємо байєсову тестуючу процедуру, що мінімізує середній ризик $R$ при віднесенні конкретного елемента множини діагностованих ситуацій (МДС) до класу $K_1$ або $K_2$. При цьому під класом $K_1$ будемо розуміти сукупність ситуацій, що відносяться до критичних і вимагають ургентного втручання, а під класом $K_2$ решту МДС. Задамо функцію ризику у вигляді:

$$R = c_{11}p_1 \int_{K_1} f(x|K_1)dx + c_{22}p_2 \int_{K-K_1} f(x|K_2)dx + \\ + c_{21}p_1 \int_{K-K_1} f(x|K_1)dx + c_{12}p_2 \int_{K_1} f(x|K_2)dx \quad (1)$$

де $p_i$ - апріорна ймовірність того, що спостережуваний вектор $x$ належить до класу $K_i$ ($i=1,2$; $p_1+p_2=1$; $K=K_1+K_2$); $c_{ij}$ - вагові коефіцієнти матриці вартості класифікаційної процедури ($i,j=1,2$; $c_{11}<c_{21}$; $c_{22}<c_{12}$); $f(x|K_i)$ - функція умовної щільності ймовірностей ($i=1,2$).

Враховуючи що

$$\int_K f(x|K_1)dx = \int_K f(x|K_2)dx = 1,$$

можна рівняння (1) представити у наступному вигляді:

$$R = c_{21}p_1 + c_{22}p_2 + \\ + \int_{K_1} [\,p_2(c_{12}-c_{22})f(x|K_2) - p_1(c_{21}-c_{11})f(x|K_1)]dx \quad (2)$$

Можна показати, що функція ризику мінімізуєтьсья за допомогою наступної стратегії:

- елементи МДС з вектором $x$, для яких вираз в квадратних дужках є невід'ємним, слід віднести до класу $K_1$;
- елементи МДС з вектором $x$, для яких вираз в квадратних дужках є позитивним, слід віднести до класу $K_2$.

Введемо позначення (для позитивних $\lambda(x)$ та $\gamma$ ):

$$\lambda(x) = f(x|K_1)/f(x|K_2), \\ \gamma = p_2(c_{12}-c_{22})/p_1(c_{21}-c_{11}).;$$

Використовуючи ці кількісні характеристики, правило класифікації елементів МДС можна представити таким чином: якщо для елемента з вектором $x$ значення $\lambda(x)$ не менше, ніж $\gamma$, то цей елемент відноситься до класу $K_1$. З оглядом на обчислювальну складність класифікаторі зручніше використовувати логарифмічні представлення.

Розглянемо випадок, коли функції $f(x|K_1)$ та $f(x|K_2)$ відповідають нормальним законам розподілу, причому матриці коваріації однакові для кожного з класів:

$$M\{x\} = a_1;\ M\{(x-a_1)(x-a_1)^T\} = C \quad (\text{для } K_1);$$

$$M\{x\} = a_2;\ M\{(x-a_2)(x-a_2)^T\} = C \quad (\text{для } K_2).$$

Тоді функції $f(x|K_i)$ набувають такого вигляду:

$$f(x|K_i) = \frac{exp\left(-\frac{1}{2}(x-a_i)^T C^{-1}(x-a_i)\right)}{\sqrt{(2\pi)^m \cdot det(C)}}, \quad i=1,2. \quad (3)$$

Логарифмуючи обидві частини рівняння (3), після спрощень отримуємо:

$$log\,\lambda(x) = -\frac{1}{2}(x-a_1)^T C^{-1}(x-a_1) + \\ + \frac{1}{2}(x-a_2)^T C^{-1}(x-a_2) = \quad (4) \\ = (a_1-a_2)^T C^{-1}x + \frac{1}{2}(a_2^T C^{-1}a_2 - a_1^T C^{-1}a_1).$$

В цьому випадку класифікатор, що розглядається, є лінійним і відповідає наступному рівнянню:

$$y = w^T x + b, \quad (5)$$

$$y = log\,\lambda(x), w = C^{-1}(a_1-a_2), \\ b = \frac{1}{2}(a_2^T C^{-1}a_2 - a_1^T C^{-1}a_1).$$

Рівняння (5) дозволяє отримати зручне правило класифікації: якщо величина $y$ є невід'ємна, ситуацію з вектором $x$ слід віднести до класу $K_1$.

Розглянутий алгоритм мінімізує ймовірність помилки класифікації. Таким чином, запропонований підхід дозволяє ідентифікувати в МДС сукупність ситуацій, що вимагають прийняття невідкладних заходів, і може служити відправною точкою для створення інтелектуальних систем медичної діагностики.

З використанням розглянутого методу було здійснено тестове діагностування за результатами аналізу клінічних даних на прикладі кардіозахворювань.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] С. О. Волкова, О.М. Трунов, "Аналіз методів і засобів підвищення якості та надійності систем медичної діагностики", *Мат. машини і системи*, 2008, N 2, с. 158-164.

# Разработка Электронного Тренажера для Специалистов Полиграфической Отрасли

Розробка електронного тренажера для спеціалістів поліграфічної галузі

Игорь Чеканов
аспирант, кафедра МСТ
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
chekanow93@gmail.com

Александр Григорьев
доцент, кафедра МСТ
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
oleksandr.hryhoryev@nure.ua

# Development of an Electronic Simulator for Specialists in the Printing

Ihor Chekanov
graduate student, Department of MST
Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine
chekanow93@gmail.com

Alexander Hryhoryev
Associate Professor, Department of MST
Kharkiv National University of Radio Electronics,
Kharkiv, Ukraine
oleksandr.hryhoryev@nure.ua

***Аннотация*—Данная работа посвящена созданию специализированного программного обеспечения, для обучения и проверки знаний специалистов полиграфической отрасли.**

***Abstract*—This paper deals with the specialized software development for teaching and knowledge testing of specialists in the printing industry.**

***Ключевые слова–программное обеспечение; полиграфия; обучение; производство.***

***Keywords—software; polygraphy; teaching; production.***

## I. Введение

Полиграфия, как одна из современных отраслей производства, в своем составе содержит оборудование, сложность которого постоянно растет, что позволяет выпускать продукцию высокого качества и обеспечивать постоянно возрастающие требования рынка полиграфических услуг. Наряду с этим, растет и стоимость, как самой разработки, так и ее выпуска, а также растет стоимость обслуживания оборудования при эксплуатации, его гарантийного и постгарантийного обслуживания, ремонта и модернизации.

Одновременно возрастают требования к персоналу, который управляет этим оборудованием и осуществляет все необходимые операции для обеспечения его бесперебойной работы при выпуске печатной продукции высокого качества. Данный фактор обуславливает рост требований к качеству подготовки работающих специалистов, а именно: качество теоретических знаний и практических навыков, умение правильно реагировать на внештатные ситуации.

Для поддержки высокого уровня подготовки специалистов, учреждениям, которые занимаются их выпуском и повышением уровня квалификации, необходима не только соответствующая теоретическая база, но и эффективные инструменты для проверки знаний и навыков. На сегодняшний день электронные тренажеры и симуляторы являются одним из оптимальных средств обучения, которые также минимизируют финансовые затраты на процесс обучения без ущерба его качеству.

Целью исследования является разработка концепции создания и использования электронного тренажера, который соответствует современным нормам рассматриваемой отрасли, для приобретения и

улучшения навыков работы с листовыми печатными офсетными машинами. Разработанный по данной концепции тренажер будет применяться для:

- обучения операторов печатных машин;
- повышения уровня квалификации наладчиков и ремонтников печатного оборудования;
- тестирования и повышения квалификации работающих операторов печатных машин;
- сокращения сроков перехода операторов на новое оборудование с минимальными материальными затратами.

## II. Анализ проблемы

На сегодняшний день существует несколько электронных тренажеров для полиграфической отрасли [1]. Однако в данных тренажерах изначально имитируют работу одной или нескольких машин. При развитии отрасли создается новое оборудование, что вызывает необходимость разрабатывать и выпускать новые версии уже существующих программ, или дополнений к ним.

Исходя из вышесказанного, тренажер должен иметь возможность создания и редактирования учебных классов, печатных машин, их модулей, а также алгоритмов их работы без вмешательства в программный код самого приложения. Это позволит обеспечить постоянную поддержку актуальности теоретической базы.

Обширные возможности изменения виртуальных классов, должны быть подкреплены возможностями мониторинга процесса лабораторной работы и сбора статистики. Это позволит улучшать качество процесса обучения и виртуальной модели оборудования согласно стандарту ISO 9001 [2]. Согласно которому управление качеством это непрерывный циклический процесс, каждая итерация которого состоит из нескольких этапов. На рисунке 1 изображен цикл Деминга-Шухарта, которым можно проиллюстрировать данный процесс [3].

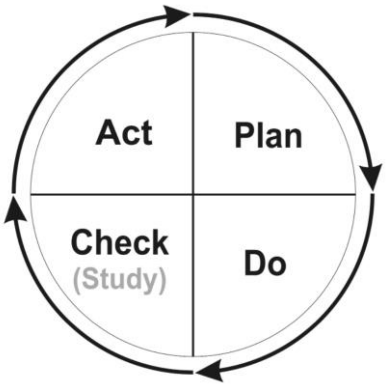



Fig. 1. Цикл Деминга-Шухарта

## III. Разработка структуры СПО

Как уже упоминалось ранее, отличительной чертой данного тренажера от его аналогов в данной отрасли должно стать наличие встроенных редакторов, которые позволяют самостоятельно создавать виртуальные классы и сохранять их конфигурации в специальных файлах. При этом обеспечить средства чтения данных файлов, воспроизведения, а на их основе, виртуальных классов и проведения практического занятия или лабораторной работы. Структура вышеописанного механизма проиллюстрирована на рисунке 2.

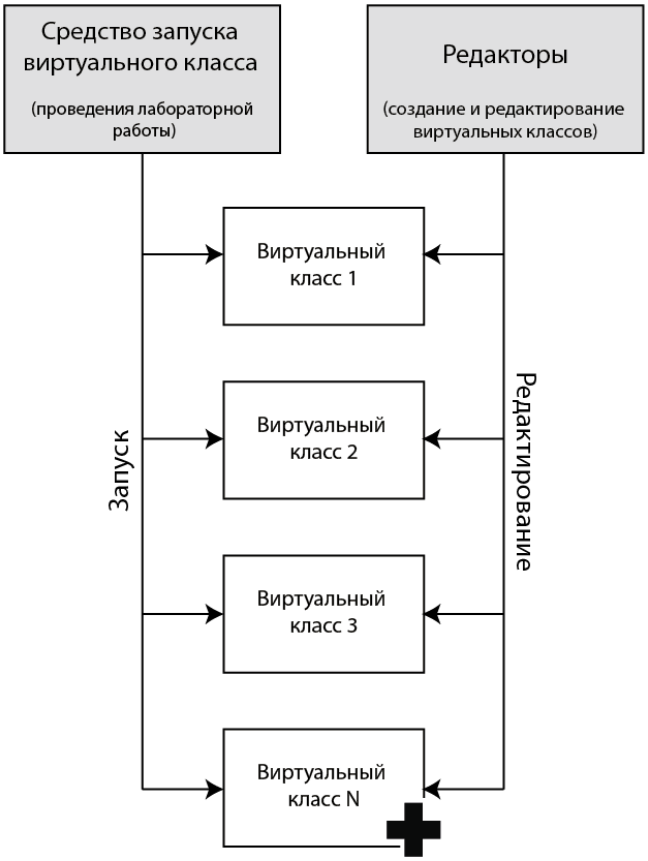



Fig. 2. Структура механизма создания и запуска виртуальных классов

Электронный тренажер, должен иметь клиент-серверную архитектуру, что упростит процесс доступа к виртуальным классам и обновленной информации, а также упростит процесс распространения теоретических сведений, обучения, проверки результатов и ведения статистики [4-6]. Ниже указаны обязательные модули, которые должен включать тренажер, для выполнения всех вышеописанных задач:

- встроенные редакторы алгоритмов и объектов, которые используются для проведения лабораторных работ;
- хранилища файлов генерируемых встроенными редакторами;
- средства проведения лабораторных работ;

- базы данных с информацией об учебных группах , учащихся, тестируемых и их оценках;
- средства для анализа статистических данных, а также их графического и табличного представления.

При помощи встроенных редакторов пользователи могут создавать собственные виртуальные классы, оборудование и алгоритмы их работы. Эти данные затем формируются в скрипты и хранятся в специальных хранилищах. При работе с редактором можно будет пользоваться текстовым редактором скрипта и графическим интерфейсом редактора. Приложение должно обязательно иметь три редактора:

- редактор виртуального класса;
- редактор оборудования;
- редактор алгоритма общего технологического процесса.

Редактор виртуального класса используется для создания внешнего вида класса и набора оборудования, стоящего в нем, а также для редактирования сценариев работы, которые выполняются в различное время и с определенной вероятностью. Кроме этого в данном редакторе указывается алгоритм технологического процесса печати и целевое изображения, которое необходимо напечатать.

Редактор модулей оборудования используется для создания виртуальной модели оборудования или его модуля, который может функционировать как самостоятельная единица. Данный редактор должен иметь возможность создания:

- внешнего вида оборудования, которое отображается в виртуальном классе;
- внутреннего вида оборудования, которое позволяет взаимодействовать напрямую с составными частями и внутренними механизмами оборудования;
- панели управления, которая имитирует панель управления реального прототипа оборудования;
- узлов оборудования, которое представляет собой иерархический список всех узлов с их описанием;
- списка возможных неполадок;
- списка возможных действий с оборудованием.

Все вышеперечисленные сущности должны быть связанны между собой, чтобы обеспечить целостность модели оборудования. В редакторе должна существовать возможность указания действий, которые может выполнять пользователь с оборудованием и условия, при которых возникают те или иные изменения.

Редактор алгоритма общего технологического процесса используется для редактирования основного алгоритма работы, который будет применяться для виртуального моделирования процесса работы и качества итогового изделия (в данном случае – напечатанного изображения).

При старте лабораторной работы программа будет формировать виртуальный класс из соответствующих компонентов, созданных во встроенных редакторах. Виртуальный класс будет работать по указанным алгоритмам. После завершения работы вся история и итоговые оценки будут записаны в базы данных.

При помощи средств графического и табличного представления статистики преподаватели смогут оценить работу испытуемых и сделать соответствующие выводы. На основе данных выводов они могут изменить виртуальные классы, системы оценивания, изучаемый материал и планы дисциплин.

## IV. СТРУКТУРА ОБЪЕКТА

Виртуальный класс включает в себя алгоритм технологического процесса и расчета оценки действий испытуемого, сценарии, которые запускаются в различное время проведения лабораторной работы, а также перечень оборудования. Детальная структура класса показана на рисунке 3.

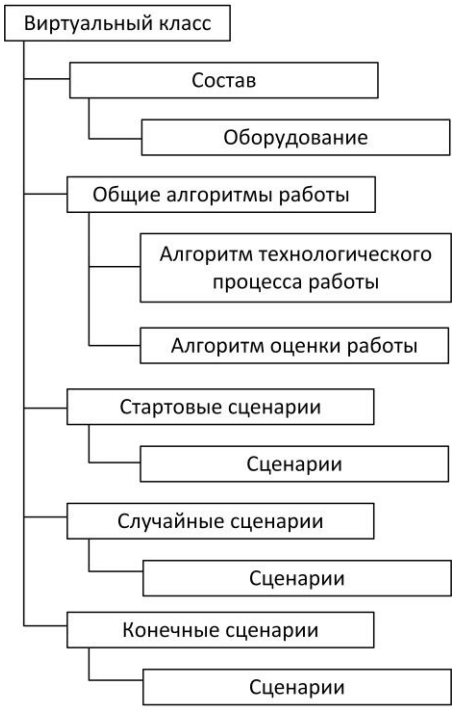



Fig. 3. Схема структуры объекта «Виртуальный класс»

Объект «Оборудование» служит для формирования виртуальной модели реального оборудования, его структуры, внешнего вида и алгоритма работы. Данный объект имеет структуру, созданную на основе требований к возможностям редактора и приведенную на рисунке 4.

Вешний вид содержит в себе информацию, которая необходима для построения внешнего вида оборудования и его структурных единиц, и

информацию для управления изменением внешнего вида на протяжении работы оборудования.

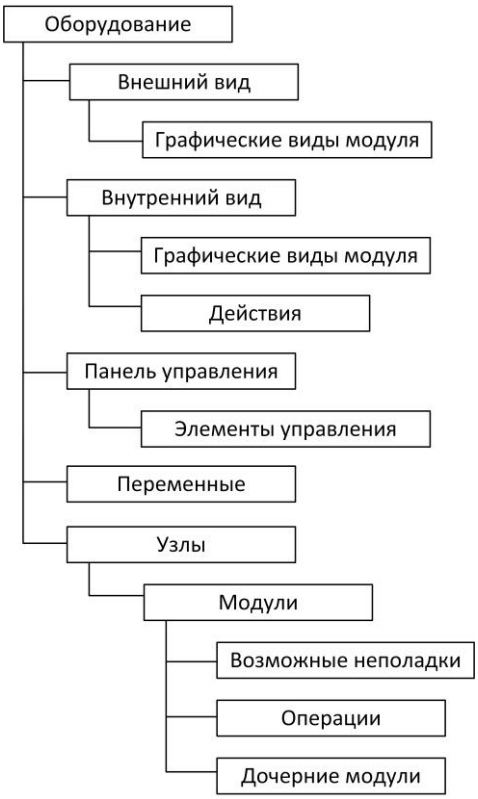



Fig. 4. Схема структуры объекта «Оборудование»

Внутренний вид содержит в себе информацию для построения внутреннего вида оборудования, его модулей и составных частей, алгоритма изменения внешнего вида внутренних модулей. Также в этой части содержатся операции, которые могут быть произведены с составными частями оборудования. Часть «Внутренний вид» служит для имитации починки и наладки оборудования путем манипуляций с его механизмами работы, такими как: смазка узлов, замена ремней и т.д.

Панель управления содержит в себе элементы внешнего интерфейса устройства, которые доступны пользователю, такие как кнопки, рычаги, панели индикаторов и т.д. Путем анализа показателей на панелях индикатора и манипуляций с элементами управления пользователь может влиять на работу оборудования. Часть «Панель управления» необходима для имитации работы оператора с оборудованием при помощи внешней панели.

Часть «Узлы» содержит в себе структурное описание всех модулей, которые составляют оборудование, в текстовой форме. Кроме этого каждый модуль в данной части может содержать дочерние модули, доступные операции и возможные неполадки также в форме текстового описания. Данный подход предоставляет альтернативный путь для имитации оборудования и его работы, который не предполагает графического описания, что позволяет сэкономить время и средства при создании тренажера. Также возможно дополнять графическое описание, содержащееся в предыдущих модулях, более детальным текстовым описанием.

Часть «Переменные» содержит в себе все переменные, которые влияют на работу оборудования. С данными переменными связываются все предыдущие части и их компоненты, что позволяет путем манипуляции отслеживать значения переменных и управлять им. Данная часть представляет собой контейнер, содержащий все переменные, влияющие на работу оборудования, что позволяет корректное построение оборудование и его отладку в редакторе.

## V. Выводы

Тренажер позволит обучающему персоналу самостоятельно создавать и конфигурировать виртуальные классы, модели оборудования и алгоритмы их работы используя встроенные редакторы. Инструкторы и преподаватели смогут проводить занятия удаленно, затем собирать статистику, изучать ее и, в зависимости от результатов, переконфигурировать классы. Это позволит повышать качество обучения и тестирования навыков.

Разрабатываемый электронный тренажер может быть использован в преподавании следующих дисциплин:

- введение в специальность «Издательско-полиграфическое дело»;
- основы технологии полиграфического производства;
- технологиии и оборудование печатных и послепечатных процессов;
- основы эксплуатации полиграфического оборудования;
- узлы и механизмы полиграфического оборудования.

Данный тренажер может быть применен в политехнических и высших учебных заведениях, центрах повышения квалификации и на полиграфических предприятиях.

## Литература References


[1] “Sinapse Print - Training Simulators & Software for the Printing Industry” [Online]. Available: http://www.sinapseprint.com/

[2] ISO 9001:2015, Quality management systems – Requirements

[3] Деминг Э. Выход из кризиса / У. Эдвардс Деминг ; [пер. С англ. Г. Чебриков] – Тверь : Альба, 1994. – 498 с. – Перевод изд. W. Edwards Deming. Out of the Crisis (Cambridge, MA : MIT Press, 1986). – ISBN 5-87381-018-4.

[4] Reengineering relational database on analysis functional dependent attribute Authors Filatov, V., Radchenko, V. Year the Document was Publish 2015 Source of the Document Proceedings of the International Conference on Computer Sciences and Information Technologies, CSIT 2015 c. 85-87

[5] ISO/IEC/IEEE 24765:2010 Systems and software engineering – Vocabulary

[6] ISO/IEC 2382-1:1993, Information technology – Vocabulary – Part 1: Fundamental terms.

# Моделювання Обсягів Ресурсів щодо Ліквідації Надзвичайних Ситуацій в Умовах Невизначеності

Ігор Чуб, Юлія Михайловська
Кафедра пожежної профілактики в населених пунктах
Національний університет цивільного захисту України
Харків, Україна
igorchub1959@gmail.com

# Modelling Resource Amounts in Emergency Management under Uncertainty

Igor Chub, Julia Mikhailovskaya
Department of Fire prevention in settlements
National University of Civil Defence of Ukraine
Kharkiv, Ukraine
igorchub1959@gmail.com

***Анотація*–Розглядається структура інформаційного поля щодо характеристик та локації можливої надзвичайної ситуації техногенного характеру. Пропонується підхід до формалізації якісних та кількісних ознак інформації за допомогою апарату нечітких множин.**

***Abstract*–The structure of the information field concerning the characteristics and location of a possible emergency situation of anthropogenic nature is considered. The approach to formalization of qualitative and quantitative information with the help of the apparatus of fuzzy sets is offered.**

***Ключові слова*–надзвичайна ситуація, ресурсне забезпечення, нечітка логіка, невизначеність в прийнятті рішень**

***Keywords*–emergency situation, resource support, fuzzy logic, uncertainty in decision making**

## I. Вступ

Ключовою складовою задачі планування організації, координації, розподілу ресурсних (матеріальних, фінансових, інформаційних) потоків в процесі ліквідації надзвичайної ситуації техногенного характеру (ТНС) та мінімізації її наслідків є визначення величини потреби у ресурсах в районах, постраждалих від ТНС, далі – множина $\wp=\{\wp_i\}_{i\in I}$ пунктів доставки. При цьому обсяги ресурсів щодо ймовірної ТНС мають бути оцінені заздалегідь, тому що незадоволена потреба у ресурсах або критичне запізнення стає причиною втрати людських життів, шкоди здоров'ю, породжує значні матеріальні, фінансові, психологічні збитки. Тому важливим є визначення раціонального підходу в оцінюванні ресурсів територіальної підсистеми системи техногенної безпеки регіону (ТП СТБР) у тому числі як бази для підготовки, у разі необхідності, доставки відповідного обладнання та вантажів з інших, можливо, віддалених, локацій.

В даній роботі розглядається побудова та реалізація підходу щодо оцінки обсягів ресурсного забезпечення ліквідації ТНС із застосуванням апарату нечітких множин і нечіткої логіки [1].

## II. Формалізація інформації про типи ресурсного забезпечення надзвичайної ситуації

В роботі [2] формалізовано типи ресурсів щодо локалізації та ліквідації ТНС таким чином:

- ресурси $\Omega$ в кількостях

$$(\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_m, \ldots, \theta_M),\ \theta_m=\sum_{i=1}^{I}\theta_{mi}\ ,$$

  життєзабезпечення району, постраждалого від ТНС,

- ресурси ТП СТБР $R=(r_1, r_2,\ldots, r_N)$, необхідних для локалізації та ліквідації ТНС.

Таким чином, потреба у ресурсах є багатофакторною характеристикою $A=\{\Omega,\ R\}$, $card(A) = £ = M + N$. Компоненти оцінки $A$ можуть мати відмінну природу,

наприклад, є випадковими величинами, що задаються відмінними функціями розподілу (функціями щільності). У загальному випадку навіть ці ймовірнісні характеристики відсутні, тому дана задача не припускає постановку як класична детермінована або ймовірнісна задача дослідження операцій. Особа, що приймає рішення (ОПР), має приймати рішення в умовах невизначеності інформації. Причому інформаційна невизначеність супроводжує ОПР як на етапі прийняття стратегічного рішення щодо обсягів необхідних ресурсів – до настання ТНС, зважаючи на характеристики можливої надзвичайної ситуації та оточуючого середовища, так і на етапі реагування на ТНС, що відбулась, і ліквідації її наслідків. У першому випадку невизначеність при прийнятті рішення можна класифікувати як стратегічну, у другому випадку – це оперативна невизначеність, джерелом якої є певна часова затримка в прийнятті рішення, бо ситуація у зоні ТНС неперервно змінюється, і реакція ОПР на перебіг подій є такою, що об'єктивно запізнюється.

Позначимо через $P$ множину властивостей можливої ТНС і оточуючого середовища. Тоді визначення оцінки $A$ необхідного обсягу кожного виду ресурсного забезпечення є дворівневою задачею. На так званому стратегічному рівні з урахуванням рівня небезпеки, тобто поточного рівня техногенної безпеки регіону визначається оцінка $A_{страт}$

$$A_{страт} = F(P),$$

де $F$ – оператор, що ставить у відповідність певному набору значень елементів множини $P$ набір значень елементів множини $A$.

На другому, оперативному рівні прийняття рішення, в період локалізації ТНС та ліквідації її наслідків оцінка $A_{страт}$ уточнюється:

$$A^* = A_{страт} \pm \Delta A_{пот},$$

та визначаються, у разі необхідності, обсяги додаткових ресурсів $\Delta A_{пот}$ (рис.1).

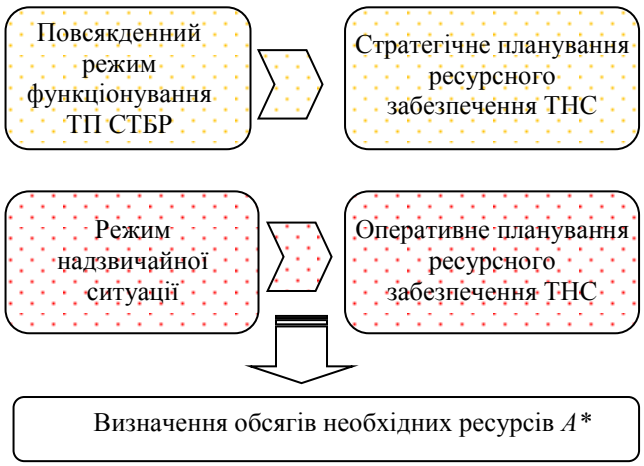



Рис. 1 Процедура прийняття рішення щодо ресурсного забезпечення

Очевидно, структурна ідентифікація оператора $F$ ускладнюється як нечітким (не детермінованим) механізмом виведення, так і об'єктивно нечіткою природою характеристик $P$. Таким чином, виникає необхідність залучення та формалізації знань експертів з надзвичайних ситуацій техногенного характеру на всіх етапах перебігу ТНС. Зазначимо також, що ОПР має оперувати з великими обсягами як кількісної, так і якісної інформації. На цей час арсенал інструментальних засобів обробки інформації такого виду містить значну кількість різноманітних підходів, таких як інтервальні обчислення, м'які обчислення тощо. Проведений аналіз сучасних методик у контексті наявних характеристик реальних систем і процесів функціонування ТП СТБР дозволив здійснити вибір на користь побудови та реалізації підходу щодо оцінки обсягів ресурсного забезпечення ліквідації ТНС із застосуванням апарату нечітких множин і нечіткої логіки [1].

## III. Формалізація інформації про характеристики надзвичайної ситуації

При побудові моделі процесу ресурсного забезпечення ТНС із застосуванням нечіткомножинного підходу і апарату нечіткої логіки всі вхідні (множина характеристик ТНС та особливостей локації її виникнення) і вихідні (множина рівнів ресурсного забезпечення процесу локалізації і ліквідації ТНС) змінні задаються як лінгвістичні [3]. Загалом лінгвістична змінна включає її ім'я $P$, а також множину допустимих значень або терм-множину $T$, кожний елемент $t$ якої (терм) є нечіткою множиною з функцією приналежності $\mu_t(x)$, заданій на універсальній множині $U$, $x \in U$. Значення $\mu_t(x)$ задають супінь приналежності елементу $x$ множині $t$: $\mu_t(x) \rightarrow [0,1]$. Крім того, визначається множина певних синтаксичних правил $G$, за якими формуються назви термів, та семантичні правила $M$, що задають функції приналежності нечітких термів, які породжені породжених синтаксичними правилами $G$.

В роботі визначені групи властивостей $P_k \supset P$, $k=1,2,...,K$, $card(P) = \sum_{k=1}^{K} cardP_k$, що характеризують різні аспекти ТНС та оточуючого середовища, сформовані вхідні змінні (терм-множини), терми та їх опис. Чинники $P_k$ – це групи властивостей власне ТНС та оточуючого середовища, які впливають на визначення рівнів ресурсного забезпечення процесу локалізації та ліквідації наслідків ТНС. Терми означають рівень реалізації чинника, що задається відповідною вхідною змінною. Даний опис виконаний у відповідності із Класифікатором надзвичайних ситуацій ДК 019:2010 [2]. Групи вхідних змінних $P_k$, що описують зону ТНС, є такими:

- $P_1$ – Тип ТНС;
- $P_2$ – Метричні характеристики зони ТНС;
- $P_3$ – Тип забруднення Інгридієнтне (Хімічне);
- $P_4$ – Тип забруднення Параметричне (Фізичне)
- $P_5$ – Тип забруднення Біоценотичне;

- $P_6$ – Характеристики забудови зони ТНС;
- $P_7$ – Параметри транспортної інфраструктури;
- $P_8$ – Характеристики населення;
- $P_9$ – Природно-ланшафтні властивості;
- $P_{10}$ – Рівень техногенної безпеки регіону;
- $P_{11}$ – Наслідки ТНС.

Фрагмент формалізації груп властивостей надано в Табл.1.

TABLE I. ВХІДНІ ДАНІ В НЕЧІТКІЙ НОТАЦІЇ

| Позначення чиннику | Терм-множина | Терми | Опис |
|---|---|---|---|
| $P_1$ – Тип ТНС | | | |
| $p_{11}$ | Хімічна | [0,1]<br>[1,1;2]<br>[2,1;3] | Місцевий рівень ТНС<br>Регіональний рівень ТНС<br>Державний рівень ТНС |
| … | … | … | … |
| $P_2$ – метричні характеристики зони ТНС | | | |
| $p_{21}$ | Площа ураженої території | [0;100]<br>[101;500]<br>[500;∝] | Мала<br>Середня<br>Велика |
| … | … | … | … |
| $P_3$ –Тип забруднення Інгридієнтне (Хімічне) | | | |
| $p_{31}$ | Забруднення повітря: хлор | [0;100]<br>[101;500]<br><br>[500;∝] | Припустима домішка<br>Гранично припустима концентрація<br>Токсична концентрація |
| … | … | … | … |

При визначенні значень термів частину терм-множин сформовано на основі нормативних документів та довідкової інформації. Інша частина терм-множин визначалась на основі обробки результатів експертних опитувань. Крім того, з метою визначення основних типів W = {w1,..., wS} техногенної небезпеки, характерних для регіонів України, був проведений аналіз кількості і масштабів техногенних аварій за останні роки, а також потенційно небезпечних об'єктів [4]. В процесі фазифікації вхідних змінних $p_{ki}$ – семантичної процедури, що формує нечіткі множини для кожного терма $t_{ki}$ даної лінгвістичної змінної, отримано функції $\mu_{t_p}$ приналежності значень лінгвістичної змінної. Загалом це трапецієвідні функції приналежності. Крім того, за допомогою конструкцій «$p_{ki} \in t_{ki}$» будуються нечіткі лінгвістичні висловлення.

## IV. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО РІВНІ РЕСУРСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Приймемо таке базове припущення щодо типів ресурсів: типи ресурсного забезпечення вважаються незалежними і не взаємозамінними.

За такого припущення інформація A={Ω, *R*} про рівні ресурсного забезпечення ліквідації ТНС є масивом (матрицею) лінгвістичних змінних. Це означає, що вимірність простору рішень, в якому будується логіко-лінвістична система, оцінюється величиною добутка *card(A)* × *card(P)*. Далі використовуватимемо спрощений варіант моделі логіко-лінвістичної системи, відомий як нечітке виведення, що передбачає визначення однієї вихідної лінгвістичної змінної (в термінах поставленої задачі – одного виду ресурсного забезпечення). Такий підхід повністю узгоджений із суттю припущення щодо типів ресурсів та визначає ітераційний характер процесу розв'язання задачі оцінки обсягів ресурсного забезпечення ліквідації наслідків ТНС в цілому.

Формалізацію рівнів ресурсного забезпечення можна здійснювати як в абсолютному так і у відносному вимірах. В роботі проводиться аналіз та побудова підходу до відносного рівню ресурсного забезпечення ліквідації наслідків ТНС. Елементи множини ресурсів $A=\{\Omega, R\}$ мають різну розмірність, обсяги, термін використання тощо. Розглядаються дві групи ресурсів:

$$A=A_{просторове} \cup A_{населення}.$$

Рівні забезпечення $\{a^{qj}\}$, $j=1,2,...J_q$, ресурсів першої групи, що є нечіткими множинами вигляду $A^q_{просторове}$, $q=1,2,...,Q_1$, які нормалізуються щодо площі зони ТНС/зони наслідків ТНС. Рівні забезпечення $\{a^{qj}\}$, ресурсів другої групи – нечіткі множини вигляду $A^q_{населення}$, $q=1,2,...,Q_2$, $Q_1 + Q_2 = £$, нормалізуються щодо кількості населення в зоні ТНС/зоні наслідків ТНС.

На основі проведеної формалізації нечітких множин вхідних та вихідних змінних задачі побудовано нечітку базу знань, яка містить сукупність висловлювань вигляду

$$\bigcup_{k=1}^{K} \bigcup_{i=1}^{I_k} \left( \bigcap_{l=1}^{L_{ki}} \left( p_{ki} = t^l_{ki} \right) \right) \rightarrow \left( y^q = a^{qj} \right), \; j=1,2,...J_q, \; q=1,2,..., £,$$

які застосовуються далі при побудові композиційного правилу виведення.

Нечітке логічне виведення дозволяє за допомогою нечіткої бази знань та операцій над нечіткими множинами побудувати апроксимацію залежності $A_i = F(P_1,...,P_{11})$, яка дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення з питань локалізаці/ліквідації НС та мінімізації її шкідливих наслідків.

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] A. Caufmann *Introduction a la theorie des sous-ensembles flus*. Masson:Paris-NewYork-Barcelona-Milan, 1977.

[2] *Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010.* Київ: Держспоживстандарт України, 2010.

[3] І.Чуб, Ю.Михайловська, М.Новожилова "Формалізація задачі ресурсного забезпечення ліквідації техногенної надзвичайної ситуації", Проблеми надзвичайних ситуацій, дип. 25. с. 153-158, 2017.

[4] *Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2016 році.* – К.: Український науково-дослідний інститут цивільного захисту ДСНС України, 2017.

## СЕКЦІЯ 6. ПРОГРАМНА ІНЖЕНЕРІЯ

## Section 6. Software engineering

# Towards The Ontology-Based Approach For Factual Information Matching

Nataliia Sharonova
Department of Intelligent Computer Systems
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"
Kharkiv, Ukraine
sharonova@kpi.kharkov.ua

Anastsiia Doroshenko
Department of Intelligent Computer Systems
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"
Kharkiv, Ukraine
doroshenkoanastasiia@gmail.com

Olga Cherednichenko
Department of System Engineering and Management Information Systems
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"
Kharkiv, Ukraine
olha.cherednichenko@gmail.com

***Abstract*— Factual information is information based on facts or relating to facts. The reliability of automatically extracted facts is the main problem of processing factual information. The fact retrieval system remains one of the most effective tools for identifying the information for decision-making. In this work, we explore how can natural language processing methods and problem domain ontology help to check contradictions and mismatches in facts automatically.**

***Keywords*— *fact; natural language processing; information extraction; ontology; reference model; software***

## I. INTRODUCTION

Today, the fact retrieval system is one of the most effective tools for identifying information for decision-making. When you refer to something as a fact you mean that you think it is true or correct. Factual information is information based on facts or relating to facts. The reliability of automatically extracted facts is the main problem of processing factual information. It is especially important because of increasing density of text information flow in mass media and various social networks, forums and blogs [1, 2]. Different interpretations of the same phenomenon, as well as the inconsistency, inaccuracy or mismatch in information coming from different sources lead to the task of factual information extraction.

Despite the widespread use of multimedia, text remains one of the main types of information in most electronic stores [3, 4]. The development of effective approaches to the processing of texts for the purpose of filtering, forming a semantic portrait, navigating through the text database is one of the most topical areas of modern information technology. Factual information is a collection of factual facts, factual data, factual records, and so on. In turn, the concept of fact is understood as any information that, after removing them from the context, retains an independent meaning.

Facts should be distinguished from data that fixes the specifics of the object, the conditions of observation, etc. The concept of the scientific fact presupposes the elimination of such information, that is, it requires a certain generalization of the direct data. However, it is noted that there is no clear distinction between these. Only knowledge that has withstood a critical test, that is, obtained as a result of generalization and processing of data by abstract-logical thinking (of course, one must, be given the account that the attainment of absolutely reliable knowledge is only an ideal of the development of science, is practically unattainable).

Based on the fact definition [5, 6], it is possible to define the minimal semantic unit of factual search, which is a triad: agent-predicate-value. That is, the record of factual information must include a pointer to the fact search agent, the attribute or predicate of this object, and give a specific value of this attribute.

Such a definition makes it possible to extract concepts from weakly structured text sources of information and to represent relations between them in a structured way. The resulting structure is facts, both in the form of fairly simple concepts: keywords, personalities, organizations, geographical names, and in a more complex form, for example, the name of the person with her job and occupation.

## II. STATE OF THE ART

There are number of approaches to information extraction from natural language texts [7, 8]. We can highlight lack of automated semantic understanding and low consistency of extracted facts.

Machine-learning models can be broadly classified as either generative or discriminative. Generative methods seek to create rich models of probability distributions and are so called because, with such models, one can 'generate' synthetic data. Discriminative methods are more utilitarian, directly estimating posterior probabilities based on observations. Compared to generative models, which can become intractable when many features are used, discriminative models typically allow the use of more features. Logistic regression and conditional random fields (CRFs) are examples of discriminative methods, while Naive Bayes classifiers and hidden Markov models (HMMs) are examples of generative methods.

Some common machine-learning methods used in natural language processing (NLP) tasks, and utilized by several articles in this issue [9, 10, 11], are summarized further.

Support vector machines (SVMs), a discriminative learning approach, classify inputs (eg, words) into categories (eg, parts of speech) based on a feature set. The input may be transformed mathematically using a 'kernel function' to allow *linear separation* of the data points from different categories. That is, in the simplest two-feature case, a straight line would separate them in an X–Y plot: in the general N-feature case, the separator will be an (N−1) hyperplane. The commonest kernel function used is a Gaussian (the basis of the 'normal distribution' in statistics). The separation process selects a *subset* of the training data (the 'support vectors'-data points closest to the hyperplane) that best differentiates the categories. The separating hyperplane maximizes the distance to support vectors from each category (as you can see on the slide).

An HMM is a system where a variable can switch (with varying probabilities) between several states, generating one of several possible output symbols with each switch (also with varying probabilities). The sets of possible states and unique symbols may be large, but finite and known. We can observe the outputs, but the system's internals (ie, state-switch probabilities and output probabilities) are 'hidden.' Main problems are:

*1)* Inference: given a particular sequence of output symbols, compute the probabilities of one or more candidate state-switch sequences.

*2)* Pattern matching: find the state-switch sequence most likely to have generated a particular output-symbol sequence.

*3) Training:* givem examples of output-symbol sequence data, compute the state-switch/output probabilities that fit this data best.

Naive Bayesian reasoning extended to sequences; therefore, HMMs use a generative model. To solve these problems, an HMM uses two simplifying assumptions (which are true of numerous real-life phenomena):

*1)* The probability of switching to a new state (or back to the same state) depends on the previous N states. In the simplest 'first-order' case (N=1), this probability is determined by the current state alone. (First-order HMMs are thus useful to model events whose likelihood depends on what happened last.)

*2)* The probability of generating a particular output in a particular state depends only on that state.

These assumptions allow the probability of a given state-switch sequence (and a corresponding observed-output sequence) to be computed by simple multiplication of the individual probabilities. Several algorithms exist to solve these problems. The highly efficient Viterbi algorithm finds applications in signal processing, for example, cell-phone technology.

Theoretically, HMMs could be extended to a multivariate scenario, but the training problem can now become intractable. In practice, multiple-variable applications of HMMs (eg, NER) use single, artificial variables that are uniquely determined composites of existing categorical variables: such approaches require much more training data.

HMMs are widely used for speech recognition, where a spoken word's waveform (the output sequence) is matched to the sequence of individual phonemes (the 'states') that most likely produced it. HMMs also address several bioinformatics problems, for example, multiple sequence alignment and gene prediction. Eddy provides a lucid bioinformatics-oriented introduction to HMMs, while Rabiner (speech recognition) provides a more detailed introduction.

Commercial HMM-based speech-to-text is now robust enough to have essentially killed off academic research efforts, with dictation systems for specialized areas - eg, radiology and pathology-providing structured data entry. Phrase recognition is paradoxically more reliable for polysyllabic medical terms than for ordinary English: few word sequences sound like 'angina pectoris,' while common English has numerous homophones (eg, two/too/to).

CRFs are a family of discriminative models first proposed by Lafferty et al. An accessible reference is Culotta ; Sutton and McCallum is more mathematical. The commonest (linear-chain) CRFs resemble HMMs in that the next state depends on the current state (hence the 'linear chain' of dependency).

CRFs generalize logistic regression to sequential data in the same way that HMMs generalize Naive Bayes. CRFs are used to predict the state variables ('Ys') based on the observed variables ('Xs'). For example, when applied to NER, the state variables are the categories of the named entities: we want to predict a sequence of named-entity categories within a passage. The observed variables might be the word itself, prefixes/suffixes, capitalization, embedded numbers, hyphenation, and so on. The linear-chain paradigm fits NER well: for example, if the previous entity is 'Salutation' (eg, 'Mr/Ms'), the succeeding entity must be a person.

The relationship between Naive Bayes, logistic regression, hidden Markov models (HMMs) and conditional random fields (CRFs). Logistic regression is the discriminative-model counterpart of Naive Bayes, which is a generative model. HMMs and CRFs extend Naive Bayes and logistic regression, respectively, to sequential data (adapted from Sutton and

McCallum). In the generative models, the arrows indicate the direction of dependency.

CRFs are better suited to sequential multivariate data than HMMs: the training problem, while requiring more example data than a univariate HMM, is still tractable.

An ‘N-gram’ is a sequence of N items-letters, words, or phonemes. We know that certain item pairs (or triplets, quadruplets, etc) are likely to occur much more frequently than others. For example, in English words, U always follows Q, and an initial T is never followed by K (though it may be in Ukrainian). In Portuguese, a Ç is always followed by a vowel (except E and I). Given sufficient data, we can compute frequency-distribution data for all N-grams occurring in that data. Because the permutations increase dramatically with N-for example, English has 26^2 possible letter pairs, 26^3 triplets, and so on-N is restricted to a modest number. Google has computed word N-gram data (N≤5) from its web data and from the Google Books project, and made it available freely.

N-grams are a kind of multi-order Markov model: the probability of a particular item at the $N^{th}$ position depends on the previous $N^{-1}$ items, and can be computed from data. Once computed, N-gram data can be used for several purposes:

*3)* Suggested auto-completion of words and phrases to the user during search, as seen in Google's own interface.

*4)* Spelling correction: a misspelled word in a phrase may be flagged and a correct spelling suggested based on the correctly spelled neighboring words, as Google does.

*5)* Speech recognition: homophones (‘two’ vs ‘too’) can be disambiguated probabilistically based on correctly recognized neighboring words.

*6)* Word disambiguation: if we build ‘word-meaning’ N-grams from an annotated corpus where homographs are tagged with their correct meanings, we can use the non-ambiguous neighboring words to guess the correct meaning of a homograph in a test document.

N-gram data are voluminous - Google's N-gram database requires 28 GB but this has become less of an issue as storage becomes cheap. Special data structures, called N-gram indexes, speed up search of such data. N-gram-based classifiers leverage raw training text without explicit linguistic/domain knowledge; while yielding good performance, they leave room for improvement, and are therefore complemented with other approaches.

Algebra of finite predicates is used as a mathematical tool for describing discrete, determinate and finite objects or processes of the real world [12, 13]. We use this math scheme to represent knowledge extracted from natural language texts: text information objects; the entity of the subject domain, grammatical and semantic characteristics of the text units.

According to the specific task we can form subsets from the elements of the universe of processing information. On Cartesian products of these subsets we can define relations between elements. We use predicate function to model these relations. The core point of the proposed approach is the predicate of recognition.

Despite of existing data extraction solutions the task of extracting facts still is not solved.

## III. RESULTS

In general, the isolation of facts from poorly structured textual information includes the following stages [14]:

*1)* Entity Extraction - extraction of words or phrases that are important for describing the meaning of the text (lists of terms of the subject domain, personalities, organizations, geographical names, etc.);

*2)* Feature Association Extraction - research of connections between the extracted concepts;

*3)* Event and Fact Extraction - extraction of essences, recognition of facts and actions.

And since for the construction of the triad of factual information it is necessary to select entities represented in the texts under different names, then the stage of resolving the co-reference resolution of the syntactic analysis, to determine the synonyms, the entities of interest, acquires special significance.

At this stage, such pronouns as "he", "she", "they", "him", etc. should be associated with their antecedents, correlated them with the name of the essence of the given subject area.

The central task of obtaining factual information is the second stage of processing, which is the extraction of information about the relationships between entities.

At the same time, in order to extract a certain fact, it is necessary to define a certain template that reflects semantic (or conceptual) links in the sentence. To specify such semantic relations it is proposed to use the grammar of semantic cases. For this purpose it is necessary to develop a rigorous model that links the information contained in the definition of semantic roles with elements of the surface structure of sentences of natural language.

We suggest a model of facts extracting based on the method of comparator identification. This method represents the extraction process as a human intelligent activity since a human looking through a text can easily determine whether it corresponds to the template or not and catch attributes of a fact. It is based on the relation between the words and the location of these words in the text. The page estimation is based on a data source model. The presence of different combinations of words in different combinations of elements of the web page is estimated.

We can propose the reference model to factual information retrieval and analysis. The main concepts are facts that are some knowledge about real-world objects, web-pages which contain text, indicators for representing attributes, and values of those attributes. The appropriate models must formalize the factual data processing.

In recent years the development of ontologies (explicit formal specifications of the terms in the domain and relations among them) has been moving from the realm of Artificial-Intelligence laboratories to the desktops of domain experts [12]. Ontologies have become common on the World-

Wide Web. The ontologies on the Web range from large taxonomies categorizing Web sites to categorizations of products for sale and their features.

Ontology defines a common vocabulary for researchers who need to share information in a domain. It includes machine-interpretable definitions of basic concepts in the domain and relations among them. Ontology together with a set of individual instances of classes constitutes a knowledge base.

Ontology is typically built in more-or-less the following manner [15, 16]:

*1)* acquire domain knowledge. Assemble appropriate information resources and expertise that will define, with consensus and consistency, the terms used formally to describe things in the domain of interest. These definitions must be collected so that they can be expressed in a common language selected for the ontology;

*2)* organize the ontology. Design the overall conceptual structure of the domain. This will likely involve identifying the domain's principal concrete concepts and their properties, identifying the relationships among the concepts, creating abstract concepts as organizing features, referencing or including supporting ontologies, distinguishing which concepts have instances, and applying other guidelines of your chosen methodology;

*3)* flesh out the ontology. Add concepts, relations, and individuals to the level of detail necessary to satisfy the purposes of the ontology;

*4)* check your work. Reconcile syntactic, logical, and semantic inconsistencies among the ontology elements. Consistency checking may also involve automatic classification that defines new concepts based on individual properties and class relationships;

*5)* commit the ontology. Incumbent on any ontology development effort is a final verification of the ontology by domain experts and the subsequent commitment of the ontology by publishing it within its intended deployment environment.

There are some engineering tools for developing ontologies, which have to be considered. It is possible to conclude, that Protégé [17] is the best tool for creating and supporting ontologies.

## IV. CONCLUSION

Factual analysis of the text is designed to make possible the intellectual analysis of data extracted from the text flow. The solution of this task should lead to a synergistic effect, to the possibility of using existing information technologies.

To sum up, we can say that factual analysis is a rather complex system that has great potential and functionality. The tasks are designed to facilitate the work of analysts, to carry out filtration as well as structuring of huge volumes of information, which in our time are one of the main tasks of a person.

As a result, we can underline that the task of identifying instances, relations, events and their relevant properties in natural language texts is still a pressing issue. In general, we consider two kinds of facts. Despite existing data extraction solutions the task of extracting facts has not been solved yet. We propose to use predicate algebra and method of comparator identification to create a model of searching and extracting factual data.

## REFERENCES


[1] Álvaro Figueira, Luciana Oliveira, The current state of fake news: challenges and opportunities / Procedia Computer Science 121, 2017, pp. 817–825.

[2] Giovanni Luca Ciampaglia, Fighting fake news: a role for computational social science in the fight against digital misinformation / J Comput Soc Sc (2018) 1:147–153, https://doi.org/10.1007/s42001-017-0005-6

[3] E. Tacchini, G. Ballarin, M. L. Della Vedova, S. Moret and L. de Alfaro, "Some Like it Hoax: Automated Fake News Detection in Social Networks," Cornell University, New York, USA, 2017.

[4] B. Riedel, I. Augenstein, G. P. Spithourakis and S. Riedel, "A simple but tough-to-beat baseline for the Fake News Challenge stance detection task," Cornell University, New York, USA, 2017.

[5] Mauridhi Hery Purnomo et al., Biomedical Engineering Research in the Social Network Analysis Era: Stance Classification for Analysis of Hoax Medical News in Social Media / Procedia Computer Science 116, 2017, pp. 3–9.

[6] N. Rakholia and S. Bhargava, "“Is it true?” – Deep Learning for Stance Detection in News," Stanford University, California, USA, 2016.

[7] Khairova, N.F., Petrasova, S., Gautam, A.P.S.: The logical-linguistic model of fact extraction from English texts. In: Dregvaite, G., Damasevicius, R. (eds.) ICIST 2016. CCIS, vol. 639, pp. 625–635. Springer, Cham (2016).

[8] Khairova N., Lewoniewski W., Węcel K. (2017) Estimating the Quality of Articles in Russian Wikipedia Using the Logical-Linguistic Model of Fact Extraction. In: Abramowicz W. (eds) Business Information Systems. BIS 2017. Lecture Notes in Business Information Processing, vol 288. Springer, Cham

[9] Georg Rehm, An Infrastructure for Empowering Internet Users to Handle Fake News and Other Online Media Phenomena / An Infrastructure for Empowering Internet Users, 2017, pp. 216-231.

[10] N. J. Conroy, V. L. Rubin and Y. Chen, "Automatic Deception Detection: Methods for Finding Fake News," in Proceedings of the 78th ASIS&T Annual Meeting: Information Science with Impact: Research in and for the Community , Missouri, USA, 2015.

[11] Rubin, V., Conroy, N., and Chen, Y., Towards News Verification: Deception Detection Methods for News Discourse. 2015.

[12] Bondarenko M. F., Shabanov-Kushnarenko U. P. Theory of intelligence: a Handbook //SMIT Company, Kharkiv. – 2006.

[13] Nina Khairova, Natalia Sharonova. Use of Predicate Categories for Modelling of Operation of the Semantic Analyzer of the Linguistic Processor./Proceedinga of IEEE EAST-West Design & Test Symposium EWDTS'09 (2009).

[14] Sharonova N. et al. Issues of Fact-based Information Analysis / N. Sharonova, A. Doroshenko, O. Cherednichenko / Proc. 2nd Int. Conf. on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS), Volume I: Main Conference (Lviv, Ukraine, June 25-27, 2018). – CEUR-WS. – 2018. – Vol. 2136. – P. 11-19.

[15] Noy Natalya F. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology / Natalya F. Noy, Deborah L. McGuinness. — Stanford, California, Stanford University, 2001 – 25pp.

[16] Shvaiko Pavel. Ontology Matching / Pavel Shvaiko, Jerome Euzenat. — Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag, 2007 – 333pp.

[17] The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System // http://protege.stanford.edu

# Інструменти Квантових Обчислень. Мова Програмування Q#

Іван Божко
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
ivan.bozko@nure.ua

Григорій Четвериков
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
grigorij.chetverykov@nure.ua

# Quantum Computing Tools. The Q# Programming Language

Ivan Bozhko
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
ivan.bozhko@nure.ua

Grygoriy Chetverykov
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
grigorij.chetverykov@nure.ua

***Анотація*—У даній роботі розглядається сучасний стан існуючих інструментів для квантових обчислень, особлива увага приділяється мові програмування Q# як основного інструменту на сьогоднішній день.**

***Abstract*—This work deals with the current state of the existing tools for quantum computing, especially the Q# programming language as the main tool for this nowadays.**

***Ключові слова—квантові обчислення, квантовий комп'ютер, Q#, інструменти квантових обчислень.***

***Keywords—quantum computing, quantum computer, Q#, quantum computing tools.***

## I. Вступ

Квантові обчислення являють собою альтернативний підхід до автоматизованих обчислень за допомогою квантових комп'ютерів.

Незважаючи на розвиток досліджень у цій галузі сьогодні, вперше ідею квантових обчислень висловив радянський математик Ю.І. Манін ще у 1980 році в своїй відомій монографії «Обчисленне та необчисленне» [1]. Однак більший інтерес до даного виду обчислень виник лише у 1982 році після того, як американським фізиком-теоретиком Річардом Фейнманом було зауважено, що не всі квантово-механічні операції можна в точності переносити на класичний комп'ютер і більш ефективно здійснювати їх за допомогою квантових операцій.

Додаткової актуальності проблемі дослідження квантових обчислень додав математик Пітер Шор, який у 1994 році запропонував алгоритм, що дозволяє розкладати n-значне число на прості множники з поліноміальною складністю. На класичних комп'ютерах ця задача носить набагато більшу складність і не дозволяє отримати результат за задовільний час.

Оскільки дана задача є основою багатьох популярних криптографічних алгоритмів (наприклад, RSA) [2], можлива поява квантових комп'ютерів ставить під загрозу безпеку при обміні даними в мережі і після появи реального прототипу квантового комп'ютеру може стати загальносвітовою проблемою безпеки.

Отже, квантові обчислення є актуальними не тільки для наукових проблем моделювання квантових процесів, а також є актуальними для світу інформаційних технологій. З метою їх популяризації не тільки в науковому світі, але і серед розробників, створюються інструменти для спрощення роботи з квантовими алгоритмами, такі як мова програмування Q#, що розглядається в даній роботі.

## II. Існуючі інструменти квантових обчислень

За останні кілька років з ростом популярності досліджень з квантових обчислень почали з'являтися інструменти та емулятори квантових комп'ютерів, що дозволяють спробувати обчислення на практиці. Наведемо декілька популярних інструментів з описом.

### A. *Microsoft Quantum Development Kit*

Корпорація Microsoft випустила доступний для попереднього перегляду Quantum Development Kit, який містить нову квантову мову програмування Q#, інтеграцію з середовищем розробки Visual Studio, симулятори, які працюють як з локальною системою, так і з їх потужною хмарною платформою Azure, а також бібліотеками та зразками коду, які можуть використовуватися як конструктивні блоки.

### B. *IBM Quantum Experience*

IBM створила експериментальний квантовий процесор на 5 кубітів, що доступний користувачам через мережу Інтернет. На веб-сайті IBM Quantum Experience можна знайти короткий підручник, який пояснює основи квантових обчислень та інструкції щодо використання системи, налаштування інтерфейсів доступу до кубітів, симулятор, який дозволяє імітувати їх конфігурацію перед тим, як запустити її на фактичній машині, і доступ до самої машини, яка дозволяє запускати конфігурацію та переглядати результати.

### C. *Rigetti Forest*

Пакет Rigetti Forest складається з квантової мови інструкцій під назвою Quil, відкритої бібліотеки Python для побудови програм Quil під назвою pyQuil, бібліотеки квантових програм під назвою Grove і середовища моделювання, що називається QVM (Quantum Virtual Machine). pyQuil і Grove – це програми з відкритим кодом, доступні на Github. Користувачі можуть розробляти свої програми, використовуючи pyQuil і Grove на власному комп'ютері, а потім передавати їх QVM для моделювання через веб-портал, який доступний для зареєстрованих користувачів.

### D. *ProjectQ*

ProjectQ - це відкрите програмне забезпечення для квантових обчислень, реалізоване мовою Python. Це дозволяє користувачам реалізувати свої квантові програми мовою Python за допомогою потужного та інтуїтивного синтаксису. ProjectQ може потім транслювати ці програми на будь-яку серверну частину: симулятор, що працює на класичному комп'ютері, або квантовий комп'ютер (наприклад, з використанням IBM Quantum Experience). Інші апаратні платформи на даний момент не підтримуються.

Окрім зазначених інструментів, існують інші, такі як Cirq, Quirk, QuTiP, але вони є менш потужними ніж описані вище.

Як видно з опису існуючих рішень, більшість з них є доповненням до існуючих мов програмування (зокрема Python), однак враховуючи нову парадигму обчислень це може викликати складнощі при програмуванні алгоритмів за допомогою цих інструментів, тому більш гнучким та потужним рішенням є окрема мова програмування, яку на даний момент пропонує лише Microsoft.

Окремо необхідно виділити рішення від Intel з існуючим експериментальним квантовим комп'ютером, але воно вимагає виконання запитів до окремих кубітів через API, що ускладнює його використання.

## III. Мова Q#

Як було розглянуто вище, складовою частиною Microsoft Quantum Development Kit є мова Q#, спеціально розроблена для квантових обчислень. З точки зору програмної інженерії, таке рішення є найбільш цікавим, оскільки дозволяє абстрагуватися від парадигми класичних обчислень і класичних мов програмування та описувати квантовий алгоритм за допомогою спеціального синтаксису.

Розглянемо мову Q# детальніше.

### A. *Модель обчислень*

Згідно офіціальній документації Microsoft [3], квантовий комп'ютер слід розглядати як співпроцесор, аналогічно до графічних процесорів. Основна логіка додатків виконується на класичному комп'ютері, що називають хостом, який, в свою чергу, може викликати квантову підпрограму. Після виконання роботи підпрограми управління повертається основній програмі та вона продовжує своє виконання.

Таким чином, в даній моделі є три рівні обчислень:

- класичні обчислення, що готують дані для квантової програми;
- власне квантові обчислення;
- класичні обчислення, що викликаються для потреб квантової програми.

Необхідності розробляти усі три рівні обчислень одною мовою немає. Більше того, враховуючи особливості контрольних структур при квантових обчисленнях, комбінування різних мов для класичних та квантових частин програми буде семантично правильнішим.

### B. *Особливості мови*

Мова Q# забезпечує невеликий набір примітивних типів, а також два свособи (масиви та кортежі) для створення нових типів даних (що свідчить про більшу обмеженість мови в порівнянні з класичними з метою оптимізації) В цілому мова підтримує звичайно процедурну модель програмування з умовними конструкціями (if-then) та циклами.

Підтримуються основні типи даних (Int, Double, Bool, String), однак додано кілька особливих типів даних, пов'язаних з квантовою парадигмою обчислень.

Тип Qubit являє собою квантовий біт. Даний тип є інкапсульованим від користувача і єдиною операцією над ним є операція порівняння. Всі інші дії над ними реалізуються за допомогою методів стандартної бібліотеки.

Іншим особливим типом є тип Pauli – елемент одиничної групи Паулі. Використовується для базової операції обертання та для визначення осови вимірювання. Є дискримінованим об'єднанням з чотирма можливими значеннями: PauliI, PauliX, PauliY, PauliZ.

Також існує тип Result, що приймає значення One або Zero та інкапсулює результат вимірювання.

Особливої уваги заслуговує поняття функтора. Функтор у Q# – це фабрика, яка дозволяє визначати нові операції з інших. Вони мають доступ до базової операції при визначенні нової. Таким чином, вони можуть виконувати більш складні функції, ніж базові.

З перерахованих особливостей мови очевидно, що наявність особливих типів даних та мовних конструкцій дозволяють більш зрозумілим чином описувати квантові алгоритми без додаткового коду, який було б необхідно використовувати при написанні коду з використанням бібліотеки та класичної мови програмування.

Наприклад, в Q# виділення кубіту організовано подібно до мови C# за допомогою оператора using, що виглядає значно простіше, ніж використання кубітів через API.

### *C. Приклади написання програм*

З метою наочної ілюстрації можливостей мови квантових обчислень Q# створимо просту програму в серидовищі Visual Studio. Для цього треба мати встановленим Microsoft Quantum Development Kit та створити додаток типу «Q# Application». Після цього серидовище буде готовим до написання коду.

Проілюструємо просту програму встановлення стану кубіту (рис. 1).

```
open Microsoft.Quantum.Primitive;
open Microsoft.Quantum.Canon;

operation Set (desired: Result, q1: Qubit) : ()
{
    body
    {
        let current = M(q1);
        if (desired != current)
        {
            X(q1);
        }
    }
}
```

Рис. 1. Програма встановлення стану кубіту

З даного коду можна побачити, що стандартні інструменти дозволяють виконувати базові операції. Таким чином, розробник підключає необхідні інструменти за допомогою директиви open і використовує їх в коді.

В логіці даної програми створюється функція Set, яка приймає параметри типу Result та Qubit, а далі в тілі функції отримується стан кубіту за допомогою стандартної функції M і, якщо результат не є таким, який потрібно встановити, викликається стандартна функція обернення стану кубіту X.

З даної програми можна побачити деякі стандартні засоби роботи з кубітами, які відрізняють мову Q# від інших інструментів. Треба зазначити, що такий спосіб роботи з кубітами потребує значно менше додаткового коду, ніж, наприклад, робота з API при використанні IBM Quantum Experience.

## IV. Висновки

В даній роботі було стисло розглянуто основні інструменти для квантових обчислень, а також описано актуальність такого дослідження на сьогоднішній день. Особливу увагу було приділено мові Q# як інструменту, що націлений на найбільш широку аудиторію користувачів (не тільки науковців, але й розробників) та пропонує широкі можливості стандартних засобів квантових обчислень, не вимагаючи від користувача реалізовувати основні операції самостійно.

Слід зазначити, що в даній роботі не оцінювалася ефективність виконання програм при використанні розглянутих інструментів, оскільки на даному етапі точність її оцінки була б низькою через відсутність стандартизованого та повністю робочого прототипу квантового комп’ютера, що, як наслідок, означає відмінність реалізації кожного окремого комп’ютера.

Очевидно, що із швидким розвитком даної галузі на сьогоднішній день будуть з’являтися нові інструменти і вдосконалюватися сучасні, що потребуватиме аналогічного дослідження через деякий час. Однак дана робота дає високорівневий опис можливостей мови Q#, яка, на думку авторів, є найбільш зручним способом практичного досліджень квантових обчислень на сьогодні.

## Література References


[1] Ю. И. Манин. Вычислимое и невычислимое. / Манин И. Ю. –М.: Сов. радио, 1980. – 128 с.

[2] L. Chen. Report on Post-Quantum Cryptography. / Lily Chen, Stephen Jordan, Yi-Kai Liu, Dustin Moody, Rene Peralta, Ray Perlner, Daniel Smith-Tone – NIST Interagency Report 8105, 2016. – 15 p.

[3] The Q# Programming Language [Online]. Available: https://docs.microsoft.com/en-us/quantum/quantum-qr-intro?view=qsharp-preview

# Решение Задач как Основа Обучения Программированию в Университете

Владимир Бондарев
кафедра программной инженерии
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
volodymyr.bondariev@nure.ua

Юлия Черепанова
кафедра программной инженерии
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
yulia.cherepanova@nure.ua

# Solving Tasks as a Basis for Learning Programming in the University

Volodymyr Bondariev
Department of Software Ingineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.bondariev@nure.ua

Yulia Cherepanova
Department of Software Ingineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
yulia.cherepanova@nure.ua

***Аннотация*—С целью улучшения преподавания программирования предложена программная автоматической проверки задач. Предложенная система находится в эксплуатации и хорошо себя зарекомендовала.**

***Abstract*—In order to improve teaching of programming a software system of automatic testing for school assignment is offered. The proposed system is in operation and works well.**

***Ключевые слова—обучение программированию; задача; автоматическая проверка решений; контроль знаний***

***Keywords—teaching of programming; a task; automatic testing; knowledge control***

## I. Введение

Программирование – относительно новое для человечества занятие, поэтому методика обучения ему еще не устоялась. Если задуматься, на что похоже начальное обучение программированию, придется признать, что скорее на математику или иностранный язык, чем историю или литературу. В самом деле, программист должен связно изложить в программе свои мысли, используя для их выражения весьма формальный аппарат, называемый языком программирования.

Известно, что в овладении математикой или иностранным языком ключевую роль играют упражнения, это верно и для программирования. Каким же образом заставить студента выполнить большое количество упражнений? Впрочем, почему заставить, ведь он должен упражняться добровольно, понимая, что это ключ к его будущей профессии. Да, есть и такие студенты, но, как показывает опыт, для большинства студентов данная мотивация не достаточна. Более реальным мотивом им представляется угроза получить плохую оценку, но и этого не достаточно для регулярных упражнений.

Ситуацию изменила бы обязательная проверка всех выполняемых заданий, но на это не хватает сил у преподавателя. Выход из тупика дает автоматизация проверки всех задаваемых упражнений, которые, без потери общности, можно свести к написанию фрагментов программ по заданной спецификации.

## II. Обзор

В сети можно найти несколько версий задачников с автоматической проверкой решений. Главным образом, это системы автоматической проверки решений с архивами задач [1, 2] или без них [3] и опционально с возможностью участия или проведения соревнований по программированию [4, 5]. Задачи там абстрагированы от языка и унифицированы по форме – ввод из стандартного потока, вычисление результата, вывод результатов в стандартный поток. Всех их объединяет направленность

на соревнования по программированию, а не на обучение его основам. Есть также система, ориентированные на обучение [6, 7], но она не является сетевой и требует значительных усилий по развертыванию и настройке.

Задачник, представляемый ниже, отличается от всех упомянутых систем. Его особенностями являются тесная связь с другими составляющими учебного процесса (лекциями, практическими занятиями, самостоятельной работой, контролем знаний), легкость пополнения новыми задачами и разнообразие форм самих задач. Это могут быть задания на определение отдельных функций, классов или их членов, вычисление каких-то значений, исправление ошибок в программном коде, в общем, многое из того, что составляет повседневную работу программиста.

## III. Архитектура

Задачник состоит из базы задач и сетевой службы, которая выполняет выдачу условий и проверку решений. Этой службой пользуются программные приложения, о которых будет сказано ниже.

Собственно задача состоит из словесного условия (рис. 1), авторского решения и тестового программного окружения, в которое помещено авторское решение (рис.2). Тестовое окружение вместе с авторским решением составляют законченную программу, которая может быть скомпилирована и выполнена. Авторское решение таково, что проходит тестовую проверку с положительным результатом (в противном случае задача не была бы принята в задачник).

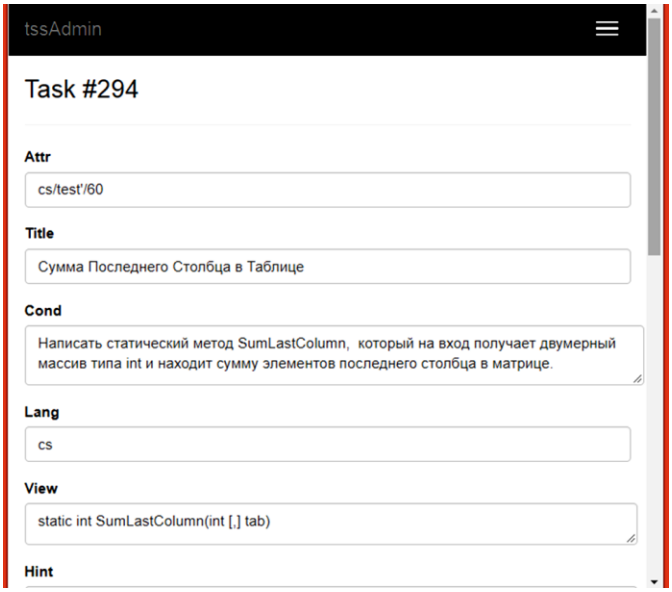



Рис. 2. Описание задачи.

Проверка студенческого решения состоит в том, что оно подставляется в тестовое окружение на место авторского, и полученная программа компилируется и выполняется. Если результат положительный, решение признается правильным, если результат отрицательный или программа не компилируется, решение отклоняется, а его автор получает сообщения об ошибках, которые выдал компилятор или тестовое окружение.

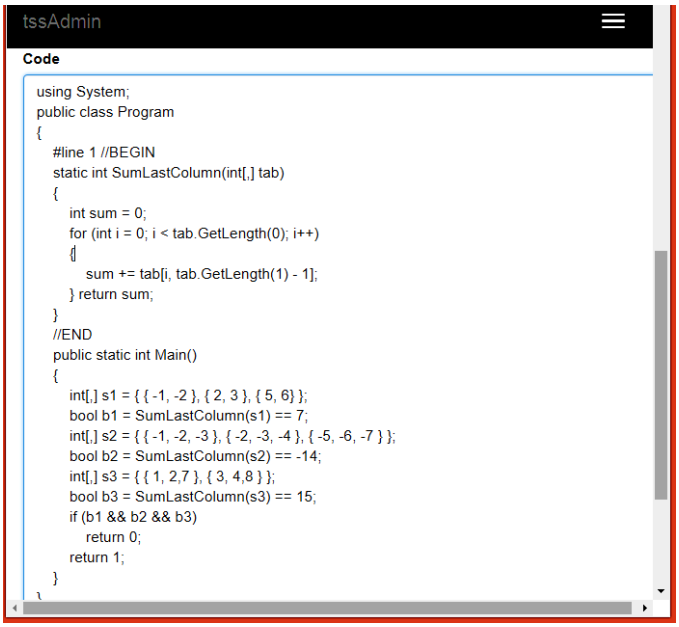



Рис. 3. Авторское решение и тестовое программное окружение задачи.

Студент получает задачи не от службы, а от прикладных программ, которые могут сопроводить базовые операции службы дополнительными действиями, такими как аутентификация пользователя, протоколирование его действий, контроль времени решения, переработку сообщений службы и т.п. Очевидными приложениями является программа публикации лекций со встроенными задачами и программа для проведения экзамена (рис.2), но могут быть и другие идеи для реализации, например, пополнение задачника силами студентов, вычисление различных рейтингов по результатам решений или иной статистики.

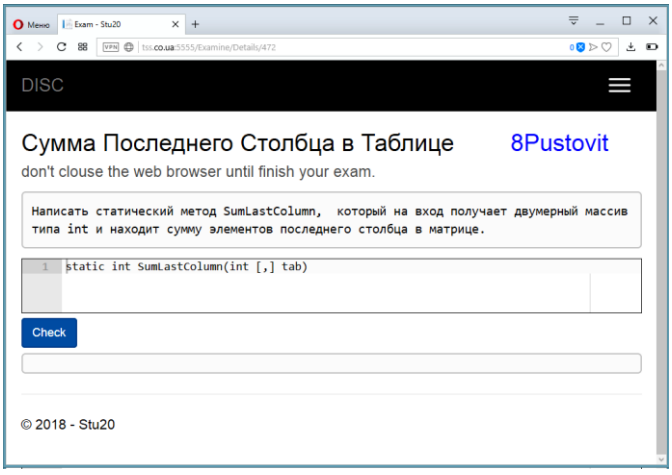



Рис. 4. Задача, предложенная студенту на экзамене.

Студенты и преподаватели являются зарегистрированным пользователями таких приложений,

таким образом, все их действия персонифицированы, хоть это не всегда очевидно.

## IV. Задачи на экзамене

Благодаря автоматической проверке, контроль знаний превращается в предельно объективную процедуру, к тому же не обременительную для преподавателя. Он должен выбрать задачу, установить лимит времени и следить за тем, чтобы студенты работали самостоятельно. Такой способ проведение контрольных снимает любые вопросы к объективности оценок и улучшает климат в коллективе.

Преимущества такого экзамена будут обесценены, если нет гарантии, что задача решена самостоятельно. Довольно трудно пресечь все возможности коммуникации в эпоху мобильных устройств и интернета, но есть иные способы убедиться в оригинальности решения. Во-первых, это наличие истории решения в виде его промежуточных состояний и неудачных попыток. Во-вторых, можно сравнить данное решение с другими ("помощь" проще всего получить от товарищей по экзамену). Сравнение делается программой проведения экзамена и, если у решения обнаружен потенциальный прототип, это служит сигналом для проведения более глубокого анализа (рис. 4). Заметим, что сравнение можно делать с разной степенью "буквальности", вообще говоря, строится некий кэш решения и сравниваются кэши, а не сами решения.

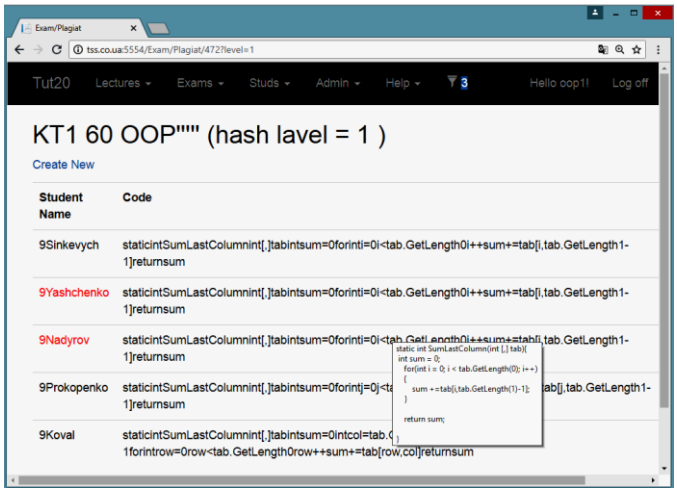



Рис. 5. Проверка решений на плагиат.

## V. Задачи в лекциях

Задачи легко встраиваются в html-документ, каковым может быть конспект лекции, расположенный в сети. Прорабатывая лекции, студент может тут же проверить свое понимание учебного материала, решив контрольные задания (рис. 5). Сведения об удачных и неудачных попытках решения накапливаются в базе данных и в любой момент могут быть получены преподавателем.

Одним из немногих недостатков автоматической проверки решений является невозможность отличить хорошее решение от плохого (за исключением случаев, где это проявляется в производительности программы, здесь можно измерить время). Компенсировать этот недостаток можно дав возможность студентам обсуждать и оценивать решения других. Оценка решений подогревает интерес к задачам, что тоже немаловажно.

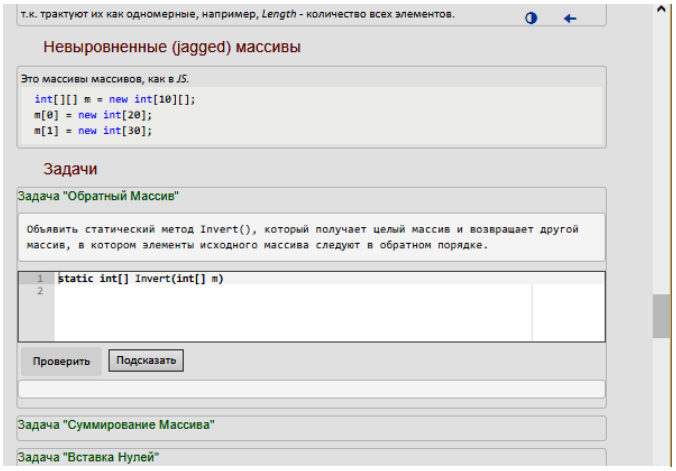



Рис. 6. Задачи в лекции.

Еще один вид активности – пополнение задачника самими студентами. Студентам можно предоставить возможность добавлять новые задачи, решать их, обсуждать и оценивать.

## VI. Заключение

В процессе начального обучения программированию упражнения в написании программ занимают центральное место.

Противоречие между большим количеством заданий и ограниченными возможностями преподавателя может разрешить задачник с автоматической проверкой решений.

Для эффективного использования всех возможностей задачника необходимы программные приложения, расширяющие базовые функции задачника.

## Литература References


[1] Online Judge – архив задач Вальядолидского университета в Испании. [Online]. Available: https://uva.onlinejudge.org/

[2] Timus Online Judge, problem archive with online judge system [Online]. Available: http://acm.timus.ru/

[3] ejudge - система для проведения различных мероприятий, в которых необходима автоматическая проверка программ. [Online]. Available: http://ejudge.ru/

[4] TopCoder – корпорация, проводящая соревнования по спортивному программированию. [Online]. Available: http://www.topcoder.com/

[5] CS Academy - образовательный проект в сфере программирования. [Online]. Available: https://csacademy.com/

[6] М. Э. Абрамян, С. С Михалкович. “Веб-среда разработки и обучения”, *Открытые системы. СУБД,* no. 10, с. 56–59, 2012

[7] M. E. Abramyan. Programming Taskbook. [Online]. Available: http://ptaskbook.com/ru/.

# Методи та Алгоритми для Прогнозування Цін Електронних Валют

Борис Бондаренко
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
boris.bondarenko.work@gmail.com

Олена Качко
професор
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
elena.kachko@nure.ua

# Methods and Algorithms for Forecasting the Prices of Digital Currencies

Borys Bondarenko
Department of Program Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
boris.bondarenko.work@gmail.com

Olena Kachko
professor
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
elena.kachko@nure.ua

***Анотація*—У статті проведено аналіз ринку цифрових валют, а також огляд частини існуючих методів і алгоритмів для прогнозування цін електронних валют на ринках.**

***Abstract*— The article analyzes the digital currencies market, reviews some of the existing methods and algorithms for forecasting the prices of digital currencies in the markets.**

***Ключові слова—електронна валюта; криптовалюта; технічний аналіз; ринок***

***Keywords—digital currency; cryptocurrency; technical analysis; market***

## I. Вступ

Глобалізація, нестримне зростання грошових ринків, загальна комп'ютеризація та розвиток IT — технологій спричинили за собою появу в нашому суспільстві величезної кількості додаткових інститутів, фінансових інструментів і нових форм взаємодії між людьми. Одним з таких інститутів в сучасному світі виступають електронні гроші.

Електронні гроші [1] досить нове явище в економічній науці і господарській практиці, тому існують різні думки щодо того, що вважати електронними грошима.

Одні вважають, що електронні гроші — це безстрокові грошові зобов'язання банківської або іншої компанії, виражені в електронному вигляді, засвідчені електронним цифровим підписом, що використовуються як розрахунковий засіб і погашаються в момент їх пред'явлення звичайними грошима.

Інші — що це грошова вартість, що є вимога до емітента [1], яка зберігається на електронному пристрої, емітується після отримання грошових коштів в розмірі не менше обсягу прийнятих на себе зобов'язань, приймається як засіб платежу не тільки емітентом, але й іншими фірмами.

Треті — що це електронний аналог готівки, який може бути куплений, та може зберігатися у електронному вигляді в спеціальних пристроях. У ролі пристрою для зберігання використовуються смарт-карти або спеціальні комп'ютерні системи.

Чверті — що це деяка інформація, передана будь — якими способами електронної комунікації і виконуюча роль купюр і монет при творі платежів, як в Інтернеті, так і «офлайн».

На споживчому рівні користувачі відносять до електронних грошей будь — які платіжні сервіси, що дозволяють здійснювати платежі за товари або послуги, проводити розрахунки між користувачами за допомогою електронних засобів зв'язку, зокрема за допомогою мережі Інтернет [1]. За своїми споживчими властивостями

електронні гроші схожі зі звичайними грошима. Їх можна заробляти, оплачувати ними послуги і товари, передавати і отримувати від інших людей, накопичувати на рахунках і т.д. Слід зазначити, як і у випадку зі звичайними грошима платежі відбуваються в режимі реального часу, та ніколи — анонімно [9].

Цифрові валюти набирають зараз все більшої популярності, проте таких людей, які розуміють зміст поняття «криптовалюта», а також знайомих з механізмом її функціонування, не так вже й багато. Ключовим питанням для більш глибокого розуміння ролі криптовалют є визначення їх економічної природи. В кінцевому рахунку, будь-яке економічне явище являє собою проекцію системи відносин між людьми з приводу виробництва, обміну, розподілу, споживання різного роду продуктів і послуг та їх похідних в умовах обмеженості ресурсів. Незважаючи на актуальність дослідження сутності криптовалют та їх зростаючу роль в економіці, слід зазначити слабку наукову розробленість даної теми. Багато в чому це пояснюється новизною даного підвиду електронних грошей.

Курс будь-яких активів [3], у тому числі криптовалют [2], рідко нерухомий. На нього впливають попит і пропозиція з боку рядових споживачів, інвесторів, трейдерів, економіко-політична ситуація, інформаційне поле і інші події, властиві і тільки криптосфері, і економіці в цілому.

Перераховане може впливати на криптовалюта як позитивно, так і негативно. Часто позитивні і негативні фактори накладаються один на одного з невеликою різницею в часі, в результаті чого спостерігаються коливання курсу [5]. Підігріваються вони торговими іграми, коли гравці цілеспрямовано намагаються його знизити або підвищити.

Таким чином, аналіз і розробка моделей для прогнозування цін електронних валют представляє актуальну задачу, та потребує детального дослідження.

## II. Аналіз основних проблем і завдань моделювання цін електронних валют

Наймогутніші економіки світу сьогодні зазнають труднощів з подальшим зростанням капіталу.

Будь-яка розвинена економіка, включаючи США, Європу, Китай і Японію знаходиться в ситуації відсутності перспектив зростання в зв'язку з різними внутрішніми та зовнішніми економічними факторами.

Банк Японії дотримується інфляції нульового курсу, а в той цей час федеральний резерв США до сих пір не визначився з тим, чи варто їм підвищувати історично занижену кредитну ставку, навіть незважаючи на наявність якоїсь стабільності за економічними показниками.

Глобальна економіка продовжує відчувати на собі наслідки рецесії 2008 року. Криптовалюта може покласти край цій безладної практиці боргового інвестування, яка була викликана іпотечною кризою 2007-2008 року, і яка досі продовжує вносити безлад в ціни у всіх економічних секторах, включаючи ринок нерухомості, освіту, автомобільну індустрію, і все що може фінансуватися борговими розписками.

Непроста ситуація склалася і на території пострадянського простору. Значний гравець на цьому ринку після Росії, чия економіка майже повністю залежить від цін на нафту і інших сировинних ресурсів — Україна, економіка якої побудована на сільському господарстві та сфері послуг. І якщо західні країни намагаються поставити свою економіку на нові рейки, придивляючись до криптовалюта і іншим технологічним новинкам, то в Україні все набагато складніше.

Ера цифрової валюти наступала повільно і планомірно, не дивлячись на це держави, банки та інші фінансові установи все одно виявилися не готові до цього, а тому зараз вони переживають труднощі, стикаються з великою кількістю проблем і до сих пір не визнають цифрові валюти.

Актуальним прикладом є Україна, де навіть законодавство не було готовим до приходу криптовалют — криптовалюта як засіб взаєморозрахунків використовуватися не може, відповідно, біткоіни як платіжний засіб — неспроможні. У листі НБУ № 29-208 / 72889 від 08.12.2014 зазначено, що емісія грошової валюти Bitcoin не має ніякого забезпечення і юридично зобов'язаних за нею осіб, не контролюється державними органами будь-якої країни. Крім того, НБУ підкреслює, що уповноважені банки не мають правових підстав для зарахування іноземної валюти, отриманої від продажу біткоіни за кордон.

На думку фахівців сьогодні банки не є економічними [2]. Тільки в разі масової автоматизації вони зможуть утриматися на плаву і зайняти своє місце в світі нових фінансових технологій. А поки цього не відбувається, банківська галузь поступово починає застарівати.

Усім валютам, включаючи електронні, властива волатильність [10] — статистичний фінансовий показник, що характеризує мінливість ціни. Волатильність криптовалют зазвичай на порядок вище, ніж у класичних, фіатних активів, так як якщо перші можуть бути підкріплені якоюсь фізичною основою, то ціна криптовалюта базується тільки на платіжній спроможності тих, хто купує. Зовсім нещодавно волатильність прийняла абсолютно нову форму. Деякі впливові країни роблять гучні і, дуже часто, суперечливі заяви щодо регуляції криптовалют. Не дивно, що ці дії вводять людей в оману і сильно впливають на ринок в цілому.

Проте, подібні висловлювання служать індикатором того, що наближається офіційне визнання і, як наслідок, заходи з регулювання. Країни з потужною економікою починають розуміти природу криптовалют і то, як вони можуть перетворити традиційну економічну систему.

Незважаючи на це, держави, замість підтримки криптовалют, слідуючи своїм застарілим устоям, вводять тільки обмеження на їх функціонування. Є багато

варіантів пояснення таких подій. Перше — просте, але реалістичне, полягає в тому, що багато представників влади не розуміють феномен криптовалют. Щоб повністю зрозуміти, як працює криптовалюта, у людини повинно бути добре знання як технології, так і економіки. Країни протягом історії показували періодичну некомпетентність в цих областях [4].

Потрібно відзначити, що, незважаючи на лібералізацію, у багатьох сучасних країнах традиційно існувала планова економіка, при якій, зрозуміло, здійснюється дуже строгий контроль торгівлі та валюти. Криптовалюта принесе з собою величезну кількість плюсів, але вона також змусить країни відмовитися від того контролю і влади. Суперечливі позиції можуть бути відображенням ворожнечі між про-крипто і анти-крипто силами в уряді.

Все це говорить нам про те, що електронні валюти мають на порядок більшу волатильність, ніж їх фіатні побратими. Але, незважаючи на це, існують фундаментальні моделі і підходи, які, об'єднують в термін "технічний аналіз".

Технічний аналіз — один із способів прогнозування ціни на основі аналізу зміни цін в минулому. Ця теорія припускає, що вивчивши поведінку ринку в минулому, можна передбачити, як він поведе себе в майбутньому. Технічним аналіз називається тому, що він вивчає тільки графіки руху ціни і обсягу з минулого до теперішнього моменту без урахування всіх інших факторів.

Теорія технічного аналізу володіє великим ступенем передбачуваності. Пояснення даного факту криється в психології людей і ринку. При виникненні повторюваних умов на ринку, переважна більшість його учасників реагують і діють приблизно однаково. Зрозуміло, що 100% збігів не буває, але є певні закономірності поведінки людей в схожих ситуаціях, завдяки чому можна з великою часткою ймовірності спрогнозувати, куди підуть ціни в наступний раз.

І тут потрібно розуміти, що зміни цін на ринку виробляють не компанії-учасники, а інвестори. Ціна за одиницю валюти піднімається тому, що більше людей захотіло цю валюту купити. Цей принцип лежить в основі технічного аналізу.

Основними завданнями моделювання цін є: визначення поточного напрямку динаміки ціни [3], оцінка терміну дії тренду, оцінка зрілості тренду, оцінка амплітуди коливань цін.

## III. Опис проведених теоретичних досліджень

Існує два основних способи прогнозування цін: фундаментальний аналіз та технічний аналіз. Застосування фундаментального аналізу дозволяє прийти до висновку які папери вибрати для інвестування. При фундаментальному аналізі проводяться дослідження показників виробничої та фінансової діяльності компанії для передбачення майбутньої вартості товару і порівняння цих показників з аналогічною групою в рамках галузі. При цьому враховуються загальні прогнозовані макроекономічні фактори (процентні ставки, темп інфляції, рівень товарних запасів і ціни на них тощо). Оцінка перспектив компанії методами функціонального аналізу дозволяє визначити, чи є ціна цього товару недооціненою або переоціненою порівняно з її поточною вартістю.

Технічний аналіз застосовується для вибору моменту покупки або продажу товару [10]. Технічний аналіз ґрунтується на твердженні, що в динаміці цін на фінансових ринках проявляються стійкі тенденції, а використання відповідних моделей дозволяє розпізнати ринкові ситуації, що передують зміни існуючих тенденцій. Технічний аналіз — відмінний метод прогнозування, що дає велику ймовірність "влучень", але, звичайно, теж не є панацеєю. У сукупності фундаментальний і технічний аналіз представляють потужний інструмент для прийняття інвестиційного рішення.

Технічний аналіз [10] — метод прогнозування цін за допомогою розгляду графіків рухів ринку за визначені періоди часу.

Під терміном "руху ринку" аналітики розуміють три основних види інформації: ціна, обсяг і відкритий інтерес.

Ціною може бути як справжня ціна товарів, що продаються на біржах, так і значення валютних і інших індексів.

Обсяг торгівлі — загальна кількість укладених контрактів за певний проміжок часу, наприклад, за торговий день.

Відкритий інтерес — кількість позицій, не закритих кінець торгового дня.

Звичайно, не всі три індикатори рівноцінні. Головний з них — ціна. Її вивчення найзручніше, і більшість методів застосовуються саме до неї. Дані про ціну загальнодоступні для будь-якого ринку, і в наші дні надходять без зволікання: через долі секунди з'являються в інформаційних системах, через добу — в газетах.

Обсяг також грає велику роль для прогнозування і є вторинним індикатором, його складно однозначно визначити на всіх ринках, і дані зазвичай надходять з великою затримкою. Використання обсягу торгів — вже більш специфічний метод, ніж прогнозування за допомогою ціни, тому і зустрічається рідше.

Професійний технічний аналіз зазвичай будується з використанням максимальної кількості доступних індикаторів, в ідеалі — всіх трьох.

Технічний аналіз вивчає динаміку співвідношення попиту і пропозиції, тобто перш за все самі цінові зміни.

Технічний аналіз може бути використаний для таких цілей, як:

- встановлення основних тенденцій розвитку біржового ринку цінних паперів на основі вивчення динаміки цін, зафіксованої на графіках;
- оцінка терміну дії тренду, оцінка зрілості тренду;

- оцінка амплітуди коливань цін.

Методи, які використовують фільтрацію або математичну апроксимацію цінових рядів з'явилися досить давно, але активно стали розвиватися пару десятиліть назад, що було пов'язано з масовою появою персональних комп'ютерів. Кожен з них складно втілити вручну. Для цього довелося б проводити громіздкі обчислення для кожного проміжку часу цінового графіка, а потім акуратно наносити отримані значення на папір.

Найзначнішою і працездатною групою цих методів є методи фільтрації [10]. Термін фільтр говорить про те, що ці методи намагаються відокремити трендові цінові рухи від нетрендових. Очищену від шумів криву можна називати фільтром. При цьому в найменуванні фільтра вказують функцію, за допомогою якої була проведена фільтрація (апроксимація).

Ця група методів поділяється на дві основні частини: ковзаючі середні і осцилятори. І в тій і в іншій частині є свої переваги і недоліки. В цілому ж їх правильне використання може надати серйозну допомогу в роботі на фондовому ринку.

Одним з найбільш універсальних і широко використовуваних технічних індикаторів є, так зване, значення ковзаючої середньої. Найпростіший спосіб технічно проаналізувати будь-який ціновий графік — це накласти на графік цін ковзаюче середнє значення. Ковзаюче середнє значення розраховується усередненням цінових значень, як правило, ціни закриття, за певний період часу, при тому що період залишається завжди одним і тим же.

Значення ковзаючої середньої належить до категорії аналітичних інструментів, які слідують за тенденцією. Його мета полягає в тому, щоб визначити час початку нової тенденції, а також попередити про її завершення або повороті. Цей метод завжди йде за динамікою ринку, а не випереджає її, і сигналізує про появу нової тенденції, але тільки після того, як вона з'явилася, тому метод не призначений для прогнозування рухів на ринку в тому сенсі, в якому це робить графічний аналіз.

Існує кілька типів ковзаючих середніх: просте, експоненціальне, згладжене і зважене. Ковзаюче середнє можна розрахувати для будь-якого послідовного набору даних, включаючи ціни відкриття і закриття, максимальну і мінімальну ціни, обсяг торгів або значення інших індикаторів. Нерідко використовуються і ковзаючі середні самих ковзаючих середніх.

Єдине, чим ковзаючі середні різних типів істотно відрізняються один від одного — це різні вагові коефіцієнти, які присвоюються останнім даним.

Щодо осциляторів — їх специфіка, так само як і будь-якої коливальні системи, полягає в їх розгойдуванні від крайніх значень і обов'язкове повернення до середнього, "нормального" значення [6].

Саме принцип зворотності осциляторів і використовується в торгівлі по ним. Однак між динамікою ціни і осцилятора існує велика різниця — ходять вони хоч і паралельно, але в різних пропорціях. А це призводить до того, що повернення осцилятора в "нормальний" стан, як правило, не супроводжується поверненням цін.

Вважається, що осцилятори є випереджаючими індикаторами, тобто дають можливість прогнозувати руху ціни.

У осциляторному аналізі існують, щонайменше, три основні напрями:

- Осцилятори використовуються в якості індикаторів розбіжностей [7]. Вони можуть заздалегідь повідомити трейдера про можливе закінчення поточної цінової тенденції. Є два види розбіжностей. Негативна, або ведмежа розбіжність спостерігається тоді, коли ціни досягають нового максимуму, а осцилятор — ні. Це говорить про внутрішню слабкість ринку. Позитивне, або бичаче розходження спостерігається, якщо ціни досягають нового мінімуму, а осцилятор не опускається до нової мінімальної позначки. Це означає, що тиск продавців слабшає.
- В якості індикаторів перекупленності / перепроданості осцилятори можуть повідомити трейдера про надмірне розтягуванні ринку і, отже, про можливу корекцію. Але тут потрібно бути обережним. В силу своєї структури осцилятори застосовні в основному в умовах горизонтального торгового коридору. Якщо ж на ринку намітилася нова велика тенденція, то використання осцилятора в ролі індикатора перекупленності / перепроданості може бути пов'язане з певними складнощами.
- Осцилятори можуть служити для оцінки потенціалу тенденції через вимір темпу ринку. Темп визначає швидкість руху цін шляхом зіставлення цінових змін. Теоретично швидкість повинна зростати з розвитком тенденції. Вирівнювання темпу може бути ранньою ознакою уповільнення цінової тенденції. Сигнали осцилятора слід використовувати для розміщення позицій в напрямку панівної тенденції [8]. Так по бичачому сигналу осцилятора потрібно купувати в тому випадку, якщо основна тенденція — висхідна, і закривати короткі позиції, якщо вона спадна. Те ж саме відноситься до сигналів осцилятора до продажу. Відкривати короткі позиції по ведмежому сигналу осцилятора потрібно лише тоді, коли переважна тенденція направлена вниз. В іншому випадку за цим сигналом слід ліквідувати довгі позиції.

## IV. Характеристика застосованих методів

У процесі дослідження було проаналізовано кілька методів з різних категорій, а саме: Просте Ковзаюче Середнє ($SMA$), Експоненційне Ковзаюче Середнє ($EMA$) та Зважене Ковзаюче Середнє ($WMA$) з категорії змінних середніх, Сходження / Розходження Ковзаючих Середніх ($MACD$) і Стохастичний Осцилятор з категорії осциляторів [10].

Просте Ковзаюче Середнє ($SMA$) є одним з найбільш широко використовуваних індикаторів в технічному аналізі. Він не тільки використовується в якості самостійної методики, але і лежить в основі багатьох інших технічних індикаторів.

З математичної точки зору просте ковзаюче середнє — це середнє арифметичне значення, а для розрахунку його значення використовується формула (1).

$$SMA_t = \frac{1}{n} \times \sum_{i=0}^{n-1} P_{t-i} \quad (1)$$

Експоненціальне ковзаюче середнє ($EMA$) є окремим випадком зваженого ковзаючого середнього і застосовується в технічному аналізі як самостійна методика, так і в якості складової частини інших індикаторів. Метою такого згладжування є передача більшої ваги останнім значенням цін, і меншої ваги більш раннім.

У загальному вигляді формула для розрахунку значення експоненціального змінного середнього в період часу може бути записана у вигляді формули (2):

$$EMA_t = \alpha \times P_t + (1 - a) \times EMA_{t-1} \quad (2),$$

де $\alpha$ — ваговий коефіцієнт в інтервалі від 0 до 1, що відображає швидкість старіння минулих даних: чим вище його значення, тим більшу питому вагу мають нові спостереження випадкової величини, і тим менший старі;

$P_t$ — значення випадкової величини в період часу $t$;

$EMA_{t-1}$ — значення експоненціального змінного середнього в період часу ($t - 1$).

Для розрахунку оптимального значення α коефіцієнта не існує будь-якої математичної формули, а знаходиться воно, як правило, методом підбору. Критерієм відбору в даному випадку виступає мінімізація середньоквадратичної помилки відхилення фактичного значення випадкової величини від прогнозного. На практиці це виглядає наступним чином:

1. Вибирається кілька значень α коефіцієнта.
2. Розраховується середньоквадратична помилка для кожного значення α.
3. Кращим вважається значення α, при якому середньоквадратична помилка буде мінімальною.

Однак в практиці технічного аналізу на реальному ринку такий підхід не застосовний, оскільки статистичний ряд постійно доповнюється новими значеннями цін [10]. Це робить неможливим одночасне фіксування α коефіцієнту і дотримання критерію мінімізації середньоквадратичної помилки. З цією метою для розрахунку α коефіцієнта використовується формула (3).

$$\alpha = \frac{2}{N+1} \quad (3),$$

де $N$ — інтервал згладжування.

Слід розуміти, що експоненціальне згладжування в цьому випадку не буде задовольняти критеріям мінімізації середньоквадратичної помилки.

Також для розрахунку значення експоненціального змінного середнього в період часу t необхідно знати його значення в попередньому періоді часу ($t - 1$). При цьому, в якості першого значення береться просте ковзаюче середнє $SMA$ з тим же самим інтервалом згладжування.

У загальному випадку зваженим ковзаючим середнім $WMA$ є будь-яке середнє значення, яке встановлює різні вагові коефіцієнти для спостережуваних значень випадкової величини. Ідея його розрахунку полягає в тому, щоб надати більшої ваги новим спостереженням, і меншу вагу старішим спостереженням. Це є логічним підходом в технічному аналізі з точки зору визначення характеру і сили переважаючого на ринку тренду. Такий підхід дозволяє не тільки згладити різкі цінові відхилення, але і більш точно визначити напрям тренду, оскільки останніми даними надається більшу питому вагу.

У практиці технічного аналізу найбільшого поширення набуло лінійно зважене ковзаюче середнє (Linear Weighted Moving Average), розрахунок якого в загальному вигляді представлений у формулі (4).

$$WMA_t = \frac{n \times P_t + (n-1) \times P_{t-1} + (n-2) \times P_{t-2} + \ldots + 2 \times P_{t-(n-2)} + 1 \times P_{t-(n-1)}}{n + (n-1) + (n-2) + \ldots + 2 + 1} \quad (4)$$

Представлена вище формула може бути записана також у іншому вигляді (5).

$$WMA_t = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} (n-i) \times P_{t-i}}{\sum_{i=1}^{n} i} \quad (5),$$

де $n$ — інтервал згладжування;

$P_{t-i}$ — значення ціни в період часу ($t - i$).

Слід зазначити, що знаменник являє собою арифметичну прогресію і для зручності розрахунків може бути перетворений в спосіб (6):

$$\sum_{i=1}^{n} i = \frac{n \times (n-1)}{2} \quad (6)$$

Таким чином, наведену вище формулу можна представити у вигляді формули (7)

$$WMA_t = \frac{2 \times \sum_{i=0}^{n-1} (n-i) \times P_{t-i}}{n \times (n-1)} \quad (7)$$

Індикатор $MACD$ або “Сходження / Розбіжність Ковзаючих Середніх” є одним з найпопулярніших інструментів технічного аналізу. Він набув широкого поширення, з одного боку, завдяки простоті використання, а з іншого тим, що одночасно поєднує в собі властивості трендового індикатору і осцилятора моменту.

При цьому слід зазначити, що на відміну від інших осциляторів він не має верхньої і нижньої межі, тому не може використовуватися для визначення стану перекупленості і перепроданості ринку.

Графічна інтерпретація індикатора полягає являє собою лінію $MACD$, сигнальну лінію і гістограму. Перша з них являє собою різницю двох експоненційних ковзаючих середніх $EMA$. При цьому від $EMA$ з меншим інтервалом згладжування ($m$) віднімається $EMA$ з великим інтервалом згладжування ($n$), тобто m завжди менше $n$.

$MACD\ Line = EMA\,[P,m] - EMA\,[P,n]$, де $P$ — ціна;

$EMA\,[P,m]$ — експоненціальне ковзне середнє з інтервалом згладжування m;

$EMA\,[P,n]$ — експоненціальне ковзне середнє з інтервалом згладжування $n$.

Сигнальна лінія являє собою експоненціальне ковзаюче середнє лінії $MACD$ з інтервалом згладжування $k$.

$$Signal\ Line = EMA\,[MACD\ Line, k]$$

Гістограма, в свою чергу, будується по різниці значень між лінією $MACD$ і сигнальною лінією.

$$MACD\ Histogram = MACD\ Line - Signal\ Line$$

Стохастичний осцилятор — це технічний індикатор моменту, який порівнює ціну закриття за цінним папером з її діапазоном коливань за обраний період часу. Чутливість осцилятора до пожвавлення на ринку може бути знижена шляхом підбору період часу або шляхом усереднення (за допомогою змінного середнього значення) результату. Цей індикатор розраховується за формулою (8).

$$\%K = 100 \times \frac{C - L_{14}}{H_{14} - L_{14}} \quad (8),$$

де $C$ — ціна закриття;

$L_{14}$ — ціновий мінімум за 14 попередніх торгових сесій;

$H_{14}$ — ціновий максимум за 14 попередніх торгових сесій.

Як уже згадувалося, щоб згладити періоди волатильності ринку, значення стохастичного осцилятора усереднюють за допомогою змінного середнього. У цьому випадку формула розрахунку буде виглядати наступним чином.

$\%D$ = $n$ -періодичне ковзаюче середнє значення $\%K$,

де $n$ — період усереднення для змінного середнього.

## V. Висновки

Таким чином, були розглянуті основні методи технічного аналізу. Всі вони в тій чи іншій мірі мають практичну важливість. Перед аналітиком залишається відкритим питання який з методів вибрати. В ідеалі потрібно використовувати якомога більше методів, щоб знизити ризик помилки в інтерпретації того чи іншого сигналу, так як кожен з методів має свої недоліки.

Сучасний технічний аналіз базується на трьох основних принципах: відображення в ціні всіх факторів, тренда і повторюваності. Мета технічного аналізу — прогнозування курсу як електронних валют, так і ринку в цілому на основі аналізу руху цін і їх інтерпретації.

Технічний аналіз дозволяє кожному інвестору реалізувати власний підхід до інвестицій, виходячи зі своїх оцінок попереднього і поточного стану ринку.

Незважаючи на використання складних формул, в основі технічного аналізу лежать прості принципи про те, що всі ринкові руху періодично повторюються, а значить, можуть бути передбачені з досить високою вірогідністю.

Для застосування будь-якого індикатора досить знати лише його практичний сенс. Оцінити його цінність і корисність у справі досягнення ваших власних цілей можна, не проводячи жодних самостійних розрахунків.

Доступність, як вихідних даних, так і засобів для їх обробки, безсумнівно, робить технічний аналіз найбільш привабливим і сучасним інструментом, який беруть на озброєння трейдери. Технічний аналіз є саме тим засобом, який надає всім трейдерам свободу вибору і абсолютно рівні можливості по інтерпретації поведінки ринку і формування цінових прогнозів на майбутнє.

## Література References


[1] Корягін М.В. Електронні гроші: особливості використання та бухгалтерський облік / М.В. Корягін, В.Р. Ліва // Вісник Національного лісотехнічного університету України : зб-к наук.-техн. праць. – Львів, 2012. – Вип. 22.5. – С. 241–246.

[2] Куцевол М.А. Поняття та економічна природа крипто валюти / М.А. Куцевол, О.А. Шевченко-Наумова [Електронний ресурс]. URL : http:// ir.kneu.edu.ua:8080/bitstream/2010/16391/1/79-85.pdf.

[3] Легенчук С.Ф. Методика бухгалтерського обліку процесу електронної комерції / С.Ф. Легенчук, Н.М. Королюк // Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту. Серія : Економічні науки. – 2010. – Вип. IV (40). – С. 321–334.

[4] Ліхачов М. Скромна чарівність біткоіна: українські реалії використання крипто валют / М.Ліхачов // Forbes Україна [Електронний ресурс]. URL : http://forbes.net.ua/opinions/1428255-skromnoe-obayanie-bitkoina-ukrainskie-realii-ispolzovaniya-kriptovalyut.

[5] Науковий Журнал " Економіка і ринок: облік, аналіз, контроль"" Вип. 9 за 2010 рік, стаття доктора економічних наук, професора І.Д.Фаріона "Механізм формування біржового курсу акцій і облігацій", с.65-69.

[6] Мечникова І.І., Масленіков Є.І., Данилов Р.І. Інноваційна економіка: теоритичні а практичні аспекти. Біткойн як інноваційний засіб інвестиційної діяльності суб'єктів наіональної економіки: монографія/ за ред. Масленікова Є.І. Херсон: 2016 Розд. 22, С. 392-404

[7] Морріс, Грегорі. Японські свічки. Метод аналізу акцій і ф'ючерсів, перевірений часом / Грегорі Морріс ; [перекл. з анг. Б. А. Зуєвої ; ред. А. М. Ільїн]. - 3-тє вид. - М. :Альпина БізнесБукс, 2008. - 312 с.

[8] Мурашко Т. Фінансові інструменти: облік та звітність за міжнародними стандартами / Т.Мурашко [Електронний ресурс]. URL : http://www.visnuk.com.ua/ua/pubs/id/90010068.

[9] Нефьодов А. Інтернет–валюта, або що таке електронні гроші в Інтернеті / А.Нефьодов // Бухгалтерія : зб-к систематизованого законодавства. – 2004. – No 5. – С. 193–197.

[10] Стівен Б.Акеліс , "Технический анализ от А до Я", М.: Диаграмма, 1999-с.217.

# Автоматичне Формування Словників Перекладу

Наталя Валенда
кафедра Програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
natalia.valenda@nure.ua

Нікіта Павленко
магістр кафедри Програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
nikitapavlenko@ukr.net

# Automatic Creation of tTranslation Dictionaries

Natalia Valenda
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
natalia.valenda@nure.ua

Nikita Pavlenko
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
nikitapavlenko@ukr.net

***Анотація*—Розглядається метод створення двомовних словників перекладу на основі паралельних корпусів. Методи розробки базуються на стеку технологій Cache Intersystems. Для розробки були використані iKnow, Cache Object Script, Cache Studio. У результаті роботи здійснено програмну реалізацію системи обробки російсько-українського паралельного корпусу для створення двомовних словників з машинним інтерфейсом.**

***Abstract*—Method of creating bilingual translation dictionaries based on parallel corpora is considered. Methods of development are based on stack of Cache Intersystems technologies. iKnow, Cache Object Script, Cache Studio were used for development. As a result of the work there was created software implementation of a system that process of Russian-Ukrainian parallel corpora to create bilingual dictionaries with machine interface.**

***Ключові слова—словник; паралельний корпус; Cache; iKnow***

***Keywords—dictionary; parallel corpora; Cache; iKnow***

## I. Вступ

Одним з напрямків розвитку систем обробки текстової інформації є розробка систем автоматичного перекладу. Традиційне створення системи автоматичного перекладу є досить трудомістким завданням, що вимагає залучення фахівців кількох областей. Значний обсяг роботи становить створення словників, які лежать в основі роботи системи. Для реалізації цього етапу необхідно залучення лінгвістів. Автоматизація етапу створення словників спростила б процес створення перекладача.

Якість систем автоматичного перекладу багато в чому залежить від змісту та наповнення словника. Якщо переклад здійснюється для пари близьких мов, то основними причинами помилок є - недостатнє наповнення словника і хибний підбір значень слів. Програма не враховує елементарних значень слів і не пропонує їх в якості варіанту при перекладі.

Для перекладу в спеціалізованих областях можлива побудова словника на основі паралельних текстів з даної тематики, який буде давати не самий частотний переклад слова, а орієнтований на дану предметну галузь.

Вибір правильного значення багатозначних слів є, мабуть, найбільш складною проблемою в галузі перекладу. Для вибору правильного варіанту перекладу можна використовувати контекст, який відповідає слову в даному значенні. При створенні словника на основі паралельних текстів не тільки вибирається переклад слова, але і фіксується контекст, в якому слово приймає таке значення.

Створення словника для двомовного перекладу без залучення лінгвістів, автоматичними методами на основі обробки паралельних корпусів, є актуальним завданням, вирішення якого спростить процес створення якісних систем перекладу.

Іншим напрямком застосування даної роботи може бути покращення систем багатомовного інформаційного пошуку. У цій галузі загальним підходом є переклад пошукового запиту на всі цільові мови. Це здійснюється за допомогою двомовних словників для вхідної та

цільової мови. Для ефективного двомовного пошуку існування відповідних словників має ключове значення.

## II. Паралельні корпуси

Автоматична побудова словників перекладу має дві передумови:

– наявність паралельних корпусів текстів російської та української мов;
– наявність технології автоматичної обробки текстової інформації iKnow, що працює з вибраними мовами.

Застосування iKnow дозволяє робити розбір тексту, виділяючи в ньому відносини і концепти, використовуючи для цього модель мови. Для кожного концепту підраховується статистика – скільки він зустрічається в тексті. З концептів і відносин будуються ланцюжки, що відображають взаємозв'язок між поняттями.

Робота з побудови словників може здійснюватися в кілька етапів.

– обробка текстів паралельних корпусів за допомогою технології iKnow, виділення концептів і відносин;
– збереження паралельних розборів у БД Cache [1];
– аналіз розібраних паралельних корпусів за реченнями і зіставлення перекладного еквівалента слів. Підрахунок статистики. Якщо слово багатозначне, то вказуються всі варіанти перекладу і їх вірогідність;
– формування словника двонаправленого перекладу.

Отримані словники можуть бути використані як основа системи автоматичного двомовного перекладу.

Як джерело паралельних текстів можна використовувати літературні джерела, доступні українською та російською мовами, сайти перекладені на обидві мови, вже готові паралельні корпусу. На даному етапі в якості джерела даних для обробки обраний вирівняний на рівні речень українсько-російський паралельний текстовий корпус з веб-публікацій, створений в інформаційному центрі ElVisti. Обсяг корпусу - понад 2,6 млн. пар унікальних речень. Для наукових цілей відкритий вільний доступ до фрагменту в 100 тисяч пар унікальних речень [2].

Формат представлення даних наближений до XML:

<Item>

<Rus> предложение </ rus>

<Ukr> речення </ ukr>

</ Item>

## III. Обробка даних Cache

Дані зчитуються з файлу, який містить паралельний корпус. Дані представлені в XML форматі тому вони потребують парсингу. Процес парсингу відбувається на боці Cache, файл з паралельним корпусом обробляється і створюються об'єкти Cache. Далі об'єкти Cache зберігаються в базу даних де перебувають до їх подальшої обробки модулем iKnow. Після збереження у базі даних об'єктів Cache ми маємо SQL таблицю, яка містить записи паралельних речень. Далі SQL записи виймаються із бази даних, речення на російській мові оброблюються модулем iKnow за допомогою російської моделі мови і зберігаються у російському домені, українські речення оброблюються відповідно української моделлю мови і потрапляють в українській домен iKnow (рис. 1).

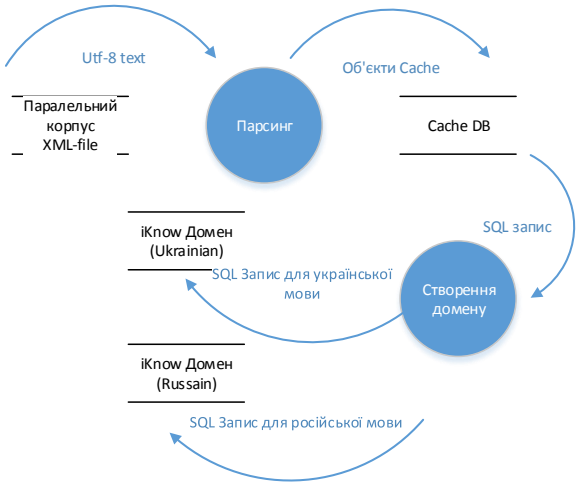



Рис. 1 – Обробка даних Cache.

Після парсингу паралельний корпус попадає до бази даних. Тому звісно потрібно розглянути схему зберігання даних. Зазвичай це робиться за допомогою моделі сутність-зв'язок. Для зберігання паралельного корпусу достатньо однієї сутності. Ця сутність - це елемент паралельного корпусу, який має ідентифікатор, речення російською мовою, а також речення українською мовою.

Мова розробки CacheObjectScript дозволяє використати об'єктно-орієнтований підхід до створення програми. Стрижнем програми є клас MainProgram, за допомогою нього можливо проініціалізувати систему, використавши паралельний корпус, а також можливо перекласти слово з української на російську та навпаки. Клас CorporaParser використовується для обробки xml-файлу і зберігання елементів корпусу в базу даних використовуючи класс CorporaElement, який у свою чергу використовує CacheLibrary. Після зберігання даних клас SQLDomainLoader використовується для створення українського та російського доменів. Він використовує iKnow API для цього. КлассTranslator використовується для перекладу слова з вхідної мови на цільову [3].

## IV. Технологія iKnow

Технологія InterSystems iKnow дозволяє індексувати текстові файли і неструктуровані дані інших типів для виділення елементів представлення знань, концепцій та зв'язків між ними. На відміну від інших технологій семантичного аналізу та пошуку, технологія iKnow автоматично показує найбільш значущі елементи в даних без необхідності будь-якого втручання користувача,

навіть без завдання ключових термінів в якості пошукового критерію [3].

Система обробки паралельних корпусів базується на використанні модулю iKnow бази даних Cache. Двигун семантичного аналізу iKnow використовується для аналізу неструктурованих даних, які записуються у вигляді тексту. Надаючи можливість для швидкого доступу і аналізу даних цього типу, iKnow не вимагає додаткових попередніх знань про зміст цих даних, або навіть знань про те, якою мовою дані написані, якщо iKnow підтримує цю мову.

Неструктуровані дані складаються з декількох текстів, часто з дуже великої кількісті текстів. Текст зазвичай розділяється за знаками пунктуації на речення. Текстовим джерелом може бути файл, або результаті SQL запросу, або навіть веб-джерело таке як RSS.

iKnow забезпечує доступ до неструктурованих даних, розділяючи текст на пов'язані елементи та вираховуючи певний індекс для цих елементів. Система ділить текст на речення, а потім ділить кожне речення на послідовності понять і відносин. Система виконує цю операцію шляхом визначення мови тексту (наприклад, української), а потім застосовуючи відповідну модель мови в iKnow.

Відношення – це слово або група слів, які об'єднують два поняття, визначаючи відношення між ними. Система містить компактну мовну модель, яка здатна визначити відносини в реченні.

Поняття це слово або група слів, які пов'язані відношенням. При визначенні відношень iKnow може визначити пов'язані з ним поняття. Таким чином, двигун iKnow може визначити поняття семантично без "зрозуміння" їх змісту.

Зазвичай дієслова - це відношення, а іменники це частіше за все поняття. Проте, лінгвістична модель відносин і понять значно більш складна, ніж різниця між дієсловами і іменниками.

Таким чином, iKnow ділить речення на поняття (П) і відношення (R). Мовна модель використовує відносно невеликий і фіксований словник слів відносин і набір правил для виявлення відносин у контексті. Все, що не ідентифіковано як відношення вважається поняттям. iKnow також ідентифікує нерелевантні слова, такі як "і", і відкидає їх від подальшого аналізу.

Відносини і поняття разом називаються елементом. Проте відношення майже ніколи не має сенсу без пов'язаного з ним поняття. З цієї причини система аналізу iKnow підкреслює зв'язок понять і послідовностей, які містять поняття, з відношенням.

Оскільки iKnow аналізує текст за допомогою невеликої і стабільної моделі мови, яка зосереджена на виявленні відносин, iKnow може досить швидко індексувати тексти на будь-яку тему. Системі не потрібно використовувати словник для ідентифікації понять.

Після того, як iKnow визначив поняття і відношення у кожному реченні в тексті, або у багатьох текстах, ця інформація може бути використана для виконання наступних видів операцій: SmartIndexing, SmartMatching.

Інтелектуальне індексування (SmartIndexing) дає можливість аналізувати і перетворювати неструктуровані текстові дані в зрозумілий набір концепцій і зв'язків між ними без необхідності використання попередньо заданих словників, таксономій і онтологій. Ця функція дозволяє визначити у великих обсягах неструктурованого тексту без введення ключового слова, які тексти схожі, які мають зв'язки між собою, яка інформація є репрезентативною і є значущою.

Інтелектуальне індексування використовується для декількох різних мов. Воно також може виявляти концепції (повторювані патерни) в неструктурованих даних, які не є традиційним текстом. Зразок індексованих речень українською та російською мовами наведено на рис. 2.

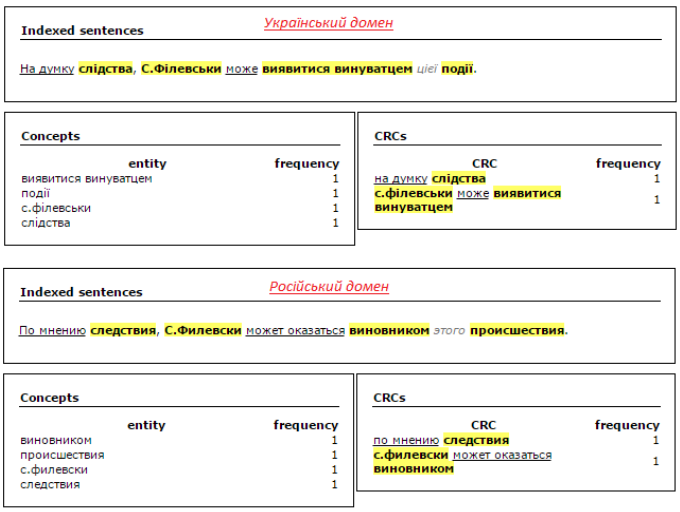



Рис. 2 – Зразок проіндексованих речень

Функція SmartMatching: надає можливість зв'язати об'єкти в вхідних текстах з зовнішніми елементами, такими як списки або словники. Ці списки можуть містити слова, фрази або речення для пошуку повного або часткового співвідношення.

При практичній роботі з системою iKnow послідовність дій поділяється на два етапи: загрузку даних у домен та запроси до цих даних. Загрузку даних можна організувати з різних джерел (файл, веб, sql-запрос). Загрузка даних виконується двома класами – це Lister та Loader. Можна також втручатись у цей процес додаючи конвертори та процесори тексту, для більш тонкого налаштування загрузки даних. Після того, як дані були завантажені в домен, доступ до них можна отримати завдяки виконанню запитів на мові CacheObjectScript або через рівень SOAP веб-сервісів.

Модель роботи iKnow представлена на рис. 3.

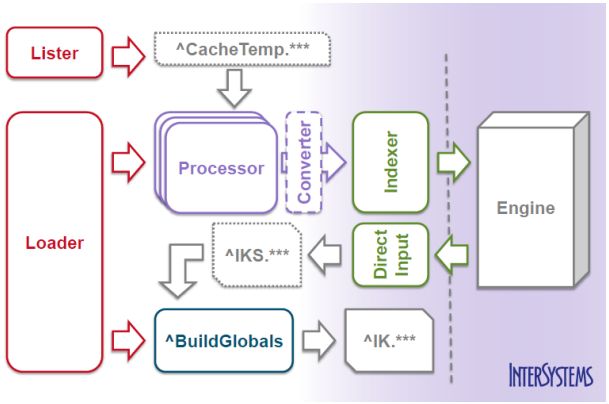



Рис. 3 – Загальна модель роботи iKnow.

## V. Алгоритм обробки паралельних текстів

На основі вищенаведених технологій було розроблено програмну систему обробки паралельних корпусів, яка складається з веб-сервісу та клієнту. У систему був завантажений російсько-український паралельний корпус, який був створений для наукових цілей у інформаційному центрі ElVista.

Елементи корпусу вилучались із XML файлу, який потребував попередньої обробки. Зразок паралельного корпусу, який було завантажено, наведено на рис. 4.

```
<item>
    <rus>Под прицелом оказались мелкие акционеры небольшого бизне
    <ukr>Під прицілом опинилися дрібні акціонери невеликого бізне
</item>
<item>
    <rus>Под прицелом оставил судью и секретаря, а милиционера 19
    <ukr>Під прицілом залишив суддю та секретаря, а міліціонера 1
</item>
<item>
    <rus>Под прицелом следующей программы будут матчи 20-го тура
    <ukr>Під прицілом наступної програми будуть матчі 20-го туру
</item>
<item>
    <rus>Под приемной президента сидит уже четвертый месяц.</rus>
    <ukr>Під приймальнею президента сидить уже четвертий місяць.<
</item>
```

Рис. 4 – Зразок паралельного корпусу

Для реалізації перекладу був розроблений алгоритм, який використовує IKnowQueries API. Він дозволяє знайти переклад для сутності на вхідній мові на цільову мову. Сутність у термінах Cache – це самостійна частина речення, це може бути концепт, відношення або незначуща частина. Алгоритм побудований з використанням трьох класів у бібліотеці CacheIKnow, а саме EntityAPI, SourceAPI, SentenceAPI. Ці класи надають можливості для роботи з доменом.

Після аналізу результатів індексації тексту системою iKnow, було запропоновано наступний алгоритм. Беремо задану сутність у мові оригіналу та знаходимо усі речення на вхідній мові, у яких зустрічається ця сутність. Після знаходження цих речень, беремо кожне речення окремо. Для кожного окремого речення шукаємо речення на мові перекладу. Знаходимо позицію сутності у реченні на вхідній мові. Використовуємо знайдену позицію дістаючи сутність за найденою позицією у реченні на мові перекладу. Зберігаємо пару сутність-переклад до результату. Обробляємо всі речення таким чином. Після обробки аналізуємо отримані пари, відсікаємо пари з частотою нижчою ніж певний коефіцієнт. Далі збережені пари можна буде використовувати через веб-інтерфейс для отримання перекладу. Приклад веб-інтерфейсу наведено на рис. 5.

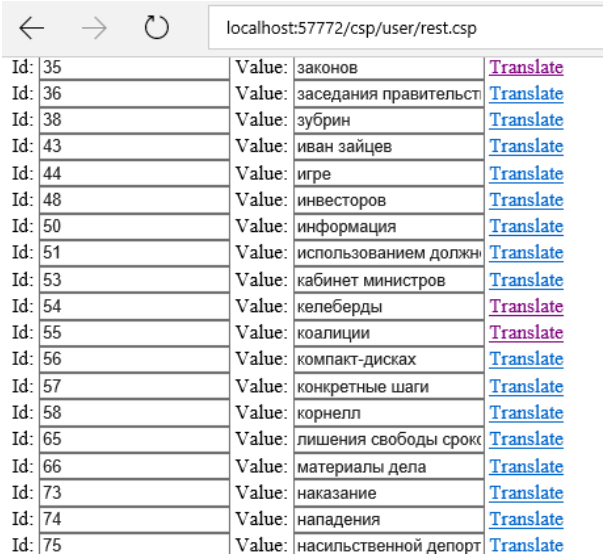



Рис. 5 - Інтерфейс словника.

У даній роботі було розглянуто техніку створення словників з машинним інтерфейсом на основі паралельних корпусів. Запропонований автоматичний метод дозволив сформувати двомовний словник перекладу. Такий підхід гарантує, що найбільш значущі переклади будуть включені у вихідний словник, якщо вибрані паралельні корпуси досить повні. Крім того, можливі кандидати для перекладу можуть бути сортовані за ймовірністю їх перекладу, тим самим гарантуючи, що швидше за все перекладні еквіваленти йдуть першими. Всі відповідні приклади речень легко доступні, що дає змогу подивитись на контекст перекладу, вибираючи відповідний переклад у разі декількох значень.

## Література References

[1] В.І. Гайдаржи, І.Ю Михайлова. Об'єктно-реляційна СУБД Cache , Освіта України, 2015, 310с.

[2] [Infostream,2018]Украинско-русский параллельный текстовый корпус, 2018, Режим доступа http://ling.infostream.ua/

[3] [InterSystems, 2018] InterSystems Product Documentation, 2018, Access mode http://docs.intersystems.com

# Алгебро-Логічні Моделі Узагальненої Конструкції Неявного Вибору в Бізнес Процесах

Віра Голян
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
vira.golan@nure.ua

Наталія Голян
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
Nataiia.golian@nure.ua

# Algebra–Logical Models of the Generalized Construction Selection Desing in Business Processes

Vira Golian
Department of Program Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
vira.golan@nure.ua

Natalija Golian
Department of Program Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
Nataija.golian@nure.ua

***Аннотация*—Детализированы основные особенности конструкций типовых ситуаций неявного выбора бизнес-процессов, и, на их основе построены модели обобщенной конструкции неявного выбора в виде логических сетей. В дальнейшем полученная модель обеспечит возможность построения логических сетей выявления конструкций неявного выбора, а также оценки полученных результатов.**

***Abstract*—Detalizirovany the main features of the construction of typical situations of implicit selection of business processes are detailed, and models of generalized design of implicit choice in the form of logical networks are constructed on their basis. In the future, the resulting model will provide the possibility of constructing logical networks to identify designs of implicit choice, as well as evaluating the results.**

***Ключовые слова—бизнес - процесс;процедура;логическая сеть; интеллектуальный анализ***

***Keywords—business process, procedure, logical network; intellectual analysis***

## I. Введение

Актуальность рассмотрения структуры и характеристик бизнес-процессов в контексте данной работы определяется необходимостью разработки эффективных методов интеллектуального анализа бизнес-процессов, в частности, методов выявления фрагментов таких процессов.

В настоящее время осуществляется переход к процессному управлению от традиционного функционального, что требует формализации существующих бизнес-процессов путем построения их иерархической структуры с использованием типовых фрагментов процессов [1]. Следовательно, детализация структуры и характеристик бизнес-процессов является необходимым условием исследования и разработки методов интеллектуального анализа данных.

На основе рассмотренных ранее моделей типовых ситуаций неявного выбора детализуем основные особенности таких конструкций, и, на их основе построим модель обобщенной конструкции неявного выбора в виде логических сетей. В дальнейшем полученная модель обеспечит возможность построения логических сетей выявления конструкций неявного выбора, а также оценки полученных результатов.

Следовательно, задача состоит в том, чтобы построить модель обобщенной конструкции неявного выбора в виде логических сетей [2].

## II. Результаты

Сформулируем необходимое и достаточное условия наличия конструкции неявного выбора между процедурами $P_1$ и $P_n$.

Необходимым условием наличия указанной конструкции является связь по входу-выходу между процедурами $P_1$ и $P_n$. Иными словами, результаты выполнения процедуры $P_1$ необходимы, но недостаточны для запуска процедуры $P_n$ (рис.1).

Достаточное условие для выявления конструкции неявного выбора заключается в следующем. Для запуска процедуры $P_n$, помимо рассмотренных выше результатов процедуры $P_1$, необходимы результаты выполнения упорядоченного набора промежуточных процедур $<P_2,\ldots, P_{n-1}>$ (либо некоторого подмножества данного набора).




Рис. 1 – Необходимое и достаточное условие для выявления конструкции неявного выбора между процедурами $P_1$ и $P_n$.

Отметим, что на рис.1. показана упрощенная схема взаимосвязей между процедурами, иллюстрирующая необходимые и достаточные условия для конструкции неявного выбора. На примере данной схемы удобно отобразить различие между конструкциями явного и неявного выбора, поскольку такая схема сводится к конструкции явного выбора исключением процедур $<P_2,\ldots, P_{n-1}>$.

Очевидно, что в общем случае взаимосвязи между процедурами $P_1$ … $P_n$, составляющими конструкцию неявного выбора, определяются предметной областью и могут быть совершенно различными. В то же время, для целей моделирования таких связей и, в дальнейшем, их выявления на основе анализа журнала событий, существующие взаимосвязи целесообразно сводить к единой схеме (обобщенным схемам), отражающей наиболее важные для моделирования характеристики.

Представленная на рис. 2.1. схема взаимосвязей между процедурами отображает отдельно конструкцию неявного выбора, со входом в начальную процедуру $P_1$ и выходом из конечной процедуры $P_n$, без учета ее возможных промежуточных связей с бизнес-процессом. Следовательно, в соответствии с поставленной в работе целью, необходимо выделить возможные типы промежуточных связей данного фрагмента с бизнес-процессом целом и, на этой основе, формализовать обобщенную модель конструкции неявного выбора [3, 4].

Выделим возможные варианты взаимодействий фрагмента с неявным выбором с остальными частями бизнес-процесса на основе представленной на рис.8 схемы. С целью упрощения (и не нарушая общность рассмотрения) будем рассматривать только единичные выходы в (из) процедур фрагмента согласно приведенным выше взаимосвязям, поскольку множественные входы-выходы с учетом конфигурации схемы, представленной на Рис.1, легко сводятся к единичным связям. Тогда возможны следующие промежуточные взаимосвязи:

дополнительный выход из процедуры $P_1$ в иные фрагменты бизнес-процесса (рис.2);

дополнительный вход в процедуру $P_n$ из иных фрагментов бизнес-процесса (рис. 3);

дополнительный вход в последовательность процедур $<P_2,\ldots, P_{n-1}>$ из иных фрагментов бизнес-процесса (рис. 4);

дополнительный выход из последовательности процедур $<P_2,\ldots, P_{n-1}>$ в иные фрагменты бизнес-процесса (рис. 5) .

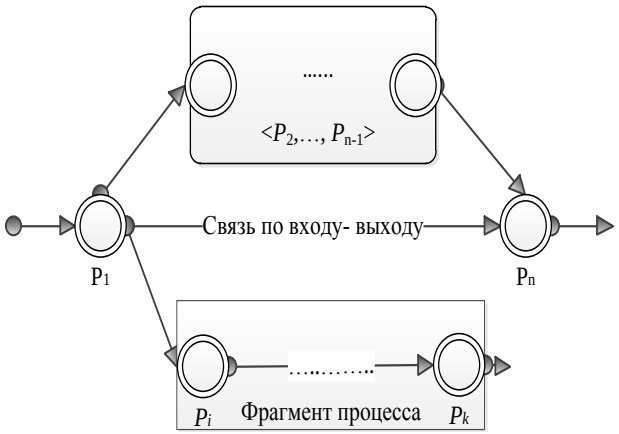



Рис. 2 – Взаимодействие конструкции неявного выбора с другими фрагментами бизнес-процесса: связь по выходу из $P_1$

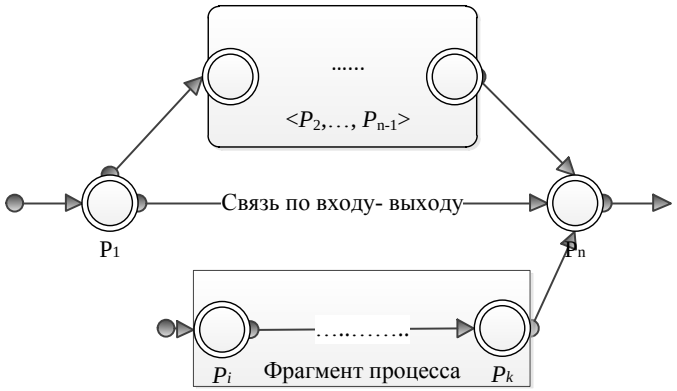



Рис.3 – Взаимодействие конструкции неявного выбора с другими фрагментами бизнес-процесса: связь по входу в $P_n$

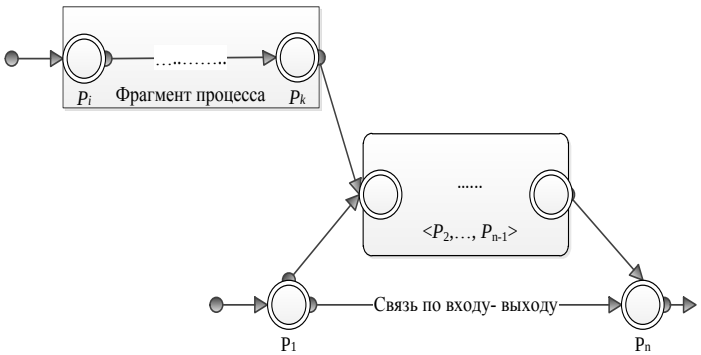



Рис. 4 – Взаимодействие конструкции неявного выбора с другими фрагментами бизнес-процесса: связь по входу в $<P_2,\ldots, P_{n-1}>$

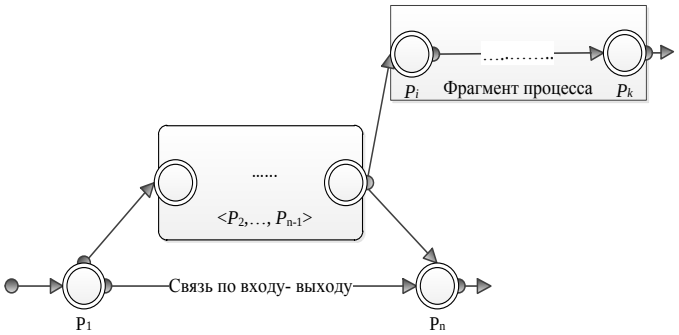



Рис. 5 – Взаимодействие конструкции неявного выбора с другими фрагментами бизнес-процесса: связь по выходу в <$P_2$,…, $P_{n-1}$>

На Рис. 2–5 приведены варианты единичных взаимосвязей между конструкцией неявного выбора и процедурами, входящими в другие фрагменты БП. Очевидно, что на практике возможны различные комбинации рассмотренных взаимосвязей. И все такие комбинации должны распознаваться при интеллектуальном анализе бизнес-процессов. Поэтому, не останавливаясь на перечислении различных комбинаций входов – выходов, связывающих текущую конструкцию с остальным бизнес-процессом, обобщим схему взаимодействия конструкции неявного выбора с другими частями БП (рис.6).

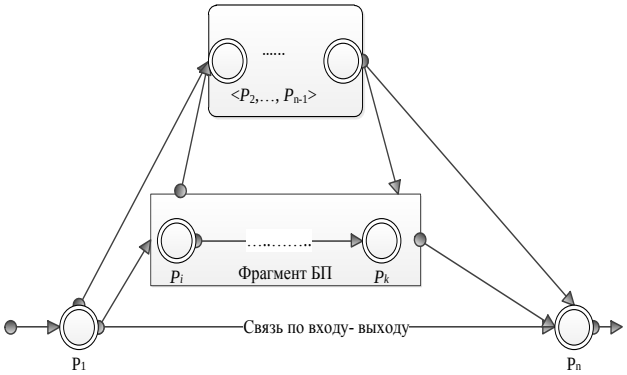



Рис. 6 – Обобщенная схема конструкции неявного выбора во взаимодействии с другими фрагментами бизнес-процесса

Сформулируем основные предпосылки построения обобщенной схемы взаимодействия конструкции неявного выбора с использование одинарных связей между данной конструкцией и остальным БП.

Во-первых, множественные связи могут быть сведены к единичным путем добавления объединяющих вершин (процедур) в граф процесса.

Во-вторых, логическая сеть выявления ситуаций неявного выбора, построенная на основе схемы на рис.6, в дальнейшем легко может быть расширена на большее число связей между фрагментами без потери связности.

Полученная в данном разделе алгебро-логическая модель обобщенной конструкции неявного выбора с одной стороны структурирует явные и неявные связи между процедурами. Это дает возможность установить соответствие между структурными элементами модели неявного выбора и представлением этих элементов в журнале регистрации событий реальных бизнес-процессов [5,6].

## III. Выводы

Получена алгебо-логическая модель обобщенной конструкции неявного выбора, которая формализует на основе предикатов явные связи между процедурами, независимое выполнение процедур, а также основные элементы неявных связей в виде последовательного, параллельного, циклического выполнения. Модель обеспечивает возможности для формализации представления таких элементов в журнале регистрации событий бизнес-процесса.

## Литература References

[1] A novel approach for process mining based on event types - Journal of Intelligent Information Systems. April 2009,Volume 32,pp 163–190, 2009.

[2] W.M.P. van der Aalst, B.F. van Dongen, J. Herbst, L. Maruster, G. Schimm, and A.J.M.M. Weijters. Workflow Mining: A Survey of Issues and Approaches. Data and Knowledge Engineering, 47(2):237-267, 2003.

[3] A.K.A. de Medeiros, W.M.P. van der Aalst, and A.J.M.M. Weijters. Workflow Mining: Current Status and Future Directions. In R. Meersman, Z. Tari, and D.C. Schmidt, editors, On The Move to Meaningful Internet Systems 2003: CoopIS, DOA, and ODBASE, volume 2888 of Lecture Notes in Computer Science, pages 389-406. Springer-Verlag, Berlin, 2003.

[4] W.M.P. van der Aalst, A.J.M.M. Weijters, and L. Maruster. Workflow Mining: Discovering Process Models from Event Logs. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 16(9):1128-1142, 2004.

[5] Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Об алгебре предикатов // Проблемы бионики, 2004. - Вып. 1. – С. 00-00.

[6] M. Z. J.Q. Li, Y.S. Fan. Timing constraint workflow nets for workflow analysis. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, part A: Systems and Humans, 33(2):179–193, March 2003.

# Побудова Індивідуальної Траєкторії Навчання у Розподіленому Навчальному Середовищі

Тетяна Горбач
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
yova.tanya@gmail.com

# Developing an Individual Trajectory of Training in a Distributed Learning Environment

Tetyana Gorbach
Department of software engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
yova.tanya@gmail.com

***Анотація*—Електронне навчання стає все більш актуальним та затребуваним. У кожного клієнта дистанційного навчання є свій рівень підготовки, здібності та очікування від навчання. Проведена робота щодо розробки програмного забезпечення, яке б задовольняло вимоги щодо організації освітнього процесу на основі методології електронного навчання. Модель адаптивної навігації представлено системою рівнянь. Розроблено мікросервісну архітектуру для створення програмного забезпечення системи електронного навчання.**

***Abstract*—*E-learning is becoming more relevant and in demand. Each customer of distance learning has his / her level of training, ability and learning expectations. The work on software development was performed that would meet the requirements for organizing the educational process based on the methodology of e-learning. The adaptive navigation model is represented by a system of equations. A microservice architecture has been developed to create software for e-learning.***

***Ключові слова—електронне навчання; траєкторія навчання; адаптивна навігація; мікросервіси***

***Keywords—e-learning; trajectory of training; adaptive navigation; microservice***

## I. Вступ

Сьогодні ми є свідками унікальних темпів розвитку інтернет-технологій, які часто випереджають інтелектуальні можливості масового споживача. Саме тому електронне навчання стає все більш актуальним та затребуваним. До числа інших причин, які зумовили неминучу появу електронного навчання, слід віднести зростання обсягу інформації та знань. Єдина форма, яка здатна встигнути за генеруванням інтелектуального контенту – це електронні ресурси. У ситуації, що виникла, e-learning виступає в якості нового технологічного середовища доставки знань з відкритих джерел. Нарешті, виникнення навчання, що здійснюється за допомогою інформаційних технологій, обумовлено дією ринкових механізмів. Зростаючий попит на вищу освіту привів до появи ринку освітніх послуг, на якому ВНЗ стали конкуруючими суб'єктами в області дистанційної доставки освітнього контенту. Саме ці три чинники зумовили появу і стрімке поширення в світі нової моделі навчання – транскордонної освіти в формі e-learning або навчання он-лайн.

Відсутність стандартів та уніфікованого підходу до створення систем електронного навчання в Україні впливає не лише на ринок таких програмних продуктів, але й на якість дистанційної освіти. Одним із шляхів вирішення проблеми якості навчання є створення окремих педагогічних програмних засобів для кожного предмету [1]. Але цей процес є дуже витратним як з огляду на матеріальні, так і на людські ресурси. Отже, постає питання розробки програмного забезпечення, яке б задовольняло вимоги щодо організації освітнього процесу на основі методології електронного навчання.

## II. Результати

Проведений аналіз науково-практичних розробок з математичного забезпечення моделей адаптації в сучасних інтелектуальних гіпермедіа системах [2] доводить їх придатність для опису умов і вимог дистанційного навчання. Для досягнення мети адаптації система повинна мати інформацію для аналізу інтересів та вподобань користувача, історії його взаємодії з системою, будь-яку інформацію, до якої вона може адаптуватися. Окремим питанням постають види та варіанти надання інформації, вирішення на конкретному етапі питання релевантності наданої інформації, та інше. За своєю структурою адаптивні системи дуже різноманітні, від надзвичайно складних до більш простих, з меншою кількістю компонентів та параметрів, що враховуються при побудові сценарію навчання. Основними компонентами адаптивних навчальних систем є моделі користувача та предметної галузі, а також, в залежності від типу системи, база знань чи інші математичні моделі [3, 4].

Основою для дослідження математичного апарату з моделювання процесів обробки даних, як основи побудови інформаційної технології обрано алгебру скінченних предикатів [5], що є універсальною мовою опису відношень. Проаналізовано основні моделі представлення знань, розглянуто основні методи ідентифікації знань (класифікація, метод компараторного аналізу). При побудові комплексної моделі інтелектуальної адаптивної навчальної гіпермедійної комп'ютерної системи визначено математичний інструментарій на базі алгебри скінченних предикатів для представлення знань та моделювання стратегії навчання в інтелектуальних гіпермедіа системах з елементами адаптації до моделі користувача.

Підтримка процесу навігації у навчальному гіпертекстовому середовищі має свої особливості, тобто необхідне врахування логічних зв'язків між вузлами для забезпечення принципу поступового вивчення і додаткового розрізнення вузлів і зв’язків по їх освітньому статусу. Тому статистичні підходи до планування послідовності вузлів гіперпростору, не можуть бути застосовані. Отже формальне представлення моделі учня позначимо через $\lambda$, а множину всіх таких моделей, допустимих гіперпростором, – через $\Lambda$. Правило формування сценарію задамо за допомогою дидактичної функції – часткового мультивідображення $\pi(\lambda): \lambda \to 0$, де $\lambda \in \Lambda$, а $0$ – множина елементів сценарію навчання, $0 \subseteq F$. Ця функція встановлює відповідність між поточною моделлю учня і множиною вузлів, які підлягають вивченню.

Тоді модель адаптивної навігації можна формально представити як кортеж $\pi_1(\lambda_1), \dots, \pi_k(\lambda_k)$ , де $\pi_k$ – дидактична функція, а $\lambda_k$ – модель деякого учня, що використовується на k-му кроці ($k = 1, \dots, K$).

Кожен наступний крок може відрізнятися від попереднього моделлю учня (метою, станом знань) та/або дидактичної функцією. При цьому модель учня і функція $\pi$ можуть корегуватися автоматично на кожному кроці навчання на основі інформації зворотного зв’язку.

Найбільш поширеним підходом до адаптивної навігації є різні прийоми адаптації посилань шляхом визначення їх «корисності». Розроблено також методи та алгоритми, що дозволяють упорядкувати вузли гіперпростору з метою отримання зв’язного тексту (мікрорівень), отримання послідовності навчальних впливів із ускладненням викладу досліджуваних понять (макрорівень), вибору послідовності контролюючих впливів. Для представлення методичних знань доречно застосування продукційних правил, що визначають вид навчальних впливів, їх рівень складності та порядок надання в залежності від попередніх успіхів учня.

Розроблено програмне забезпечення системи електронного навчання. Система подається як набір сервісів, які конфігуруються залежно від вимог замовника. Замовником може виступати фізична або юридична особа, якій потрібно автоматизувати процеси навчання. Система будується з автономних сервісів, які є незалежними один від одного. Спілкування між сервісами відбувається за допомогою HTTPS протоколу. Також замовник може надати свій сервіс, який підтримує контракт системи. Сервіси є незалежними та можуть бути реалізовані різними мовами програмування та розміщені на різних апаратних платформах. Для повноцінного функціонування продукту програмне забезпечення розробляється з можливістю підключення до п’ятдесяти модулів одночасно, а також його надійності, відкритості до змін, захищеності.

В контексті роботи під системою розуміється проста взаємопов’язана структура, яка складається із таких компонентів:

- сервіс зв’язку компонентів;
- навчально-методичний сервіс;
- педагогічний сервіс;
- сервіс контролю знань;
- сервіс авторизації та аутентифікації;
- сервіс оповіщень.

Мікросервісний стиль архітектури [6] – підхід до розробки цілісної програми як набору маленьких сервісів, кожен із яких працює у власному процесі та з’єднується з іншими за допомогою легких механізмів, таких, як HTTP. Сервіси будуються відповідно до певної задачі та можуть незалежно розгортатись автоматизованими системами.

Уся логіка обробки запитів працює в одному процесі, що дозволяє використовувати наявні інструменти мови програмування для поділу програми на класи, функції та простори імен. Мікросервіси можна розгортати та масштабувати незалежно один від одного. Вони мають чіткі межі між модулями та дозволяють реалізовувати окремі підсистеми різними мовами програмування. Таке розмежування допомагає управляти складністю, оскільки кожен модуль матиме публічний API, який містить лише потрібну функціональність, а все інше буде інкапсульовано та не мати значення для розробки інших сервісів, які залежать від цього [6]. На рисунку 1

зображена діаграма компонентів для системи при мікросервісному підході. ) Як показано на діаграмі, всі сервіси є незалежними один від одного та взаємодіють лише на основі відкритого інтерфейсу. Також на діаграмі зображений API GateWay, який виступає своєрідним проксі сервером. Це надає зручності роботі з системою, оскільки звернення відбувається за однією адресою, а не за індивідуальною адресою кожного мікросервісу. Також використання API GateWay інкапсулює мікросервіси, що в свою чергу дозволяє змінювати їх структуру та API.

## III. Висновки

В результаті дослідження проведено аналіз проблеми розробки вимог та створення програмного забезпечення системи електронного навчання. Було створено веб-додаток на основі мікросервісів. Працездатність розробленого програмного забезпечення підтверджено за допомогою автоматичного (модульного та інтеграційного) і ручного тестування.

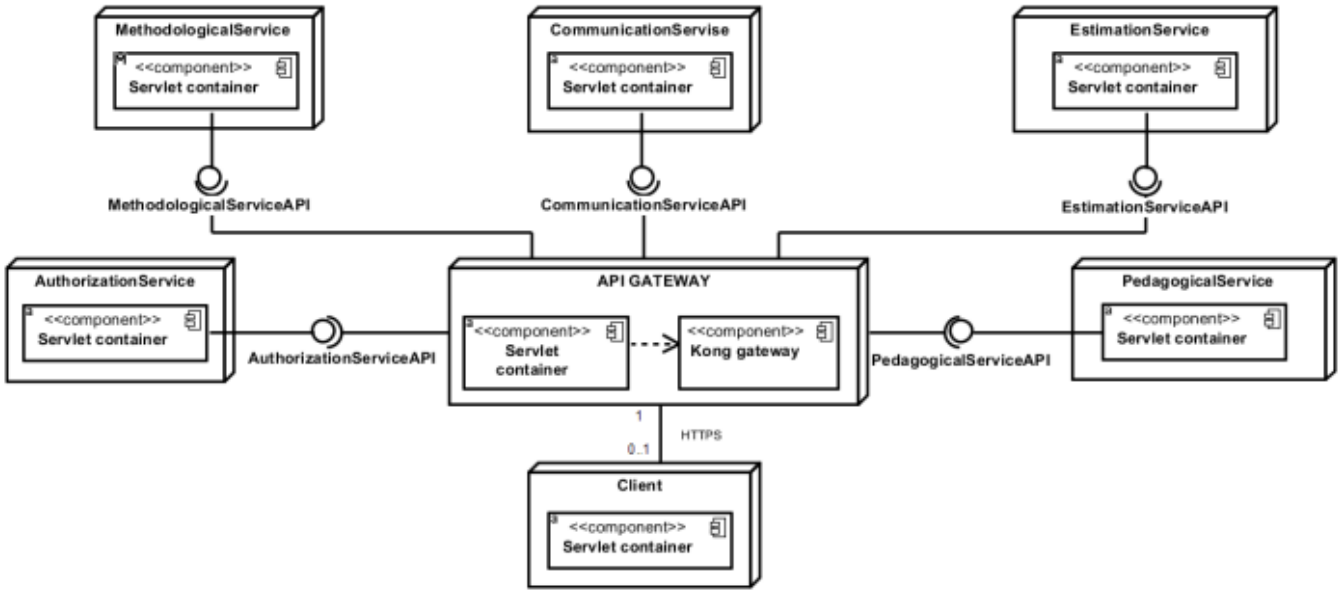



Рис. 1. Діаграма компонентів при мікросервісному підході

## Література References


[1] Афанасьев Ю.И. Современные проблемы науки и образования, 2015 – С. 1–45.

[2] Шубін І.Ю., Святкін Я.В. Методи та моделі побудови інтелектуальних адаптивних гіпермедіа систем/ // Восточно-европейский Журнал передовых технологий 3/11(57), Харків, 2012. С.11-13

[3] Горбач Т.В., Святкин Я.В., Шубин И.Ю. Методы реализации адаптивной гипермедиа в обучающих системах //Вестник Херсонского национального технического университета. Херсон: Херсонский национальный технический университет. 2010. № 2 (38). С. 503–508.

[4] Горбач Т.В. , Святкин Я.В., Шубин И. Ю, Щербак А.С. Реализация методов адаптации в гипермедийных системах обучения // Вестник Херсонского национального технического университета. 2011. № 2(41). С. 464 – 468.

[5] Алгебра предикатов и предикатных операций./ М.Ф. Бондаренко, З.В. Дударь, Н.Т. Процай, В.В. Черкашин, В.А. Чикина, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко // Радиоэлектроника и информатика. – 2004.–№ 1. – С. 5-22.

[6] Lucas Krause. Microservices: Patterns and Applications, - 2015.

# Обзор Типов Нейронных Систем для Анализа Медицинских Изображений

Зоя Дударь
к.т.н., профессор
кафедра Программной Инженерии
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
Харьков, Украина
zoia.dudar@nure.ua

Екатерина Зыбина
аспирант, ассистент
кафедра Программной Инженерии
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
Харьков, Украина
kateryna.zybina@nure.ua

# Overview of the Types of Neural Systems for the Analysis of Medical Images

Zoia Dudar
PhD, associate professor
Department of System Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
zoia.dudar@nure.ua

Kateryna Zybina
postgraduate, teaching assistant
Department of System Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
kateryna.zybina@nure.ua

***Аннотация*—Целью работы является рассмотрение основных типов нейронных сетей, которые могут быть применены при медицинском анализе изображений, для постановки или уточнения диагноза, а также для прогнозирования развития болезни в дальнейшем.**

***Abstract*—The aim of the work is to examine the main types of neural networks that can be used in medical image analysis, to establish or refine the diagnosis, and to predict the development of the disease in the future.**

***Ключевые слова—медицина, нейронные сети, диагноз, гибридные нейронные сети, распознавание образов, сегментация изображений, сверточные нейронные сети.***

***Keywords—medicine, neural networks, diagnosis, hybrid neural networks, pattern recognition, image segmentation, convolutional neural networks.***

## I. Введение

Понятие нейронных сетей появилось в прошлом веке. Но уже в настоящее время с их помощью удалось решить множество задач, которые сложно решить обычным способами, например: распознавание образов, адаптивное управление, аппроксимация функционалов, создание экспертных систем, прогнозирование, организация ассоциативной памяти. В задачах, где традиционные технологии бессильны, нейронные сети часто выступают как единственная эффективная методика решения.

Очень важной областью, в которой осуществляется значительное развитие нейронных сетей – медицина. Нейронные сети в медицине позволяют создавать не просто информационные системы, а непосредственно, экспертные системы, которые позволяют обнаруживать и уточнять диагноз пациента. Однако, сложность выбора оптимальной архитектуры нейронной сети и большие вычислительные затраты при обучении для решения сложных задач, среди которых такие задачи, как прогнозирование и распознавание, сдерживает их массовое применение.

Применение нейронных сетей в медицине базируется на фундаментальном допущении – замене прогнозирования распознаванием. Нейросеть не предсказывает будущее, она старается “узнать” в

состоянии больного ранее встречавшуюся ситуацию и максимально точно воспроизвести диагноз.

## II. ОБЗОР ОСНОВНЫХ ТИПОВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Одной из нейронных сетей, которые могут быть использованы для анализа медицинских изображений - сеть прямого распространения (feed forward neural networks, FF или FFNN). Такие сети очень прямолинейны, они передают информацию от входа к выходу, где каждый слой состоит из входных, скрытых или выходных клеток. Клетки одного слоя не связаны между собой, а соседние слои обычно полностью связаны. Самая простая нейронная сеть имеет две входных клетки и одну выходную, и может использоваться в качестве модели логических вентилей. В работе [1] рассматриваются все типы данных сетей и их преимущества и недостатки, когда они применяются к принятию решений в области биомедицины, а именно к обнаружению и диагностики рака толстой кишки. К основным недостаткам можно отнести:

– рассматриваются как методы «черного ящика», нельзя точно понять, какие взаимодействия моделируются в их скрытых слоях по сравнению со статистическими моделями «белого ящика»;

– имеют ограниченные возможности для определения возможных причинно-следственных связей;

– требуют длительной разработки и времени для оптимизации;

– их сложнее использовать на местах из-за вычислительных требований [2-4].

Более эффективными, по сравнению с сетями прямого распространения, являются гибридные нейронные сети (ГНС). Они представляют собой объединение нескольких нейронных сетей для решения определенных задач. Данное свойство позволяет разделить сложную задачу на более простые подзадачи, и архитектура нейронных сетей может быть оптимизирована под конкретную задачу.

Чаще всего, в качестве основы для гибридной нейронной сети служит принцип сверточной нейронной сети. Свёрточная нейронная сеть — нейронная сеть, в которой присутствует слой свёртки (convolutional layer). Обычно в свёрточных нейронных сетях также присутствуют слой субдискретизации (pooling layer) и полносвязный слой (fully connected layer). Свёрточные нейронные сети применяются для оптического распознавания образов, классификации изображений, детектирования предметов, семантической сегментации и других задач.

Сверточные нейронные сети обеспечивают частичную устойчивость к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и прочим искажениям. Они объединяют три архитектурных идеи, для обеспечения инвариантности к изменению масштаба, повороту сдвигу и пространственным искажениям:

– локальные рецепторные поля (обеспечивают локальную двумерную связность нейронов);

– общие синаптические коэффициенты (обеспечивают детектирование некоторых черт в любом месте изображения и уменьшают общее число весовых коэффициентов);

– иерархическая организация с пространственными подвыборками.

В работе [5] рассматривается применение, степень обучаемости и настройки как раз таких сверточных нейронных систем в таких областях:

–обнаружение полипов в колоноскопии видео;

–оценка качества изображения в видеороликах колоноскопии;

–обнаружение легочной эмболии в компьютерной томографии;

–сегментирование границы интерферона в ультрасонографические изображения.

Большое количество работ по использованию свёрточных нейронных сетей посвящено диагностике опухолей молочной железы - дифференциальной диагностики злокачественных и доброкачественных опухолей. Для работы таких искусственных нейроных сетей по определению какая это опухоль – доброкачественная, или злокачественная, используются данные маммографии (термографии, сканографии молочной железы) [6, 7, 8].

Диагностику опухолей молочной железы проводят также по данным УЗИ [9]. Описана нейросеть, которая планирует лечебную тактику у больных с этим заболеванием [10]. Некоторые авторы проводят нейросетевой прогноз исхода заболевания и появление рецидива опухоли [11, 12]. Ряд работ посвящен решению проблемы ранней диагностики рака молочной железы с использованием нейросетевых технологий [13]. Гистологическая верификация диагноза положена в основу работы нейросети для выбора адъювантной терапии [14].

В работах [15-17] авторами рассматриваются самоорганизующиеся нейронные сети (СОМ) в качестве ядра алгоритмов для работы с медицинскими изображениями, в том числе, для их сегментации и распознания границ. Поскольку СОМ не используют никаких априорных знаний о назначении класса вокселов и приводят к полностью неконтролируемым методам сегментации, что позволяет автоматически обнаруживать различные классы тканей и обнаружения чужеродных образований.

В работе [14] была разработана конкурентная модель обучения COM, которая группирует пиксели в кластеры. Этот конкурентный процесс обнаруживает сходство между пикселями, что приводит к неконтролируемому способу сегментирования изображения. Более того, границы кластеров переопределяются с использованием метода энтропийного градиента. Весь процесс позволяет определить сегменты, присутствующие на изображении, без какой-либо априорной информации. Таким образом, есть возможность без априорной информации поставить правильный диагноз.

В работах [18] и [19] авторами рассмотрено применение нейронных сетей GMDH (Group Method of Data Handling) в медицине для распознавания изображений. Такие алгоритмы могут автоматически организовывать архитектуру нейронной сети с использованием эвристического метода самоорганизации. В логистических системах нейронных сетей типа GMDH генерируется множество сложных нелинейных комбинаций входных переменных, удовлетворяющих сложности нелинейной системы, и выбираются только полезные комбинации входных переменных для организации нейронной сетевой архитектуры. В работе [18] приводятся доказательства того, что нейронные сети GMDH-типа - точный и полезный метод для распознавания изображений в медицине. В [19] нейронные сети GMDH типа применяются для распознавания изображений легких.

В работе [20] предложена гибридная модель на базе вероятностной нейронной сети с суммированием результатов экспертов при определении выходного значения для классификации входных изображений. В работе решается задача классификации образов на три класса – меланома, лентиго, невус. Данная модель позволяет значительно снизить вычислительные затраты на обучение гибридной нейронной сети. Снижение затрат достигается за счет того, что каждый эксперт обучается на определенной, заранее выделенной для него, обучающей выборке.

Для распознания глаукомы с помощью нейронных сетей автор [21] для задачи сегментации изображения предлагает использовать глубокие свёрточные сети с техникой transfer lerning, Данная технология использовать готовые нейронные сети для решения задач нового типа, не тех, для которых сети предварительно обучались. В работе [22] – обучаются фильтры свертки с помощью алгоритма Gentle Adaboost. За счёт применения полносвёрточных нейронных сетей и их последующей модификации, автору удалось построить метод сегментации изображения органов глаза для диагностики глаукомы. В качестве базовой нейронной сети была выбрана сеть VGG-16 [23].

Непосредственно к изображению применяется свёрточная нейронная сеть, за основу которой взята модель архитектуры U-Net, которая показала очень высокие результаты на многих соревнованиях по сегментации биомедицинских изображений. U-Net была изначально построена для работы с обучающими выборками малого объёма.

VGG16 - это сверточная нейронная сеть, которая содержит 16 слоев. Сеть состоит из двух частей.

Первая часть сети выделяет характерные признаки в изображении. Состоит из чередующихся каскадов свертки и подвыборки. Сначала идут два каскада свертка-свертка-подвыборка, а затем три каскада свертка-свертка-свертка-подвыборка. Размер узла свертки во всех слоях 3x3. При подвыборке производится выбор максимального значения (Max Pooling) из квадрата размером 2x2.

Вторая часть отвечает за классификацию объекта на изображении по выделенным на предыдущем этапе признакам. Эта часть содержит три полносвязных слоя. В первых двух слоях 4096 нейронов, а в последнем - 1000 нейронов (по количеству классов объектов).

На вход сеть VGG16, получает изображение размером 224x224 пиксела, 3 канала цвета (красный, зеленый и синий). На выходе сеть выдает вероятности (в формате one hot encoding), что на изображении тот или иной класс объекта.

Также, на данный момент, искусственные нейронные сети применяются для ранней диагностики заболевания сахарным диабетом. В данной работе [24] использовалась модель многослойного персептрона (нейронная сеть прямого распространения) обученная на основе алгоритма обратного распространения ошибки. Многослойный персептрон обладает высокой степенью связности, реализуемой посредством синаптических соединений. Изменение уровня связности сети требует изменения множества синаптических соединений или их весовых коэффициентов. Комбинация всех этих свойств наряду со способностью к обучению на собственном опыте обеспечивает вычислительную мощность многослойного персептрона

Также, для диагностики заболевания сахарным диабетом могут применяться такие модели нейронных сетей:

– нелинейная авторегрессионная сеть (Nonlinear Autoregressive Network -NARX-сеть). Наличие обратных связей позволяет NARX-сети принимать решения, основываясь не только на входных данных, но и с учетом предыстории состояний динамического объекта;

– сеть Элмана - частный случай многослойной рекуррентной сети (Layer-Recurrent Network - LRN-сеть) один из видов рекуррентной сети, которая получается из многослойного персептрона введением обратных связей, только связи идут не от выхода сети, а от выходов внутренних нейронов. Это позволяет учесть предысторию наблюдаемых процессов и накопить информацию для выработки правильной стратегии управления.;

– опережающая сеть прямого распространения (Feed-Forward Network - FFN-сеть).

## III. Выводы

Нейронные сети - исключительно мощный метод моделирования, позволяющий воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости и является отличным инструментом решения задач, в которых линейная аппроксимации неудовлетворительна.

В результате изучения типов нейронных сетей можно сделать вывод, что области их применения очень широки. Они применяются, для обнаружения раковых опухолей, обнаружения и диагностики глаукомы, обнаружения сахарного диабета на ранних стадиях, нахождения и диагностики бляшек в кровеносных сосудах и т.д.

Наиболее распространенным типом нейронных сетей являются – гибридные нейронные сети. Несомненное их преимущество в том, что с помощью них можно комбинировать несколько различных типов сетей. Главным же недостатком в этой области является то, что каждая из типов сетей является узконаправленной, что не дает возможности получить обобщенный анализ всего организма в целом, а только его отдельно взятых частей. Еще одним спорным вопросом является - выбор типа нейронной системы для анализа изображения, обучающего алгоритма и обучающей выборки.

## Литература References


[1] Ahmed F. Artificial neural networks for diagnosis and survival prediction in colon cancer. Mol Cancer. 4: 29, 2005

[2] Tetko IV: Efficient partition of learning data sets for neural network training. Neural Networks. 1997, 10: 1361-1374. 10.1016/S0893-6080(97)00005-1

[3] Stager F, Agrawal M: Three methods to speed up the training of feedforward and feedback perceptron. Neural Networks. 1997, 10: 1435-1443. 10.1016/S0893-6080(97)00053-1

[4] Shepherd AJ: Second-order Methods for Neural Networks. 1997, Springer, London.

[5] N. Tajbakhsh, J.Y. Shin, S.R. Gurudu et al., "Convolutional neural networks for medical image analysis: full training or fine tuning?", IEEE Trans. Med. Imag., vol. 35, no. 5, pp. 1299-1312, 2016.

[6] Elter M, Schulz-Wendtland R, Wittenberg T. The prediction of breast cancer biopsy outcomes using two CAD approaches that both emphasize an intelligible decision process // Med Phys. – 2007. – Vol.34, №11. – P.4164-4172.

[7] Fogel D.B., Wasson E.C., Boughton E.M., Porto V.W. A step toward computer-assisted mammography using evolutionary programming and neural networks // Cancer Lett. – 1997. – Vol.119, №1. – P. 93-97

[8] Koay J., Herry C., Frize M. Analysis of breast thermography with an artificial neural network: Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. – 2004. – Vol.2. – P.159-162

[9] Казаков В.Н., Климовицкий В.Г., Владзимирский А.В. Телемедицина. –Донецк.: Б.и. – 2002. – 100с

[10] Zheng B., Leader J.K., Abrams G.S., Lu A.H., Wallace L.P., Maitz G.S., Gur D. Multiviewbased computer-aided detection scheme for breast masses // Med Phys. – 2006. – Vol. 33, №9. – P. 3135-3143.

[11] Jerez-Aragonés J.M., Gómez-Ruiz J.A., RamosJiménez G., Muñoz-Pérez J., Alba-Conejo E.A. combined neural network and decision trees model for prognosis of breast cancer relapse // Artif. Intell. Med. – 2003. – Vol. 27, №1. – P. 45-63.

[12] Lundin J., Burke H.B., Toikkanen S., Pylkkänen L., Joensuu H. Artificial neural networks applied to survival prediction in breast cancer // Oncology. – 1999. – Vol.57, №4. – P.281-286

[13] Gruvberger-Saal S.K., Edén P., Ringnér M., Baldetorp B., Chebil G., Borg A., Fernö M., Peterson C., Meltzer P.S. Predicting continuous values of prognostic markers in breast cancer from microarray gene expression profiles // Mol. Cancer. Ther. – 2004. – Vol.3, №2. – P.161-168

[14] Lundin J., Lundin M., HolliK., Kataja.V., Elomaa L, Pylkkänen L., Turpeenniemi-Hujanen T., Joensuu H. Omission of histologic grading from clinical decision making may result in overuse of adjuvant therapies in breast cancer: results from a nationwide study // J. Clin. Oncol. – 2001. – Vol.19, №1. – P.28-36.

[15] Jiang, P. Trundle∗, J. Ren. Medi-cal image analysis with artificial neural net-works // Computerized Medical Imaging and Graphics 34 (2010) 617–631

[16] A. Ortiz, J. M. Gorriz, J. Ramirez, and D. Salas-Gonzalez. Unsupervised Neural Techniques Applied to MR Brain Image Segmentation // Hindawi Publishing Corporation Advances in Artificial Neural Systems Volume 2012, Article ID 457590, 7 pages

[17] Amir Maleki Anvar, Alireza Mohammadi, Abdolhamid Pilevar. SOM Neural Network as a Method in Image Color Reduction // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security,VOL.13 No.2, February 2013 p. 64-68

[18] Kondo T., Pandya A.S. Medical image recognition by using logistic GMDH-type neural networks – SICE 2001. Proceedings of the 40th SICE Annual Conference. International Session Papers. – 240 p.

[19] Kondo T., Pandya A.S., Zurada J.M. – SICE 1999. Proceedings of the 38th SICE Annual Conference. International Session Papers. – 320 p.

[20] Новосельцев И. В. Гибридные нейронные сети для распознавания образов / И. В. Новосельцев, Н. Г. Аксак, О. Ю. Барковская // Системи обробки інформації. - 2007. - Вип. 3. - С. 60-64. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/soi_2007_3_22

[21] Sevastopolsky Artem. Optic Disc and Cup Segmentation Methods for Glaucoma Detection with Modification of U-Net Convolutional Neural Network // arXiv preprint arXiv:1704.00979. — 2017

[22] Deep retinal image understanding / Kevis-Kokitsi Maninis, Jordi Pont-Tuset, Pablo Arbel´aez, Luc Van Gool // International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention / Springer. — 2016. — Pp. 140– 148

[23] Simonyan Karen, Zisserman Andrew. Very deep convolutional networks for largescale image recognition // arXiv preprint arXiv:1409.1556. — 2014.

[24] Мустафаев А.Г. Применение искусственных нейронных сетей для ранней диагностики заболевания сахарным диабетом // Кибернетика и программирование. — 2016. - № 2. - С.1-7. DOI: 10.7256/2306-4196.2016.2.17904.

# Распознавание Изменений Окружающей Среды Беспилотным Летательным Аппаратом

Зоя Дудар
к.т.н., профессор
кафедра Программной Инженерии
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
Харьков, Украина
zoia.dudar@nure.ua

Александр Олейник
аспирант, ассистент
кафедра Программной Инженерии
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
Харьков, Украина
oleksandr.oliinyk1@nure.ua

# Recognition of Environmental Changes by an Unmanned Aerial Vehicle

Zoia Dudar
PhD, associate professor
Department of System Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
zoia.dudar@nure.ua

Oleksandr Oliynyk
postgraduate, teaching assistant
Department of System Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oleksandr.oliinyk1@nure.ua

***Аннотация*—Наступает эпоха машин и проблема их ориентации в пространстве становиться все более актуальной. Особенно для машин способных к перемещению не только по земле, но и в воздухе. Метод решения данной проблемы существует только один – программно-аппаратный комплекс. Данную задачу невозможно решить исключительно программными или исключительно аппаратными средствами. Здесь рассмотрены существующие комплексы для решения данной проблемы.**

***Abstract*—the age of machines is coming and the problem of the orientation of machines in space is becoming more urgent. It is especially important for machines capable of moving not only on the ground, but also in the air. The method of solving this problem exists only one - the software and hardware complex. This task can not be solved solely by software or solely by hardware. Here, existing complexes for solving this problem are considered.**

***Ключевые слова—беспилотный летательный апарат, блочные алгоритмы оценки движения, машинное зрение***

***Keywords— Unmanned aerial vehicle, block motion estimation algorithms, machine vision***

## I. Введение

В последнее время машины занимают все больше места в нашем мире. Они выполняют все больше и больше функций, становятся все «умнее» и «умнее». А мы желаем от них все большего и большего. Сейчас возникла ситуация, когда машинам требуется предоставить больше автономности, для того, чтобы они могли решать задачи, которые человечество ставит перед ними. А никакая настоящая автономность не возможна без самостоятельного, без участия человека, реагирования на изменение окружающей обстановки. Наиболее актуальна данная проблема для подвижных машин. Самыми перспективными из них являются беспилотные летательные аппараты (БЛА), способные передвигаться, а значит и выполнять различные задачи, в трех измерениях. Эффективность решения поставленных задач во многом зависит от возможностей аппарата к определению своего положения в пространстве и его способности реагировать на быстро изменяющиеся окружающие условия.

Сегодня беспилотные машины строятся с использованием разнообразных аэродинамических схем. В зависимости от применяемой системы управления БЛА подразделяются на три класса: 1) дистанционно пилотируемые (с радиокомандным управлением и по

проводам); 2) программно пилотируемые; 3) с комбинированными системами управления. Особенностью аппаратов с дистанционным управлением (1 класса) является участие в процессе полёта человека-оператора, который располагается, как правило, в наземном пункте управления. Программно пилотируемые летательные аппараты (2 класса) — автономные воздушные роботы, способные совершать полёт и решать задачи по заранее составленной программе, без участия в процессе управления человека-оператора [1]. Однако, большинство современных аппаратов относятся к первому и третьему классам. Это во многом связано с несовершенством программ-пилотов, особенно в части реакции на изменение окружающей обстановки.

Для ориентирования в пространстве и управления полетом большинство беспилотных комплексов используют американскую систему GPS или российский аналог ГЛОНАСС, которые обеспечивают достаточную на текущий момент, точность позиционирования [2]. Однако, мало того, что существует много мест где сигналы этих систем или недоступны, или ограничены и имеют недостаточное качество приема сигналов, так еще они не позволяют программной части комплекса быстро реагировать на неожиданно изменившуюся обстановку. Возникает необходимость в разработке и применении средств управления, навигации, наведении летающих роботов никоим образом не привязанных к спутниковым системам. Данная задача решается с помощью использования машинного зрения.

## II. Машинное зрение

Машинное зрение - это научное направление в области искусственного интеллекта, в частности робототехники, и связанные с ним технологии получения изображений объектов реального мира, их обработки и использования полученных данных, для решения разного рода прикладных задач без участия (полного или частичного) человека [3].

Основными элементами современных систем машинного зрения можно назвать камеру, с помощью которой получают изображение, плату ввода, оцифровывающую изображение, и плату управления движением. Технология машинного зрения имеет несколько этапов работы системы. Первым этапом является получение изображения контролируемого объекта. Далее полученное изображение необходимо ввести в промышленный контроллер или другой компьютер, где происходит компьютерная обработка, анализ полученных данных и принятие решений в соответствие с заложенной программой управления. Заключительным этапом является вывод управляющих воздействий на исполнительные устройства.

В задачи, рассматриваемые в рамках машинного зрения, в частности, входят: обнаружение объектов, обладающих определенными свойствами на статическом изображении и в видеопотоке; восстановление 3D формы по 2D изображениям; выделение на изображениях структур определенного вида, сегментация изображений; анализ оптического потока.

В рамках работы беспилотного аппарата, в зависимости от поставленной перед ним цели необходимо решить все эти задачи. Однако не зависимо от цели использования, обязательно должна быть решена задача анализа оптического потока. Анализ оптического потока это несколько задач, связанных с оценкой движения, в которых последовательность изображений (видеоданные) обрабатываются для нахождения оценки скорости каждой точки изображения или 3D сцены. Примерами таких задач являются: определение трехмерного движения камеры, слежение, т.е. следование за перемещениями объекта.

Как упоминалось ранее, данная задача для беспилотного аппарата может быть решена исключительно программно-аппаратными методами. Основное содержание процесса управления летательным аппаратом и функционирования оптической электронной системы (ОЭС) заключается в выполнении следующих операций: подготовка к работе; проведение измерений; формирование моделей окружающей среды; обеспечение динамического поиска и обнаружения объектов (целей); кодирование, передача и декодирование информации; фиксирование отдельных точек и фигур с отображением их текущих координат (параметров); предоставление информации в удобном для потребителей виде; идентификация ориентиров и критически опасных объектов в реальном времени.

Вероятно, что в состав бортового модуля должны входить лазерные сканеры-дальномеры, видеокамеры (стереопара), фильтр (прибор для обработки потоковой информации, оценки состояния БЛА и положения ориентиров). Приборы должны иметь большую дальность действия и эффективно функционировать при совершении полёта БЛА в различных слоях тропосферы. Необходимо учитывать, что в тропосфере сосредоточено около 80 % массы атмосферы, находится почти весь водяной пар, возникают грозы, бури, облака и осадки, а также происходит вертикальное (конвекция) и горизонтальное (ветер) перемещение воздуха. Воздух в тропосфере нагревается от суши и воды, поэтому температура воздуха с высотой понижается в среднем на 0,6°С на каждые 100 метров [1]. Но для решения несложных задач на низких и сверхнизких высотах достаточно будет одной камеры, правда это увеличит требования к программной части продукта. Сущность работы оптико-электронных средств и технологии получения сигналов управления для навигации, ориентирования и наведения БЛА заключается в сканировании окружающего пространства и сопоставлении текущего и эталонного изображений с локализацией и сенсоризацией контурных точек заданных объектов. В автоматизированной системе ориентирования (АСО) это предполагает периодическое или с заданной частотой включение лазерных дальномеров-сканеров, определение параметров полёта аппарата (телеметрии) и текущих координат сканируемых объектов. По их значениям формируются сигналы управления

летательным аппаратом. В данном процессе используются априорная информация для построения эталонного изображения и апостериорная информация, представляющая собой параметры изображения на выходе АСО. Потоковая информация от фильтра и инерциальной навигационной системы поступает в канал датчика изображений, систему автосопровождения и блок выработки сигналов-команд управления.

## III. Обзор блочных алгоритмов оценки движения

Цифровое видео представляет собой упорядоченный набор кадров. Именно поэтому применительно к нему часто используют термин видеопоследовательность. Информацией о движении в обработке видео называют двумерный массив векторов движения, размер которого равен размеру кадра $W \times H$ . При этом под вектором движения в заданной точке понимается вектор изменения координат этой точки между двумя заданными кадрами.

Каждый кадр видео последовательности разбивается на множество неперекрывающихся блоков $B_{i,\ j}$ заданного размера, где i, j – координаты блока. Разбиение производится так, что все блоки покрывают весь кадр, т.е. их суммарная площадь равна площади кадра. Для каждого блока текущего кадра производится минимизация функции соответствия блоков, при этом область минимизации может быть любой, единственным ограничением является то, что она должна быть подмножеством области поиска. Для каждого блока текущего кадра производится минимизация функции соответствия блоков, при этом область минимизации может быть любой, единственным ограничением является то, что она должна быть подмножеством области поиска. Рассмотрим базовые подходы блочной оценки движения (ОД), такие как полный перебор, шаблонные методы, метод иерархического поиска и методы, использующие вектора-кандидаты.

Алгоритм полного перебора. Поскольку область поиска О конечная, то наиболее очевидным методом минимизации функции соотношения блоков является полный перебор всех значений аргумента $v \in O$. Данный подход имеет свои достоинства и недостатки. Достоинством данного метода является гарантированное нахождение глобального минимума функции соответствия для каждого блока. Однако, не всегда важно найти именно глобальный минимум. В обработке видео критическое значение имеет определение «истинных» векторов движения, независимо от величины соответствующих им значений функции соответствия. Очевидным недостатком является вычислительная сложность данного метода. Даже в свете высокой мощности современных процессоров, полный перебор может быть неприемлем для обработки в режиме реального времени в случае высокого разрешения видео и большой области поиска. Логическим продолжением алгоритма полного перебора являются методы шаблонного поиска.

Данные методы представляют собой дискретные варианты покоординатного спуска. Они основываются на предположении, что функция соответствия достаточно гладкая для каждого блока, без локальных минимумов. Данные методы предполагают наличие шаблона – набора точек (координаты отсчитываются из центра шаблона). На каждой итерации вычисляется координата центра шаблона, координаты всех точек шаблона, и, затем, значения функции соответствия в каждой из точек шаблона. Центр шаблона на первой итерации называют центром поиска, он обычно равен (0, 0). В качестве центра шаблона для следующей итерации выбирается та точка шаблона, в которой был достигнут минимум функции соответствия. Затем проверяется условия останова поиска, и в зависимости от результата производится переход к следующей итерации или завершение поиска вектора в данном блоке. При этом в качестве результата выбирается вектор, соответствующий точке минимума функции соответствия на шаблоне последней итерации. Основным недостатком методов данного класса является их склонность к нахождению локальных минимумов функции соответствия вместо глобальных. Однако, у данного класса методов есть существенное достоинство: они значительно сокращают перебор возможных векторов движения, тем самым ускоряя алгоритм.

Алгоритмы иерархического поиска. Основная идея заключается в следующем. Перед началом поиска производится вычисление N–1 уменьшенных «копий» текущего и предыдущего кадров, при этом каждая очередная копия в 2n (n – натуральное число) раз меньше предыдущей. Пары кадров одинакового размера – уровни. На одном уровне текущий кадр и предыдущий кадр – одинакового размера. Обработка идет от кадров меньшего размера к кадрам большего размера. На каждой итерации производится ОД каким-либо из известных методов, например, шаблонным поиском. При этом в качестве стартовой точки на каждой итерации выбирается векторное поле, полученное с предыдущей итерации. Каждая следующая итерация уточняет вектора, вычисленные на предыдущей. При переходе по итерациям размеры области поиска и блоки увеличивают так, чтобы число блоков в кадре не менялось. Достоинством алгоритмов данной группы является перебор сокращенного числа векторов, т.е. повышенная вычислительная эффективность. Дополнительным преимуществам данного метода является устойчивость к шуму, поскольку во время уменьшения изображений, как правило, удаляются высокочастотные шумы. Однако вместе с высокочастотными шумами могут пропасть и мелкие детали, что приведет к неправильному определению движения в детализированных областях.

Для большинства видео последовательностей справедливо утверждение, что вектора движения соседних блоков очень похожи, так как эти блоки зачастую принадлежат одному движущемуся объекту. Это утверждение привело к появлению целого класса методов ОД, использующих векторы-кандидаты.

Основная идея алгоритмов этой группы очень проста. Перед вычислением информации о движении для текущего блока формируется набор, состоящий из уже вычисленных векторов движения соседних блоков. При

этом соседние блоки могут выбираться как в пространственной области, так и во временной. Сформированный набор векторов называется набором кандидатов. В качестве вектора движения в каждом блоке выбирается лучший вектор из набора кандидатов. В качестве критерия поиска обычно используется функция соответствия.

Методы, использующие векторы-кандидаты, часто имеют низкую вычислительную сложность, но при этом обеспечивают гладкость векторного поля, что делает их пригодными для использования в аппаратуре реального времени.

В большинстве современных блочных алгоритмов нахождения движения используются различные комбинации базовых подходов, описанных выше. Наиболее популярной комбинацией является совместное использование подхода, использующего векторы-кандидаты, и шаблонного поиска. Идея методов данной группы состоит в уточнении лучшего вектора набора с помощью шаблонного поиска. Благодаря простоте и вычислительной эффективности алгоритмы данной группы достаточно часто становятся предметом интереса исследователей.

## IV. Инфраструктура для беспилотных летательных аппаратов

Рассмотрев минимальные программную и аппаратную части необходимые беспилотному аппарату для выполнения поставленных задач, следует так же уделить внимание необходимой для его функционирования инфраструктуре. В большинстве существующих на данный момент систем кроме самого летательного аппарата нужны как минимум: станция управления, обязательно с человеком (наблюдающим и руководящим), зарядные станции, отдельные машинные мощности для дополнительного анализа поступающей информации. Так же потребуется обеспечение техподдержки [5].

В случае малых дронов используется легкая и быстро разворачиваемая портативная инфраструктура, чаще всего в виде планшетного компьютера. Однако даже такой простой командный пункт заставляет иметь минимум одного человека-оператора. Так же существует идея об устранении этой проблемы. Предлагается добавить модуль распознавания голосовых или жестовых команд, что позволит оператору меньше отвлекаться на контроль за дроном и уделять больше внимания окружающей среде. Однако в этом случае повысятся требования к автономному реагированию дрона на изменения в обстановке. Например, в случае подачи команды «следуй за мной» дрон должен суметь определить хозяина, наличие преград на пути и уметь принимать решения о перемещении таким образом, чтобы миновать препятствия.

## V. Выводы

Беспилотные летательные аппараты несут в себе огромный потенциал, который просто требует быть реализованным. Они могут стать решением многих вызовов стоящих перед человечеством. Однако на данном этапе это все еще довольно сырой продукт, требующий значительной доработки: эти аппараты все еще нельзя назвать полноценно беспилотными (они нуждаются пусть и в дистанционном, но управлении человеком), их комплектация все еще не оптимальна и для нее необходимо дальнейших экспериментов, программное и математическое обеспечение все еще недостаточно совершенно. Однако даже обладая вышеперечисленными недостатками данные объекты выполняют поставленные перед ними задачи и как минимум упрощают жизнь человека, а то и спасают ее.

В данной работе были рассмотрены основные требования к комплектации беспилотного летательного аппарата перед которым ставится задача самостоятельного ориентирования в условиях отсутствия помощи человека; наиболее распространённые алгоритмы программной оценки движения, необходимые для принятия решений таким аппаратом о собственном перемещении. Так же была минимально затронута сторона инфраструктуры необходимой для работы аппаратов. Рассмотрев все это можно сделать вывод, о том, что для следующего шага к полной автономности данных роботов необходимо решить задачу автоматизации хотя бы простых команд, в стиле следования за визуальным образом, что бы человек мог лишь ставить задачу, а машина сама и достаточно качественно выбирала метод ее решения.

## Литература References


[1] Буянов И. А., Исламов В. К. Автономная система ориентирования беспилотного летательного аппарата: состав и схема функционирования в формате 3D // Молодой ученый. — 2018. — №1. — С. 10-16. — URL https://moluch.ru/archive/187/47676/ (дата обращения: 22.08.2018).

[2] Управление и наведение беспилотных манёвренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Учеб. пособие. Под ред. М. Н. Красильщикова и Г. Г. Себрякова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 280 с.

[3] Мухамедияров Р.М. Машинное зрение: понятия, задачи и области применения // URL http://www.rusnauka.com/25_NPM_2009/Informatica/50975.doc.htm

[4] Обзор блочных методов оценки движения в цифровых видеосигналах [Текст] / С.В. Гришин, Д.С. Ватолин, А.С. Лукин, С.Ю. Путилин, К.Н. Стрельников // Программные системы и инструменты. Изд-во факультета ВМиК МГУ. – 2008. – № 9. – С. 50-62

[5] Сиротин А.А. Мониторинг состояния окружающей среды при помощи беспилотных летательных аппаратов// кафедра РС СПбГЭТУ «ЛЭТИ»-2016.- 90с.

# Метод Ідентифікації в Безконтакних Платежах

Олег Золотухін
кафедра штучного інтелекту
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
oleg.zolotukhin@nure.ua

Олексій Лановий
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
oleksiy.lanovyy@nure.ua

# The Method of Identification in Contactless Payments

Oleg Zolotukhin
Artificial Intelligence Department
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oleg.zolotukhin@nure.ua

Oleksiy Lanovyy
Software Engineering Department
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oleksiy.lanovyy@nure.ua

***Анотація*—Даному електронному документі є опис метода для підвищення ефективності ідентифікації та безпеки платежів у системах безконтактних платежів за рахунок вдосконалення методу ідентифікації клієнтів в частині біометричної ідентифікації та геолокації користувача.**

***Abstract*—This electronic document describes a method for increasing the efficiency of identification and security of payments in contactless payments systems by improving the method of identifying clients in terms of biometric identification and user geolocation.**

***Ключові слова— система безконтактних платежів, геолокація, біометрична ідентифікація, метод ідентифікації безконтактних платежів, NFC.***

***Keywords— contcless paymentt system, geolocation, biometric identity, method of free contact network identification, NFC.***

## I. Вступ

Система електронних платежів - це спеціалізована інформаційна система безготівкових розрахунків, укладання контрактів і переказу грошей між продавцями і покупцями, банками і їх клієнтами за допомогою засобів електронної комунікації для здійснення взаєморозрахунків у мережі Інтернет із застосуванням засобів кодуванні інформації та її автоматичної обробки.

Масове поширення в світі банківських карт в розрахунках, платежах, кредитних відносинах доводить, що використання цього банківського інструменту істотно спрощує взаємини продавців і покупців товарів, робіт, послуг, зняття з рахунків фізичних осіб готівкових коштів.

Підвищення ефективності економіки багато в чому залежить від організації платіжних систем, їх надійності та зручності для всіх учасників ринку. Країни, зацікавлені в прозорості фінансових потоків (зокрема, роздрібної торгівлі, громадського харчування, транспорту), зниженні витрат платіжної системи, зростанні споживчого кредиту та розвитку роздрібної банківської мережі, зазвичай прагнуть розвинути систему розрахунків банківськими картами, включаючи спеціальні заходи для скорочення сфери готівкових розрахунків .

Разом з платіжними системами розвиваються і технології забезпечення їх безпеки. Оскільки на сьогоднішній день жодна електронна платіжна система не може існувати без хороших технологій і систем безпеки, які в свою чергу забезпечують безпечну транзакцію грошових операцій, проблема безпеки і підвищення рівня вимог з безпеки є актуальними. Так як інтернет одночасно є і надзвичайно ефективним комунікативним засобом і середовищем, що викликає досить велика недовіра у користувачів, безпеку електронних платежів є досить серйозним критерієм успіху конкретної системи і використовує її електронного бізнесу. Важливо, щоб при будь-якої реалізації в системі не залишалося погано захищених ділянок, здатних привести до великомасштабного шахрайства.

## II. Опис методу

Пропонується використання біометричної ідентифікації - процес доказу і перевірки автентичності через пред'явлення користувачем свого біометричного образу і шляхом перетворення цього образу відповідно до заздалегідь визначених протоколом аутентифікації. Біометричні системи аутентифікації - системи аутентифікації, що використовують для посвідчення особи людей їх біометричні дані, тому що кожна людина володіє унікальними вимірюємими характеристиками.

Біометричні системи складаються з двох частин: апаратних засобів і спеціалізованого програмного забезпечення. Апаратні засоби включають в себе біометричні сканери і термінали. Вони фіксують той чи інший біометричний параметр (відбиток пальця, райдужну оболонку очей, рисунок вен на долоні або пальці, ДНК, голос) і перетворять отриману інформацію в цифрову модель, доступну для комп'ютера. А програмні засоби ці дані обробляють, співвідносять з базою даних і визначають, авторизований клієнт знаходиться перед сканером чи ні.

В якості методів, пропонованих в якості удосконалення процедури ідентифікації, пропонується, крім основних і додаткових методів, використовувати методи ідентифікації за становищем і методи біометричної ідентифікації.

Пропонується використовувати наступні методи:

− ідентифікація по фотографії - метод біометричної ідентифікації. Під час здійснення платежу з додатком необхідно надати фотокартку особи користувача. Цю фотографію аналізують нейронні мережі та набір алгоритмів для визначення параметрів особи. В результаті оцінки виходить ймовірність того, що людина, яка робить платіж, є власником карти. Для цього попередньо потрібно зробити кілька знімків особи власника картки під час реєстрації в платіжній системі.

Метод має обмеження:

а) не використовується перевірка властивостей, які можуть бути вкрадені під час перевірки, наприклад, PIN код може бути підглянут;

б) недосконаліть алгоритмів обробки і аналізу особи по фотографії. На даний момент для того, щоб точно визначити по фотографії, чи є людина власником карти, чи ні, необхідно провести складні і «важкі» обчислення, навантажуючи процесор мобільного пристрою, витрачаючи багато енергії акумулятора мобільного пристрою, а також тривалий час на якісну обробку;

в) особу просто «підробити». Зловмисник може поставити фотографію власника карти перед камерою мобільного пристрою в момент скоєння фінансової транзакції, і на поточному рівні розвитку мобільних пристроїв буде дуже складно або навіть неможливо визначити ідентифіковану особистість;

− ідентифікація по ході - метод біометричної ідентифікації. У фоновому режимі мобільний пристрій, з якого здійснюються платежі, відстежує дані з датчиків прискорення (акселерометрів). Ці дані зберігаються в одному великому масиві. Після з цього масиву за допомогою статистичних методів рядів Фур'є відбувається виділення патернів ходи власника карти. У момент скоєння фінансової транзакції мобільний пристрій бере дані з акселерометрів за останні дві хвилини і звіряє їх з існуючими довіреними паттернами. На підставі цього виходить імовірнісна оцінка того, що останні дві хвилини телефон був у руках у свого власника, відповідно саме він і робить платіж.

Метод не вимагає ніяких дій від користувача. Для оплати необхідно лише піднести телефон до терміналу. У цьому методі не використовується перевірка властивостей, які можуть бути вкрадені під час перевірки. Наприклад, PIN код може бути підглянут. Дані акселерометрів дуже складно підробити через відмінності в анатомії двох будь-яких людей. І навіть якщо вдасться підібрати потрібні параметри, то це буде дуже складно для крадіжки одного телефону, і майже неможливо для систематичних крадіжок. Не дає хибно позитивних результатів.

Метод має недоліки. Через постійне відстежування даних акселерометра відбувається постійний розряд батареї пристрою, що негативно позначається на тривалість періоду, після і стан батареї.

Незважаючи на те, що метод не дає помилково позитивних результатів, метод дуже часто дає помилково негативні результати, через що його дуже складно застосовувати як основний метод ідентифікації. Як правило, його застосовують у сукупності з іншими методами. Наприклад, з перевіркою PIN коду застосовують тоді, коли оцінка ходи вказує, що платіж виконує не власник карти;

− ідентифікація за даними про пересування - метод ідентифікації за становищем (геолокація). У фоновому режимі мобільний пристрій, з якого здійснюються платежі, відстежує дані про переміщення власника пристрою за допомогою отримання даних з датчиків системи глобального позиціювання GPS (Global Positioning System), а також отримання ідентифікаторів всіх найближчих WI-FI точок. Ці дані зберігаються в одному великому масиві. Після цього за допомогою різних методів, наприклад, методів машинного навчання або простого статистичного аналізу, визначаються патерни переміщення людини в залежності від часу доби і дня тижня. На підставі цих даних можна визначити ймовірність того, що власник карти буде здійснювати фінансову транзакцію в даному місці, в даний час доби, на дану суму. На підставі цього можна оцінити в момент скоєння користувачем фінансової транзакції, ймовірність того, що людина, яка виконує платіж є власником мобільного пристрою.

Для користувача платіжної системи недоліки відсутні. Недоліки практично відсутні для банку-клієнта платіжної системи. Єдині недоліки - необхідність використання спеціально розробленого програмного забезпечення разом

з навченими операторами, перевіряючими підозрілі транзакції.

На основі дослідження існуючих систем безконтактних електронних платежів: Google Pay, Apple Pay, Samsung Pay, MasterCard Contactless визначені характеристики, переваги та критичні недоліки систем у вигляді рекомендацій вибору конкретного рішення.

Процес ідентифікації складається реєстрації користувача в відділенні банку-клієнта системи MasterCard Contactless, установки платіжного додатка користувачем на мобільний пристрій, спостереження за користувачем платіжної системи і збір масиву ідентифікуючої інформації, обчислення ймовірнісної оцінки ідентифікації користувача в момент вчинення ним платежу за допомогою безконтактної системи.

Таким чином, перевагами і вдосконаленнями запропонованого методу ідентифікації користувача є наступні:

− отримуючи від терміналу тип платежу (інформацію, чи потрібно його підтверджувати паролем чи ні, надає банк клієнту, на підставі зібраної раніше інформації про попередні транзакції і переміщеннях користувача), тобто виконується перевірка на серверній стороні.

Якщо сервер на підставі зібраної інформації вимагає пароль, - однозначно запитується пароль у користувача.

Якщо сервер не вимагає пароля, додаток вирішує, чи потрібно запитувати у користувача пароль на підставі вже своїх даних.

− якщо додаток приймає рішення, що користувач ідентифікований правильно, тоді програма не запитує пароль і просто робить платіж, інакше, - вимагає пароль.

Ухвалення рішення про ідентифікацію користувача здійснюється наступним чином:

1) звіряються дані про дату, суму, місці поточного платежу, перелік оточуючих wifi точок з даними, накопиченими в пункті 3 Підготовчий етап (збір даних для ідентифікації).

Визначаємо ймовірність того, що користувач авторизований, інакше запитується пароль.

2) Якщо користувач пройшов перевірку пункту 1, перевіряються дані за останні дві хвилини з його акселерометрів.

Звіряються з даними з пункту 3 «Спостереження за користувачем платіжної системи і збір масиву ідентифікуючої інформації».

3) Якщо п.1 та п.2 пройдені з імовірністю більше 95%, то здійснюється платіж без пароля.

## III. Висновки

Виявлення та протидія шахрайським операціям−одна з ключових завдань всіх міжнародних платіжних систем. Безпека онлайн-платіжних транзакцій відстежується безліччю систем на різних рівнях і етапах проходження платежу.

На сьогоднішній день з використанням безконтактної технології платіжні технології мають безліч переваг, серед яких інноваційність, оперативність здійснення платежів, простота, зручність, швидкість проведення операцій, значна економія часу, зниження черг і, в результаті використання модифікації методу ідентифікації платежів, більш високий рівень безпеки проведення операцій, зниження злочинності.

Запропонована в роботі система безконтактних електронних платежів дозволяє підвищити ефективність роботи більшості сучасних телефонів і планшетів, оснащених NFC адаптерами, з можливістю швидкого обміну контентом і безконтактної оплати послуг.

Актуальність завдання обумовлена гнучкістю використання даної технології, сумісністю з різними пристроями, спрощення процесів оплати, що сприяють підвищенню привабливості впровадження даної технології банками.

Актуальність завдання обумовлена гнучкістю використання даної технології, сумісністю з різними пристроями, спрощення процесів оплати, що сприяють підвищенню привабливості впровадження даної технології банками.

## Література References

[1] MasterCard Cloud-Based Payments Product Description, MasterCard Digital Enablemet Service, 2015.

[2] M. Kulkarni, "SamsungPay Payment Method", Maheshkk.github.io, 2018. [Online]. Available: https://maheshkk.github.io/webpayments/proposals/ SamsungPay-payment-method.html. [Accessed: 18- Jul- 2018]. Android Pay XML Integration Guide

[3] MasterCard Cloud-Based Payments Credential Managment System Functional Description, MasterCard Digital Enablemet Service, 2015.

[4] *Contactless integrated circuit cards*, ISO Standard IEC_14443-2011, 2011 року.

[5] MasterCard Cloud-Based Payments Issuer Cryptographic Algorithms Specification, MasterCard Digital Enablemet Service, 2015.

[6] V. Filatov, D. Rudenko and E. Grinyova, "Means of integration of heterogeneous data corporate information and telecommunication systems," Proceedings of the 24th Intern. Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology CriMiCo., 7-13 sept. 2014 року, Sevastopol, Ukraine, pp. 399-400.

# Використання web-сервісу Trello для Управління Навчальним Груповим Проектом у Процесі Підготовки Майбутніх Фахівців в Галузі Програмної Інженерії

Олена Кіріленко, Галина Труш, Станіслав Жигальцев
кафедра інженерії програмного забезпечення
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ"
Харків, Україна
o.kirilenko@khai.edu, h.trush@khai.edu, staszhigaltsev@gmail.com

# Using the Web Service Trello to Manage a Training Group Project in the Process of Preparing Future Specialists in Software Engineering

Olena Kyrylenko, Halyna Trush, Stanislav Zhigaltsev
Department of Software Engineering
National Aerospace University
n. a. N.E. Zhukovsky "KhAI"
Kharkiv, Ukraine
o.kirilenko@khai.edu, h.trush@khai.edu, staszhigaltsev@gmail.com

***Анотація*—У статті доведено, що забезпечити якісну підготовку майбутніх розробників програмного забезпечення можливо за умови впровадження інформаційних технологій у навчальний процес, які одночасно є і засобом навчання і засобом реалізації майбутньої професійної діяльності. Виявлено, що одна з головних проблем адаптації молодих розробників програмного забезпечення в IT-компаніях пов'язана з колективним характером розроблення програмного забезпечення. Подано досвід використання web-сервісу Trello для організації групової роботи студентів на практичних заняттях з навчальної дисципліни «Основи організації спільної роботи в IT». Виявлено основні проблеми реалізації групового проекту з використанням web-сервісу Trello, які пов'язані з великою трудомісткістю розроблення загальних вимог до проекту і складання системи оцінювання індивідуальної роботи студентів у групі, а також міждисциплінарним характером проекту.**

***Abstract*—The article proves that providing the qualitative training of future software developers is conducted by using of the information technologies into the educational process. At the same time the information technologize is a means of training a means of realization of future professional activity. It is revealed that one of the main problems of adaptation of young software developers in IT companies is connected with the collective character of software development. The experience of using the Trello web service to organize student group work is illustrated by an example of practical work in the discipline "The Basics of Collaboration in IT". The main problems of implementation of the group project using the web-service Trello are revealed. They are related to the large complexity of developing the general requirements for the project, the development of a system for evaluating the individual work of students in the group, and the interdisciplinary nature of the project as well.)**

***Ключові слова—розробники програмного забезпечення; інформаційна технологія; web-сервісу Trello; груповий проект; проблеми реалізації групового проекту***

***Keywords— software developers; the information technologize; the web-service Trello; the group project; the main problems of implementation of the group project***

## I. Вступ

У переліку IT-спеціальностей інженерія програмного забезпечення посідає особливе місце. Галузь виходить на передові позиції у високотехнологічній інноваційній економіці і багато в чому визначає рівень розвитку країни. Поява цієї спеціальності обумовлена потребою сучасної індустрії програмного забезпечення. Сьогодні фахівці з інженерії програмного забезпечення є найбільш затребуваними на ринку праці серед інших фахівців з

інформаційних технологій. Дослідження ринку праці розробників програмного забезпечення (ПЗ) в Україні виявило, що 58,9% розробників працюють в аутсорсинговій індустрії, більше 28 % – у компаніях з розроблення програмних продуктів, на стартапи припадає 4,5 % ринку праці IT-фахівців [1]. Висока швидкість змінення інформаційних технологій потребує нових програмних продуктів, тому сьогодні, як ніколи, актуальною є проблема підвищення якості підготовки фахівців в області програмної інженерії.

Сучасна парадигма освіти потребує підготовки розробника програмного забезпечення, здатного до безперервного оновлення знань, швидкого переучування і змінення області застосування своїх здібностей. Отже, сучасна освітня парадигма спонукає до пошуку нових засобів навчання, які забезпечили б відповідний рівень мобільності фахівця з оволодіння професійно значущими знаннями, вміннями та формування навичок в інтерактивній взаємодії між суб'єктами педагогічного процесу. Згідно з рекомендаціями щодо викладання програмної інженерії навчання має відбуватися з використанням відповідних сучасних засобів, навіть якщо ці засоби не є метою навчання. Програмна інженерія потребує здійснення обґрунтованого вибору й ефективного використання відповідного апаратного забезпечення, програмних засобів, технологій і процесів []. Вирішити ці завдання можна за умови впровадження інструментальних засобів у навчальний процес, які одночасно є і засобом навчання і засобом реалізації майбутньої професійної діяльності.

## II. Формулювання мети статті

Відповідно до рекомендацій з викладання програмної інженерії бакалавр повинен мати такі навички:

1) Показати, як він володіє знаннями і навичками програмної інженерії, необхідними для того, щоб приступити до практичної роботи.

2) Працювати індивідуально або в групі над створенням якісних програм.

3) Шукати прийнятні компроміси в рамках обмежень, які накладаються "витратами, часом, знаннями, існуючими системами та організацією".

4) Виконувати проектування в одній або декількох предметних областях, використовуючи підходи програмної інженерії, що поєднують "етичні, соціальні, юридичні й економічні інтереси".

5) Демонструвати розуміння і застосування існуючих теорій, моделей і методів, необхідних для програмної інженерії.

6) Мати такі навички, як міжособистісне спілкування, ефективні методи роботи, лідерство і спілкування;

7) Вивчати нові моделі, методи і технології в міру їхньої появи [2].

Як видно з переліку, до таких умінь належать не тільки вузькоспеціальні інженерні знання та уміння, якості, але й навички володіння прийомами ефективної аргументації, уміння працювати в багатопрофільній команді, розуміння професійної та етичної відповідальності за прийняття інженерних рішень, здатність до аналізу і критики прийнятих рішень, навички керування людьми і розуміння необхідності навчання. З огляду на це на кафедрі інженерії програмного забезпечення Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» під час підготовки майбутніх фахівців у галузі програмної інженерії активно використовують групові проектні методи навчання на практичних заняттях, лабораторних, курсових роботах/проектах, а також написанні дипломних проектів. Формування навичок групового розроблення програмного забезпечення починається на першому курсі другого семестру в рамках навчальної дисципліни «Основи організації спільної роботи в IT».

Метою вивчення дисципліни є формування у майбутніх фахівців в області програмної інженерії системного уявлення про колективне розроблення програмних продуктів, включаючи інженерні та гуманітарні аспекти. Відповідно до вищевикладеного актуальним завданням підвищення якості підготовки майбутніх фахівців в області програмної інженерії є впровадження групових проектних методів навчання з використанням програмних засобів керування проектами.

Мета статті – обмін досвідом з викладачами щодо використання web-сервісу Trello для організації групової роботи студентів на практичних заняттях з навчальної дисципліни «Основи організації спільної роботи в IT».

## III. Изложение основного материала

Програмна інженерія - галузь комп'ютерної науки і технології, яка займається побудовою програмних систем (ПС), настільки великих та складних, що для цього потрібна участь злагоджених команд розробників різних спеціальностей і кваліфікацій. Е. Йордан - відомий експерт в області методологій програмної інженерії і керування проектами відзначає, що більшість успіхів і невдач програмних проектів обумовлені людськими, а не технічними проблемами [3].

Дослідження, виконані експертами в області програмної інженерії, показали, що програміст, працюючи поодинці, у середньому витрачає лише 30 % свого робочого часу. Увесь інший час він працює разом з колегами, замовником або інтерактивно, а найбільший внесок у загальну продуктивність робить злагодженість групи розробників [4]. Однією з головних проблем адаптації молодих розробників програмного забезпечення в IT-компаніях експерти виділяють проблему, пов'язану з колективним характером розроблення ПЗ і практично повною відсутністю у молодих фахівців навичок, умінь, знань, необхідних їм для роботи у багатопрофільній команді, розуміння професійної та етичної відповідальності прийняття інженерних рішень, а також їх аналізу і критики, керування людьми та розуміння необхідності навчання.

Для формування практичних, професійних навичок групового розроблення програмного забезпечення на основі теоретичного матеріалу широко використовують метод групового проектування. Груповий проект являє собою метод активного навчання, при якому відбувається розуміння досліджуваного предмета за допомогою практичної діяльності. Цей метод має ряд особливостей: одержуваний результат унікальний; джерела знань різноманітні; процес пізнання - творчий, має колективний характер і сфокусований на актуальній проблемі. Навчальний проект має особливості, які притаманні проектуванню в цілому: проект кінцевий (він починається, розгортається і завершується), кожен проект унікальний; проект обмежується чіткими часовими рамками і передбачає створення конкретного результату за певний термін, у результаті реалізації проекту відбуваються позитивні зміни в рівні знань, умінь, навичок студентів, шлях до досягнення результату складається із окремих етапів, з проміжними цілями і результатами.

Розглянемо використання методу групового проекту під час підготовки майбутніх фахівців в області програмної інженерії в рамках вивчення навчальної дисципліни «Основи організації спільної роботи в IT». Успішне застосування методу групового проекту потребує попередньої підготовки студентської групи і вирішення декількох методичних завдань викладачем: формування позитивної мотивації навчальної діяльності у груповому проекті, формування оптимального складу групи, координації та контролю роботи групи, оцінювання індивідуальної діяльності студентів у групі. Тому на попередньому етапі викладач довів до відомості студентів: мету проекту та основні завдання; строки виконання проекту; поради щодо формування груп, розподілу обов'язків у групі, планування діяльності упродовж реалізації проекту; вимоги та основні функції веб-сервису Trello, основні вимоги до Windows-додатка, вимоги до презентації проекту. Також до студентів було доведено критерії оцінювання їх індивідуальної діяльності у групі. Групи студенти формували самі за симпатіями і кількість студентів у групах не перевищувало 5 осіб, що сприяло формуванню довірчих відносин між членами групи та позитивно впливало на роботу в групі. Для виконання проекту було відведено сім днів.

Одним із засобів підвищення мотивації студентів до навчання і досягнення їх пізнавальної активності є дидактичні ігри, зокрема тематичні кросворди. Кросворд містить ігрову задачу (розгадування чи складання кросворда) і навчальне завдання (оволодіння певними знаннями, уміннями і навичками), яка ставиться перед студентами, не відкрито, а через зміст гри. Кросворди мають особливий, цікаво-мотиваційний аспект у процесі навчання і сприяють розвитку пошуково-творчих здібностей студентів застосовувати свої знання. З огляду на це тема групового проекту вибрана «Розробка Windows додатка «Кросворд». Як середовище розроблення студенти використовували VS 2015, мова програмування C#. Для розроблення тематичного кросворда студентам було запропоновано використовувати наукові терміни, які є назвами деяких понять в області програмної інженерії, які були ними освоєні під час вивчення навчальних дисциплін: «Основи програмування», «Основи програмної інженерії». Розроблення кросворда потребувало від студентів хорошого знання вибраної теми, уміння чітко формулювати означення понять і питань.

Для досягнення поставлених цілей у межах проектних рішень використовують спеціальні програмні засоби керування проектами, основні функції яких - розміщення та відстеження завдань, а також розподіл ресурсів усередині проекту. У рамках навчального проекту для керування проектами груп було використано веб-сервіс Trello, розроблений Fog Creek Software, який використовує freemium-бізнес-модель, дозволяє організувати роботу команд з проектами і завданнями, а також візуалізувати цю роботу [5]. Основними перевагами використання Trello у груповому проекті є: можливість організувати групову роботу студентів і координацію проекту викладачем, миттєва комунікація між учасниками проекту, простота інтерфейсу і наявність інтерактивної довідкової системи, підтримка мобільних платформ додатків iPhone і Android, повідомлення та персоналізовані коментарі, використання спрощеної текстової розмітки Markdown, інтеграція з популярними веб-сервісами, серед яких: Slack, Evernote, Github, Google Drive, Dropbox, OneDrive, MailChimp, Twitter і багато інших. У студентській групі були такі студенти, які мали досвід роботи в веб-сервісі Trello. З огляду на це вони поділились своїм досвідом с товаришами у групі. З одного боку, вони демонстрували досвід використання сервісу, а з іншого – розкривали проблеми, з якими вони стикалися у процесі розроблення програм у цьому сервісі. Обмін досвідом сприяв появі у студентів інтересу до виконання проекту за допомогою веб-сервісу Trello.

У структуру організації проектів в Trello входить дошка, списки і картки. Дошка - це один робочий екран, який логічно розділений на списки. Списки, у свою чергу, є вертикальними рядами для зберігання карток. У рамках проекту кожна група створює свою дошку, якій присвоює ім'я групи і налаштовує доступ до неї для всіх членів групи та викладача, а також додає фоновий рисунок на дошку для її візуальної впізнаваності. На дошці кожна група розміщує три обов'язкових списки завдань: «To do» (що потрібно зробити), «In progress» (робиться), «Done» (зроблено), які необхідно виконати для досягнення цілей проекту. Студенти формулюють самостійно завдання у вигляді карток згідно вимогам до програми і поміщають їх у список «To do» в порядку пріоритету їх виконання. Картки - спеціальні форми для опису задач проблем, рішень та ін., які можна переміщувати як усередині одного списку, так і вільно переміщувати між списками або дошками. Для кожної картки студенти поставили обов'язкові атрибути: кольорова мітка, яка візуалізує тип виконуваного завдання; відомості про завдання та результати виконання завдання; прізвище студента (або студентів), який відповідає за виконання завдання, кінцевий термін, до якого має бути виконана задача, аватарка студента. Під час реалізації завдання студенти прикріплювали до картки файли, гіперпосилання на Google disk або інші ресурси, додавали коментарі.

У рамках проекту завдання кожного студента в групі чітко розмежовувалися, і встановлювалася ступінь індивідуальної відповідальності студента за свою частину роботи. Робота в групі - це планована у межах проекту діяльність для вирішення поставлених завдань. Для планування графіка робіт у рамках проекту студенти використовували стандартне розширення «Календар». «Календар» забезпечував наочне уявлення завдань протягом семи днів, а також інформував у вигляді повідомлень кожного студента, коли термін виконання завдання добігав кінця. Таке планування роботи дозволило студентам систематично виконувати роботу в межах виділеного часу і в строк. Складні завдання студенти поділяли на окремі етапи, виконання кожного з яких можна подати незалежно один від одного за допомогою функції вставки переліку цільових досягнень. Прогрес виконання проміжних етапів завдання відображався на картці у відсотках. Візуальне уявлення ступеня виконання певних етапів виконання завдання дозволяло як студентам, так і викладачеві швидко оцінити прогрес за всіма основними етапами відразу в режимі реального часу на одному екрані.

У список In Progress поміщаються картки, які знаходяться на стадії активного проектування або розроблення. Один студент має право виконувати тільки одну задачу. До карток студенти самостійно прикріплювали кольорові мітки, які візуально інформували всіх членів групи про стан завдання: виконано, помилка, в зборку, налагодження та ін. Коли студент уважає завдання виконаним, група перевіряє картку на працездатність, також у цьому процесі може брати участь викладач. Якщо група вирішує, що завдання не виконане, його позначають відповідною міткою і залишають у списку In Progress. У разі, коли студент самостійно не може вирішити проблему, він додає до списку нову картку з міткою «Проблема» й інші члени групи допомагають йому вирішити це завдання. Групове обговорення проблеми дозволяє забезпечити більш широкий набір альтернатив, включаючи інноваційні рішення, і знайти найбільш оптимальні рішення.

Проміжний працездатний результат виконання завдання студент зберігає у репозиторії, який організований у вигляді персоніфікованого каталогу проміжних результатів на Google disk. На картці студент записує посилання для доступу до каталогу. Така організація зберігання проміжних результатів, з одного боку, дозволяла студентам мати доступ до проміжних результатів усіх членів групи: переглядати його; залишати свої коментарі; використовувати у подальшій роботі, наприклад складання програми; у разі потреби і за згодою автора редагувати, а, з іншого боку, викладачеві оцінити результат роботи кожного студента у групі, а також координувати їх роботу. Наприклад, у каталозі зберігалися файли з термінами для кросворда, структура кросворда, алгоритми виконання програми та окремих методів, структура програми, схема інтерфейсу програми, специфікації вхідних / вихідних даних, код окремих компонентів, набори тестів, готова програма, презентація проекту та ін. Виконане завдання студент переміщував в список Done. Дії за рішенням завдання кожного зі студентів можна було переглянути на зворотному боці картки, у профілі або в меню.

Обмін ідеями и спільна робота у проекті були здійснені через систему коментування карток, файли з вкладишами, гіперпосилання, механізм оповіщення вибраних учасників. Додатково студенти використовували електронну пошту, що дозволило їм і викладачеві отримувати повідомлення про будь-які дії на дошці Trello і пересилати в листах картки з описом, які автоматично розміщувалися у відповідному списку на дошці.

Для підвищення ефективності комунікації між членами групи студенти самостійно встановили розширення месенджер Slack, яке дозволило їм додавати нові картки на дошки Trello безпосередньо зі Slack, змінювати терміни, прикріплювати діалоги, обмінюватися коментарями, отримувати повідомлення про всі зміни на дошці Trello, відстежуючи таким чином статус картки і діяльність кожного учасника групи.

Підсумком проектної діяльності студентів була публічна презентація результату проекту в аудиторії у присутності викладача і студентів. До основних труднощів роботи в груповому проекті студенти віднесли нерівномірний розподіл обов'язків у групі і пасивну участь у проекті деяких членів групи.

У зв'язку з тим, що груповий проект оцінюється викладачем, на дошці було створено ще один список «Перевірено». У цьому списку викладач створив картки для кожного члена групи, в якій відповідно до розроблених критеріїв він оцінював індивідуальну роботу в групі кожного студента. Як критерії оцінювання було вибрано: проміжні результати вирішення індивідуальних завдань студентів, активність кожного студента у проекті відповідно до його індивідуальних можливостей; регулярність виконання завдання; колективний характер прийнятих рішень; характер спілкування і взаємодопомоги, взаємодоповнюваність учасників проекту; залучення знань з інших областей; доказовість прийнятих рішень, уміння аргументувати свої висновки; уміння відповідати на запитання опонентів; лаконічність і аргументованість відповідей кожного члена групи.

Використання веб-сервісу Trello для керування груповим проектом дозволило:

- підвищити об'єктивність проміжної і підсумкової оцінок як індивідуальної роботи студента, так і групи в цілому;
- оперативно виявляти проблеми на всіх етапах реалізації проекту;
- раціонально використовувати ресурси;
- уникати «авралів» і виконувати завдання в строк;
- організувати постійний зворотний зв'язок між усіма членами групи і викладачем.

## IV. Висновки

У професійній підготовці майбутніх розробників ПЗ у межах навчальної дисципліни «Основи організації спільної роботи в ІТ» метод групового проектування з використанням веб-сервісу Trello для керування проектом дозволив вирішити одночасно два блоки завдань. Завдання першого блока пов'язані з формуванням професійних знань, умінь, навичок, пов'язаних з колективним розробленням ПЗ. Завдання другого блока пов'язані зі змістом навчальної дисципліни: вивчення основних теоретичних положень про сукупність виникаючих в групах розробників програмного забезпечення процесів і явищ, які зачіпають групову динаміку; формування навичок ефективної усної та письмової комунікації як в міжособистісному, так і груповому спілкуванні під час розроблення програмного забезпечення. Участь у груповому проекті стимулювало студентів до самостійного визначення параметрів навчання, пошуку знань і формування умінь, навичок, якостей. Використання веб-сервісу Trello для керування груповим проектом дозволило: організувати і координувати роботу студентів у проекті, оцінити внесок кожного члена групи, отримати кожному студенту повний і різнобічний досвід проектної діяльності на всіх етапах проекту. До основних проблем реалізації групового проекту можна віднести велику трудомісткість розроблення загальних вимог до проекту і складання системи оцінювання індивідуальної роботи студентів у групі, а також міждисциплінарний характер проекту, що потребує інтеграції вузькопрофесійних, інженерних і гуманітарних, соціальних знань.

## Література References


[1] М. Яровая, “Сколько в Украине программистов и где они работают — исследование IT-рынка труда” [Он-лайн]. Доступно: http://ain.ua/2015/10/26/611732

[2] SE (2014) “Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering” [Online]. Available: http://www.acm.org/binaries/content/assets/education/ se2014.pdf

[3] Эд. Йордан, “Кадровые стратегии "смертельных проектов", *Открытые системы*, № 7, с. 49, ОС, сентябрь, 2008.

[4] B. Lakhanpal, “Understanding the factors influencing the performance of software development groups: An exploratory group-level analysis”, in *Information and Software Technology*, vol. 35, no. 8, pp. 468-473, August, 1993.

[5] J. Spolsky, “Trello Is A Simple Workflow And List Manager For Groups” [Online]. Available: https: //techcrunch.com/2011/09/13/joel-spolskys-trello-is-a-simple-workflow-and-list-manager-for-groups .

# Інформаційна Технологія Управління Контентом у Системах Електронного Навчання

Ірина Кириченко
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
iryna.kyrychenko@nure.ua

# Information Technology of Content Management in E-Learning Systems

Iryna Kyrychenko
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
iryna.kyrychenko@nure.ua

***Анотація*—Управління контентом потребує пошуку та збору певної інформації. До контенту електронного навчання висуваються певні вимоги, які виражено моделлю. Для моделювання використано алгебру скінченних предикатів. Реалізація пошуку здійснюється за допомогою мультиагентної системи. Технологія збору навчального контенту представлена послідовністю кроків, які необхідно реалізувати.**

***Abstract*—Content management requires the search and collection of certain information. To the content of e-learning are put forward certain requirements, expressed by the model. The algebra of finite predicates is used for modeling. The search is carried out by using the multi-agent system. The technology of collecting educational content is represented by a sequence of steps that need to be implemented.**

***Ключові слова—управління контентом; інформаційна технологія; агент; моделювання***

***Keywords—content management; information technology; agent; modeling***

## I. Вступ

Зацікавленість у системах електронного навчання [1] не згасає вже не одне десятиліття. При цьому для користувача важливо відібрати саме той курс, що його цікавить та задовольняє всім висунутим вимогам [2, 3, 4]. Мультиагентні системи інформаційного пошуку навчальних ресурсів дозволяють виконати представлені вимоги.

Агенти можуть бути досвідченими асистентами для пошуку необхідної інформації, даючи людям можливість використовувати інформацію опосередковано та ефективно.

## II. Результати

Під агентною платформою (агентним середовищем, Agent Environment) зазвичай розуміють набір програмних інтерфейсів (API – Application Programming Interface), який надає можливості створення, життєвого циклу, обміну повідомленнями, зв'язку та доступу до інформації та баз знань агентів [5, 6]. Агентну платформу наділяють функціями базового життєвого середовища агентів. Основними функціями агентної платформи є: керування життєвим циклом агентів (народження, життя, смерть); обмін повідомленнями між агентами та агентами і агентною платформою; підтримка мобільності агентів; забезпечення безпеки впродовж життя агентів (для локальних систем та самих агентів); забезпечення низькорівневої інфраструктури (використання можливостей операційної системи для виконання своїх функцій – наприклад використання мережних функцій операційної системи для забезпечення взаємодії з іншою агентною платформою).

Агентна платформа є найважливішою частиною в процесі створення агентної системи. Під агентною платформою розуміють спеціалізований набір програмних інтерфейсів. Агентне середовище – конкретна реалізація агентної системи, конкретне «живе» середовище, яке функціонує, в якому утримуються якісь знання, та можуть народжуватися агенти.

Агентна система - це платформа, що може створювати, інтерпретувати, запускати, переміщати і знищувати агенти. Також як і агент, агентна система асоціюється з повноваженнями, що визначають організацію або персону, від імені яких працює система. Агентна система з повноваженнями конкретного користувача, реалізує

політику безпеки цього користувача в плані захисту його ресурсів.

Агентна система однозначно ідентифікується ім'ям і адресою. На одній машині можуть розташовуватися кілька агентних систем. Тип агентної системи описує сукупність параметрів агента. Наприклад, якщо типом агентної системи є «агенти», то це означає, що агентна система створена компанією IBM, підтримує мову Java як мову реалізації агентів, і використовує Java Object Serialization для перетворення агентів у послідовну форму.

Усе спілкування між агентними системами відбувається через комунікаційну інфраструктуру. Адміністратор мережевого регіону визначає служби комунікації для регіональних і міжрегіональних взаємодій. Комунікаційна інфраструктура забезпечує транспортні служби зв'язку (наприклад RPC), службу імен і службу безпеки для агентських систем [7].

Коли агент переміщується, він рухається між стаціонарними процесами, що називаються місцями [7]. Місце - контекст усередині агентської системи, у якому може бути запущений агент. Цей контекст може надавати набір функцій, таких як контроль доступу, наприклад. Вихідне місце й місце адресації можуть знаходитися як у межах однієї агентської системи, так і в різних агентських системах, що підтримують однакову сукупність параметрів агента. Місце зіставляється з місцем розташування. Агентна система може містити одне або кілька місць і місце може містити одного або більш одного агентів. Хоча місце визначається як оточення, у якому запускається агент. Якщо агентна система не реалізує поняття місця, то місце визначається за замовчуванням. Коли клієнт запитує місце розташування агента, то як відповідь він одержує адресу місця, де знаходиться агент.

Варто зазначити, що наразі не існує мови програмування або інструментальної системи розробки, яка б повністю відповідала потребам побудови агентів. Така система повинна була б відповідати таким вимогам: забезпечення перенесення коду на різноманітні платформи, доступність на багатьох платформах, підтримка мережної взаємодії, багатопотокова обробка та інші [7, 8, 9].

Частіше всього в агентних технологіях використовуються: універсальні мови програмування (Java); мови, «орієнтовані на знання», такі, як мови представлення знань (KIF); мови переговорів й обміну знаннями (KQML, AgentSpeak, April), мови специфікацій агентів; спеціалізовані мови програмування агентів (TeleScript); мови сценаріїв й scripting languages (Tcl/Tk); символьні мови й мови логічного програмування (Oz) [7].

Одна з найголовніших властивостей агента – це інтелектуальність. Інтелектуальний агент володіє визначеними знаннями про себе і про навколишнє середовище, і на основі цих знань він здатний визначати свою поведінку. Інтелектуальні агенти є основною сферою інтересів агентної технології. Важливе також середовище існування агента: це може бути як реальний світ, так і віртуальний, що стає важливим у зв'язку з широким розповсюдженням мережі Internet. Від агентів вимагають здатності до навчання й навіть самонавчання.

Існує багато інструментальних рішень для проектування МАС (Media Access Control), та найпопулярнішими серед них є агенті платформи. Агентна платформа – це проміжний виконавчий рівень, який знаходиться між агентами та операційною системою [10, 11]. У деяких випадках вона може спиратися не на саму операційну систему, а на якусь платформу (Java Virtual Machine або .NET Framework).

*Основні функції агентної платформи:*

- представляє собою середовище для існування та взаємодії агентів;
- реалізує певні стандарти для забезпечення взаємодії та сумісності з іншими платформами.

У таблиці 1 наведена порівняльна характеристика найбільш відомих агентних платформ [12].

Для реалізації інформаційної системи веб-моніторингу була використана платформа JADE. До основних переваг цієї платформи можна віднести можливість інтеграції з іншими системами, підтримку стандартів специфікації FIPA-2000 та вільне розповсюдження [12].

Агентна платформа JADE може бути розподілена між декількома комп'ютерами [12]. Віртуальна машина Java – це основний контейнер агентів, що забезпечує середовище виконання агента і дозволяє кільком агентам одночасно виконуватися на тому ж самому хості.

ТАБЛИЦЯ І. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА АГЕНТНИХ ПЛАТФОРМ

| **Критерій порівняння** | **Платформи** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ***JADE*** | ***Cougaar*** | ***ZEUS*** | ***Jason*** |
| Мова програмування | Java | Java | Візуальні генератори коду | AgentSpeak |
| FIPA-сумісність | + | - | + | - |
| Ліцензія на використання | Не потрібна | Не потрібна | Потрібна | Не потрібна |
| Область застосування | Розподілені системи, що складаються з багатьох компонент | Розподілені системи, що складаються з багатьох компонент | Основа для написання правил та сценаріїв | Розподілені системи, що складаються з багатьох компонент |

Для створення МАС використовуються наступні основні класи: Agent і Behavior. Клас Agent (агент) представляє собою загальний базовий клас для агентів, обумовлених користувачем. З точки зору розроблювача, агент JADE – звичайний екземпляр Java-класу, що розширює базовий клас Agent. Мається на увазі успадкування властивостей для здійснення основних взаємодій з агентною платформою (реєстрація, конфігурація, віддалене керування тощо) і основний набір методів, що можуть викликатися для реалізації заданого поводження агента [7]. Обчислювальна модель агента є багатозадачною і паралельною, у якій задачі (чи поводження) виконуються одночасно. Кожна функціональна можливість і/чи сервіс, наданий агентом, повинні бути реалізовані як одне чи кілька поводжень. Внутрішній планувальник, схований від розроблювача, автоматично керує плануванням поводжень.

Агент JADE може знаходитися в одному з кількох станів, представлених у класі Agent наступними об’єктами:

- AP_INITIATED: об'єкт класу Agent створений, але поки незареєстрований у AMS, тому він не має ні імені, ні адреси і не може вести переговори з іншими агентами;
- AP_ACTIVE: об'єкт Agent зареєстрований у AMS, має постійне ім'я й адресу і може використовувати всі сервіси JADE;
- AP_SUSPENDED: об'єкт Agent у даний момент часу зупинений і не виконує ніякої дії (поводження);
- AP_WAITING: Agent блокований, його внутрішній стан – без дії і він пробудиться при виконанні деякої умови (наприклад, надходження повідомлення);
- AP_DELETED: внутрішній стан – завершений, і агент не зареєстрований у AM;
- AP_TRANSIT: мобільний агент вводить цей стан для того, щоб, поки агент переміщається до нового місця розташування, система продовжувала накопичувати і зберігати повідомлення, що будуть надіслані йому, коли він прибуде в нове місце;
- AP_COPY: внутрішній стан використовується платформою JADE для створення копії агента;
- AP_GONE: внутрішній стан використовується платформою JADE для повідомлення про те, що мобільний агент перемістився до нового місця розташування й установив стійкий стан.

Клас Behaviour (поведінка). Розроблювач визначає дії агента шляхом специфікації його поводження. Агент здатний виконувати декілька паралельних задач у відповідь на різні зовнішні події. Для того щоб керування агентом було ефективним, кожен агент JADE складається з окремого потоку виконання і всі його задачі (наміри) повинні бути реалізовані як об'єкти класу Behaviour [12]. Розроблювач при постановці задачі агентові повинен визначити один чи кілька похідних класів від базового класу Behaviour і додати певні поводження до списку його задач. Клас Agent надає два методи: addBehaviour і removeBehaviour, що дозволяють керувати чергою задач агента, а саме додавати або видаляти поводження. Поводження агента можуть бути додані кожного разу, коли це необхідно, а не тільки в межах методу Agent.setup.

Spring Framework — це програмний каркас (фреймворк) з відкритим кодом та контейнера з підтримкою інверсії управління для платформи Java. Основні особливості Spring Framework можуть бути використані будь-яким додатком Java, але є розширення для створення веб-додатків на платформі Java EE. Незважаючи на це, Spring Framework не нав'язує якоїсь конкретної моделі програмування, Spring Framework став популярним в спільноті Java як альтернатива, або навіть доповнення моделі Enterprise JavaBean (EJB) [13].

Spring Framework складається з кількох модулів, які надають широкий спектр послуг:

- Контейнер Інверсії управління: Конфігурація компонентів додатків і управління життєвим циклом об'єктів Java, здійснюється головним чином через Інверсію управління.
- Аспектно-орієнтоване програмування: дозволяє реалізувати наскрізні процедури.
- Доступ до даних: робота з реляційною системою управління базами даних на платформі Java з використанням JDBC і об'єктно-реляційні відображення та інструментів з NoSQL баз даних.
- Управління транзакціями: об'єднує кілька API, управління транзакціями та координує операції для Java-об'єктів.
- Модель-Вигляд-Управління (Model-View-Controller): програмний каркас на основі HTTP сервлета, що забезпечує створення веб-додатків і веб-служб RESTful.
- Аутентифікація і авторизація: налаштування процесів безпеки, які підтримують цілий ряд стандартів, протоколів, інструментів і практик за допомогою підпроекту Spring Security (колишня система безпеки AcerI для Spring).
- Віддалене управління: конфігураційний вплив і управління Java-об'єктами для місцевої (локальної) або віддаленої конфігурації через JMX.
- Тестування: підтримка класів для написання юніт-тестів та інтеграційних тестів.

Незалежність баз даних може бути реалізована за допомогою шаблону Репозиторій (Repository). Такий підхід використовується для відокремлення логіки, яка отримує дані, і перетворює її в моделі сутностей для подальшої роботи на доменному рівні. На використання чистої архітектури та принципу інверсії залежностей для забезпечення повного контролю над компонентами системи використовується шаблон впровадження залежностей (Dependency Injection). Таким чином, даний підхід надає можливість підміни залежностей об’єктів системи за допомогою такого контейнеру без необхідності зміни інших компонентів системи [13].

В процесі розробки зроблено висновок, щодо застосування мікросервісної архітектури та написання окремих модулей системи як незалежних програм, виконання яких буде оброблятися агентною платформою, тобто поведінка (Behavior) агенту буде містити бізнес логіку окремого компоненту (сервісу) системи. Так за допомогою аспектно-орієнотованого програмування виконання методів та обробка їх результатів надавалась агентам, які для взаємодії сервісів використовують ACL середовище обміну повідомлень.

Алгоритмічне забезпечення інформаційної технології збору навчального контенту складається з наступної послідовності кроків:

Крок 1. Ініціалізація агента А0 із множиною станів $S_{A0} = \{s_i, i = \overline{1,7}\}$, множиною сприйняттів $P_{A0} = \{p_j, j = \overline{1,5}\}$ та множиною дій $A_{A0} = \{a_k, k = \overline{1,6}\}$.

Крок 2. Агент А0 отримує модель пошуку навчального контенту

$$M_{SEARCH} = \langle R_{SEARCH}, R_{SOURCE}, P_{SEARCH}, P_{PATTERN}, Seed \rangle .$$

Крок 3. Агент А0 перевіряє чергу посилань у кеш-пам'яті згідно із функцією сприйняття $f_{A0} : S_{A0} \to P_{A0}$.

Крок 4. Агент А0 обирає дію на основі функції вибору дії $g_{A0} : P_{A0} \to A_{A0}$.

Крок 5. Агент А0 створює першого агента А1 із моделлю теми навчального об'єкта та стартовим посиланням.

Крок 6. Агент А0 створює агента А2 із моделлю навчального об'єкта.

Крок 7. Агент А0 створює агента А3 із моделлю шаблону метаопису.

Крок 8. Ініціалізація агента А1 із множиною станів $S_{A1} = \{s_i, i = \overline{1,4}\}$, множиною сприйняттів $P_{A1} = \{p_j, j = \overline{1,4}\}$ та множиною дій $A_{A1} = \{a_k, k = \overline{1,4}\}$.

Крок 9. Агент А1 перевіряє посилання згідно із функцією сприйняття, основаною на моделі $f_{A1} : S_{A1} \overset{K_{A1}}{\to} P_{A1}$.

Крок 10. Агент А1 обирає дію на основі функції вибору дії $g_{A1} : P_{A1} \overset{M_{A1}}{\to} A_{A1}$.

Крок 11. Ініціалізація агента А2 із множиною станів $S_{A2} = \{s_i, i = \overline{1,2}\}$, множиною сприйняттів $P_{A2} = \{p_j, j = \overline{1,3}\}$ та множиною дій $A_{A2} = \{a_k, k = \overline{1,6}\}$.

Крок 12. Агент А2 перевіряє інформаційний ресурс згідно із функцією сприйняття, заснованою на моделі $f_{A2} : S_{A2} \overset{K_{A2}}{\to} P_{A2}$.

Крок 13. Агент А2 обирає дію на основі функції вибору дії $g_{A2} : P_{A2} \overset{M_{A2}}{\to} A_{A2}$.

Крок 14. Ініціалізація агента А3 із множиною станів $S_{A3} = \{s_i, i = \overline{1,3}\}$, множиною сприйняттів $P_{A3} = \{p_j, j = \overline{1,2}\}$ та множиною дій $A_{A3} = \{a_k, k = \overline{1,3}\}$.

Крок 15. Агент А3 перевіряє знайдений ресурс згідно із функцією сприйняття, заснованою на моделі навчального об'єкта $f_{A3} : S_{A3} \to P_{A3}$.

Крок 16. Агент А3 обирає дію на основі функції вибору дії $g_{A3} : P_{A3} \to A_{A3}$.

Таким чином, розроблена прикладна інформаційна технологія передбачає агентну реалізацію етапів пошуку та збору навчального контенту.

## III. Висновки

Таким чином, для управління контентом у системах електронного навчання проводиться пошук та збір певної інформації. Відповідно до вимог, що висуваються до контенту, математично описується модель за допомогою алгебри скінченних предикатів. Пошук реалізовано шляхом використання мультиагентної системи.

Основними перевагами такого підходу є :

- незалежність від фреймворків та конкретних бібліотек;
- легкість у тестуванні – бізнес правила можуть бути протестовані окремо, без користувацького інтерфейсу, баз даних тощо.
- незалежність користувацького інтерфейсу – відображення може бути зміненим без впливу на інші компоненти системи, що знижує шанси виникнення потенційних помилок;
- незалежність від платформи – бізнес правила не знають, де вони будуть використані, і не прив'язані до особливостей конкретної платформи;
- незалежність баз даних – бізнес логіка додатку не прив'язана до конкретної бази даних, що дає можливість її зміни у будь-який момент часу без впливу на інші складові системи.

## Література References


[1] http://www.dut.edu.ua/uploads/l_1216_25218115.pdf

[2] Маркетингова інформація. Маркетингове дослідження // http://pidruchniki.com/12640422/marketing/marketingova_informatsiya_marketingovi_doslidzhennya

[3] Маркетингова інформаційна система (МІС) // http://pidruchniki.com/1628041460643/marketing/marketingova_informatsiyna_sistema_mis

[4] Система збору зовнішньої маркетингової інформації // http://stud.com.ua/49872/marketing/sistema_zboru_zovnishnoyi_marketingovoyi_informatsiyi#41

[5] Методичні вказівки: Інтелектуальні агенти // http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/2178/1/subbotin_methodical_instructions.pdf

[6] Ткачук Н.В. // Глосарій деяких сучасних термінів програмної інженерії – 1-6 с – 2005

[7] Дослідження логічних моделей семантики переговорів інтелектуальних агентів в мультиагентних систамх // http://science.donntu.edu.ua/ius/kirgaev/diss/indexu.htm

[8] SWEBOK Guide V3.0 // ISBN-10: 0-7695-5166-1 // ISBN-13: 978-0-7695-5166-1 // 2013

[9] С.М. БУРБЕЛО, О.С. СТАРОДУБ, М.С. БОГДАНОВА // Вибір гнучких методів розробки програмного забезпечення - УДК 004.738.5 - 2013

[10] Ю.М. Гонтар, О.Ю. Чередніченко, О.В. Янголенко, М.А. Вовк - розробка розподіленої системи обробки бізнес-інформації з використанням агентного підходу / Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків – 137-141с - УДК 004.91

[11] Пошукові можливості web-систем // http://eprints.isofts.kiev.ua/331/1/05_andon.pdf

[12] О. А. Симоненко , О. Я. Сова , В. А. Романюк , Я. Л. Уманець. Аналіз існуючих агентних платформ для побудови систем управління вузлами мобільних радіомереж класу manet Системи обробки інформації. — 2014. — № 1(117). — С. 200-203.

[13] Spring Framework // https://wikivisually.com/lang-uk/wiki/spring_framework

# Використання Фреймворку Angular для Розробки Веб-застосунків

Андрій Кочкін
Студент кафедри Інформатики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
andrii.kockin@nure.ua

Діана Руденко
Доцент кафедри Інформатики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
diana.rudenko@nure.ua

# Use the Angular Framework for Web Application Development

Andrii Kochkin
Student of Informatics Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
andrii.kockin@nure.ua

Diana Rudenko
Associate Professor of Informatics Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
diana.rudenko@nure.ua

***Анотація*—Angular - написаний на TypeScript front-end фреймворк з відкритим кодом, який розробляється під керівництвом Angular Team у компанії Google, а також спільнотою приватних розробників та корпорацій. Angular — це AngularJS, який переосмислили та який був повністю переписаний тією ж командою розробників.**

***Abstract*—Angular - is a TypeScript-based open-source front-end web application platform led by the Angular Team at Google and by a community of individuals and corporations. Angular is a complete rewrite from the same team that built AngularJS.**

***Ключові слова—фреймворк; Angular; компонент; реалізація.***

***Keywords—Framing; Angular; component; implementation.***

## I. Порівняння з AngularJS

Основними перевагами Angular є те, що:

- це грамотно і ретельно спроектований, високопродуктивний фреймворк;
- з нижчим порогом входження, порівняно з першою його версією;
- з якісною документацією та великою кількістю практичних прикладів.

Розглянемо Angular у порівнянні з AngularJS - потрібно щоб все придумане лягало на реалії фреймворка, його модулі й сервіси певного типу. Не можна просто взяти і акуратно створити якийсь клас або компонент, який буде робити щось важливе. Потрібно вирішити, чим цей компонент буде з точки зору фреймворка? Яким типом сервісу: value, constant або все ж factory? Може, це буде сервіс типу service? Адже він створює об'єкт з оператором new, здається це те, що потрібно. А раптом Сінглтона буде недостатньо? Такі питання виникають практично завжди під час роботи з AngularJS, і на них немає однозначної відповіді.

Звільнення від подібного роду обмежень, з боку фреймворка є головною перевагою Angular. Можна використовувати будь-яку зручну модульну систему, як завгодно називати і підключати довільний код.

Для початку роботи у AngularJS необхідно:

- створити файлову структуру програми;
- налаштувати роботу з шаблонами;
- налаштувати роботу зі стилями, препроцесором;
- налаштувати збірку для розробки, налаштування, продакшена;
- налаштувати процес тестування.

З другою версією фреймворка ми отримуємо інструмент командного рядка, з якого можна генерувати додатки, модулі, компоненти, директиви, сервіси, фільтри (pipe – нова їх назва), запускати тести, перевірку коду і т. д. І для застосування описаного вище необхідно виконати одну команду:

ng new app- example

Буде створена вся необхідна інфраструктура в кращому на даний момент вигляді. Відразу можна приступати до роботи. Нічого зайвого.

Команда може приймати додаткові аргументи. Наприклад, якщо планується використовувати CSS препроцесор Stylus:

ng new app- example –style = styl

Також будуть автоматично налаштовані компіляція та збирання стилів, з урахуванням обраного препроцесора.

## II. Особливості Angular

Згенерований код додатка буде використовувати TypeScript. Насправді це той самий JavaScript (ECMAScript 6), але з деякими приємними і корисними можливостями:

- інтерфейси;
- типізація;
- перерахування (Enum);
- модифікатори (public, private, static);
- декоратори (@).

Все це дозволяє писати більш стабільний і гарний код та звільняє від потреби повсюдно використовувати JSDoc.

В Ангулярі 2 немає контролерів, тільки компоненти. Створити новий можна в такий спосіб:

ng generate component playground/player

Ця команда створить директорію player в playground з мінімально необхідним кодом компонента:

- файл реалізації;
- файл шаблону;
- файл стилів із розширенням використовуваного CSS препроцесора;
- файл юніт-тестів.

Ключова фішка Angular – two-way binding.

<app-player [(position)]=”playerPosition”></app-player>

Такий запис в шаблоні передасть значення властивості playerPosition поточного компонента і буде змінювати його при зміні властивості position усередині компонента player. Це і є two-way binding.

В Angular з’явився новий синтаксис, який дозволяє передавати значення властивостей дочірнім компонентам (one-way binding). Використовує він кутові дужки:

<app-player [position]=”playerPosition”></app-player>

І можна підписуватися на події, що виникають у дочірніх компонентах. Використовуються круглі дужки:

<app-player
(positionChange)=”onPositionChange($event)”></app-player>

Такий запис передбачає, що в компоненті player є властивість positionChange – екземпляр класу EventEmitter. Коли в компоненті player викликається this.positionChange.emit (newValue), виконується код onPositionChange ($event), зазначений у шаблоні. $event буде містити значення newValue.

Так в Angular і реалізується two-way binding:

- передача вихідного значення властивості;
- підписка на подію з назвою «назва властивості всередині дочірнього компонента» + «Change»;
- зміна властивості в батьківському компоненті при появі події.

Завдяки цій реалізації в Ангулярі немає вотчерів, які раніше становили джерела багатьох проблем з продуктивністю.

Angular вирішує питання високого рівня пов’язаності коду, нової потужної реалізації Dependency Injection і можливості абстрагуватися від реалізацій різних взаємопов’язаних компонентів, використовуючи інтерфейси (TypeScript).

Наприклад, можна написати таку конструкцію:

```
class SomeComponent {
constructor (public someService: SomeService) {}
}
```

При створенні екземпляра цього компонента автоматично буде створений екземпляр сервісу SomeService і переданий у конструктор SomeComponent. Це значно знижує рівень пов’язаності й дозволяє тестувати їх окремо один від одного.

Так само запис public someService (TypeScript) робить цей сервіс доступним усередині екземпляра класу за допомогою ключового слова this (this.someService).

Отже, можна сказати, що на даний момент Angular є однім з найкращих фреймворків для розробки WEB-застосунків. Він надає розробнику, який працює з ним, великі можливості у створенні чогось нового.

## Література References


[1] Sebastian Eschweiler .“Angular 2” [Online]. https://leanpub.com/angular2-book.

[2] Nate Nurray, Ari Lerner, Carlos Taborda “ng-book. The complete book on Angular”.

[3] Developers are angular, “*official documentation angular*.” https://angular.io/.

# Поддержка Проектирования Баз Данных

Оксана Мазурова
кафедра программной инженерии
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
Харьков, Украина
oksana.mazurova@nure.ua

Мария Широкопетлева
кафедра программной инженерии
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники
Харьков, Украина
marija.shirokopetleva@nure.ua

# Support for Database Design

Oksana Mazurova
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oksana.mazurova@nure.ua

Mary Shirokopetleva
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
marija.shirokopetleva@nure.ua

***Аннотация*—Работа посвящена математическому описанию этапов проектирования базы данных, которое моделирует взаимосвязь этапов анализа предметной области, концептульного, инфологического и логического моделирования баз данных. Для моделирования связи между основными составляющими рассмотренных моделей базы данных использованы базовые понятия сущности и атрибута базы данных. На основании математического описания предложен алгоритм поддержки проектирования баз данных.**

***Abstract*—The work is devoted to the mathematical description of the database design stages, which simulates the interrelation of the stages of the domain analysis, conceptual, infologic and logical database modeling. To model the relationship between the main components of the database models examined, the basic concepts of the essence and attribute of the database are used. Based on the mathematical description, an algorithm for supporting the design of databases is proposed.**

***Ключевы слова—база данных, концептуальное моделирование, ER-моделирование, логическое моделирование, сущность, атрибут***

***Keywords—database, conceptual modeling, ER-modeling, logical modeling, essence, attribute***

## I. Введение

На сегодняшний день современные компании и предприятия не в состоянии существовать и развиваться без использования эффективных информационных систем в своей деятельности. Информационные системы (ИС) поддерживают работу в сложно структурированных предметных областях, сохраняют и обрабатывают огромное количество данных. Проектирование баз данных (БД) является одной из наиболее ответственных задач, связанных с созданием таких ИС.

Анализ предметной области и концептуальное моделирование (КМ) БД является достаточно творческим, не формализованным и трудоемким процессом, так как включает обработку большого количества неструктурированных текстовых данных и весьма зависит от знаний и опыта разработчика БД.

Современные CASE-средства проектирования БД, такие как Vigual Paradigm, ERVisio, ERWin и другие, не поддерживают этапы анализа и КМ, которые традиционно относится к бумажной стадии проектирования БД. Таким образом, существует потребность в моделировании процесса проектирования БД, начиная с самых ранних этапов, и создании на основании такой модели алгоритмов и программных средств нового поколения с поддержкой всех этапов процесса проектирования БД.

## II. Постановка задачи

Концептуальное моделирование БД предполагает структурированное описание различных аспектов будущей БД и разрабатываемой ИС [1, 2]. КМ базируется на результатах анализа предметной области (ПО) разработки, который чаще всего включает анализ разнообразной входной документации. Автоматизированная поддержка анализа такой документации [3] позволит выявить ключевые слова, взаимосвязи и закономерности, которые могут быть учтены во время КМ и последующих этапов проектирования.

В работе была поставлена задача промоделировать этапы проектирования БД для создания на основании такой модели алгоритма и программных средств поддержки всего процесса проектирования. Для достижения поставленной цели необходимо:

- разработать математическую модель, которая связывает основные этапы проектирования на основании базовых понятий БД;
- разработать алгоритм использования модели для поддержки процесса проектирования БД.

## III. Математическое описание этапов проектирования базы данных

Проектирование БД представляет собой множество $DB = \{AN, CM, ER, LM, FM\}$, состоящее из этапов анализа ПО $AN$. концептуального $CM$, ER (инфологического) $ER$, логического $LM$ и физического $FM$ моделирования.

Анализ ПО $AN$ традиционно проводится на основании результатов интервьюирования представителей заказчика и анализа входной документации $Doc$. К такой документации следует отнести спецификации требований, описания бизнес-процессов, корпоративные или отраслевые стандарты, и т.п.. Документация $Doc = \{Doc_k(W, Wd)\}$ состоит из множества таких документов, каждый из которых определяется набором слов $W$, входящих в документ, и зависимостями или связями между словами $Wd$.

Этап КМ предполагает выделение концептуальных (понятийных) составляющих ПО, в которой создается БД, а именно, сущностей, их атрибутов, связей между ними, закономерностей и т.п. [1, 2]. Все составляющие КМ могут быть промоделированы на основании базовых в области БД понятий атрибута ($A = \{a_{ij}\}$ – множество атрибутов) и сущности ($E = \{e_i(A)\}$ ($i = \overline{1,n}$) - множество сущностей $e_i(A)$ ПО).

Итак, этап концептуального моделирования БД может быть описан, как совокупность ряда концептуальных описаний:

$$CM = \{FS, ID, SN, DM, IC, AR, LR, SR\},$$

где $FS$ – функциональная структура проектируемой системы; $ID$ – информационные потребности пользователей; $SN$ – схема взаимосвязи объектов ПО; $DM$ – документооборот в системе; $IC$ – ограничения целостности ПО; $AR$ – алгоритмические зависимости в ПО; $LR$ – лингвистические зависимости в ПО; $SR$ – требования к ИС в целом.

С учетом базовой роли сущностей и атрибутов в модели может быть предложено следующее описание составляющих КМ:

- функциональная структура $FS = \{Act, \Pr\}$ может быть проведена в виде use-case диаграммы языка UML, как множество акторов $Act = \{Act_i\}_{i=1,n}$ и их прецедентов $\Pr = \{\Pr_j(Act_i)\}_{j=1,m;i=1,n}$;
- информационные потребности пользователей $ID = \{ID_i\}_{i=1,n}$, где $ID_i = \{SSF_i, Stat_i, Auto_i\}$ - информационные потребности актора $Act_i$, которые традиционно для ИС включают: потребности $SSF_i = \{Sh_i, St_i, Fr_i\}$ в поиске $Sh_i = \{Sh_i^i(E, A)\}$, сортировке $St_i = \{St_k^i(E, A)\}$ и фильтрации $Fr_i = \{Fr_p^i(E, A)\}$ сущностей $E$ по атрибутам $A$; потребности $Stat_i = \{Stat_k^i(E, A)\}$ в статистике на базе атрибутов $A$ сущностей $E$; потребности $Auto_i = \{Auto_m^i(E, A)\}$ в автоматических и алгоритмических расчетах с использованием тех или иных атрибутов $A$ сущностей $E$;
- схема взаимосвязи $SN$ сущностей и атрибутов $SN = \{RE_{kl}\}$, где $RE_{kl} = \langle e_k, e_l, R_i \rangle$ – взаимосвязь между сущностями $e_k$ и $e_l$, где $R_i$ – тип связи между этими сущностями;
- документооборот системы $DM = \{Doc_i(E, A)\}$ может быть представлен как множество документов $Doc_i(E, A)$, которые содержат отчетную информацию на базе значений атрибутов $A$ сущностей $E$ ($DM \cap Doc$);
- алгоритмические зависимости $AR = \{AR_l(V, E, A)\}$ между некоторыми вычисляемыми атрибутами $V$ и атрибутами $A$ сущностей $E$.

В процессе концептуального проектирования БД могут быть сформулированы функциональные и ряд нефункциональных требований, которые в той или иной мере касаются объектов (сущностей) ПО:

$$SR = \{dV, dSh, dSt, dFr, dStat, dAuto, dDM, dAR, dMDB, dTR\},$$ где

- $dV = \{dV_m(E, A)\}$ – требование наличия функции отображения в ИС данных об основных сущностях $E$ и их атрибутах $A$;
- $dSh$, $dSt$, $dFr$ – требования возможности поиска, сортировки и фильтрации сущностей по их атрибутам, причем $Sh_i \subset dSh$, $St_i \subset dSt$, $FR_i \subset dFr$;
- $dStat$ – требование возможности получения статистик на базе атрибутов сущностей ($Stat_i \subset dStat$);
- $dAuto$ – требование автоматизации в ПО ($Avto_i \subset dAvto$);
- $dDM$ – требование возможности формирования выходных отчетов ($dDM \subset DM$);

- $dAR$ – требование формирования вычислимых полей на базе алгоритмических зависимостей ($dAR \subset AR$);
- $dMDB$ – требования к СУБД;
- - $dTR$ – требования к текстовым редакторам для вывода отчетных документов из $DM$.

Сущности и атрибуты являются ключевыми понятиями КМ и служат основой для описания практически всех ее составляющих. Поэтому поддержка на этапе выбора этих ключевых понятий позволит облегчить весь процесс КМ. Для поиска слов, которые можно рекомендовать в качестве сущностей или атрибутов БД, можно использовать статистический подход (метод подсчета TF-индекса) [3, 4] в соединении с методами синтаксического анализа текстов для моделирования связи между сущностями и атрибутами. Показатель TF (англ. term frequency - частота слова) – статистическая мера, которую можно использовать для оценки важности слова в контексте документа $Doc_k(W,Wd)$. Она определяется как отношение числа вхождений $n_i$ некоторого слова $W_i$ к общему количеству слов $\sum_k n_k$ документа

$$tf(W_i, Doc_k) = \frac{n_i}{\sum_k n_k}.$$

Таким образом, множество сущностей $E$ может быть выбрано из множество лексем $W$ документа $Doc_k(W,Wd)$ с учетом их принадлежности множеству существительных $Wn$ ($Wn \subset W$, $E \subset Wn$). Множество атрибутов $A$ также может быть сформовано на базе документа $Doc_k(W,Wd)$ как конечное множество слов, которые принадлежат существительным, а также связаны с сущностями словами-связями из $RE$, которые являются глаголами $Wv$ ($Wv \subset W$, $RE \subset Wv$).

Процесс инфологического (ER) моделирования является достаточно наглядным и полезным для следующих этапов проектирования. Сущности, атрибуты и взаимосвязи между сущностями в ER-модели могут быть описаны на основании соответствующих понятий из ранее построенной модели $CM$. Итак, в общем виде ER-модель БД может быть описана, как:

$$ER = \{E', A', SN'\},$$

где $E' = \{e_i'(A')\}$ ($i = \overline{1,m}$) - множество сущностей $e_i'(A')$ ($E \subset E'$); $A' = \{a_{ij}'\}$ – множество атрибутов сущностей ($A \subset A'$); схема взаимосвязи $SN' = \{RE_{kl}'\}$ сущностей, где $RE_{kl}' = \langle e_k', e_l', R_i' \rangle$ – взаимосвязь между сущностями $e_k'$ и $e_l'$, $R_i'$ – тип связи между этими сущностями ($SN \subset SN'$).

В ходе логического моделирования реляционной БД отношения, их атрибуты и взаимосвязи между реляционными отношениями могут быть получены на основании соответствующих понятий из ранее построенной модели $ER$. При этом новые отношения, атрибуты и связи могут возникнуть в результате проведения нормализации логической модели. Логическая модель может быть описана, как множество:

$$LM = \{T, A'', SN''\},$$

где $T = \{t_i(A'')\}$ ($i = \overline{1,p}$) – множество реляционных отношений $t_i(A'')$, которые определены на атрибутах из множества $A''$ ($E' \subseteq T$); $A'' = \{a_{ij}''\}$ – множество атрибутов ($A' \subseteq A''$); схема взаимосвязи $SN'' = \{RT_{kl}\}$ отношений, где $RT_{kl} = \langle t_k, t_l, R_i'' \rangle$ – взаимосвязь между отношениями $t_k$ и $t_l$, $R_i''$ – тип связи между этими отношениями ($SN' \subseteq SN''$).

При этом на основании промоделированных элементов КМ могут быть предложены рекомендации относительно нормальных форм логической модели. Так, благодаря промоделированным требованиям по фильтрации данных $dFr$ может быть предложено выделение в справочные таблицы атрибутов, по которым предполагается фильтрация. Фактически, речь идет о преобразовании логической модели в четвертую нормальную форму. Такие справочные таблицы часто выделяют на практике для разработки эффективных программных систем с расширенными функциями фильтрации данных.

Физическая $FM$ модель БД может быть построена с учетом особенностей СУБД, выбранной согласно требованиям $dMDB$, на основании модели $LM$. При этом на основании моделей предыдущих этапов проектирования БД на этапе физического моделирования может быть обеспечена поддержка формирования некоторых дополнительных составляющих физической модели БД. Так, благодаря промоделированным требованиям по поиску $dSh$ и сортировке данных $dSt$ может быть предложено добавление в физическую модель индексных структур на основании атрибутов, по которым предполагается поиск и сортировка.

## IV. Описание алгоритма поддержки проектирования

На основании приведенного описания $DB$, которое учитывает основные этапы проектирования БД, может быть предложен следующий алгоритм поддержки проектированию БД.

1 этап: Поддержка этапа анализа ПО на основании входных документов $Doc_k(W,Wd)$. В ходе анализа разработчику может быть рекомендовано обратить внимание на некоторые ключевые слова $Wk \subset W$, которые потенциально могут описывать сущности ПО и их атрибуты. Кандидаты в ключевые слова $W_i \in Wk$ выбираются среди слов, которые не являются стоп-словами, т.е. не представляют ценности при данном виде обработки: предлоги, союзы и т.п. [4]. Далее проводится расчет частоты встречаемости $tf(W_i, Doc_k)$ в документе $Doc_k(W,Wd)$ ключевых слов $W_i \in Wk$. С учетом $tf(W_i, Doc_k)$ слово может быть отнесено к:

- предварительному множеству сущностей $E^* = \{W_i\}$;

- предварительному множеству атрибутов $A^* = \{W_i\}$.

2-й этап: поддержка на этапе КМ заключается в предоставлении дополнительной информации на базе результатов анализа ПО или ранее определенных составляющих КМ:

- во время описания функциональной структуры ИС $FS$ может быть предложен предварительный список сущностей $E^*$ для выбора множества акторов $Act = \{Act_i\}_{i=1,n}$ и построения use-case диаграммы;
- во время построения схема взаимосвязи $SN = \{E, A, RE\}$ для формирования множества сущностей $E = \{e_j\}$ могут быть предложены слова $W_i \in E^*$ из предварительного списка сущностей $E^*$ ($W_i = e_i \in E$); для формирования множества атрибутов $A = \{a_{ij}\}$ могут быть предложены слова из предварительного множества атрибутов $W_j \in A^*$;
- во время описания документооборота системы $DM = \{Doc_i(E, A)\}$ разработчику может быть предложено множество атрибутов $A$ сущностей $E$, на основании которых он может сформулировать содержимое выходного документа;
- во время описания алгоритмических зависимостей $AR = \{AR_l(V, E, A)\}$ разработчику может быть предложено множество атрибутов $A$ сущностей $E$, на основании которых вычисляются вычислимые атрибуты $V$;
- во время описания информационных потребностей $ID = \{ID_i\}_{i=1,n}$ пользователей для каждого пользователя из множества акторов $Act_i$ разработчику может быть предложено множество атрибутов $A$ сущностей $E$, что позволит описать потребности в поиске $Sh_i = \{Sh_i^i(E, A)\}$, сортировке $St_i = \{St_k^i(E, A)\}$, фильтрации $Fr_i = \{Fr_p^i(E, A)\}$ и получении статистики $Stat_i = \{Stat_k^i(E, A)\}$; потребности в проведении автоматизации $Auto_i = \{Auto_m^i(E, A)\}$;
- на базе описанных выше составляющих КМ может быть предложена помощь в формулировании набора требований к созданию ИС $SR = \{dV, dSh, dSt, dFr, dStat, sAuto, dDM, dAR, dMDB, dTR\}$.

3-й этап: поддержка на этапе построения ER-модели $ER = \{E', A', SN'\}$ заключается в предоставлении дополнительной информации с этапа КМ, а именно: множество сущностей $E' = \{e_i'(A')\}$ может быть сформировано на базе сущностей КМ $E \subset E'$; множество атрибутов сущностей $A' = \{a_{ij}'\}$ - на базе атрибутов КМ $A \subset A'$; схема взаимосвязи $SN' = \{RE_{kl}'\}$ сущностей – на базе схемы взаимосвязи $SN \subset SN'$.

4-й этап: поддержка на этапе построения логической модели $LM = \{T, A'', SN''\}$ заключается в предоставлении дополнительной информации с этапа ER-моделирования, а именно: множество реляционных отношений $T = \{t_i(A'')\}$ может быть сформировано на базе сущностей ER-модели $E' \subseteq T$; множество атрибутов $A'' = \{a_{ij}''\}$ - на базе атрибутов ER-модели $A' \subseteq A''$; множество связей $SN'' = \{RT_{kl}\}$ между отношениями – на базе взаимосвязей из ER-модели $SN' \subseteq SN''$.

## V. Выводы

В роботе было предложено математическое описание процесса проектирования БД как совокупности взаимосвязанных этапов, начиная с традиционно бумажных этапов анализа и концептуального моделирования. Основой для описания составляющих на основных этапах проектирования выступают понятия сущности и атрибута, что позволяет промоделировать некоторые достаточно творческие моменты проектирования БД. На основании предложенного математического описания разработан алгоритм, который обеспечивает информационную и методологическую поддержку разработчика в процессе проектирования БД.

Разработанные модель и алгоритм могут быть положены в основу создания нового поколения case-средств по проектированию БД с расширенным функционалом, включающим все этапы проектирования БД. Подобные средства, кроме того, имеет смысл разрабатывать под новые технологии, например, интерактивные столы, которые позволят одновременно отображать результаты работы на всех этапах проектирования БД, поддерживать поэтапную или циклическую модели жизненного цикла проектирования БД, а также обеспечивать работу коллектива разработчиков, что, в итоге, повысит эффективность процесса проектирования БД.

## Литература References


[1] С. М. Диго, “Базы данных: проектирование и использование: Учебник”, Москва, Россия: Финансы и статистика, 2005.

[2] Arash Termehchy Cost-Effective Conceptual Design for Information Extraction / Arash Termehchy, Ali Vakilian, Yodsawalai Chodpathumwan, Marianne Winslett. - ACM Transactions on Database Systems, 2015, Volume 40, pp. 12:1-12:39;

[3] Т. Ю. Кобзарева, “В поисках синтаксической структуры: автоматический анализ русского предложения с опорой на сегментацию”, Москва, Россия: РГГУ, 2015.

[4] Я. О. Вакуленко, О. О Мазурова, “Застосування методів аналізу текстів для підтримки концептуального моделювання баз даних” в “Системи обробки інформації. Збірник наукових праць”, Харьков, Украина, 2017, випуск 1 (147), с. 127-13.

# Аналіз Інноваційної Ідеї Програмного Продукту «SmartHouse» для Забезбечення Дистанційного Контролю та Керування Пристроями Розумного Дому

Костянтин Онищенко
студент, старший лаборант
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
kostiantyn.onyshchenko@nure.ua

Ірина Афанасьєва
к.т.н., доцент
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
iryna.afanasieva@nure.ua

# Analysis of the Innovative Idea of the “SmartHouse” Software Product for Providing Remote Control of Intelligent Home Devices

Kostiantyn Onyshchenko
student, senior laboratory assistant
Department of System Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
kostiantyn.onyshchenko@nure.ua

Iryna Afanasieva
PhD, associate professor
Department of System Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
iryna.afanasieva@nure.ua

***Анотація*—Проаналізовано інноваційну ідею програмного забезбечення, що забезпечуватиме дистанційний контроль та керування пристроями розумного дому. Розглянуті та проаналізовані альтернативні проекти. Створена бізнес модель та бізнес план проекту. Доведено перспективність та рентабельність ідеї програмного продукту.**

***Abstract*—An innovative idea of software assurance, which will provide remote control and control of devices of a smart home, is analyzed. Considered and analyzed alternative projects. A business model and a business plan for the project have been created. The promise and profitability of the idea of the software product are proven.**

***Ключові слова—додаток, asp.net mvc, розумний дім, iot, емулятор приладів, web, ms sql server, .net***

***Keywords—application, asp.net mvc, smart house, iot, emulator appliances, web, ms sql server, .net.***

## I. Вступ

Інформаційні технології - вельми широке визначення, під яке потрапляє ряд окремих технічних засобів і прийомів роботи з інформацією. Люди більше не мають потреби йти та отримувати інформацію від людей або друкованих матеріалів, чи використовувати домашній телефон. Зараз майже все можна зробити чи дізнатися за допомогою мережі інтернет [1].

З плином часу змінилися цінності та пріоритети людства: люди мандрують через весь світ, жінки працюють на рівних з чоловіками, і т.д. Тому дуже часто трапляється, що досить тривалий час дома ніхто не знаходиться, але за помешканням потрібен догляд. Це проявляється у елементарному: потрібно провітрювати приміщення, контролювати температурний режим, запускати прання, регулювати освітлення, тощо.

## II. Опис проблеми яку вирішує програмний продукт

Основне завдання проекту – вирішити проблему великої кількості сервісів для керування розумними приладами, що покривають різні сфери побуту. Створення єдиного веб-додатку повинно забезпечити надійне централізоване керування усіма розумними приладами, об'єднавши їх у систему розумного дому.

На сьогоднішній день ринок розумних пристроїв стрімко розвивається, наповнюється і підтримується різними компаніями і виробниками [2]. З причини відсутності єдиної стандартизації пристроїв і програмних систем користувачеві доводиться користуватися безліччю додатків для відстеження стану і налаштування розумних компонентів будинку. Великий асортимент різних розумних пристроїв на ринку підвищує конкуренцію. У той же час користування різними приладами стає все більш і більш складним для звичайного користувача: необхідно відстежувати стан різних пристроїв через сервіси, вчасно реагувати на оповіщення і відстежувати їх стан [3]. Відсутність централізованої системи управління девайсами розумного будинку призводить до втрати часу, інформації, несвоєчасного реагування і незадоволення користувачів даною технологією [3].

## III. Опис аналізу ринку та існуючих аналогів та конкурентів

Розглянемо декілька існуючих сервісів, які дозволяють керувати приладами розумного дому:

– веб-ресурс http://instell.com.ua;

– веб-ресурс http://smarton.com.ua.

Аналогічним ресурсом є сайт https://www.instell.com.ua. Цей сервіс є більш багатофункціональним та встановлюється стаціонарно.

До переваг можна віднести:

– спрощений варіант подання інформації;

– мінімалістично-конструктивістський інтерфейс сервісу з керування приладами робить взаємодію зі структурними елементами інтерфейсу простою та інтуїтивно-зрозумілою.

Однак, до недоліків даного сервісу можна віднести:

– стаціонарне встановлення пульту керування поруч з розумним приладом;

– обмежений перелік можливих до використання приладів;

– відсутність можливості дистанційного керування приладами;

– витрати на встановлення стаціонарного пульту керування та підведення комунікацій.

Ще одним аналогічним ресурсом є сайт https://www.smarton.com.ua. Це сервіс, що надає послуги зі забезпечення дому розумним клімат-контролем. Однак, у сервісу є значні недоліки:

– незручний інтерфейс користувача;

– вузький спектр направленості діяльності (лише кліматичні установки);

– відсутність локалізації інтерфейсу;

– малий функціонал розумних приладів.

З проведеного аналізу існуючих аналогів можна зробити висновок, що загальними недоліками є:

– велика сегментованість ринку розумних пристроїв;

– відсутність однієї системи, що б дозволяла керувати усім домом одночасно;

– наявна вірогідність втрати даних в окремих сервісах;

– неможливість отримання інформації про стан приладів.

Ці та інші недоліки можуть спричинити відтік потенційних клієнтів з ринку розумних приладів [4].

Результат цього аналізу наголошує на необхідності створення програмної системи, що зможе спростити та узагальнити роботу по контролю та керуванню приладами розумного дому. Системи, яка зможе максимально усунути виявлені недоліки і матиме істотні переваги перед вже існуючими системами [5].

## IV. Бізнес модель Canvas

Canvas - це загальний алгоритм створення різних бізнес-моделей. Модель Canvas складається з таких блоків: сегменти споживачів, ключові цінності, канали збуту, відносини з клієнтами, потоки доходів, ключові ресурси, ключова діяльність, ключові партнери та структура витрат [6]. Результати заповнення блоків таблиці представлені на рисунку 1.

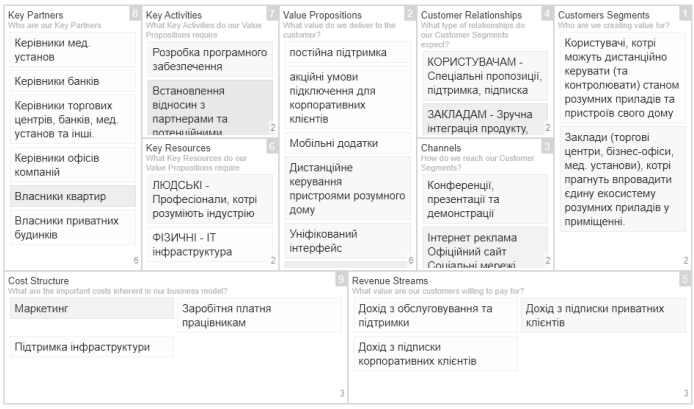



Рис. 1 – Бізнес модель Canvas

## V. Бізнес-планування

Мета бізнесу - веб-сервіс для забезпечення дистанційного контролю та керування пристроями та приладами розумного дому. Використання концепції інтернета речей (IoT) надасть можливість безпечного дистанційного з'єднання з приладами розумного дому для контролю та керування.

*A. Опис функціоналу програмного продукту*

Веб-сервіс повинен надавати:

- доступ через веб-версію;

- можливість додавання користувачем нових розумних приладів за унікальним серійним номером гаджету;

- можливість видаляти, редагувати та персоналізувати розумний пристрій у веб-сервісі;

- можливість дистанційного редагування налаштувань (параметрів) пристроїв розумного дому;

- можливість контролю стану приладів розумного дому в режимі on-line (використовуючи наочні анімовані іллюстрації приладів розумного дому);

- можливість формувати та експортувати звіт про роботу приладу(-ів) розумного дому за обраний проміжок часу;

- можливість зв'язатися зі службою технічної підтримки.

Веб-версія надаватиме можливість додавання, редагування, видалення та персоналізації приладів розумного дому. Для доданих приладів буде реалізована можливість дистанційного контролю та керування (використовуючи концепцію IoT).

Інтерфейс веб-сервісу має бути інтуїтивно-зрозумілим, наочним та простим для користувача.

Для повної реалізації веб-сервісу для дистанційного керування та контролю пристроїв розумного дому виділені такі складові: серверну частину; веб-сайт; розумний прилад.

Тому для створення програмного продукту необхідні: програмісти ASP.NET та JS, веб-дизайнер, тестувальник та менеджер [7].

*B. План маркетингу*

Інноваційна ідея даного програмного продукту заснована на тому, що вона охоплює великий сегмент споживачів, завдяки надзвичайно малій кількості аналогів. Аналоги мають вкрай обмежений функціонал програмного додатку, що йде у комплекті з девайсом, відсутність локалізацій, відсутність підтримки.

Для визначення сегменту ринку використовуватиме оптимістичну та песимістичну оцінку кількості користувачів аналогу від Instell.

Згідно з аналізом кількість користувачів складає приблизно 237000 осіб.

Припустимо, що Песимістична оцінка (ПО) – 10 %, Оптимістична оцінка (ОО)– 25%.

Отже, ПО = 0,1*237000 = 23700, ОО = 0,25*237000 = 59250. Реалістична оцінка (РО) = (23700+59250)/2 = 82950/2= 41475 осіб.

Припустимо, що 10% користувачів будуть здійснювати покупки, отже кількість споживачів у цих сегментах та ймовірність покупки ними інноваційного продукту:

K=Ki*Pi = 41475*0,1 = 4148 осіб

Припустимо, що 10% з 4148 користувачів будуть купувати щомісяця нові функціональні можливості для цілей підтримки свого облікового запису.

Вартість одного місяця 200 грн.

У веб-додатку буде розташована реклама, щомісяця 25% аудиторії буде переходити за посиланнями. Ціна за клік – 0,5 грн. На цьому етапі можна визначити потенціал ринку, а саме попит на продукцію:

Q=n*w*p= 4148*0,1*200,00грн + 41475 *0,25*0,5грн.= 88144,38 грн./міс.

Далі визначаємо просування товару на ринку, яка залежить від рівня витрат на рекламу та активності конкурентів. За 3 місяці Q1-3 місяці= 41475 грн *3 = 124425 грн./за 3міс.

Якщо спрогнозувати, що після 3 місяців популяризації програмного забезпечення аудиторія збільшиться втричі, то:

Q4-6 місяці = 41475 грн. *3 *3 міс. = 373275 грн. за наступні 4-6 місяців.

Стратегія просування товару на ринок, рекламна діяльність. Рекламна діяльність може бути реалізована як контекстна реклама і у вигляді банерів.

Для збільшення кількості споживачів необхідно проводити активну рекламну кампанію, яка включає:

- розміщення оголошень на Інтернет-ресурсах, що споріднені з даною тематикою;

- проведення зустрічей/конференцій/презентацій;

- надання безкоштовного періоду користування сервісом.

*C. Фінансовий план*

Життєвий цикл продукту:

- розробка сервісу та розумних датчиків;

- випуск веб-сервісу на ринок;

- активна рекламна компанія та просування;

- підтримка та подальший розвиток.

Для виробництва потрібне приміщення, обладнання, веб-хостинг та меблі. Все це враховане у витратах за перший місяць.

Прямі витрати — заробітна платня та податки, обладнання та програмне забезпечення.

Непрямі витрати — це витрати, що пов'язані з офісом та послугами (маркетинговими, юридичними, фінансовими).

Для розробки ПЗ буде залучений найманий персонал із 5 осіб, які будуть працювати на умовах власної зацікавленості та заробітної плати-окладу. Після виходу ПЗ на ринок буде розглядатися питання у пайовій участі у прибутку після розрахунків з інвесторами.

Щомісячні витрати (1- 6 місяців) складатимуть 67276 грн. Витрати у першій місяць роботи над проектом складатимуть 69132,9 грн. Щомісячні витрати (7- 12 місяців) складатимуть 37576 грн. Дохід (4-6 місяці) складатиме 88144,38 грн. Дохід (7-14 місяці) складатиме 124425 грн.

Середній дохід на місяць в 1 рік складатиме (88144,38*3+24425*6)/12=84248,595 грн. Середній дохід на місяць в наступні роки складає 746550 грн.

Розрахунок необхідних інвестицій з урахуванням витрат та доходів, що плануються на 12 місяців (див. табл. 4.5):

- Витрати = 629968,9 грн.;

- Дохід = 1010983,14 грн.;

- Прибуток = 381014,24 грн.

Сума надання інвестицій складає 629968,9 грн., а сума повернення 667453,149 грн.

Витрати та доходи з урахуванням % на повернення інвестицій, що плануються:

- Витрати = 667453,149 грн.;

- Дохід = 1010983,14 грн.;

- Прибуток = 343529,99 грн.

Рентабельність продукції / основної діяльності (Rn) розраховується як відношення прибутку від реалізації продукції (Пр) до витрат на її виробництво й реалізацію (Вв):

Rn = Пр/ Вв =343529,99 / 667453,149 = 0,51

Розрахункова норма прибутку відображає ефективність інвестицій у вигляді процентного відношення грошових надходжень до суми початкових інвестицій:

ARR = CFc.г / K0 = 343529,99/ 629968,9 = 0,54, де ARR - розрахункова норма прибутку інвестицій, CFc.г - середньорічні грошові надходження від господарської діяльності, K0 - вартість первісних інвестицій.

Цей показник говорить про те, що для отримання щорічних грошових надходжень норма прибутковості на інвестиції в сумі 629968,9 грн повинна становити 54%.

В першій рік проект є неприбутковим, тому що ARR = 0,54 < 1 .

Періоду окупності проекту – цей час, який потрібен для того, щоб отримати чистий прибуток, який за сумою буде дорівнювати первісної сумі інвестицій/витрат. Період окупності звичайно вимірюється в роках.

Т = І / ЧП, де І – сума інвестицій (витрат); ЧП – чистий прибуток. Т=667453,149 / 343529,99 = 1,94 роки.

Розрахуємо кількість місяців n , через котрі проект окупиться

n = (2 роки + (679 453,59 - 629 968,90) / 679 453,59) *12 міс. = 24,87 місяців.

## Висновки

З урахуванням дисконтування проект окупиться через 24,87 місяців після початку розробки, тобто через 21,87 місяців з моменту початку повноцінної роботи сервісу у випадку, якщо аудиторія сервісу не буде розширюватися та залишиться лише на рівні 41475 осіб, а 10 % з них будуть здійснювати покупки.

Згідно зі статистикою розвитку сфери розумних пристроїв можна розраховувати на те, що користувачів в системі буде більшати з кожним роком, що приведе до збільшення прибутку і робить проект дедалі перспективним.

## Література References


[1] Онищенко К. Г. Структурированная методология разработки сервиса для обеспечения дистанционного управления приборами и устройствами умного дома с использованием Internet of Things решений / К. Г. Онищенко, И. В. Афанасьева // ScienceRise. – 2017. – 5(2). – С. 30-33.

[2] Онищенко К. Г. Розробка сервісу для забезпечення дистанційного керування приладами та пристроями розумного дому "SmartHouse" із використанням IoT рішень / К. Г. Онищенко, И. В. Афанасьева, И.И. Арсений // Бионика интеллекта. – г. Харьков: ХНУРЭ, 2017. – 1(88) – С. 112-116.

[3] Онищенко К. Г. Методология разработки систем умного дома с применением IoT решений / К. Г. Онищенко, И. В. Афанасьева // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: материалы 21-го Междунар. молодежн. форума. – г. Харьков: ХНУРЭ, 2017. – С. 157-158.

[4] IOT Documentation [Електронний ресурс] / Intel Software Developer Zone. – Режим доступу: https://software.intel.com/en-us/articles/iot-path-to-product-how-to-build-the-smart-home-prototype/ 28.04.2017 р. – Загол. з екрану.

[5] Velusami K. Iinternet of Things in Cloud IDG/ K. Velusamy, D. Venkitaramanan, Sh. K. Vasudevan // Journal of Engineering and Applied Sciences.. – 2013. – 8(9-12). – P. 304-313.

[6] Онищенко К. Г. Применение паттерна проектирования Observer для опроса состояний IoT-устройств / К. Г. Онищенко, И. В. Афанасьева // Наукова думка сучасності і майбутнього: материалы XXI всеукраїнської практично-пізнавальної конференції. – м. Дніпро, 2018. – С. 25-26.

[7] Онищенко К. Г. Стек протоколов передачи данных для IoT. Анализ и выбор протокола для внедрения в систему комплексного управления умными вещами / К. Г. Онищенко, И. В. Афанасьева // Наукова думка сучасності і майбутнього: материалы XV всеукраїнської практично-пізнавальної конференції. – м. Дніпро, 2017. – С. 28-30.

# Алгоритм Знаходження Максимального Потоку для Управління Комунікаційними Режимами Електричних Мереж в Системі «Smart City»

Ілона Ревенчук
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
ilona.revenchuk@nure.ua

Анастасія Чуприна
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
anastasiya.chupryna@nure.ua

# Algorithm for Finding Maximum Flow for Managing Communication Modes of Electric Networks in the Smart City System

Ilona Revenchuk
Software Engineering Department
Kharkiv National University
of Radioelectronics
Kharkiv, UKRAINE,
ilona.revenchuk@nure.ua

Anastasia Chupryna
Software Engineering Department
Kharkiv National University
of Radioelectronics
Kharkiv, UKRAINE,
e-mail: anastasiya.chupryna@nure.ua

***Анотація*—В статті представлено підхід застосування Big Data для розумного міста. Цей підхід включає кілька простих систем автоматизації. На самому базовому рівні ці системи можуть бути не більше ніж рефлекторними агентами: агентами, які спостерігають навколишнє середовище та реагують відповідно до отриманої інформації. Smart city, що складається з таких простих рефлекторних агентів, може бути використане для спрощення життя своїх мешканців, для покращення комфорту та використання в системі управління електричною мережею завдяки алгоритму знаходження максимального потоку для управління комунікаційними режимами.**

***Abstract*—The article presents way to apply big data for smart city. This approach includes few simple automation systems. At the most basic level, these systems could be no more than reflex agents: agents which observe the environment and react accordingly to the acquired information. A smart city constituted of such simple reflex agents can be exploited to simplify the life of its residents, to improve the comfort and used for electrical network management system via algorithm is to find through paths with positive flows from source to drain.**

***Ключові слова*—Smart city, big data, система управління електричною мережею, алгоритм максимального потоку, графік мережі, електрична мережа.**

***Keywords*—Smart city, big data approach, electrical network management system, maximum flow algorithm, graph of network, electrical network.**

## I. Вступ

Регулювання енергетичних потоків в умовах динамічної зміни мережі енергопостачання, за умови високої надійності та в умовах впровадження системи “Smart City”, є задача високої складності [1].

Для вирішення цієї задачі можна використовувати алгоритми знаходження максимального потоку в мережі. Використання нових швидких алгоритмів покращить аналіз управління потоками в енергосистемах. І допоможе впровадженню системи «Smart City» із запобіганням аварійним ситуаціям що виникають за умови помилкових дій диспетчерських служб заснованих на застарілих даних.

В роботі представлений алгоритм знаходження максимального потоку для управління комунікаційними режимами, загальна модель, розрахунок максимального потоку в мережі електропостачання в реальному часі, при любих змінах конфігурації електричної мережі і практична реалізація аналізу впливу перемикань на стан мережі.

## II. Реалізація алгоритму

Диспетчерські центри по управлінню електричними мережами здійснюють безперервний контроль за станом об'єктів – лініями електропередач, трансформаторними підстанціями, розподільними пунктами. Інформація про це у графічній формі відображається на мнемосхемі електричних мереж [2].

Для ефективного управління електричними мережами використовують оперативне перемикання в мережі електропостачання. Інформація про пропускну здатність електромережі необхідна для прийняття рішення про допустимість оперативного підключення, - передачі частки навантаження з одної дільниці мережі на іншу.

Ділянка електричної мережі може бути представлена як орієнтований зважений граф див. рис.1.

Вузлам мережі в даному випадку будуть асоційовані трансформатори, перемикачі, роз'єднувачі або трансформаторні підстанції чи комутаційні групи, в залежності від деталізації схеми живлення. А дугам мережі асоційовані лінії електропередач, шини розподільних пристроїв тощо. Мінімальною пропускною здатністю дуг буде максимально допустимий струм для ліній або шин. Дуги які направлені в стік мають пропускну здатність порівняну з потужністю трансформаторних підстанцій. Вузли які асоційовані з розподільчими пристроями не зв'язані зі стоком, бо ці вузли мають змінну степінь і приймають участь тільки в перерозподілі потоку [2].

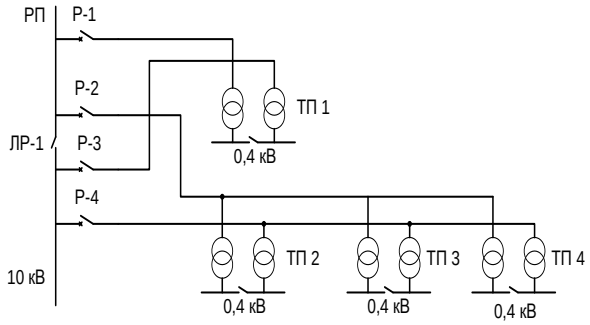



Рис. 1. Приклад схеми електропостачання для 4 ТП

Для представлення електричної мережі яка зображена на рис/ 1 у вигляді транспортної мережі треба додати джерело живлення, якщо воно відсутнє на схемі мережі, в даному випадку вузол S, та стік мережі T. Однак схема має точку розділу мережі – лінійний роз'єднувач ЛР-1, тому перед вузлом ЛР-1 додані два допоміжних вузли S1, S2. Вся комутаційна апаратура конвертується в вузли мережі, а лінії в дуги мережі. Виходи трансформаторів з'єднуються зі стоком через проміжні вузли Т1, Т2 (рис. 2). При перемиканнях в мережі вона динамічно змінюється тому постійно треба слідкувати за перерозподілом потоків в мережі.

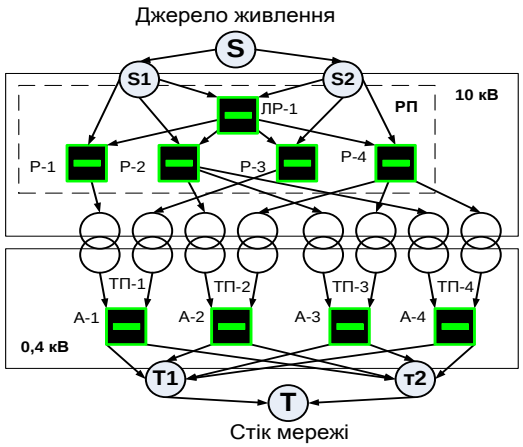



Рис.2 – Транспортна мережа схеми з 4 ТП

На рис. 3 мережа показана в одному з станів після перемикань, на даний момент ввімкнені ЛР-1, Р-1, Р-2 а також під напругою знаходяться по одному трансформатору кожної ТП, та секціонуючи вимикачі на ТП.

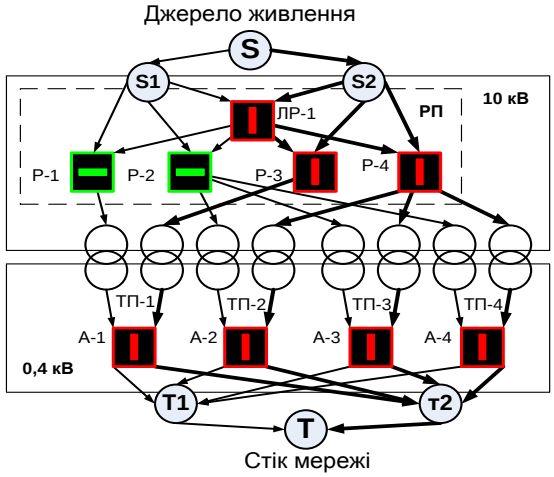



Рис.3. Транспортна мережа при перемиканнях

Актива частина мережі виділена жирними лініями, ця частина мережі трансформується в орграф з одним джерелом та одним стоком (рис. 4).

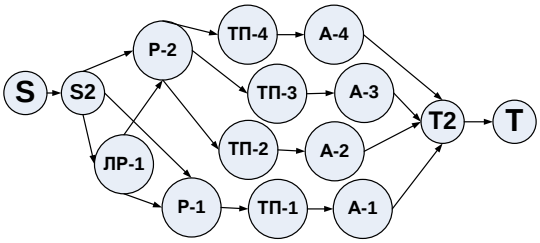



Рис.4. Граф мережі

Після цього кожній дузі задається пропускна здатність, яка дорівнює максимально допустимому рівню струму котрий може проходити через лінії та шини асоційовані з дугою [2].

Якщо з дугою асоційована не одна лінія або секція шин, а група ліній, або ділянка мережі чи фідер, то максимальна пропускна здатність дуги буде дорівнювати значенню яке може пропустити через себе самий слабий елемент в групі яка асоційована з дугою.

## III. Алгоритм знаходження максимального потоку

Для пошуку максимального потоку в мережі реалізовано алгоритм на базі PushRelabel методу, як простий в реалізації та з задовільною швидкодією. Ідея алгоритму полягає в знаходженні наскрізних шляхів з позитивними потоками від джерела до стоку [3].

Розглянемо ребро *(i, j)* з начальною пропускною здатністю $(C_{ij}, C_{ji})$. В процесі виконання алгоритму частки цих пропускних здатностей «забираються» потоками, які проходять через дане ребро. Як результат кожне ребро буде мати остаточну пропускну здатність $(c_{ij}, c_{ji})$. Мережа де всі ребра мають остаточну пропускну здатність називається остаточна. Для вузла *j*, який отримує потік від вузла *i*, визначимо мітку $[a_j, i]$, де $a_j$ – величина потоку, від вузла *j* до вузла *i*.

Крок 1. Для всіх ребер *(i, j)* встановимо пропускну здатність яка дорівнює начальній пропускній здатності $(c_{ij}, c_{ji}) = (C_{ij}, C_{ji})$. Призначимо $a_1=\infty$ та помітимо вузол 1 міткою [∞,-]. Призначаємо $i = 1$ і йдемо до 2-ого кроку.

Крок 2. Визначаємо множину $S_i$ як множину вузлів *j*, в які можна перейти з вузла і по ребру з позитивною пропускною здатністю ($c_{ij}>0$ для всіх $j \in S_i$). Якщо $S_i$ множина непуста, виконуємо 3-ій крок, в противному випадку переходимо на крок 4.

Крок 3. В множині $S_i$ знаходимо вузол k, такий, що $c_{ik} = max\{c_{ij}\}$ для всіх *j*, які належать до $S_i$. Дорівнюємо $a_k = c_{ik}$ та помічаємо вузол *k* міткою $[a_k, i]$. Якщо міткою помічений вузол стоку ($k = n$), наскрізний путь знайдено, переходимо до кроку 5.

Крок 4. (Відкат назад): Якщо $i=1$, наскрізний путь неможливо знайти, переходимо до кроку 6. Якщо і не равно 1, знаходимо помічений вузол r безпосередньо попередній вузлу *i*, та видаляємо вузол *i* з множини вузлів суміжних з вузлом *r*. Дорівнюємо $i = r$ і повертаємось к 2-ому кроку.

Крок 5. (Визначення остаточної мережі): Позначимо через $N_p = \{1, k_1, k_2, ...., n\}$ множину вузлів, через які проходить *p*-й знайдений наскрізний путь від джерела до стоку. В цьому випадку максимальний потік по цьому шляху обчислюється як $f_p = min\{a_1,a_2,..., a_n\}$. Інші пропускні здатності ребер, які знаходяться в даному наскрізному шляху, зменшаться на величину $f_p$ в напряму руху потоку, і збільшаться на ту ж величину в зворотному напрямку. Таким чином, для ребра *(i, j)*, яке входить до наскрізного потоку, текучі остаточні пропускні здатності $(c_{ij}, c_{ji})$ зміняться наступним чином:

а) $(c_{ij} - f_p, c_{ji} + f_p)$, якщо потік йде від вузла *i* до вузла *j*;

б) $(c_{ij} + f_p, c_{ji} - f_p)$, якщо потік йде від вузла *j* до вузла *i*.

Далі відновлюємо всі вузли видалені на 4 кроці. Встановлюємо $i = 1$ та повертаємося к 2 кроку для пошуку нового наскрізного шляху.

Крок 6. При *m* знайдених наскрізних путях максимальний потік обчислюється по формулі $F = f_1 + f_2 + ... + f_m$.

Маючи значення начальних пропускних здатностей $(C_{ij}, C_{ji})$ і остаточних пропускних здатностей $(c_{ij}, c_{ji})$ ребра *(i, j)*, можна обчислити оптимальний потік через нього наступним чином: $(a, b) = (C_{ij}-c_{ij}, C_{ji}-c_{ji})$. Якщо $a>0$, поток який проходить через ребро $(i, j) = a$. У випадку коли $b>0$ поток дорівнює *b*. Випадок коли одночасно $a>0$ і $b>0$ ніколи не станеться.

Розглянемо роботу алгоритму на тестовій мережі, яка зображена на рис. 5, матриця пропускних здатностей мережі зображена на рис. 6, з виду матриці і графічного зображення мережі видно що є ребра які з'єднують вершини в обох напрямках, наприклад ребро *(1,2)* з пропускною здатністю *300*, та ребро *(2,1)* з такою ж пропускною здатністю.

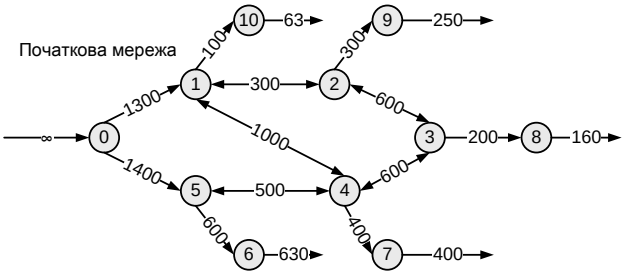



Рис.5. Тестова мережа

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | [0.0] | [1300.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [1400.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] |
| 1 | [0.0] | [0.0] | [300.0] | [0.0] | [1000.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [100.0] | [0.0] |
| 2 | [0.0] | [300.0] | [0.0] | [600.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [300.0] | [0.0] | [0.0] |
| 3 | [0.0] | [0.0] | [600.0] | [0.0] | [600.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [200.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] |
| 4 | [0.0] | [1000.0] | [0.0] | [600.0] | [0.0] | [500.0] | [0.0] | [400.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] |
| 5 | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [500.0] | [0.0] | [600.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] |
| 6 | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [600.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [630.0] |
| 7 | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [400.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [400.0] |
| 8 | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [200.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [160.0] |
| 9 | [0.0] | [0.0] | [300.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [250.0] |
| 10 | [0.0] | [100.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | [0.0] | |

Рис. 6. Матриця пропускних здатностей тестової мережі

Джерелом мережі є вузол з номером *(0)*, стоком мережі є вузол *(11)*. Сумарна пропускна здатність перерізу біля джерела, ребра *(0,1), (0,5) = 2700*, а сумарна пропускна здатність перерізу біля стоку, ребра *(6, 11), (7, 11), (8, 11), (9, 11), (10, 11)* = 1503, тестова мережа зображена на рисунку 5, стік мережі не показано, ним з'єднані вузли *6, 7, 8, 9, 10.*

Перша ітерація алгоритму.

Покладемо остаточні пропускні здатності $(c_{ij}, c_{ji})$ начальним пропускним здатностям $(C_{ij}, C_{ji})$.

Крок 1. Назначаємо $a_0 = \infty$ та помічаємо вузол *(0)* міткою $[\infty,-]$, дорівнюємо $i = 0$.

Крок 2. $S_1=[1,5]$ (Множина не пуста).

Крок 3. *k=5*, оскільки $C_{05}=max\{c_{01}, c_{05}\}=max\{1300, 1400\} = 1400$. Задаємо $a_5=c_{05}=1400$ і маркуємо вузол *(5)* міткою *[1400,0]* і повертаємось до кроку 2.

Крок 2. $S_2=[6,4]$ (Множина не пуста).

Крок 3. *k=6*, оскільки $C_{56}=max\{c_{54}, c_{56}\}=max\{500, 600\} = 600$. Задаємо $a_6 = c_{56} = 600$ і маркуємо вузол *(6)* міткою *[600,5]* і повертаємось до кроку 2.

Крок 2. $S_3=[11]$ (Множина не пуста).

Крок 3. *k=11*, оскільки $C_{6,11}=max\{c_6, c_{11}\}=max\{630\} = 630$. Задаємо $a_{11}=c_{6,11}=630$ і маркуємо вузол *(11)* міткою *[630,6]*. Отримали наскрізний путь. Далі до кроку 5.

Крок 5. Наскрізний путь визначаємо за мітками, починаючи з вузла 11 і кінець буде вузол *(0)*: *(11)→[630,6] →(6)→[600,5] →(5)→[1400,0] →(0).* Таким чином $N_1=\{0,5,6,11\}$ і $f_1=min\{a_0, a_5, a_6, a_{11}\} = min\{\infty, 1400, 600, 630\}=600$. Обчислюємо остаточні пропускні здатності вздовж шляху $N_1$:

$(C_{05},C_{50}) = (1400-600,0+600)=(800,600)$

$(C_{56},C_{65}) = (630-600,0+600)=(0,600)$

$(C_{6,11},C_{11,6}) = (600-600,0+600)=(30,600)$

Вид мережі після першої ітерації показано на рис. 7.

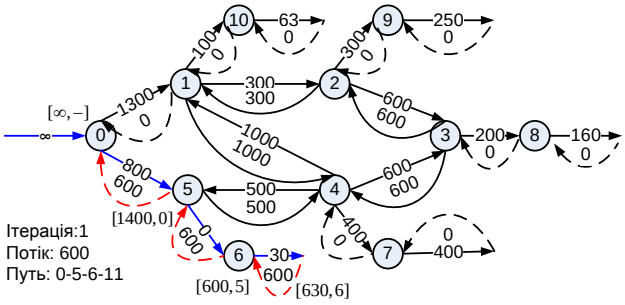



Рис.7. Мережа після першої ітерації алгоритму

Потоки які йдуть у напрямку протилежному орієнтації дуги на рисунках зображені пунктирними лініями.

2-га ітерація алгоритму.

Крок 1. Назначаємо $a_0 = \infty$ та помічаємо вузол *(0)* міткою $[\infty, -]$, дорівнюємо *i=0.*

Крок 2. $S_1=[1,5]$ (Множина не пуста).

Крок 3. *k=1*, оскільки $C_{01}=max\{c_{01}, c_{05}\}=max\{1300, 1800\} = 1300.$ Задаємо $a_1=c_{01}=1300$ і маркуємо вузол *(1)* міткою *[1300, 0]* і повертаємось до кроку 2.

Крок 2. $S_2=[2,4,10]$ (Множина не пуста).

Крок 3. *k=4*, оскільки $C_{1,4}=max\{c_{1,2}, c_{1,4}, c_{1,10}\}=max\{300, 1000, 1000\} = 1000$.. Задаємо $a_4 = c_{1,4} = 1000$ і маркуємо вузол *(4)* міткою *[1000, 1]* і повертаємось до кроку 2.

Крок 2. $S_3=[3,5,7]$ (Множина не пуста).

Крок 3. *k=3*, оскільки $C_{4,3}=max\{c_{4,3}, c_{4,5}, c_{4,7}\}=max\{600, 500, 400\} = 600.$

Задаємо $a_3=c_{4,3}=600$ і маркуємо вузол *(3)* міткою *[600,4]* і повертаємось до кроку 2.

Крок 2. $S_4=[2, 8]$ (Множина не пуста).

Крок 3. k=2, оскільки $C_{3,2}=max\{c_{3,2}, c_{3,8}\}=max\{600, 200\} = 600$. Задаємо $a_2=c_{3,2}=600$ і маркуємо вузол *(2)* міткою *[600,3]* і повертаємось до кроку 2.

Крок 2. $S_5=[9]$ (Множина не пуста).

Крок 3. *k=9*, оскільки $C_{2,9}=max\{c_{2,9}\}=max\{300\} = 300.$ Задаємо $a_9=c_{2,9}=300$ і маркуємо вузол *(9)* міткою *[300,2]* і повертаємось до кроку 2.

Крок 2. $S_6=[11]$ (Множина не пуста).

Крок 3. *k=11*, оскільки $C_{9,11}=max\{c_{9,11}\}=max\{250\} = 250$.. Задаємо $a_{11}=c_{9,11}=250$ і маркуємо вузол *(11)* міткою *[250, 9]*. Отримали наскрізний путь. Переходимо до кроку 5.

Крок 5. Наскрізний путь визначаємо за мітками, починаючи з вузла *(11)* і кінець буде вузол *(0)*: *0*: *(11)→[250,9] →(9)→[300,2] →(2) →[600,3] →(3)→[600,4] → (4) → [1000,1] →(1)→[1300,0]→(0).* Таким чином $N_2=\{0,1,4,3,2,9,11\}$ і $f_2=min\{a_0, a_1, a_4, a_3, a_2, a_9, a_{11}\} = min\{\infty, 1300, 1000, 600, 600, 300\ 250\}=600$. Обчислюємо остаточні пропускні здатності вздовж путі $N_2$:

$(C_{0,1},C_{1,0}) = (1300-250,0+250)=(1050,250)$

$(C_{1,4},C_{4,1}) = (1000-250,1000+2500)=(750,1250)$

$(C_{4,3}C_{3,4}) = (600-250,600+250)=(350,850)$

$(C_{3,2}C_{2,3}) = (600-250,600+250)=(350,850)$

$(C_{2,9}C_{9,2}) = (300-250,0+2500)=(50,250)$

$(C_{9,11}C_{11,9}) = (250-250,0+250)=(0,250)$

Вид мережі після другої ітерації показано на рис.8.

3 ітерація алгоритму: Отримано шлях $N_3=\{0,1,4,7,11\}$з $f_3=400$.

4 ітерація алгоритму: Отримано шлях $N_4=\{0,5,4,1,2,3,8,11\}$з $f_4=160$.

5 ітерація алгоритму: Отримано шлях $N_5=\{0,1,10,11\}$ з $f_5=63$.

6 ітерація алгоритму: Нові наскрізні путі неможливі, оскільки всі ребра які входять в вузол *(11)*, мають нульові остаточні пропускні здатності, окрім ребра $C_{6,11} = 30$, але в вузол *(6)* неможливо перейти, тому що єдине ребро по котрому можна це здійснити має нульову остаточну пропускну здатність $C_{5,6}=0$. Переходимо до кроку 6.

Крок 6. Максимальний обсяг потоку в мережі дорівнює: $F=f_1+f_2+...+f_5=600+250+400+160+63=1473$.

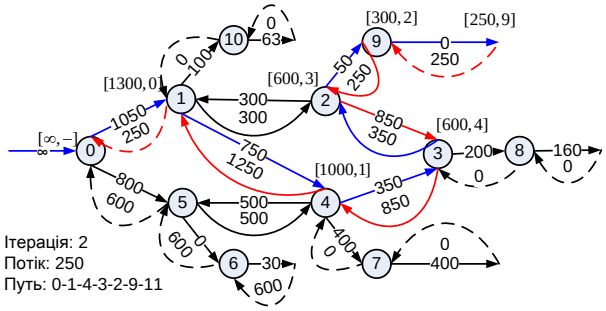



Рис.8. Мережа після другої ітерації алгоритму

Напрями та обсяги потоків обчислюються шляхом віднімання остаточних пропускних здатностей з начальних пропускних здатностей. Вид мережі наприкінці роботи алгоритму показані на рис.9.

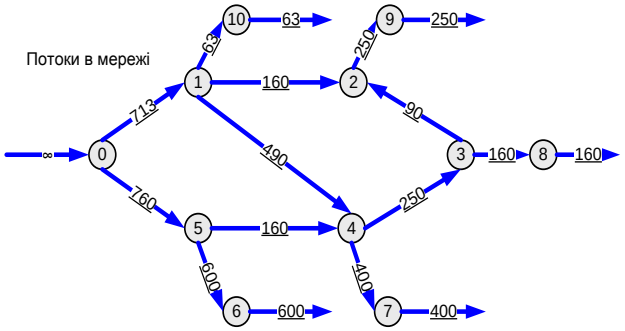



Рис.9. Обсяги та напрями потоків в мережі

Отже потік по ребру *(0,1) = 713, (0,5) = 760, (1,2) = 160, (1,4)= 490, (4,5) =160, (5, 6) =600, (6,7) =600, (3,4)=250, (2,3)=90, (1,10)=63, (10,9)=63, (2,9)=250, (9,11)=250, (3,8)=160, (8,11)=160, (4,7)=400, (7,11)=400.*

## IV. Програмна реалізація алгоритму

Структура проекту - пакет org містить усі пакети програми: org.algo – містить у собі алгоритм знаходження максимального потоку в мережі, org.elements – містить у собі класи які відповідають за графічне відображення елементів схеми, а також містять дані про те приймають учать елементи в розподілі потоку або в його споживанні, org.graph – містить класи які представляють собою граф мережі і надають методи для роботи з нею, - додавання, видалення – ребер чи вузлів, org.gui – містить клас головного вікна програми, org.utils - містить клас, що відстежує динамічну конфігурацію мережі та надає дані: для роботи алгоритму, для виводу результатів роботи для головного класу (рис.10).

Алгоритм знаходження максимального потоку в мережі виділено в окремий пакет org.algo, назва класу PushRelabel (рис.11).

При створенні об’єкту класу він потребує для ініціалізації матрицю пропускних здатностей мережі, цю матрицю повертає метод класу VoltageTracker.getNetwork():

- PushRelabel pr = new PushRelable(voltageTracker.getNetwork());

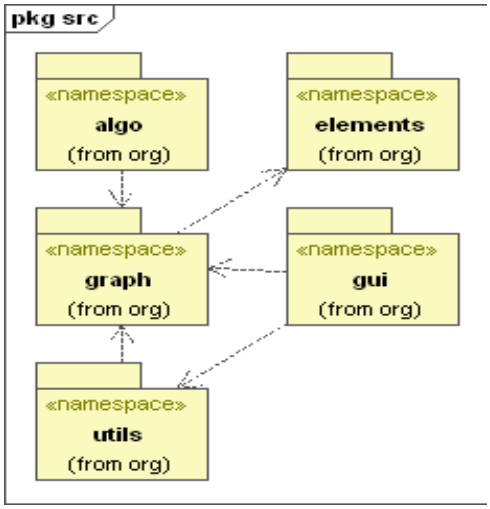



Рис.10. UML діаграма проекту

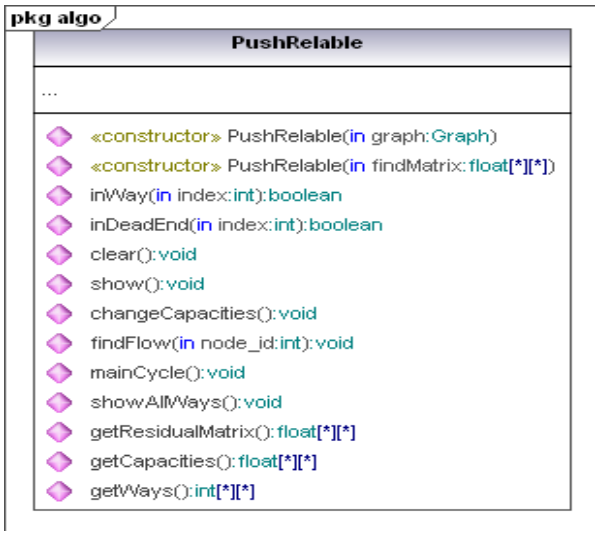



Рис.11. Клас PushRelabel

Методи класу PushRelable:

- public boolean inWay(int index) – повертає булеве значення, true якщо вузол вже знаходиться в списку вузлів задіяних в наскрізному шляху, якщо вузол не знайдено в цьому списку – метод повертає значення false;
- public boolean inDeadEnd(int index) – повертає булеве значення, true якщо вузол з індексом index, знаходиться в списку тупикових вузлів, якщо вузол не значиться в цьому списку метод повертає false;
- public void clear() – метод очищує списки: тупикових вузлів, вузлів наскрізного потоку. Та записує знайдений маршрут в матрицю знайдених шляхів. Викликається після кожної ітерації алгоритму;

- public void findFlow(int node_id) – метод шукає ребро по котрому можна перейти далі по мережі. Викликається рекурсивно до тих пір доки не досягне стоку мережі, або не буде ребер по яким можна перейти далі;
- public void changeCapacities() – метод викликається після завершення роботи методу findFlow(int node_id), змінює остаточні пропускні здатності мережі;
- public float[][] getResidualMatrix() – метод повертає матрицю остаточних пропускних здатностей мережі, для подальшої роботи програми;
- public float[][] getCapacities() - метод повертає матрицю начальних пропускних здатностей мережі, для подальшої роботи програми;
- public int[][] getWays() - метод повертає матрицю індексів вузлів котрі задіяні в знайдених наскрізних путях, для подальшої роботи програми;
- public void mainCycle() – головний цикл роботи алгоритму.

Пакет org.utils. При розробці програмного забезпечення було враховано, те що підстанція може виступати не тільки як споживач електроенергії а й як транспортуюча ланка мережі. Саме для цього передбачена можливість трансформування одного виду вузла (Трансформатор - Transformer) в інший (Перемикач - Switch). Коли вузол виглядає як перемикач він не вносить в обсяги циркулюючих потоків ніяких змін. Він тільки може або дозволити проходження потоку, або заборонити його проходження. Якщо вузол виглядає як трансформатор він автоматично з'єднується з вузлом стоку, тому що трансформатор є споживачем електричної енергії. За цими змінами слідкує клас під назвою VoltageTracker діаграма якого зображена на рис. 12.

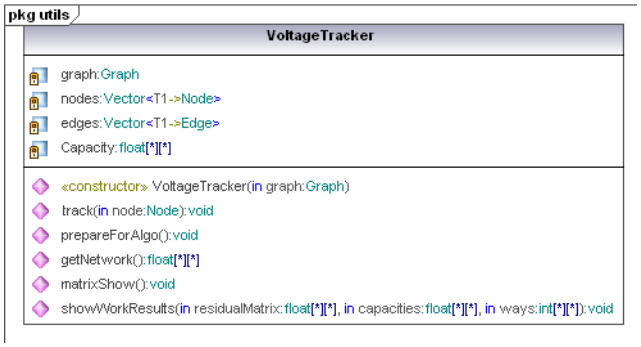



Рис.12. Клас VoltageTracker

Його метод track() починає діяти в тому випадку, якщо сталися зміни в конфігурації мережі. Також цей метод стежить за тим, які перемикачі на даний момент ввімкнені, а які вимкнуті. При цьому ввімкнені перемикачі, трансформатори та ділянки мережі які знаходяться під напругою позначаються червоним кольором, а ділянки без напруги позначуються зеленим кольором. Трансформатори та вимикачі при знятої напрузі відображаються сірим кольором.

Під час створення об'єкту класу потребуються для ініціалізації дані, які містить в собі клас Graph, це інформація про кількість вузлів мережі та яким чином вони з'єднані.

Метод prepareForAlgo() класу VoltageTracker слідкує за станом елементів мережі який змінюється методом track().

public float[][]getNetwork() – повертає матрицю початкових пропускних здатностей мережі, для роботи алгоритму PushRelabel, яка сформована в даний момент часу.

public void showWorkResults(float[][]residualMatrix, float[][]capacities) – Відображає результати роботи алгоритму PushRelabel.

Пакет org.graph – містить в собі три класи: Node, Edge, Graph, які забезпечують роботу з графом, - додавання, видалення вершин та ребер, повертання суміжних вершин для обраної, повертання кількості вершин та ребер в графі, зміна напряму дуги, зміни асоційованих вершин для дуг, повертання степеню і напівстепенів входу та виходу для вершин, та зберігання графу в пам'яті комп'ютера (див рис. 13).

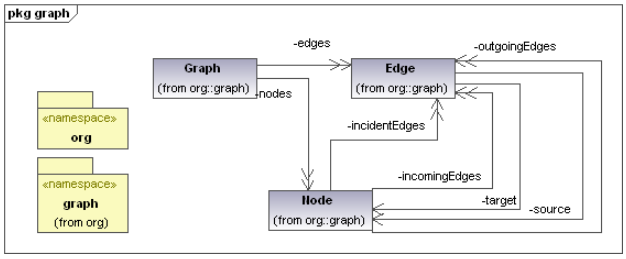



Рис.13. UML діаграма пакету org.graph

Клас Node, UML діаграма якого зображена на рис.14, представляє описання одиниці нижнього рівня графа – вершини. Для кожного вузлу графа створюється об'єкт класу. В ньому зберігаються посилання на всі інцидентні вузли, у вигляді зв'язних списків, що дозволяє швидко знаходити потрібні вузли.

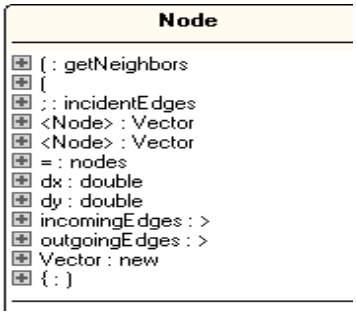



Рис.14. Клас Node

private Vector<Edge> incidentEdges – зберігає посилання на усі ребра які з'єднані з вершиною.

private Map<Node, Edge> incomingEdges – зберігає посилання на пари Вузол-Ребро для всіх вузлів та ребер які входять у дану вершину.

private Map<Node, Edge> outgoingEdges - зберігає посилання на пари Вузол-Ребро для всіх вузлів та ребер які виходять з даної вершини.

Клас має такі методи:

- public int getId() – повертає ціле число яке є індексом вершини, для джерела мережі індекс завжди дорівнює нулю id = 0;
- public String getLabel() – повертає строку з назвою яку ми асоціювали з вершиною, за замовчуванням назва є індексом вершини;
- public float getValue() – повертає значення вершини, застосовується для потужності трансформаторів;
- public void setVaule(float value) – встановлює нове значення потужності, за замовчуванням дорівнює 1.0f;
- public Vector<Node>getNeighbors() – повертає список вершин які з'єднані з даною;
- public int degree() – повертає ціле число яке вказує на степінь вершини;
- public int outDegree() – повертає ціле число яке вказує на полустепінь виходу;
- public int inDegree() – повертає ціле число яке вказує на полустепінь заходу;
- public boolean areAdjacent(Node node) – повертає булеве значення, true якщо вершина поєднана з вершиною яка передається в параметрах методу, в протилежному випадку повертає false;
- public Vector<Node> getOutgoingNodes() – повертає список всіх вершин в які можна перейти з даної вершини;
- public Vector<Node> getIncomingNodes() – повертає список вершин з яким можна перейти в дану вершину;
- public Vector<Edge> getIncidentEdges() – повертає список ребер які поєднані з даною вершиною;
- public Map<Node, Edge> getOutgoingEdges() – повертає всі пари Вершина-Ребро для ребер які виходять з даної вершини;
- public Map<Node, Edge> getIncomingEdges()– повертає всі пари Вершина-Ребро для ребер які входять в дану вершину;
- public void addIncidentEdge(Edge edge) – метод дозволяє додати інцидентне ребро;
- public void removeIncidentEdge(Edge edge) - метод дозволяє видалити інцидентне ребро;
- public void removeAdjacentNode(Node node) – метод видаляє суміжний вузол зі списків в яких він є.

Клас Edge, UML діаграма (рис.15), представляє абстракцію ребра графа, зберігає в собі посилання на вершини які поєднані даним ребром Node target, Node source. Має поле для зберігання пропускної здатності ребра. Для кожного ребра створюється об'єкт класу.

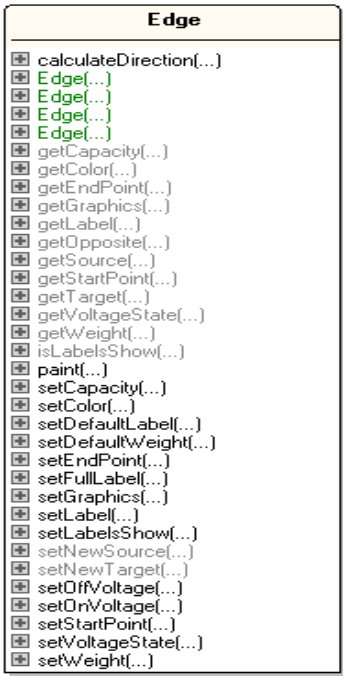



Рис.15. Клас Edge

Методи класу:

- public Node getSource() – повертає вузол з якого ребро виходить;
- public Node getTarget() – повертає вузол в який ребро входить;
- public Node getOpposite(Node node) – повертає протилежний, вузлу який подається в параметрах методу;
- public String getLabel() – повертає назву ребра, за замовчуванням назва виглядає як індекс начального вузла, індекс кінцевого вузла та пропускна здатність ребра;
- public void setLabel(String label) – встановлює назву для ребра;
- public void setDefaultLabel() – встановлює назву для ребра за замовчуванням;
- public float getCapacity() – повертає пропускну здатність ребра;
- public void setCapacity(float capacity) – встановлює пропускну здатність ребра;
- public boolean setNewTarget(Node target) – асоціює ребро з новим вузлом;
- public boolean setNewSource(Node source) – асоціює ребро з новим вузлом.

Клас Graph – представляє абстракцію моделі графа (рис.16).

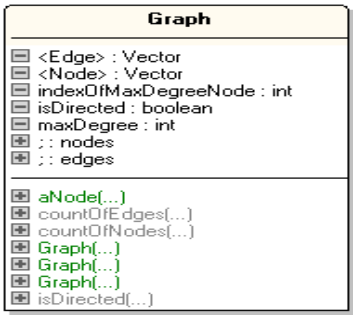



Рис.16. Клас Graph

Зберігає в собі посилання на всі вершини та ребра які входять до графу. Дозволяє роботу з графом: додавання, видалення вершин та ребер.

Розглянемо методи класу. public int countOfNodes() – повертає ціле число яке вказує на кількість вузлів. public int countOfEdges() – повертає ціле число яке вказує на кількість ребер. public Node insertNode(String label, float value) – добавляє новий вузол в граф. public void removeNode(Node node) – видаляє вузол з графу. public Node getNode(int index) – повертає вузол за індексом. public Vector<Node> getAllNodes() – повертає список всіх вузлів. public Edge addEdge(Edge edge) – додає нове ребро до графу. public void removeEdge(Edge edge) – видаляє ребро з графу. public Edge getEdge(int index) – повертає ребро за індексом під яким воно зберігається в списку усіх ребер графа. public Vector<Edge> getAllEdges() – повертає список всіх ребер графа.

Пакет org.elements. Текучий стан мережі відображається на мнемосхемі, на якій спеціальними символами зображено комутаційну апаратуру та стан в якому вона знаходиться. Чи перебуває дана ланка мережі під напругою чи вона відключена або навпаки ввімкнена але на неї відсутня напруга, це має відображатись на мнемосхемі.

Лінії електропередач які знаходяться під напругою повинні відображатися червоним кольором який вказує «НЕБЕЗПЕЧНО», лінії на яких немає напруги відображаються зеленим кольором. Всі трансформатори які перебувають під напругою відображаються чорним кольором що говорить про те що вони активні. Трансформатори які відключені від мережі зображені блідо сірим кольором – неактивні. Перемикачі ввімкнені і якщо на вході чи навпаки в зворотному напрямку до нього підходить напруга відображені червоним кольором. Якщо перемикач вимкнено але на вході до нього є напруга він зображується зеленим кольором. Якщо лінія знаходиться без напруги то всі перемикачі на неї незалежно від того ввімкнені чи вимкнені зображуються сірим кольором.

Пакет org.elements, в якій включені всі класи, що відповідають за відображення елементів мовою паттернів.

Клас SwitchElement – є абстракцією всіх видів комутаційної апаратури має декілька станів відображення елемента:

- ввімкнений – зображується як квадрат чорного кольору з червоною окантовкою, всередині містить вертикально орієнтований червоний прямокутник;
- вимкнений – зображується як квадрат чорного кольору з зеленою окантовкою, всередині містить горизонтально розташований зелений прямокутник;
- під напругою – графічно зображується залежності від стану (ввімкнений, вимкнений) колір зберігається;
- без напруги – графічне зображення стану (ввімкнено, вимкнено) зберігається, але колір окантовки і прямокутника всередині замінюється на сірий.

Клас TransformerElement – є абстракцією всіх видів трансформаторів та підстанцій має два стани відображення активний (чорний колір), не активний (сірий колір). Графічне позначення - це два кільця які пересікаються в вигляді вісімки. Первинна обмотка трансформатора це верхнє кільце, а нижнє кільце представляє вторинну обмотку трансформатора.

Програма дозволяє:

- створювати новий граф мережі;
- завантажувати існуючі графи мережі;
- задавати пропускну здатність ребра;
- змінювати тип вузла, якщо на підстанції вимкнено трансформатор, але вона приймає участь в перерозподілі потоків потужностей, тип вузла необхідно змінити на перемикач. У випадку коли трансформатор знов ввімкнули і він є споживачем потоку потужності, потрібно знов змінювати тип вузла з перемикача на трансформатор.

На рис. 17 зображена тестова мережа

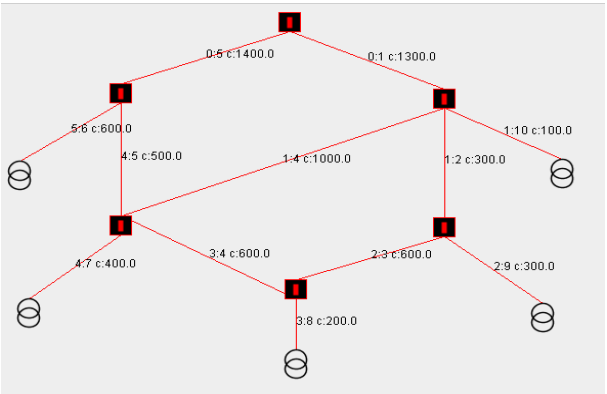



Рис.17. Тестова мережа

Біля кожного ребра вказана його пропускна здатність та номери вузлів які воно поєднує. Після виконання алгоритму ці назви зміняться на дрібні значення в чисельнику буде пропускна здатність ребра а в знаменнику потік по цьому ребру.

Для запуску алгоритму розрахунку пропускної здатності та закінчення його роботи, вид назв ребер зміниться на розрахований потік (рис. 18).

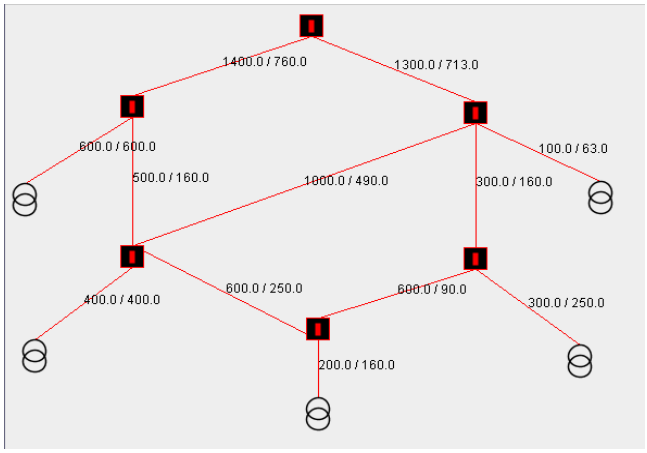



Рис.18. Мережа з розрахованими потоками

Мережа прийме начальний вигляд, якщо є необхідність повернути назви ребер до начального виду.

При роботі реальної електричної мережі її конфігурація змінюється в часі, здійснюються перемикання для ремонтних потреб, або для передачі частини потужності з одного на інший фідер. Для того щоб змінювати конфігурацію мережі передбачена можливість перемикання комутаційних апаратів на схемі мережі (рис. 19).

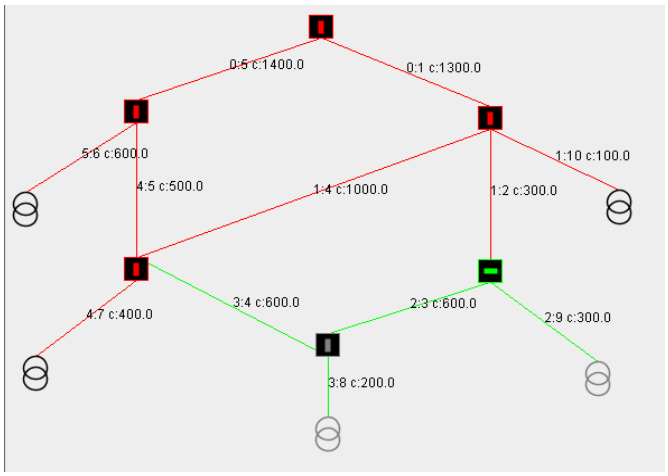



Рис.19. Вигляд мережі після перемикання

При здійсненні перемикань мережа змінює свій вигляд, що дозволяє швидко орієнтуватися в тому – який апарат відключено, які трансформатори і комутаційні апарати знаходяться під напругою, а які знеструмлені. На схемі це відображається за допомогою кольору – всі елементи схеми і лінії які знаходяться під напругою відображаються червоним кольором, всі елементи схеми які знаходяться без напруги відображаються сірим кольором, для перемикачів не важливо в якому він стані (ввімкнений чи вимкнений). Якщо перемикач вимкнений і до нього з одного боку подається напруга він графічно зображується як вимкнений, але його колір зелений а не сірий, це говорить про те що він під напругою.

Після проведення кожного перемикання програма автоматично розраховує конфігурацію мережі і вносить необхідні зміни в граф мережі. Але після цього необхідно знов розраховувати потоки в мережі.

## V. Висновки

В роботі був реалізований алгоритм знаходження максимального потоку на зваженому графі для управління комунікаційними режимами електричних мереж в оперативно-диспетчерському керуванні для системи «Smart City».

Головною метою реалізації даної системи є попередження аварійних ситуацій, що підвищує безпеку і забезпечує підвищення надійності електропостачання споживачів електроенергією.

Головними особливостями розробленої системи є :

- можливість внесення динамічних змін в електричну мережу і швидкий розрахунок наслідків таких змін;
- можливість внесення статичних змін в мережу;
- можливість трансформування типів елементів мережі;
- можливість швидкого розрахунку потоків в умовах динамічних змін конфігурації мережі.

На основі проведеного аналізу та розробленої системи була обґрунтована доцільність застосування моделі теорії графів для подання електричної мережі в умовах постійної динамічності останньої, а також застосування алгоритмів знаходження максимального потоку в мережі для аналізу управління комутаційними режимами в електричних мережах.

## Література References

[1] A Smart Approach to Planning Smart Cities. 2018 [Online]. https://sites.atis.org/insights/a-smart-approach-to-smart-cities/Nation.

[2] ГОСТ 24291-90. Электрическая часть электростанции и электрической сети. Термины и определения [Online]. Available: http://docs.cntd.ru/document/gost-24291-90

[3] Алгоритмы нахождения максимального потока 2018 [Online]. Available: http://algolist.ru/maths/graphs/maxflows/

# Використання Технологій Віртуальної та Доповненої Реальності для Збереження Історично-культурної Спадщини

Олександр Саманцов
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
oleksandr.samantsov@nure.ua

# VR and AR Technology Usage for Historical-cultural Inheritance Save

Oleksandr Samantsov
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oleksandr.samantsov@nure.ua

***Анотація*—у роботі розглядаються основні пристрої та засоби віртуальної та доповненої реальності з боку використання для збереження історично-культурної спадщини світу**

***Abstract*—This paper describes main VR and AR ways and devices to use for world hictorical-cultural inheritance saving.**

***Ключові слова—віртуальна реальність, доповнена реальність, історично-культурна спадщина***

***Keywords—VR, AR, hictorical-cultural inheritance***

## I. Вступ

Охорона пам'яток історії та культури — комплекс заходів, що здійснюються на державному або громадському рівні з метою захисту і збереження об'єктів історико-культурної спадщини та історичного середовища в цілому. Включає в себе облік (виявлення, наукове вивчення, класифікацію, державну реєстрацію), консервацію, реставрацію, музеєфікацію, належне утримання й використання пам'яток [1].

Охорона пам’яток історії та культури є важливим для становлення та розвитку людської цивілізації. Проте останім часом, все більше пам’яток страждає від вандалів, впливу природних умов, туристів, недостатку коштів на реконструкцію та поступово знищуються [1]. Для вирішення проблеми збереження історичного та культурного надбання ми розглянемо можливість використання сучасних технологій, а саме технологій віртуальної та доповненої реальності.

## II. Доповнена реальність

Доповнена реальність - термін, що позначає всі проекти, спрямовані на доповнення реальності будь-якими віртуальними елементами. Доповнена реальність — складова частина змішаної реальності, в яку також входить «доповнена віртуальність» (коли реальні об'єкти інтегруються у віртуальне середовище) [2].

Наразі доповнена реальність широко використовується при трансляції спортивних змагань, так доповнення траєкторії руху шара при відскоці у снукері чи лінія офсайду у футболі можуть бути названі доповненою реальністю.

Також технології доповненої реальності можуть бути використані при відтворенні історичних подій на реальному ландшафті, наприклад, при реконструкції важливих битв.

## III. Віртуальна реальність

Віртуальна реальність - ілюзія дійсності, створювана за допомогою комп'ютерних систем, які забезпечують зорові, звукові та інші відчуття. На відміну від доповненої реальності, віртальна реальність не спирається на реальний світ й може відображати ідеальне середовище. У більш вузькому смислі термін віртуальна реальність використовують для позначення комп'ютерних систем, що відображають інформацію у вигляді інтерактивних стереоскопічних зображень [3].

Технології віртуальності можуть бути використані для реконструкції історичних подій, що не можуть бути прив'язані до реального ландшафту чи культурної спадщини, що була втрачена.

## IV. Використання віртуальної реальності

Розглянемо найбільш популярні пристрої віртуальної та доповненої реальності, що наявні на ринку. Пристрої віртуальної реальності можна поділити на 2 групи:

- Комп'ютерна віртуальна реальність - пристрої віртуальної реальності, що використовують потужності комп'ютера для рендерингу та відображення стереоскопічного зображення. Серед переваг пристроїв цієї категорії можна виділити більш якісне зображення, та зручні пристрої інтеракції з об'єктом. Проте недоліком є висока вартість, як самого пристрою віртуальної реальності, так й комп'ютера, що робить усі обчислення, а також низька мобільність системи.
- Мобільна віртуальна реальність - пристрої віртуальної реальності, що використовують потужності мобільного телефону, для відображення стереоскопічного зображення. Ці пристрої більш дешеві та популярні, проте вони не надають настільки ж якісне зображення.

Серед лідерів ринку комп'ютерної віртуальної реальності ми можемо виокремити наступні пристрої:

- HTC Vive - це комплект віртуальної реальності, розроблені компанією HTC та Valve Corporation. Комплект використовує технологію відстеження "кімната", що дозволяє користувачеві переміщатися в 3D-просторі та використовувати 2 контролери для взаємодії з навколишнім середовищем. Пристрой надає досить чітке зображення 1080×1200 пікселів у кожне око. Середня вартість пристрою становить 800$. Пристрій має досить добру підтримку основними рушіями для створення додатків [4].
- Oculus Rift - це комплект віртуальної реальності, розроблені компанією Oculus VR, відокремленим підрозділом Facebook. Комплект використовує технологію відстеження шолому та оснащений двома контролерами для взаємодії з об'єктами сумісні з Xbox One. Роздільна здатність зображення також становить 1080×1200 пікселів у кожне око. З порівняно меншою вартості комплекту, що становить 600$.[5] Більш дешева вартість та одні й ті самі можливості у порівнянні з HTC Vive стало приводом до того, що Oculus Rift все частіше використовується у школах та університетах світу, як навчальний пристрій. Найчастіше студентами медиками та архитекторами [6].

Серед пристроїв мобільної віртуальної реальності можна виокремити наступні пристрої:

- Samsung Gear VR - це комплект мобільної віртуальної реальності розроблений компанією Samsung та є сумісним лише з рядом телефонов цієї компанії. Розподільча здатність коливається в залежності від телефону, що використовується та може досягати 1280×1440 пікселів у кожне око. Незважаючи на більшу розподільчу здатність, через нижчу продуктивність процесору телефону, моделі для Gear VR мають бути простішими, ніж для комплектів комп'ютерної віртуальної реальності. Ціна комплекту становить близько 100$. Це робить даний комплект досить дешевою заміною віртуальних музеїв чи архівів [7].
- Google Cardboard - це комплект мобільної віртуальної реальності розроблений компанією Google задля популяризації пристроїв віртуальної реальності. Основною ідеєю пристрою було створення комплекта із дешевих матеріалів для будь-якого телефону, що працює під ОС Android. Вартість пристрою становить близько 15$, проте його можливост значно варіюються від телефона, що використовується. Також, треба виділити, досить низький час життя пристрою, через те, що його вироблено з дешевого матеріалу, а саме - картону. Через це використання пристрою з метою іншою від популяризації технології досить сумнівне [8].

## V. Використання доповненої реальності

Пристрої доповненої реальності вже досить довгий час використовуються військовими для отримання інформації щодо положення дружних підрозділів, позицій супротивника, мапи доріг тощо. Проте ці пристрої є специфічними та досить дорогими у створенні. Наразі ведучі компанії займаються розробкою більш дешевих пристроїв доповненої реальності, що можуть бути використані у повсякденному житті.

Проте, технології доповненої реальності вже використовуються у мобільних пристроях. Найчастіше для ігрового контенту. Так, гра Pokemon Go, зображена на рис. 1, побудована на принципах доповненої реальності досить швидко посіла перше місце у рейтингу найпопулярніших додатків [9].

Проте технології AR використовують й для навчання, так, наприклад застосунок Monster Park - AR Dino World для Apple iPhone дозволяє "вбудувати" динозаврів у реальне середовище, так, як це показано на рис 2. Таким чином ми можемо розглянути історичні об'єкти у сучасному світі [10].



Рис. 1. Гра Pokemon Go



Рис. 2. Застосунок Monster Park - AR Dino World

Іншим засобом використання AR технологій у збереженні культурної та історичної спадщини є “особлива” поведінка пристрою у спеціальних місцях. Так, Felice Grodin відкрила у Майамі першу виставку доповненої реальності. При використанні спеціального додатку доповненої реальності створенні об’єкти змінювались на екрані телефону [11].

Таким чином, можна сказати, що доповнена реальність, може бути використана для вбудовування втрачених об’єктів історичної та культурної спадщини у реальний світ.

## VI. Приклади використання VR та AR технологій у музеях

На теперешний час, технології віртуальної реальності вже використовуються для збереження музейної спадщини та облегшення доступу до експонатів. Так музей Kremer Museum повністю створено у віртуальній реальності голандським мистецтвознавством George Kremer та його сином Joël Kremer. У цьому музеї поціновувачі живопису можуть ознайомитись з роботами голландських та фламандських живописців 17 сторіччя. Власники музею спочатку розглядали можливість побудови класичного музею, проте, через високу вартість побудови такого музею та обмежену здатність у відвідувачах було прийнято рішення перенести його у віртуальну реальність. Таким чином, відвідувач у віртуальному музеї може отримати той самий досвід, що і у реальному музеї [12]. Вигляд музею наведено на рис. 3.



Рис. 3. Вигляд Kremer Museum

Трохи іншим шляхом пішли у Американському музеї природної історії. Використовуючи спеціальний додаток, при перегляді експозиції у відвідувача є можливість оживити експонат, чи отримати додаткову історію щодо нього. Окрім цього надається додаткова інформація, щодо експонату, що розглядається [13]. Таким чином опріч візуалізації надається інформація, що може замінити гіда по музею.

## Література References


[1] С. І. Кот. Охорона пам'яток історії та культури in Енциклопедія історії України. Київ: Наук. думка, Т.7 2010, С. 705.

[2] D. Schmalstieg, T. Hollerer Augmented Reality: Principles and Practice. (Usability) Boston, 2016.

[3] J.W. Murray Building Virtual Reality with Unity and Steam VR. Boca Raton, 2017.

[4] C. Palmer, J. Williamson Virtual Reality Blueprints: Create compelling VR experiences for mobile and desktop. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2018

[5] J. Donovan Mastering Oculus Rift Development. Birmingham: Packt Publishing Ltd 2017.

[6] James Birt 1, Zane Stromberga 2, Michael Cowling 3OrcID and Christian Moro Mobile Mixed Reality for Experiential Learning and Simulation in Medical and Health Sciences Education // Information (Basel) 2018, 9(2), 31 // Information, Vol. 9, Pages 31

[7] P. Tranton Samsung Gear VR: An Easy Guide for Beginners. London, 2015

[8] H. Clark, S. Duckworth, J. Heil, D. Hotler, D. Piercey The Google Cardboard Book: Explore, Engage, and Educate with Virtual Reality .- Google Inc, 2017.

[9] How 'Pokémon Go' Took Over the World [Online]. Available: http://time.com/4400791/pokemon-go-iphone-android-nintendo/

[10] App Store: Monster Park - AR Dino World [Online]. Available: https://itunes.apple.com/ru/app/monster-park-dino-world/id1259767702?mt=8

[11] Felice Grodin: Invasive Species [Online]. Available: http://www.pamm.org/ar

[12] S. Bruke A New Museum Exists Solely in VR. What Does that Mean for the Future? [Online], Available: https://www.artsy.net/article/artsy-editorial-new-museum-exists-solely-vr-future

[13] American Museun of National History. Explorer [Online]. Available: https://www.amnh.org/apps/explore

# Особливості Викладання Інформаційних Систем Студентам – Неспеціалістам в Галузі Інформаційних Технологій

Леонід Самофалов
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
leonid.samofalov@nure.ua

# Features of Teaching Information Systems for Students – Non-Specialists in the Field of Information Technologies

Leonid Samofalov
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
leonid.samofalov@nure.ua

***Анотація*—Обговорюються особливості викладання дисциплін з застосування інформаційних систем студентам неінформаційних спеціальностей.**

***Abstract*— The peculiarities of teaching disciplines on the application of information systems to students of non-informational specialties are discussed.**

***Ключові слова—робота на комп'ютері; захист інформації; програмне забезпечення***

***Keywords—work on a computer; information protection; software***

У навчальних планах юридичних, економічних і інших гуманітарних спеціальностей, як правило, вивчаються такі курси, як Інформатика, Інформатика й алгоритмізація, Інформаційні системи й технології, Діловодство за допомогою комп'ютерних технологій тощо. Економістам, як правило, ще викладають спеціалізовані бухгалтерські й банківські комп'ютерні системи, комп'ютерні технології інтелектуального аналізу тощо. При цьому викладачі, складаючи робочі плани навчання студентів гуманітарних спеціальностей, не враховують те, що вже була шкільна інформатика, де вивчалися текстові редактори, електронні таблиці, і безліч інших прикладних програм.

Це приводить до того, що частина студентів ігнорує курси з інформаційних технологій, у яких викладачі починають викладати найпростіше програмне забезпечення, як таке, яке вони «... і самі знають», що приводить потім до пропусків дійсно важливих розділів курсів по ІТ- технологіях. При цьому деякі педагоги посилаються на те, що деякі студенти не знайомі із цим ПО.

Однак у навчання, настроювання на відстаючих ніколи не приносило позитивних результатів.

Не хотілося б давати лекторам рекомендацій, які розділи курсів більш важливі для даної конкретної

спеціальності. Але хотілося б звернути увагу на речі, які багато хто вважає елементарними, але незнання яких приводить до неприємних наслідків.

У всіх курсах з ІТ- технологій потрібно нагадувати студентам про правила безпечної роботи на комп'ютері. Мало хто з них інформований про небезпеки для здоров'я, джерелом яких може бути робота за комп'ютером. На жаль, сестра доповідача після 10 років роботи CAD-інженером у будівельній фірмі одержала інвалідність через хворобу кисті руки, що управляла маніпулятором «миша». Усі бояться міфічного випромінювання, але ніхто не думає про очні хвороби, джерелом яких є екран.

Практично 99% користувачів комп'ютера не володіють сліпим методом друку, що заощаджує 70% часу та вимагається для введення інформації за допомогою клавіатури.

Практично ніхто, крім студентів юридичних спеціальностей, не знає законодавства в галузі електронного документообігу [1,2], а також питань, пов'язаних зі злочинами в цій сфері, включаючи карну й громадянську відповідальність [3] за порушення роботи автоматизованих систем, порушення банківської таємниці, таємниці листування, поширення неліцензійних цифрових продуктів тощо.

Як захистити інформацію? Ці питання також студентам здаються примітивними. А справді, мало хто з них має уявлення про системний підхід до захисту інформації, їм здається, що паролі й криптографія - це верх захищеності інформації. Багато хто з «знавців» навіть не замислюються про захист інформації від технічних збоїв, а також форс-мажорних обставин (пожежі, прорив систем опалення, водопостачання тощо).

Дуже примітивні уявлення у багатьох студентів про злобливі програми - віруси, трояни, черв'яки. Не дивно, що деякі з них можуть побоюватися вірусу, що вистрибує на них з екрана комп'ютера, але зовсім не розуміють важливості своєчасного відновлення антивірусної бази даних.

На заняттях доводиться доводити, що тільки ліцензійне антивірусне програмне забезпечення може забезпечувати правильне й своєчасне відновлення бази даних. Тільки ліцензійна операційна система дозволяє вчасно обновляти убудовані в неї брандмауери тощо.

Що стосується прикладного програмного забезпечення, необхідного в їхній професійній діяльності, те отут також потрібно бути обережним. Безглуздо давати глибокі знання, уміння й навички роботи з АРМ-ми, які застарівають швидше, ніж студенти встигають закінчити навчальний заклад.

Важливіше навчити студентів швидкому освоєнню нових програмних застосувань, що дасть їм можливість уміло адаптуватися до умов сучасного ринку праці, що швидко змінюється.

На закінчення хотілося б сказати - викладання сучасних ІТ- технологій для студентів будь-яких спеціальностей - досить складне завдання.

По-перше, дуже складно вичленувати найважливіше й необхідне для включення в лекційний курс.

По-друге, самі ІТ- технології так швидко змінюються, що постійно потрібно відповідним чином змінювати матеріал, що подається студентам.

І, по-третє, потрібно не забувати про питання, які не залежать від програмного забезпечення й «заліза» комп'ютера, а є незмінними - безпека, захист, системний підхід.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Закон України про електронні документи та електронний документообіг [Електронний ресурс] URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/851-15 (Дата звернення 31-05-18 р.)

[2] Закон України про електронний цифровий підпис [Електронний ресурс] URL: http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/851-15 (Дата звернення 31-05-18 р.)

[3] Несанкціоноване втручання в роботу електронно-обчислювальних машин (комп'ютерів), автоматизованих систем, комп'ютерних мереж чи мереж електрозв'язку [Електронний ресурс] URL: http://yurist-online.com/ukr/uslugi/yuristam/kodeks/013/373.php (Дата звернення 31-05-18 р.)

# Дослідження Алгоритмів Підвищення Надійності Відеозв'язку

Дмитро Склярук
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
dmytro.skliaruk@nure.ua

Зоя Дудар
к.т.н., професор
кафедра Програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харкіов, Україна
zoia.dudar@nure.ua

# Research of Algorithms for Increasing the Reliability of Video Communication

Dmytro Skliaruk
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
dmytro.skliaruk@nure.ua

Zoia Dudar
PhD, professor
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
zoia.dudar@nure.ua

***Анотація*—метою роботи є підвищення надійності систем відеоконференцзв'язку. Розроблено комп'ютерний метод обробки інформації, який дозволить підвищити надійність системи відеоконференцзв'язку для авторизованих користувачів з гарантованою доставкою повідомлень і підвищити ймовірність одержання доступу до ресурсів таких систем.**

***Abstract*—The purpose of the work is to increase the reliability of video conferencing systems. The computer method of information processing is developed which will increase the reliability of the video conferencing system for authorized users with guaranteed delivery of messages and increase the probability of access to the resources of such systems.**

***Ключові слова—відеоконференцзв'язок, надійність інтернет-з'єднання інформаційна технологія, стеганографія***

***Keywords—video conferencing, reliability of Internet connection, information technology, steganography***

## I. Вступ

Системи відеоконференцзв'язку активно використовуються для роботи над спільними проектами, у тому числі в ракетно-космічній галузі для організації зв'язку між вилученими майданчиками. ВідеотТрафік має певні особливості: вимагає значної пропускної здатності каналу, мінімізації часу доставки відеокадрів до одержувача, регулярного характеру затримок між повідомленнями (пакетами). У сферах застосування систем відеоконференцзв'язку, пов'язаних з точними операціями, важливо підтримувати заданий рівень надійності. Транспорт інформаційних потоків при проведенні відеоконференцій найчастіше здійснюється по відкритих телекомунікаційних мережах з використанням стандартних протоколів, тому дослідження проблем забезпечення інформаційної безпеки відеоконференцій здобувають особливу актуальність. Для мінімізації ймовірності виникнення погроз цілісності й доступності потрібен комп'ютерний метод підвищення надійності систем відеоконференцзв'язку.

## II. Методи підвищення якості з'єднання

Одним з перспективних рішень проблеми забезпечення надійності систем відеоконференцзв'язку наразі є використання технологій розподілу навантаження мережі. Оптимальний розподіл мережного навантаження дозволяє забезпечувати задані характеристики відеоконференцзв'язку за рахунок керування інформаційними потоками.

У дослідженнях була відсутня імовірнісна модель доступу до інформаційних ресурсів систем відеоконференцзв'язку, що дозволяє адекватно описати інформаційні системи з гарантованою доставкою повідомлень для авторизованих користувачів. У якості критерію надійності систем відеоконференцзв'язку раніше не розглядалася ймовірність одержання доступу до різних ресурсів систем відеоконференцзв'язку [1].

Метод досліджень полягає в системному підході до розробки методу, моделей і алгоритму підвищення надійності відеоконференцзв'язку.

У роботі використана теорія масового обслуговування й теорія ймовірностей. Використовувані методи структурного програмування дозволили розробити надійне програмне забезпечення із застосуванням методів доказового програмування для систематичного аналізу правильності алгоритмів і розробки програм без алгоритмічних помилок. Використано сучасні технології програмування, що в силу модульної структури програмного засобу дозволяє в майбутньому здійснювати її модифікацію для подальшого збільшення функціонала [2].

Розроблений новий метод обробки інформації, який, шляхом виділення привілейованого трафіка й оптимізації потоків інформації, дозволяє підвищити надійність системи відеоконференцзв'язку для авторизованих користувачів з гарантованою доставкою повідомлень і підвищити ймовірність одержання доступу до інформаційних ресурсів систем відеоконференцзв'язку; запропоновані нові імовірнісні моделі доступу до інформаційних ресурсів системи відеоконференцзв'язку (модель верхнього рівня й модель нижнього рівня), що дозволяють оцінити рівень надійності системи відеоконференцзв'язку, і визначити ймовірність одержання доступу до інформаційних ресурсів систем відеоконференцзв'язку; розроблений новий алгоритм керування доступом до інформаційних ресурсів, заснований на додаванні міток привілеїв у службове поле пакета зміні маршруту передачі пакетів, що дозволяє підвищити надійність відеоконференцзв'язку для авторизованих користувачів з гарантованою доставкою повідомлень шляхом підвищення ймовірності одержання доступу до інформаційних ресурсів до завданого значення [3].

Таким чином, актуальною є задача розробки комп'ютерного методу обробки інформації, який дозволить підвищити надійність системи відеоконференцзв'язку для авторизованих користувачів з гарантованою доставкою повідомлень і підвищити ймовірність одержання доступу до ресурсів систем відеоконференцзв'язку.

Побудувати імовірнісну модель доступу до інформаційних ресурсів відеоконференцзв'язку, що дозволяє оцінити рівень надійності системи відеоконференцзв'язку, і визначити ймовірність одержання доступу до інформаційних ресурсів. Розробити алгоритм керування доступом до інформаційних ресурсів системи відеоконференцзв'язку, що дозволяє підвищити надійність відеоконференцзв'язку для авторизованих користувачів з гарантованою доставкою повідомлень.

Реалізувати алгоритм керування доступом у вигляді програмної системи.

## III. Основні методи вирішення задачі

У роботі система відеоконференцзв'язку розглядається як сукупність кінцевих вузлів системи (серверів і клієнтів) і каналів зв'язку, що з'єднують ці вузли. Під сервером розуміється комплекс програмно-технічних засобів і систем, що забезпечує керування сеансом відеоконференцзв'язку. Клієнти також являють собою комплекс програмного й апаратного забезпечення і є джерелом даних системи. Під каналом зв'язку розуміється вся безліч ліній зв'язку й засобів передачі даних, що участвующих у сеансі відеоконференцзв'язку. З погляду теорії масового обслуговування, системи відеоконференцзв'язку являють собою багатоканальні системи масового обслуговування із чергою. Потік пакетів клієнтів є найпростішим або пуасоновскім, тому що є стаціонарним, одинарним і в ньому відсутні післядії. Через розгляд у роботі Марківських процесів використовується Марківська модель.

З аналізу вирішення проблеми витікає, що основною проблемою технології відеоконференцзв'язку є забезпечення мінімальної швидкості передачі даних при підтримці максимальної швидкості обробки аудио й відеопотоку. Для систем відеоконференцзв'язку також актуальна проблема стандартизації: виробники використовують різні технології й протоколи погано сумісні між собою.

Незважаючи на велику різноманітність систем комп'ютерної відеоконференцзв'язку, на ринку в основному представлені засоби закордонного виробництва, що робить актуальними дослідження в області створення надійних вітчизняних систем відеоконференцзв'язку.

Існує необхідність у розробці алгоритму керування навантаженням мережі, який буде складовою частиною методу підвищення надійності систем відеоконференцзв'язку.

Розроблено новий метод підвищення надійності відеоконференцзв'язку для авторизованих користувачів з гарантованою доставкою повідомлень і побудові імовірнісних моделей доступу до інформаційних ресурсів систем відеоконференцзв'язку, придатних для оцінювання надійності таких систем. Модель верхнього рівня дозволяє описати різні системи відеоконференцзв'язку, враховуючи їхні характерні риси. Модель нижнього рівня описує системи відеоконференцзв'язку для авторизованих користувачів з гарантованою доставкою повідомлень, отримані значення ймовірності одержання доступу дозволяють визначити надійність системи, що раніше не розглядалося.

На першому етапі роботи методу підвищення надійності відеоконференцзв'язку визначаються вихідні параметри системи відеоконференцзв'язку й необхідний

рівень імовірності одержання доступу до інформаційних ресурсів системи відеоконференцзв'язку. На другому етапі з метою визначення фактичного значення ймовірності одержання доступу будуються моделі доступу верхнього й нижнього рівня. На третьому етапі отримані результати аналізуються – відбувається порівняння поточного значення ймовірності одержання доступу з необхідним значенням імовірності одержання доступу. При необхідності збільшення поточного значення імовірності одержання доступу до інформаційних ресурсів відеоконференцзв'язку застосовується алгоритм керування навантаженням мережі, що був розроблений в даному дослідженні.

Значення ймовірності одержання доступу розраховується на основі апарата Марківських випадкових процесів з дискретними станами й безперервним часом. Отримане значення ймовірності одержання доступу рівняється з необхідним рівнем імовірності одержання доступу, при необхідності підвищення ймовірності одержання доступу за допомогою алгоритму керування навантаженням мережі.

Розроблено алгоритм керування доступом до інформаційних ресурсів системи відеоконференцзв'язку для підвищення надійності систем відеоконференцзв'язку для авторизованих користувачів з гарантованою доставкою повідомлень. У роботі запропонований алгоритм керування навантаженням мережі «Мітка привілеїв», призначений для використання в системах, заснованих на протоколі TCP. У стандартному режимі пакети передаються від джерела адресатові через будь-який доступний сервер. У спеціальному режимі пакети клієнтів модифікуються: пакет містить мітку початку спеціального режиму, мітку привілеїв і мітку останнього спеціального пакета. Після приймання пакета відбувається перевірка наявності мітки початку спеціального режиму. Якщо мітка є – мережа переходить до спеціального режиму, інакше пакет доставляється, і ухвалюється новий пакет. На першому етапі роботи алгоритму клієнт відправляє пакет з міткою початку спеціального режиму першому серверу відповідно до таблиці привілеїв серверів. У випадку позитивної відповіді сервера встановлюється з'єднання, у випадку негативної відповіді – пакет з міткою початку спеціального режиму відправляється наступному серверу. Перший сервер, що відповів позитивно, записує мітку привілеїв клієнта. Сервера накопичують різні мітки привілеїв, щоб визначити, наскільки вони зайняті, і відхилити мітки привілеїв при досягненні критичного значення. Кожний сервер підтримує заздалегідь певне кількість таких з'єднань, на час спеціального режиму клієнт закріплений за одним сервером.

Другий етап роботи алгоритму є спеціальним режимом. Відправлення всіх пакетів клієнта відбувається через закріплений сервер. Кожний клієнт відправляє дані серверу, за яким він закріплений, сервер перенаправляє дані адресатові. Клієнт може ухвалювати інформацію від будь-якого сервера. Трафік без міток привілеїв у спеціальному режимі не обробляється. У спеціальному режимі відбувається обов'язкова перевірка дійсності мітки привілеїв, тільки при позитивному результаті пакет доставляється адресатові. На третьому етапі відбувається завершення спеціалізованого режиму. Клієнт відправляє серверу мітку останнього пакета, після чого сервер може встановити з'єднання із ще одним клієнтом.

Проведено моделювання стандартного й спеціального режимів алгоритму керування навантаженням мережі «Мітка привілеїв», що дозволяють зробити експериментальну оцінку ефективності застосування комп'ютерного методу підвищення надійності відеоконференцзв'язку за допомогою розробленого авторами програмного забезпечення. Результатом роботи програмного забезпечення є таблиці й графіки.

Оцінка ефективності застосування алгоритму керування навантаженням мережі «Мітка привілеїв» виконується за допомогою порівняння ймовірностей одержання доступу до інформаційних ресурсів системи відеоконференцзв'язку (імовірності відмови в одержанні доступу) із завданими параметрами в стандартному й спеціальному режимах. На вхід програмного забезпечення для оцінки ефективності алгоритму керування навантаженням мережі подаються наступні параметри: середня інтенсивність вступу пакетів; швидкість обробки запитів сервером; довжина черги; коефіцієнт наповнення черги; максимум серверів і клієнтів. Результатом роботи програмного забезпечення є графіки ефективності застосування алгоритму «Мітка привілеїв» для системи відеоконференцзв'язку із завданими параметрами.

## IV. Висновки

Оцінка ефективності застосування спеціального режиму виконується за допомогою порівняння ймовірностей відмови в одержанні доступу до інформаційних ресурсів системи відеоконференцзв'язку із заданими параметрами в стандартному й спеціальному режимах для певного значення клієнтів стандартного й спеціального режиму. З отриманих у результаті роботи програмного забезпечення графіків можна побачити, яка кількість клієнтів у стандартному або спеціальному режимі забезпечує необхідний рівень надійності системи відеоконференцзв'язку. У якості коефіцієнта ефективності використовується різниця ймовірностей відмови в одержанні доступу до інформаційних ресурсів системи відеоконференцзв'язку із заданими параметрами в стандартному й спеціальному режимах.

## Література References


[1] IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Virtual Bridged Local Area Networks [Electronic resource] : ANSI/IEEE 802.1Q-2005 / IEEE Standards Association; ANSI. – cor. 1 : Corrections to the Multiple Registration Protocol. – New York, USA, 2008

[2] Еременко, А. С. Исследование производительности потоковой передачи данных посредством протокола TCP / А. С. Еременко // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Новые решения в современных технологиях. – Харьков : НТУ "ХПИ". – 2011. – № 34. – С. 80-87.

[3] Башарин, Г. П. Мультисервисная модель Эрланга с потоковым трафиком пороговой стратегией доступа для эластичного трафика / T-Comm – Телекоммуникации и транспорт : М.: ИД Медиа Паблишер, 2012. – № 7. – С. 19-22.

# Редакційний Програмний Комплекс з Клієнт-серверною Архітектурою з «Товстими Клієнтами»

Ігор Сокорчук
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
ihor.sokorchuk@nure.ua

# Client-server Software System with "Thick Clients" for the Editorial Department

Ihor Sokorchuk
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
ihor.sokorchuk@nure.ua

***Анотація*—розглядається програмний комплекс для редакційного відділу, побудований на базі відкритого UNIX-сумісного програмного забезпечення. Описано набір прикладного програмного забезпечення, що на сьогодні дозволяє на професійному рівні виконувати основні роботи відділу. Розглядаються можливі архітектурні рішення редакційного програмного комплексу. Автор пропонує рішення з клієнт-серверною архітектурою з "товстими клієнтами" на робочих станціях. Вказано переваги такого рішення. Наводиться опис створеного автором комплексу, що успішно використовується для видання всеукраїнського двотижневика.**

***Abstract*—A program suite for the editorial department, built on the basis of open UNIX-compliant software, is considering. A set of application software, which today allows you to perform the basic work of the editorial department at a professional level, is describes. Possible architectural decisions of editorial software complex are considered. The author offers solutions with client-server model with "thick clients" on workstations. The benefits of this solution are outlined. The description of the complex created by the author, which is successfully used for the publication of the Ukrainian weekly, is given.**

***Ключові слова—клієнт-серверна архітектура; товстий клієнт; відкрите програмне забезпечення***

***Keywords—client-server model; thick client; fat client;кшср сдшуте; open-source software; free software***

## I. Вступ

У редакційно-видавничому відділі виконуються такі основні роботи:

- набір тексту;
- підготовка графічних матеріалів;
- редагування тексту;
- верстка.
- підготовка оригінал-макетів.

## II. Програмне забезпечення

Для виконання цих робіт може використовуватися програмне забезпечення (далі – ПЗ), що поширюється за відкритими ліцензіями. Таке ПЗ доступне у мережі Internet і не потребує обов'язкової плати за його використання. Можливості цього ПЗ на сьогодні відповідають більшості характеристик ПЗ, що необхідні для професійної видавничої діяльності.

### *A. Системне програмне забезпечення*

На системному рівні може використовуватися ПЗ на базі ОС GNU/Linux. Для цього може бути використано один із дистрибутивів, що базується на цій операційній системі, наприклад: Debian, Ubuntu, CentOS тощо. У порівнянні із іншими UNIX-подібними операційними системами , ці дистрибутиви мають низку переваг, а саме:

- поширеність у застосуванні,
- ліцензування за відкритими ліцензіями,
- можливість доробки,
- підтримка розробниками,
- стабільне оновлення ПЗ,
- широкий вибір прикладного ПЗ.

В усіх цих дистрибутивах, доступні готові пакунки з потрібним для роботи редакційного-видавничого відділу

ПЗ. У цьому випадку, встановлення та оновлення ПЗ не потребує особливих навичок в обслуговуваного персоналу.

*B. Прикладне програмне забезпечення*

На прикладному рівні у редакційно-видавничому відділі на сьогодні може використовуватися таке відкрите прикладне ПЗ:

- набір тексту, редагування тексту – LibreOffice;
- підготовка графічних матеріалів:
- растрова графіка – Gimp,
- векторна графіка – Inkscape;
- верстка – Scribus;

друк:

- чорнова версія макету, електронна версія макету – CUPS,
- оригінал-макет (високоякісний друк) – додаткові модулі друку Gutenprint.

Крім вказаного ПЗ, у організації роботи відділу доцільно застосовувати програмні засоби для автоматизації управління видавничими проектами. Для цього можна використовувати одну із поширених на сьогодні програмних систем управління версіями (source code management, SCM), наприклад, – Git або Subversion. Для зручної роботи з ними, можна використовувати графічні клієнтські додатки: RabbitVCS, SmartSVN, RapidSVN, SmartGit, Gitg, Git GUI тощо. Ці засоби широко застосовуються при створенні програмних продуктів і так само можуть бути використані також у видавничій справі.

*C. Характеристики прикладного програмного забезпечення*

Розглянемо основні характеристики прикладного ПЗ редакційно-видавничого відділу:

LibreOffice – офісний пакет з відкритим вихідним кодом, що містить в собі текстовий і табличний процесор Writer, векторний графічний редактор Draw, редактор формул Math, систему управління базами даних Base , програму для підготовки і перегляду презентацій Impress. Основним форматом файлів, що використовується в додатку, є відкритий міжнародний формат OpenDocument (ODF, ISO/IEC 26300), також можлива робота з іншими популярними форматами, в тому числі Office Open XML, DOC, XLS, PPT, CDR.

Gimp – ПЗ для обробки зображень. Його можна використовувати як простий графічний редактор, як професійне додаток для об'єднання і створення зображень, ретуші фотографій, як мережеву систему пакетної обробки зображень, як програму для відтворення зображень, як перетворювач форматів зображень тощо. Підтримуються формати файлів: GIF, JPEG, PNG, XPM, TIFF, TGA, MPEG, PS, PDF, PCX, BMP та інші.

Inkscape – ПЗ для створення художніх та технічних ілюстрації у форматі векторної графіки. Редактор сумісний зі стандартами SVG, XML, і CSS. Він має широкий набір інструментів для роботи з кольором та стилями (редактор градієнта, вибір кольору, копіювання/вставка стилю, маркери контуру, копіювання кольору). Inkscape підтримує основні можливості SVG: текст, контури, клони, маркери, градієнти, альфа-канал, трансформації, текстури, групування. Редактор також має підтримку метаданих Creative Commons: правку вузлів, складні операції з контурами, шари, векторизацію растрової графіки, можливість змінювати текст прямо на зображенні, зверстаний у фігуру текст. Підтримується імпорт даних із форматів: SVG, EMF, SVGZ, EPS, PDF, PostScript, AI, PNG, TIFF, Dia, Sketch, JPEG, BMP, WMF, XPM, GIF, ANI, ICO, WPG, GGR, CUR, RAS, TGA, PCX , PNM, WBMP, XBM, XPM, а також експорт даних у формати: PNG, EPS, PostScript, SVG, Sketch, POV-Ray, PDF, Dia, AI, LaTeX, GPL, EMF, OpenDocument Draw, POV, DXF.

Scribus – ПЗ для візуальної верстки документів за концепцією аналогічне Adobe InDesign та QuarkXPress. Scribus підтримує можливості професійних видавничих систем, такі як колірну модель CMYK, Spot Colors, систему управління виводу кольору ICC, створення PDF-файлів тощо.

CUPS – служба друку для уніфікації доступу до принтерів, що знаходяться в локальній мережі.

Subversion (SVN) – централізована система управління версіями. Subversion дозволяє управляти файлами та каталогами, а так само зробленими у них змінами у часі. Це дозволяє відновити попередні версії даних, дає можливість відстежувати історію всіх змін.

Git – розподілена система керування версіями файлів та спільної роботи.

## III. Архітектура системи

*A. Можливі архітектурні рішення*

У будові редакційно-видавничого комплексу на сьогодні можуть бути використані такі архітектурні рішення:

1. Робочі станції із встановленою на локальні диски операційною системою, а також редакційно-видавничим ПЗ та централізований сервер, що надає мережевий доступ до централізованого сховища даних (файл-сервер);
2. Робочі станції, що працюють у режимі "тонкого клієнта" (Thin Client) та підтримують роботу на центральному сервері з допомогою X-сервера (Ікс-сервера) через спеціальний X-протокол та центральний сервер, що забезпечує роботу усіх користувачів;
3. Бездискові робочі станції, що працюють у режимі "товстого клієнта" (Fat, Rich Client) та централізований сервер, що надає клієнтам можливість зберігати дані у централізованому сховищі даних.

*B. Клієнт-серверна архітектура з «товстим клієнтом»*

Серед вказаних архітектурних рішень, на думку автора статті, у роботі редакційно-видавничого комплексу успішно може використовуватися рішення із "товстим клієнтом". Це рішення на сьогодні досить рідко застосовується на практиці і часто відзначають можливу недостатню захищеність даних у ньому. Проте, на сьогодні, для захисту даних можна використати шифрування каналів обміну даними у мережі, що значно посилить захист даних. Водночас, рішення із "товстим клієнтом" має низку додаткових переваг.

У порівняння із архітектурним рішення із окремими автономними робочими станціями, це рішення має такі переваги:

- централізоване адміністрування програмного комплексу;
- спрощене обслуговування програмного забезпечення на робочих місцях;
- менша вартість апаратного устаткування;
- менша вартість ПЗ;
- централізоване збереження інформації;
- підвищена надійність збереження інформації.

У порівнянні із клієнт-серверною архітектурою із "тонким клієнтом" запропоноване рішення має такі переваги:

- значно менше навантаження на мережу;
- значно менші вимоги до обчислювальних ресурсів серверів;
- значно краще використання ресурсів робочих станцій.

## IV. Практична реалізація системи

Розглянемо практичну реалізацію архітектури із "товстим клієнтом" у дистрибутивах на базі ОС GNU/Linux:

На робочих місцях використовуються бездискові робочі станції із збільшеним обсягом оперативної пам'яті, які підтримують завантаження із мережі за протоколом PXE

У локальній мережі встановлюється один або більше (при потребі) серверів, що надають клієнтам такі сервіси:

- завантаження на робочі станції завантажувача операційної системи (Boot Loader) – dhcpd, tftpd, pxelinux;
- завантаження на робочі станції ядра операційної системи (vmlinuz) та кореневого образу файлової системиb (initrd) із базовим системним ПЗ – tftpd;
- налаштування операційної системи на робочих станціях – dhcpd, клієнтські скрипти bash;
- завантаження робочого образу файлової системи із основним редакційно-видавничим ПЗ – ftpd, httpd;
- доступ до додаткового ПЗ та даних – nfsd;
- доступ до централізованого сховища даних – sshd, fuse.

За описаною архітектурою автором було розроблено і побудовано редакційно-видавничий програмний комплекс для одного із всеукраїнських періодичних (двотижневик) видань. Цей комплекс успішно експлуатується понад три роки.

## Література References


[1] UNIX and Linux System Administration Handbook, 4th Edition (8580001058917): Evi Nemeth, Garth Snyder, Trent R. Hein, Ben Whaley: Books.

[2] LibreOffice. The Document Fundation.[Online]. Available: https://www.libreoffice.org/

[3] Scribus. Open Source Desktop Publishing [Online]. Available: https://www.scribus.net/

[4] Офіційний сайт проекту LTSP. [Online]. Available: http://www.ltsp.org/ – 25.04.2017. – Загол. з екрану.

[5] Carter, J. Ubuntu Weekly Newsletter #217. How do LTSP Fat Clients work? [Online]. Available:: https//jonathancarter.org/2010/11/24/how-do-ltsp-fat-clients-work/

# Порівняльний аналіз популярних JavaScript - фреймворків та бібліотек для front-end розробки

Олексій Танянський
Студент кафедри Інформатики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
oleksii.tanianskyi@nure.ua

Діана Руденко
Доцент кафедри Інформатики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
diana.rudenko@nure.ua

# A comparative analysis of popular JavaScript-frames and libraries for front-end development

Oleksii Tanianskyi
Student of Informatics Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oleksii.tanianskyi@nure.ua

Diana Rudenko
Associate Professor of Informatics Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
diana.rudenko@nure.ua

***Анотація*—У даній роботі проводиться порівняльний аналіз сучасних JavaScript фреймворків, таких як Angular, React, Vue, Backbone, Ember, Knockout. Розглядаються можливості та характеристики, властиві даним фреймворкам, та проводиться їх порівняльний аналіз.**

***Abstract*—This article describes a comparative analysis of tool of modern JavaScript frameworks like Angular, React and Vue.js, Backbone, Ember, Knockout. There are described all possibilities and characteristics of frameworks.**

***Ключові слова—фреймвок; бібліотека; інструмент; компонент; реалізація.***

***Keywords—framing; library; tool; component; implementation.***

Для різних людей слова «фреймворк», «бібліотека» і «інструмент» набувають різного значення в залежності від контексту.

Бібліотека - це структурований набір корисного функціоналу. Стандартна бібліотека повинна містити функції для роботи з рядками, датами, DOM-елементами, подіями, cookie, анімацією, запитами, і багатьом іншим. Кожна функція повертає значення до додатку, що зробив запит, яке може в подальшому використовувати їх в залежності від логіки розробника. Бібліотека зазвичай скорочує час розробки приблизно на 20%, дозволяючи програмісту не турбуватися про дрібниці.

Негативні сторони:

- баг в реалізації бібліотеки може викликати складності в його знаходженні та способи їх усунення;
- немає гарантії, що команда розробників оперативно випустить патч;
- патч може змінити API, що спричинить значні зміни у коді програмного продукту.

Фреймворк - це каркас додатка. Він зобов'язує розробника вибудовувати архітектуру програми відповідно до деякої логіки. Будь-який фреймворк зазвичай надає функціонал на кшталт подій, сховищ і зв'язування даних. Фреймворк знаходиться на більш високому рівні абстракції в порівнянні з бібліотекою і дозволяє без складнощів вибудувати близько 80% розроблюваного застосунку. Програмний фреймворк — це готовий до використання комплекс програмних рішень, включаючи дизайн, логіку та базову функціональність системи або підсистеми. Відповідно, програмний фреймворк може містити в собі також допоміжні програми, деякі бібліотеки коду, скрипти та загалом все, що полегшує створення та поєднання різних компонентів великого програмного забезпечення чи швидке створення готового і не обов'язково об'ємного програмного продукту. Побудова кінцевого продукту відбувається, зазвичай, на базі єдиного API.

Недоліки:

- останні 20% можуть викликати чималі труднощі через обмеження, що накладаються фреймворком;
- оновлення фреймворку може бути пов'язане зі складнощами, а часом і зовсім неможливо;
- основний код і концепції рідко задовольняють розробників в своєму первозданному вигляді. Вони завжди знайдуть «кращий» спосіб зробити що-небудь.

Інструмент - це допоміжний засіб розробки, але він не є невід'ємною частиною проекту. Інструменти включають в себе системи збирання, компілятори, транспайлери, механізми розгортання та інше. Інструменти покликані полегшувати процес розробки. Наприклад, багато хто воліє Sass чистому CSS, тому що він надає можливість використовувати цикли, функції, локальні змінні і багато іншого. Браузери не розуміють Sass / SCSS синтаксис, так що код переводиться в CSS.

JQuery - найпопулярніша js-бібліотека всіх часів. Вона зробила революцію в програмуванні клієнтської частини веб-додатків, ввівши селектори CSS для доступу до вузлів DOM-дерева, обробники подій, анімації та ajax-запити. Останнім часом jQuery втрачає колишню популярність, але як і раніше залишається життєздатним варіантом для проектів, які потребують невеликого js-функціоналу.

Переваги:

- малий розмір дистрибутиву;
- низький поріг входження, вичерпна документація в інтернеті;
- лаконічний синтаксис;
- легко розширюваний.

Недоліки:

- уповільнює роботу програми;
- може спричинити проблеми сумісності з браузером;
- співтовариство розробників протестує проти його широкого використання.

React - перлина веб-програмування: навіть деякі завзяті послідовники Angular зробили свій вибір на користь React. React зміг те, з чим не впорався Angular – він дозволяє розробляти фронтенд, не занурюючись у нетрі й складнощі фреймворку. React-JavaScript-бібліотека, створена Facebook, і основна її мета – забезпечити комфортну роботу з Shadow DOM. Для цього використовується Virtual DOM, модель, яка при кожній зміні генерує список операцій, що необхідно провести над DOM, для приведення його до нового стану.

Переваги:

- компактність, ефективність, продуктивність і гнучкість;
- легка модель компонентів;
- гарна документація і велика кількість онлайн-ресурсів;
- можливість рендерингу на стороні сервера;
- зростаюча популярність.

Недоліки:

- нові концепції і синтаксис, які доведеться вивчити;
- необхідні системи збирання;
- може вимагати сторонніх інструментів і бібліотек;
- може бути несумісний з кодом та іншими бібліотеками, що модифікують DOM-дерево.

AngularJS - фреймворк від Google, що став дуже популярним останнім часом, ідеальний для розробників, які з великою увагою ставляться до останніх новинок галузі. Angular являє собою набір сучасних функцій для розробки і проектування, що забезпечують високу швидкість розробки. Компанія Google навіть створила спеціальний компонент Angular Material, що дозволяє легко реалізувати справжній Material Design за допомогою Angular.

Переваги:

- популярний фреймворк, підтримуваний кількома великими компаніями;
- універсальне рішення для створення сучасних веб-додатків;
- частина «стандартного» стека MEAN (MongoDB, Express.JS, AngularJS, NodeJS), доступні безліч статей і туторіали.

Недоліки:

- складніше в освоєнні в порівнянні з деякими альтернативами;
- велика база коду;
- несумісність з Angular 2.x +;
- незважаючи на те, що є проектом Google, самим Google не використовується.

Angular 2+ - написаний на TypeScript front-end фреймворк з відкритим кодом, який розробляється під керівництвом Angular Team у компанії Google, а також спільнотою приватних розробників та корпорацій. Angular — це AngularJS, який переосмислили та який був повністю переписаний тією ж командою розробників.

Переваги:

- універсальне рішення для створення сучасних веб-додатків;
- все ще частина стека MEAN;
- TypeScript надає деякі переваги для людей, знайомих з об'єктно-орієнтованими мовами на зразок C # і Java.

Недоліки:

- складний у вивченні для новачків;
- несумісність з Angular 1.x.

Vue.js - це простий у використанні й водночас дуже потужний фреймворк. Початківці належним чином оцінять документацію. Vue бере все краще від інших фреймворків і об'єднує в один зручний інструмент. Так само, як і React, Vue працює з однофайловими компонентами і односпрямованими зв'язками між ними, але працювати з ним простіше завдяки CLI-інструменту vue-cli. Всередині Vue-компонентів можна використати препроцесори (Jade, Stylus та ін.).

Переваги:

- глядацькі симпатії і зростаюча популярність;
- простий в освоєнні з нуля;
- мало залежностей і хороша продуктивність.

Недоліки:

- молодий проект - високі ризики;
- менше ресурсів, ніж у альтернатив.

Backbone побудований на ідеї того, що вся робота із сервером повинна здійснюватися через API, мінімізуючи кількість коду, який потрібний для досягнення такої ж широкої функціональності, як у складних веб-фреймворків.

Backbone – один з найпопулярніших фреймворків для веб-розробки, в основному завдяки двом причинам: принцип застосування модулів дуже простий для розуміння, а отже, простим є і навчання використанню самого фреймворка.

Переваги:

- компактний, легкий і простий у вивченні;
- не додає додаткової логіки в HTML;
- прекрасна документація;
- використаний в розробці багатьох додатків включаючи Trello, WordPress, LinkedIn і Groupon.

Недоліки:

- низький рівень абстракції в порівнянні з альтернативами (наприклад, AngularJS);
- вимагає додаткових компонентів для реалізації фич начебто зв'язування даних;
- більш сучасні фреймворки відмовилися від моделі MVC.

Ember – сучасний JavaScript-фреймворк для амбітних розробників і проектів. Будучи неймовірно потужним, він дуже простий в освоєнні.

Однією з речей, за які люблять Ember, є шаблонізатор Handlebars, який, за словами розробників, набагато елегантніший директив Angular. У цілому Ember майже все робить за програміста, тому Вам залишиться тільки створювати свою бізнес-логіку і насолоджуватися процесом.

Переваги:

- єдине рішення для клієнтських додатків;
- дозволяє розробникам бути продуктивними (використовує jQuery);
- хороша зворотна сумісність;
- схвалюється сучасними стандартами веб-розробки.

Недоліки:

- великий дистрибутив;
- вважається монолітним в порівнянні з іншими фреймворками, які базуються на модульній моделі;
- непростий у вивченні.

Knockout – це відкритий фреймворк, який працюює з моделлю MVVM. Він розроблений на чистому JavaScript без зовнішніх залежностей. Knockout легкий і зручний у використанні й особливо ефективний у зв'язуванні даних. Чудово підійде для створення односторінкових додатків.

Переваги:

- легкий і не має залежностей;
- прекрасна підтримка браузерів аж до IE6;
- хороша документація.

Недоліки:

- вносить зайву складність в великі проекти;
- розробка сповільнилася;
- популярність сходить нанівець.

Отже, кожен із розглянутих засобів розробки є досить потужним та має свої недоліки і переваги. Але обираючи фреймворк або бібліотеку, потрібно спиратися не тільки на переваги програмного продукту, а виходити з потреб конкретного проекту. В зв'язку з тим, що js- фреймворки схожі за синтаксисом, не виникає проблем при переході з одного фрейморка на інший.

## Література References


[1] Блог: Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BB%D0%BE%D0%B3

[2] AngularJS official documentation. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://angularjs.org/

[3] ReactJS official documentation: [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://reactjs.org/docs/getting-started.html

[4] React – A JavaScript library for building user interfaces [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://reactjs.org/

[5] Guillaume Chau . Vue.js 2 Web Development Projects. Birmingham, 2017, - p.382.

# Blockchain in Public Administration

Glib Tereshchenko
Department of Software Ingeneering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
hlib.tereshchenko@nure.ua

Oleksii Nazarov
Associate Professor of Program Engineering Department
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oleksii.nazarov1@nure.ua

# Блокчейн у Державному Управлінні

Гліб Терещенко
Кафедра Програмної інженерії
Харківський національнийуніверситет
радіоелектроніки
Харків, Україна
hlib.tereshchenko@nure.ua

Олексій Назаров
Доцент Кафедри Програмної інженерії
Харківський національнийуніверситет
радіоелектроніки
Харків, Україна
oleksii.nazarov1@nure.ua

***Abstract*—The article describes the possibilities of using blockchain technology in public administration. Cautions against possible negative consequences of its use, the authors pay attention to the advantages of the technology in question.**

***Keywords—blockchain; bureaucracy; public administration.***

***Анотація—The article describes the possibilities of using blockchain technology in public administration. Cautions against possible negative consequences of its use, the authors pay attention to the advantages of the technology in question.***

***Ключові слова—блокчейн; public administration; державне управління.***

## I. BLOCKCHAIN

Blockchain is a database in which you can store records about objects and events in real life. At the same time, the blockchain is significantly different from other similar technologies due to its openness and reliability. Entries in the blockchain is almost impossible to fake, replace or delete. At the same time, everything recorded in the blockchain is easy to check and make sure that the entries are correct.

Currently, this technology is used most often in cryptocurrencies, such as the well-known Bitcoin. Developers usually try to create their own Bitcoin counterpart, in which they try to take into account the mistakes of the founder and introduce something of their own. That is why, studying the technology of a distributed database, you can see a lot of cryptocurrency technologies similar to each other. [1]

The concept of blockchain originated a long time ago and is now used mainly in combination with a cryptocurrency bitcoin. The essence of technology in the distributed storage of information relating to any vital issues. Simply put, this is the database, the registry, which allows us to constantly record the event.

Blockchain is needed wherever there is a question of potential mistrust between participants. For example, when buying and selling, there are always at least two questions: whether the seller will receive the money and whether the buyer will receive the service / product. Similarly, when obtaining important documents, it is also necessary to make sure that the documents are not forged and relevant. In addition, in many situations it is necessary to find out the reliable history of a product, service, company or person. For these tasks, the blockchain will be very useful and appropriate. One of the applications of blockchain technology is “smart contracts” that are used in various sectors of the economy, in particular insurance, loans and notarial services.

## II. PUBLIC ADMINISTRATION

The public sector is a complex and inert mechanism, while remaining a centralized system. From the development of this system depends the effectiveness of public administration as such, the uniform coverage of public services by the needs of the population and entrepreneurs (for example, company registration, marriage, receipt of certificates and extracts). Sometimes on the complexities in the interaction of a person and the state apparatus, its non-transparency, whole industries of intermediaries grow up (help in registering LLC, filling in certificates of traffic police, etc.). The more intermediaries - the more expensive and more difficult the service. The organizational structures of the state apparatus are often fragmented and almost always scattered, which makes it difficult to exchange information between departments and departments. Often, intermediaries in the chain of receiving state services are invisible to the recipient (agencies communicate with each other in the "back-end").

Many countries are aware of the demands of a new generation, people who are accustomed to fast and convenient products, conduct research and solve the aforementioned problems - are actively reforming the delivery system of public services. Some mobilize the separated IT departments into unified systems - the so-called "agencies"; others start

using alternative deep data and "dark analytics" for a quick analysis of correspondence and requests from the public; others develop new architectures of interaction between state units; Well, the last, the most advanced, of course, apply the technology of the distributed registry (blockchain), on which we will stop [2].

The speed with which various state departments of the countries of the world today are beginning to use blockchain technologies is not proportional to the real development and the level of practical implementation of this technology - which is quite logical and understandable. The public administration system must be stable, it is an extremely static, slow-moving mechanism, and any implementation must prove its effectiveness. In addition, not all blockchain-based solutions are able to scale and correspond to the load.

## III. Health care.

Despite the fact that electronic medical cards, online access to patient data and their modification can be realized without the use of blockchain systems, the problem of reliability and reliability of data remains unresolved. With the use of blockchain-technology, unauthorized modification / access / use of citizens data becomes impossible, since any information about such actions is recorded in the system [3].

Blockchain is ideal for creating a single patient registry. In fact, there will be a single electronic database with a high level of security, stable operation and access from anywhere. Having such an infrastructure, the patient does not have to worry about the synchronization and security of personal data.

## IV. Keeping the land cadaster

It is interesting that this direction of the implementation of blockchain is popular both in developed and developing countries. In developing countries, the ownership of land is still poorly documented, as a result of which owners can not sell it, take loans on bail and conduct other operations with land. People suffer from abuse of employees of relevant departments. Developed countries improve operational processes, decreasing the time of the transaction, which often takes several months, reduce the risk of fraud and errors in documents and transactions (transfer of rights, for example), making the process and system more reliable. This leads to an increase in the attractiveness of the country for doing business and investments [4].

In addition to legal certainty, the technology also guarantees the physical preservation of data - even if the server is destroyed, it is stored on the computers participating in the chain.

But, in addition to a few abstract concepts of trust and reputation, developers rely on and quite tangible practical effects from the implementation of the blockade. True, they are all in perspective.

## V. Company registration, voting

These areas are most closely connected with the exchange of information between government agencies, and thus, existing projects are aimed at reducing the costs associated with the exchange of information and unification in a single information storage system.

Elections using blockchain are similar to the usual deal in the crypto currency. Citizens receive special colored coins from the election commission, which are then transferred to one of the special accounts associated with one or another candidate. To determine the winner, it is enough to check the ccounts after the election is over. Since a public blockchain can be analyzed by anyone, each user can track the fate of his voice. And in order for the members of the electoral committee not to deanonize the voters, scientists suggest distributing colored coins with the help of technology of blind signatures.

## VI. Reforms in Education

If educational institutions register registered education diplomas or certificates of training in a detachment, it is not difficult for a potential employer to make sure that you did study at a given institution or course, and did not acquire a "lime" diploma.

Certificates and diplomas confirm the presence of certain skills and knowledge of the candidate. Storing data in one system allows them to be distributed among companies, creating a system of dynamic personnel search by a set of specialist skills for specific enterprises. In turn, this will create demand for certain skills, which, in turn, sets the trend for learning certain courses in real time. The candidate will see what exactly is required to study to obtain the desired position. Educational organizations, adjusting to the new trends of the labor market, will offer "dynamic blocks of courses," where the student chooses only what he needs for further professional growth.

## VII. Conclusion

According to a survey of participants of one of the last World Economic Forum, by 2023 the technology of blockchain will be actively used in the sphere of public services by the leading world powers. Moreover, about 10% of world GDP (according to the OECD forecasts) will be created with the direct use of blockchain technology. The main benefits from the introduction of technology are expected in the reduction of operating expenses, reduction of settlement time, risk reduction, an increase in the possibility of receiving additional income. This technology will allow each of us, as a time machine, to jerk, and in another way we do not know how to move from an ineffective bureaucratic state system of cohabitation to a home state, to a modern, easy, convenient, trust system "the state is me" [5].

## References


[1] Jun M. Blockchain Government: A next form of infrastructure for the twenty-first century / Myungsan Jun., 2018. – 241 p.

[2] Vigna P. The Age of Cryptocurrency: How Bitcoin and the Blockchain Are Challenging the Global Economic Order / P. Vigna, M. Casey., 2016. – 384 p. – (Reprint edition).

[3] Nichol P. The Power of Blockchain for Healthcare: How Blockchain Will Ignite The Future of Healthcare / Peter Nichol., 2017. – 222 p. – (1 edition).

[4] IPRA-CINDER International Review: Blockchain and Land Registries / [B. Arruñada, B. Rodríguez-Rosado, P. O´Connor та ін.]., 2017. – 137 p. – (Kindle Edition). – (ICIR Book 1).

[5] Gates M. Blockchain: Ultimate guide to understanding blockchain, bitcoin, cryptocurrencies, smart contracts and the future of money. / Mark Gates., 2017. – 125 p.

# Інформаційна Технологія Підтримки Прийняття Рішень при Виникненні Надзвичайних Ситуацій Транскордонного Характеру

Василь Ткаченко
Науково-дослідний центр Збройних Сил України
«Державний океанаріум»
Одеса, Україна
dbjyge@gmail.com

Ольга Чередніченко
Національний Технічний Університет
«Харківський політехнічний інститут»
Харків, Україна
olha.cherednichenko@gmail.com

# Information Technology of Decision Support in Case of Transboundary Emergencies

Vasyl Tkachenko
Scientific and Research Center of Armed Forces of Ukraine
«State Oceanarium»
Odesa, Ukraine
dbjyge@gmail.com

Olga Cherednichenko
National Technical University " Kharkiv Polytechnic Institute "
Kharkiv, Ukraine
olha.cherednichenko@gmail.com

***Анотація*—Зміни навколишнього середовища під впливом техногенних навантажень набули таких масштабів, що стають реальною загрозою для людства. Розроблена схема інформаційної технології передбачає проведення збору даних стану екологічної безпеки, побудову гнучкої інфраструктури СППР та її розгортання, оцінку параметрів стану навколишнього середовища та координацію взаємодії. Це дозволяє взаємоузгодити та прискорити дії всіх причетних служб до ліквідації наслідків транскордонних аварій.**

***Abstract*—The environmental changes caused by industrial loads have taken the scales that become a real threat to humanity. The developed scheme of information technology is based on the collection of data on the state of ecological security, the construction and deployment of flexible infrastructure of decision support system, estimation of environmental parameters and coordination of interaction. This allows to approve and speed up all services responsible for transboundary emergencies recovery.**

***Ключові слова—надзвичайна ситуація; транскордонна аварія; інформаційна технологія;агентна система***

***Keywords—emergency, trasboundary accident, information technology, agent system***

## I. Вступ

Сучасне управління наслідками різного роду надзвичайних ситуацій базується на активному застосуванні інформаційних технологій. Діяльність, яка пов'язана з інформаційними технологіями в цьому процесі, полягає у визначенні системи управління та пов'язаних з нею ресурсів, встановленні зв'язку з цими ресурсами та їх розгортанні там, де це необхідно. Проблема організації збору, обробки та аналізу інформації, є в даний час однією з найбільш актуальних і невирішених проблем.

Будь-яка територія вже має ряд мереж спостережень за станом навколишнього середовища, що належать різним службам, але вони роз'єднані, більш того, в багатьох випадках не скоординовані з такого роду службами на території сусідніх держав. Тому завдання підготовки оцінок, прогнозів, критеріїв альтернатив вибору управлінських рішень при виникненні надзвичайних ситуації транскордонного характеру, в загальному випадку, є невизначеним.

Задачі оптимального розміщення ресурсів, вибору параметрів розбудови об'єктів, планування робіт, прийняття рішень про розміщення об'єктів в кожному конкретному випадку мають характерні особливості, що враховуються при формалізації у вигляді задач оптимізації та при розробці алгоритмів їх розв'язування. Визначення оцінок ризиків має ґрунтуватися на результатах контролю технічного стану потенційно небезпечних об'єктів, статистичних даних про аварії і надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру, комплексного моніторингу небезпечних геологічних і гідрометеорологічних процесів, стану природних комплексів, а також на результатах моделювання відповідних небезпечних подій та ситуацій, їхнього впливу на здоров'я населення. Застосування показника ризику дозволяє порівнювати дію небезпечних

чинників різної природи і різного виду, визначати, з урахуванням внеску кожного окремого чинника, інтегральний ступінь небезпеки будь-якого об’єкту, району, області, регіону, держави.

Система, яка б могла виконувати завдання моніторингу стану навколишнього середовища повинна мати відповідне програмне, апаратне та інформаційне забезпечення. Існує глобальна проблема контролювання показників навколишнього середовища на трансграничних територіях [1, 2, 3], адже забезпечення повної інформації та чіткого плану координації дій у разі виникнення надзвичайної ситуації є неможливим. Зібрана з різноманітних джерел інформація про надзвичайну ситуацію і її поточний стан повинна бути швидко та безперебійно передана в командні центрі для координації діяльності та забезпечення спілкування між різними географічно відокремленими місцями.

Таким чином, створення системи моніторингу та оперативної координації при надзвичайних ситуаціях транскордонного характеру в умовах часових обмежень є актуальною задачею.

Спроби створення таких систем вже мали місце, однак поки що не вирішили поставленої задачі. В роботах [4, 5]. запропоновано використовувати хмарну платформу як єдину систему збору, зберігання, аналізу, обробки та обміну інформацією для організації роботи з даними моніторингу стану навколишнього середовища. Основною перевагою таких платформ є можливість використання обчислювальних ресурсів під час виклику. Автори [5] головну увагу приділяють процесам формування показників для визначення рівня еколого-економічного стану території, без урахування особливостей вхідної інформації. Робота Акініна Н.В. [6] присвячена аналізу систем підтримки прийняття рішень в контексті геоінформаційного моніторингу. Він пропонує метод подання нечітких правил у нечіткій системі з початковими геодатами на основі використання нечітких сіток Петрі. Автор [7] пропонує атрибутивну основу політики для роботи з різнорідними джерелами, що дозволяє перетворити основні дані на корисну інформацію для прийняття рішень. Визначаються основні вимоги до злиття даних, доступу та використання похідних даних.

## II. Результати

В ході процесу оцінки стану навколишнього середовища використовуються різноманітні параметри, які збираються вимірювальними пристроями дистанційного спостереження в режимі реального часу [8, 9, 10]. На місцях роботи служб з ліквідування надзвичайних ситуацій використовуються різноманітні персональні прибори, які збирають актуальну інформацію про поточний стан навколишнього середовища. Зібрана інформація є початковою для подальших розрахунків пропускної спроможності системи зв’язку і передачі даних автоматизованої системи, що забезпечує виконання умови актуальності отриманих даних і вирішення задачі моніторингу та оперативної координації в режимі реального часу.

Інструментарій алгебри скінченних предикатів [11] відкриває можливість переходу від алгоритмічного опису інформаційних процесів стану навколишнього середовища до опису їх у вигляді рівнянь, а рівняння задають відношення між змінними. Усі змінні в рівнянні рівноправні, будь-які з них можуть виступати як у ролі незалежних, так і в ролі залежних. При цьому рівняння мають перевагу перед алгоритмами, оскільки можна розрахувати реакцію системи навіть при неповній визначеності вхідних сигналів, у той час як неповністю розроблений алгоритм є непрацездатним. Встановлено, що за умов зміни знань про об'єкт система рівнянь, покладених на структуру системи, завжди готова до використання, а алгоритм часто вимагає докорінної зміни її структури.

Логічні мережі являють собою універсальний, простий і природний засіб наочного подання структури будь-яких об'єктів, тому що будь-який алгебро-логічний опис об'єкта графічно відображається у вигляді логічної мережі, а також у силу того, що мова алгебри предикатів універсальна, на ній можна формально описати структуру довільного об'єкта.

Агентні системи дозволяють здійснювати он-лайн відстеження показників стану природної системи [12]. Під агентом розумітимемо обчислювальну систему, поміщену в зовнішньому середовищі, здатну взаємодіяти з нею, здійснюючи автономні раціональні дії для досягнення певної мети. Основною відмінністю агентів від систем в цілому є активність, тобто можливість самостійно виконувати які-небудь дії. Ще однією характеристикою є те, що агент може бути втілений не у вигляді деякого матеріального об’єкту, а існувати як самостійна програма. При цьому ця програма, не впливаючи на матеріальний світ (залишаючись у рамках комп’ютера або комп’ютерних систем), може здійснювати корисні дії.

До агентів пред’являються наступні основні характеристичні вимоги:

- Автономність. Агент здатний функціонувати без прямого втручання людини, самостійно відстежуючи стан довкілля і власних параметрів.
- Реактивність. Агент здатний сприймати зовнішнє середовище і адекватно на нього реагувати.
- Про-активність. Агент має цілеспрямовану поведінку і може проявляти ініціативу.

Крім того, для виконання тих або інших задач агенти повинні відповідати додатковим класифікуючим вимогам:

- Здатність спілкування. Агент повинен мати можливість спілкуватися і взаємодіяти з іншими агентами або людьми.
- Моделювання ситуації. Здатність агента промоделювати розвиток ситуації, передбачити хід її розвитку.
- Мобільність. Агент повинен мати можливість змінювати своє положення в зовнішньому середовищі.

- Інтелектуальність. Агент повинен мати можливість проводити логічний висновок для ухвалення рішення про свої подальші дії.
- Прив’язка до середовища. Агент повинен існувати в певному довкіллі (реальному або віртуальному).

Внутрішня структура агента, що описує його функціональний устрій, описується у вигляді [12]:

$$KS = (S, A, P, G, M),$$

де $S = \{s_i\}_{i=1}^{n}$ – множина станів зовнішнього середовища;

$A = \{a_i\}_{i=1}^{n}$ – множина можливих дій агента;

$P = \{p_i\}_{i=1}^{n}$ – множина сприйняттів агента;

$G = \{g_i\}_{i=1}^{n}$ – множина функцій агента;

$M = \{m_i\}_{i=1}^{n}$ – множина внутрішніх станів агента.

Застосування мультиагентних інструментальних засобів дозволяє вирішити ряд складних задач оперативного управління при надзвичайних ситуаціях транскордонного характеру. Мультиагентна модель потрібна для автоматизації процесу прийняття рішення при виникненні ситуацій порушення параметрів навколишнього середовища, необхідності внесення змін в план реагування і тому подібне.

Система, яка б могла виконувати завдання моніторингу стану навколишнього середовища повинна мати відповідне програмне, апаратне та інформаційне забезпечення. Існує глобальна проблема контролювання показників навколишнього середовища на трансграничних територіях, адже забезпечення повної інформації та чіткого плану координації дій у разі виникнення надзвичайної ситуації є неможливим.

Для оцінки викидів та ідентифікації найбільш шкідливих речовин зроблено упор на збір даних з використанням електронних вимірювальних пристроїв дистанційного спостереження в режимі реального часу. На місцях роботи служб з ліквідування надзвичайних ситуацій використовуються різноманітні персональні прибори, які збирають актуальну інформацію про поточний стан навколишнього середовища. Зібрана інформація повинна бути швидко та безперебійно передана в командні центри для координації діяльності та забезпечення спілкування між різними географічно відокремленими місцями.

На основі імітаційної моделі було розглянуто можливість отримання оцінки каналів зв’язку як на етапі планування дій в умовах надзвичайної ситуації, так і в режимі реального часу для верифікації каналу та забезпечення передачі даних в умовах виконання координаційних дій.

Мета-модель пристрою є результатом аналізу і класифікації. Шляхом виявлення загальних елементів на всіх пристроях збору параметрів навколишнього середовища, можна створити мову для опису конкретних пристроїв, яка є необхідною умовою для підтримки функціональних можливостей пристрою та комунікації з системою прийняття рішень в надзвичайних ситуаціях трансграничного характеру. Мета-модель пристрою є адаптацією інформаційної об'єктно-орієнтованої моделі предметної області. Об'єкти всередині моделі містять атрибути і методи, які описують властивості і функціональні можливості компоненту пристрою, що моделюється. Коли набір об'єктів обрано і організовано для опису конкретного пристрою, ці об'єкти формують інформаційну базу даних для цього пристрою.

Мережу складають рознесені в просторі приймачі, працюючі в одному і тому ж частотному діапазоні, і комутуюче устаткування, що дозволяє визначати поточне місце розташування рухомих абонентів і забезпечувати безперервність зв’язку при переміщенні абонента із зони дії одного приймача в зону дії іншого. Було визначено, що використовуваний стандарт зв’язку повинен надавати користувачам широкий діапазон послуг і можливість застосовувати різноманітне устаткування для передачі мовних повідомлень і даних, аварійних сигналів; підключатися до телефонних мереж загального користування, мереж передачі даних і цифрових мереж з інтеграцією служб.

У мережах GPRS інформацію, що передається, розбивають на окремі пакети, які доставляють від відправника до одержувача. При виявленні помилок невірно прийняті пакети можуть бути передані ще раз. На приймаючій стороні з отриманих пакетів конструюють початкове повідомлення. Принципова відмінність передачі даних в мережах з комутацією пакетів від передачі даних в мережах з комутацією каналів полягає в тому, що необхідний канальний ресурс виділяється лише на час передачі відповідних інформаційних пакетів. Решта часу він знаходиться у розпорядженні мережі. Це дозволяє в мережах GSM/GPRS один фізичний канал використати для передачі пакетів декількох абонентів, а для передачі пакетів одного абонента виділяти одночасно декілька фізичних каналів. Пакети в різних напрямах передають незалежно.

Сучасні прилади та обладнання дозволяють вимірювати та передавати моніторингові дані до центру обробки. Слабким місцем залишається розміщення та оперативне пересування вимірювального обладнання. Для визначення послідовності точок вимірювання екологічних параметрів доцільно застосовувати методи деформованих конфігурацій [13], які використовують правильні симплекси в якості основної конфігурації. Управління процесом пошуку в таких методах здійснюється за рахунок вибору локально оптимального напряму зсуву центру симплекса і вибору величини кроку, що забезпечує оптимізацію функції в центрі симплекса. Завдяки цьому можна визначити напрямок руху пересувних вимірювальних приладів, скоротити час локалізації місць з найвищим рівнем небезпечної речовини за рахунок збіжності алгоритму за кінцеве число кроків.

## III. Висновки

Дуже важливо своєчасно отримувати і обробляти інформацію про техногенні характеристики технологічних процесів. Така інформація дозволяє внести необхідні поправки у робочий процес і нормалізувати екологічну обстановку.

Електронні вимірювальні пристрої дистанційного спостереження використовують, застосовуючи підключення до базової станції, або через телеметричну мережу, або через наземні лінії, стільникові телефонні мережі або інші телеметричні системи. Перевагою дистанційного спостереження є те, що в одній базі для зберігання і аналізу можуть використовуватися багато каналів даних. Такий підхід дозволяє за даними моніторингу вжити негайних дій, якщо граничний рівень перевищено.

Загальна схема інформаційної технології підтримки прийняття рішень при виникненні надзвичайних ситуацій транскордонного характеру представлена на рисунку 1. Вона включає такі основні елементи: збір даних для стану екологічної безпеки, побудову гнучкої інфраструктури СППР, розгортання інформаційної структури СППР, оцінку параметрів стану навколишнього середовища та координацію взаємодії.

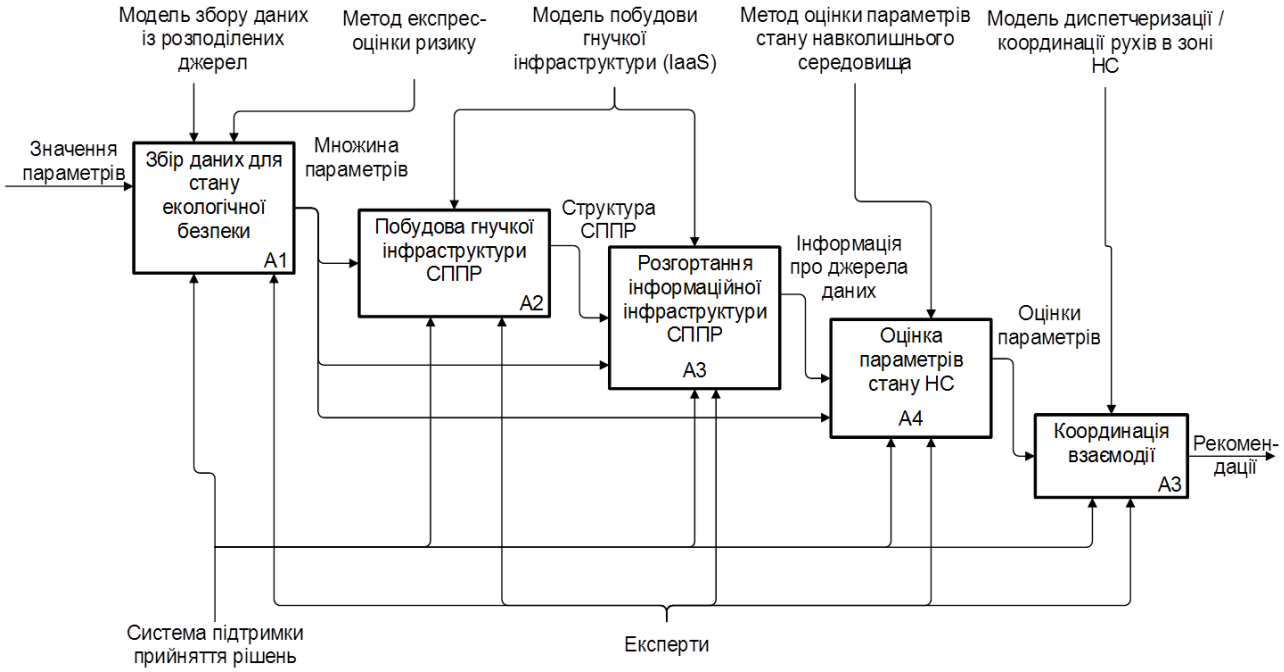



Рис. 1. Загальна схема інформаційної технології

## Література References


[1] Thu H. N., Wehn U. Data sharing in international transboundary contexts: the Vietnamese perspective on data sharing in the Lower Mekong Basin //Journal of Hydrology. – 2016. – Т. 536. – С. 351-364.

[2] Chettri N. et al. Long term environmental and socio-ecological monitoring in transboundary landscapes //International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD), Kathmandu, Nepal. – 2015

[3] Razumov V.V., Razumova N.V., Alekseev O.A. Information requirements for terrestrial and space monitoring of precursors of natural and technogenic catastrophes on the border territories of Russia // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. - 2017. - P. 14. - No. 7. - P. 52-61.

[4] Frontasyeva M. et al. Cloud platform for data management of the environmental monitoring network: UNECE ICP vegetation case. – 2016.

[5] Isaev I. V., Rogachev A. F. Application of virtualization technologies for decision support systems in the sphere of environmental and economic management // Modern economics: problems and solutions. - 2016. - T. 6. - P. 97-106.

[6] Akinina NV et al. Theory and practice of using fuzzy Petri nets for monitoring environmental risks // Bulletin of Tomsk State University. Management, Computer Science and Informatics. - 2017. - No. 41.

[7] Den Hartog J., Zannone N. A policy framework for data fusion and derived data control //Proceedings of the 2016 ACM International Workshop on Attribute Based Access Control. – ACM, 2016. – С. 47-57.

[8] Yannikov I.M., Ponomareva D.V. Modern systems for monitoring and forecasting emergencies // Innovative technologies in engineering: a collection of works of the VIII International Scientific and Practical Conference, 18-20 May 2017, Yurga-Tomsk, 2017. - P. 209-213.

[9] Sanginova O.V., Bondarenko S.G., Andriyuk V.K. Computer-integrated system of monitoring and forecasting the quality of water bodies // Materials V International Water Forum "Water Resources and Climate" (October 5-6, 2017) Minsk, 2017. - T. 2, pp. 146 – 149

[10] Shabanov V. V., Markin V.N. Conducting monitoring of water bodies in modern conditions // M .: Publishing house of RGAU-MAHA. - 2015.

[11] Алгебра предикатов и предикатных операций./ М.Ф. Бондаренко, З.В. Дударь, Н.Т. Процай, В.В. Черкашин, В.А. Чикина, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко // Радиоэлектроника и информатика. – 2004.– № 1. – С. 5-22.

[12] Симоненко О.А., Сова О.Я, Романюк В.А., Уманець Я.Л.. Аналіз існуючих агентних платформ для побудови систем управління вузлами мобільних радіомереж класу manet Системи обробки інформації. — 2014. — № 1(117). — С. 200-203.

[13] Рыков А.С., Системный анализ: модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации. – М.: Издательский Дом МИСиС, 2009. – 608 с.

# Боротьба з Очікуваннями у Microsoft SQL Server

Олександр Тунік
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна

Олександр Саманцов
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
oleksandr.samantsov@nure.ua

# Wait Time Prevention in Microsoft SQL Server

Oleksandr Tunik
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine

Oleksandr Samantsov
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oleksandr.samantsov@nure.ua

***Анотація*—У роботі висвітлюється питання очікувань та блокування у Microsoft SQL Server. Розглянуто джерела очікувань та надано рекомендації щодо зменшення часу, що витрачається на них**

***Abstract*— The paper describes problem of waits and blocks in Microsoft SQL Server. The sources of waits are considered and recommendations for reducing the time spent on them are given**

***Ключові слова—Microsoft Sql Server, база даних, очікування, блокування***

***Keywords— Microsoft Sql Server database, waits, blockings***

## I. Вступ

При створенні баз даних до них виставляється ряд вимог. Серед них можна визначити наступні:

- Вимоги цілісності - дані мають бути повними та такими, що не протирічать один-одному.
- Багаторазове використання даних.
- Швидкий пошук та отримання інформації по запитах користувача.
- Простота оновлення даних.
- Зменшення надмірності даних.
- Захист даних від несанкціонованого доступу та їх знищення [1].

Ці вимоги є комплексними, та вимагають ексклюзивного доступу до даних. Саме тому ми не можемо позбутися очікувань при розробки баз даних.

Метою роботи є висвітлення очікувань у базі даних Microsoft SQL Server та розробка загальних методів боротьби з ними.

## II. Microsoft SQL Server

Microsoft SQL Server — комерційна система керування базами даних, що розповсюджується корпорацією Microsoft. Мова, що використовується для запитів - Transact-SQL, створена спільно Microsoft та Sybase. Transact-SQL є реалізацією стандарту ANSI / ISO щодо структурованої мови запитів SQL із розширеннями. Використовується як для невеликих і середніх за розміром баз даних, так і для великих баз даних масштабу підприємства [2].

SQL Server надає засоби для створення та управління реляційними базами даних. Також SQL Server 2012 підтримує засоби аналітичної обробки даних (Analysis Services), засоби звітності (Reporting Services), а також безліч засобів, що спрощують розробку додатків.

З огляду на те, що на Microsoft SQL Server працюють критичні бізнес-додатки, підприємства висувають дуже жорсткі вимоги по продуктивності, відмовостійкості та безпеки самої СКБД. Серед вимог ми можемо виокремити наступні:

- Інтерактивне шифрування баз даних. Microsoft SQL Server підтримує прозоре шифрування баз даних і журналів транзакцій.
- Віддзеркалення БД (Database Mirroring). Технологія зеркалювання передбачає наявність одного активного сервера, з яким працюють всі клієнти, і одного дзеркального сервера, на який відбувається

передача всіх журналів транзакцій і їх застосування до дзеркальної БД. При відмові активного сервера, відбувається перемикання на дзеркальний сервер.

- Розподіл ресурсів (Resource Governor). Microsoft SQL Server дозволяє розподіляти ресурси і призначати пріоритет для різних завдань. Ця функція дозволяє уникнути випадків різкого падіння продуктивності всього сервера, і переривання роботи всіх користувачів при виконанні однієї складної задачі [2].

Таким чином, ми можемо зробити висновок, що Microsoft SQL Server є надійним інструментом, що повністю відповідає вимога бізнесу, та використовується у бізнес-додатках.

## III. Джерела блокувань у Microsoft SQL Server

Компонент Microsoft SQL Server - Database Engine використовує такі механізми для гарантії цілісності транзакцій і підтримки узгодженості баз даних, коли кілька користувачів звертаються до одних і тих же даних в один і той же час.

- Блокування- Кожна транзакція запитує блокування різних типів ресурсів, наприклад рядків, сторінок або таблиць, від яких ця транзакція залежить. Блокування не дає іншим транзакцій змінювати ресурси, щоб уникнути помилок в транзакції, що запросила блокування. Кожна транзакція звільняє свої блокування, якщо більше не залежить від блокується ресурсу.

- Управління версіями рядків - Якщо використовується рівень ізоляції на основі управління версіями, компонент Компонент Database Engine зберігає версії кожної зміненої рядки. Додатки можуть вказати, що транзакція буде використовувати версії рядків для перегляду даних, що існували до її початку або до початку запиту, замість того, щоб захищати всі операції читання блокуванням. При управлінні версіями рядків ймовірність того, що операція читання блокуватиме інші транзакції, значно знижується [3].

Блокування та управління версіями рядків не дають користувачам зчитувати незафіксовані дані і не дають декільком користувачам змінювати одні й ті ж дані в один і той же час. Без цих механізмів запити до таких даних могли б повертати непередбачені результати, наприклад дані, які ще не були зафіксовані в базі даних. Таким чином може бути гарантовано, що усі дані, що зчитують користувачі є повними та не суперечать самі собі.

Додатки можуть вибирати рівні ізоляції транзакцій, які визначають рівень захисту транзакції від змін, внесених іншими транзакціями. Для окремих інструкцій Transact-SQL можуть бути задані вказівки таблиць для подальшого уточнення поведінки, що відповідає вимогам програми.

## IV. Основні типи очікувань у Microsoft SQL Server

Можна виділити наступні найбільш популярні види очікувань у Microsoft SQL Server

- CXPACKET - Коли паралельна операція створюється для запиту, з'являється кілька потоків для одного запиту. Кожен запит має справу з різним набором даних. Через низку причин один або кілька потоків відстають створюючи очікування CXPACKET. Є потік організатор / координатор (потік 0), який чекає виконання всіх інших потоків і являє результат виконання на стороні клієнта. Тільки після того, як всі потоки завершую своє виконання і передадуть всі дані потоку 0, запит може вважатися завершеним. Очікування організатором інших потоків і є CXPACKET очікування. Ми можемо помітити, що очікування CXPACKET не сказується негативно на час роботи запиту, проте під час його підвищується навантаження на сервер. Також причинами виникання цього виду очікування може бути розміщення даних на дисках з різною швидкістю читання, велика фрагментація даних та помилки при оцінюванні об'єму даних, що має опрацювати Microsoft SQL Server.

- SOS_SCHEDULER_YIELD - виникає, коли планувальник добровільно віддає час для виконання іншому запиту. Як тільки вивільниться квант часу - запит поновить виконання. Виникає найчастіше у системах з невеликою, у порівнянні з кількістю одночасних запитів, процесорів.

- PAGEIOLATCH - виникає, коли задача очікує даних від жорсткого диска. Довгий час очікування під час роботи запиту може означати на проблему з дисковою системою. Також, може виникати при конкуренції при доступі до файлів транзакцій та тимчасових файлів. Цей тип очікування поділяється на наступні підтипи: PAGEIOLATCH_DT – блокування, що очікує на видалення. PAGEIOLATCH_EX – блокування, що очікує на ексклюзивний доступ. PAGEIOLATCH_KP – блокування, що очікує на режим утримання. PAGEIOLATCH_NL – використовується лице для ознайомлення. Не підтримується у сучасних версіях Microsoft SQL Server. PAGEIOLATCH_SH – блокування, що очікує на загальний доступ. PAGEIOLATCH_UP – блокування, що очікує на доступ у режимі оновлення.

- PAGELATCH - виникає, коли задача очікує даних від оперативної пам'яті. Скоріш за все ця сторінка пам'яті досить часто використовується Microsoft SQL Server, також велика кількість цих блокувань, може вказувати на конкуренцію. при доступі до тимчасових файлів. Очікування поділяється на наступні підтипи: PAGELATCH_DT – очікування на блокування у режимі видалення. PAGELATCH_EX – очікування на блокування у ексклюзивному режимі. PAGELATCH_KP – очікування на блокування у режимі утримання. PAGELATCH_SH – очікування на блокування у режимі загального доступу. PAGELATCH_UP –

очікування на блокування у режимі оновлення даних.

- RESOURCE_SEMAPHORE – очікування на отримання кванту пам'яті для виконання операції. Виникає коли об'єм пам'яті є недостатнім для виконання усіх паралельних запитів, або при помилці планувальника запитів при використанні сортування, хеш-операцій тощо.
- PREEMPTIVE_OS – очікування на відповідь від операційної системи, що працює у режимі витісняючої багатозадачності. Найпопулярніші підтипи цього очікування - PREEMPTIVE_OS_WRITEFILE – очікування на Windows-функцію WriteFile, що записує дані у пристрій вводу-виводу. PREEMPTIVE_OS_LOOKUPACCOUNTSID – очікування на Windows-функцію LookupAccountSid, що отримує ім'я облікового запису, що створив об'єкт безпеки. PREEMPTIVE_OS_CRYPTACQUIRECONTEXT - очікування на Windows-функцію CryptAcquireContext, що отримує конкретний криптографічний контейнер з конкретним криптографічним сервісом. PREEMPTIVE_OS_CRYPTIMPORTKEY - очікування на Windows-функцію CryptImportKey, що імпортує криптографічний ключ з бінарного контейнеру до криптографічного сервісу. PREEMPTIVE_OS_DISCONNECTNAMEDPIPE - очікування на Windows-функцію DisconnectNamedPipe, що від'єднує серверну частину іменованого каналу від клієнта. . PREEMPTIVE_OS_DELETEFILE - очікування на Windows-функцію DeleteFile, що видаляє вказаний файл.
- WRITELOG - має місце при очікуванні завершенні запису журналу транзакцій. Цей вид очікувань зазвичай спостерігається в високо транзакціоннних базах даних. Коли дані змінюються вони пишуться в кеш лог і кеш буферу. Це очікування виникає, коли лог кеш скидається на диск [4].

## V. Боротьба з очікуваннями

Проаналізувавши найбільш популярні види очікувань ми можемо запропонувати наступні методи боротьби:

- Зменшення рівня паралелізації запитів. Таким чином ми зможемо зменшити навантаження на сервер та час CXPACKET очікувань.
- Створення належних індексів, для прискорення доступу до даних та зменшення доступу до диску.
- Розміщення тимчасових файлів, файлів транзакцій, та файлів з даними на різних фізичних дисках, таким чином не буде виникати боротьба за читання даних.
- Постійне оновлення статистики таблиць та індексів, таким чином планувальник буде знати на який об'єм даних потрібно очікувати.
- Регулярна дефрагментація баз даних, таблиць, індексів для прискорення доступу до даних та зменшення операцій вводу-виводу.
- Постійний контроль за фізичними можливостями серверу. Сервер має мати достатню кількість процесорів для обробки даних, об'єм оперативної пам'яті для розміщення даних, та досить швидкі жорсткі диски.

Використовуючи ці методи можливо зменшити час очікування при роботі з Microsoft SQL Server, та пришвидшити доступ до даних.

## VI. Практичні результати боротьби з очікуваннями

Для аналізу успішності боротьби з очікуваннями, проводився ряд вимірювань за допомогою скрипта, що зображений на Рис. 1.

```
WITH [Waits] AS
    (SELECT
        [wait_type],
        [wait_time_ms] / 1000.0 AS [WaitS],
        ([wait_time_ms] - [signal_wait_time_ms]) / 1000.0 AS [ResourceS],
        [signal_wait_time_ms] / 1000.0 AS [SignalS],
        [waiting_tasks_count] AS [WaitCount],
       100.0 * [wait_time_ms] / SUM ([wait_time_ms]) OVER() AS [Percentage],
        ROW_NUMBER() OVER(ORDER BY [wait_time_ms] DESC) AS [RowNum]
    FROM sys.dm_os_wait_stats
    WHERE [waiting_tasks_count] > 0
    )
SELECT
    MAX ([W1].[wait_type]) AS [WaitType],
    CAST (MAX ([W1].[WaitS]) AS DECIMAL (16,2)) AS [Wait_S],
    MAX ([W1].[WaitCount]) AS [WaitCount],
    CAST (MAX ([W1].[Percentage]) AS DECIMAL (5,2)) AS [Percentage]
 FROM [Waits] AS [W1]
INNER JOIN [Waits] AS [W2]
    ON [W2].[RowNum] <= [W1].[RowNum]
GROUP BY [W1].[RowNum]
```

Рис. 4. Скрипт для збору інформації щодо очікувань

Таким чином, ми можемо виміряти дві важливі характеристики: кількість очікувань, що відбулось з моменту останнього оновлення статистики та який сумарний час запит чекав на вивільнення ресурсу. Вимірювання до та після внесених запропонованих змін проводилось після тижня однотипної роботи з базою. Внесення змін вимагало перезавантаження сервісу MS Sql Server, що скидує статистичні дані. Отримані дані можна побачити у таблиці 1.

ТАБЛИЦЯ II. Вплив внесених змін

| Тип очікування | До внесення змін | | Після внесення змін | |
|---|---|---|---|---|
| | *Час очікування (с)* | *Кількість очікувань* | *Час очікування (с)* | *Кількість очікувань* |
| CXPACKET | 678594,16 | 205652236 | 685380,1 | 195369624 |
| LATCH_EX | 65827,06 | 39073941 | 50028,56 | 29696195 |
| RESOURCE_ SEMAPHORE | 40597,26 | 1612 | 39785,31 | 1547 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| SOS_SCHEDULER_YIELD | 31175,85 | 30575657 | 30240,57 | 30269900 |
| PAGEIOLATCH_SH | 24740,29 | 11833540 | 14844,17 | 8165142 |
| PAGEIOLATCH_EX | 8561,24 | 3945839 | 5564,8 | 2525336 |
| PAGELATCH_UP | 1955,06 | 1106758 | 1368,54 | 675122 |
| WRITELOG | 942,63 | 300792 | 603,28 | 192506 |
| PAGELATCH_EX | 821,71 | 6361920 | 534,11 | 4453344 |
| PAGELATCH_SH | 807,7 | 2724135 | 508,85 | 1770687 |
| PAGEIOLATCH_UP | 399,72 | 12532 | 279,8 | 8521 |
| PREEMPTIVE_OS_WRITEFILE | 290,71 | 113644 | 183,14 | 69322 |
| LATCH_SH | 166,75 | 7141 | 133,4 | 5427 |
| PREEMPTIVE_OS_CRYPTACQUIRECONTEXT | 17,42 | 35416 | 16,89 | 36478 |
| PREEMPTIVE_OS_CRYPTIMPORTKEY | 12,19 | 35409 | 11,58 | 34346 |
| LATCH_UP | 1,65 | 2 | 1,27 | 1 |

З наведеної таблиці можна побачити, що внесені зміни позитивно вплинули на зменшення часу очікувань, які пов’язані з роботою жорсткого диска. Однак, час очікувань, які пов’язані з роботою пам’яті та процесору знизився не настільки значно через апаратні обмеження системи.

## VII. Висновки

Проаналізовані джерела блокувань та основні типи очікувань у Microsoft SQL Server.

Розглянуті методи зменшення часу очікування при роботі з Microsoft SQL Server, які пришвидшууть доступ до даних. Наведені дані про результати використання цих методів свідчать про ефективність їх застосування для характерних видів очікувань, пов’язані з роботою жорсткого диска.

## Література References


[1] К. Дж Дейт,. Введение в системы баз данных. М.: Издательский дом "Вильяме", 2005.

[2] D. Petkovic Microsoft SQL Server 2016: A Beginner's Guide. Rosenheim: McGraw-Hill Education, 2016

[3] M. Chmel, V. Muzny SQL Server 2017 Administrators Guide. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2017

[4] W. Assaf, R. West, S. Aelterman, M. Curnutt SQL Server 2017 Administration Inside Out. Houston: Microsoft Press, 2017.

# Дослідження Методів Мінімізації Алгебро-логічних Рівнянь

Денис Білозьоров
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
riit.kharkiv.ua@gmail.com

Ігор Шубін
кандидат технічних наук
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
igor.shubin@nure.ua

# Research of Methods Minimizing of Algebraic-logical Equations

Denis Bilozyorov
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
riit.kharkiv.ua@gmail.com

Igor Shubin
PhD, associate professor
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
igor.shubin@nure.ua

***Анотація*—розроблено метод та модель навчання з використанням теорії штучного інтелекту, для моделювання процесів отримання знань обґрунтовано використання алгебри предикатів та предикатних операцій. Адаптивна організація навчального матеріалу описана в термінах алгебри скінченних предикатів та предикатних операцій, що дозволяє автоматизувати вирішення завдання створення навчальних програм з елементами штучного інтелекту**

***Abstract*—It has been justified use algebra predicates and predicate operations. It has also been developed a general multilevel model of adaptive learning material, which was described in terms of predicate algebra operations that allows automating the solution of training programs with elements of artificial intelligence.**

***Ключові слова—адаптивна гіпермедіа, алгебра скінченних предикатів, навігаційне правило, мінімізація скінченних предикатів***

***Keywords—adaptive hypermedia, finite algebra predicates, navigation rule, minimization of finite predicates***

## I. Вступ

Алгебра кінцевих предикатів и розроблені на її основі алгоритмічні й програмні рішення дозволяють вирішити більшість із зазначених вище протиріч. Математичний апарат алгебри скінченних предикатів також можна використати на етапі поповнення словника новими поняттями та доповнення словарних статей існуючих понять новими визначеннями [1].

Лінгвістичне забезпечення автоматизованої гіпермедійної навчаючої системи є важливим інструментом, який надає користувачу доступ до інформаційних ресурсів. Однією зі складових комплексного лінгвістичного забезпечення сучасної автоматизованої системи є лінгвістичне забезпечення процесів класифікації та систематизації документів, базою для розробки якого є інформаційно-пошукові тезауруси. Масив ключових слів такого тезауруса формується на основі концептуальної моделі певної предметної галузі. Ця модель може бути представлена електронним галузевим термінологічним словником [2].

З розвитком та поглибленням інформаційної бази даної області математики з'явилась проблема складності сприйняття матеріалу для студентів та зацікавлених. Метою роботи є розробка інформаційно – навчальної системи для вивчення матеріалу з алгебри скінченних предикатів та основних методів мінімізації бульових функцій.

## II. Алгебро-логічні рівняння

Наразі функціонування автоматизованих систем неможливо без організації великих за обсягом інформаційних банків. До складу інформації входить велика кількість неформалізованих даних, що представляють собою різні текстові повідомлення природною мовою для систем управління, це інформація про об'єкт управління, пов’язана з його структурою, функціонуванням і прийняттям рішень щодо стратегії управління. Сьогодні не виникає сумнівів, що обмін інформацією між користувачем і ЕОМ повинен проводиться на природній або хоча б близькій до природної мовою. У такому випадку машина повинна містити деякий набір знань, відповідний до нормативної граматики, і подібно людині успішно оперувати ним. Таким чином, необхідно створення процесора, який дозволить комп'ютеру сприймати природно-мовний запит і формувати відповідь. Тоді людині, яка працює з машиною, не знадобиться тривалих і серйозних занять з оволодіння мистецтвом програмування і вивчення специфіки ЕОМ.

Проблемам накопичення знань про природу мову, її устрій, принципи функціонування, вибір мови формального опису присвячено багато робіт. Успішне вирішення лінгвістичних проблем машинного перекладу, різного роду завдань по автоматичній обробці текстової інформації та мовного управління виробничими процесами, а також лінгвістичних проблем спілкування з ЕОМ обіцяє в майбутньому величезну економію сил і засобів [3].

Створення сучасних технічних засобів для автоматичної обробки мовних та фонетичних закономірностей вимагає розробки нових методів синтезу обчислювальних структур. Застосування таких способів дозволить на одному і тому ж пристрої одночасно вирішувати цілий ряд задач обробки та моделювання лінгвістичних завдань. Створювані для подібних систем алгоритми і програмні засоби повинні мати властивості регенерації та часткової регенерації вхідних і вихідних даних, бути надійними в експлуатації, володіти можливістю корекції в процесі обігу. Проблемам накопичення знань про природу мову, її устрій, принципи функціонування, вибір мови формального опису присвячено багато робіт. Успішне вирішення лінгвістичних проблем машинного перекладу, різного роду завдань по автоматичній обробці текстової інформації.

Однією з найважливіших проблем синтезу схем, пристроїв автоматики, вимірювальної та обчислювальної техніки, кібернетики є отримання найбільш простих (мінімальних) формул, що описують їх функціонування. При цьому проблема мінімізації є одним з основних етапів аналізу і синтезу схем автоматів, створення програмного забезпечення обчислювальних систем. Дане завдання, як показує науково-технічна література, їй присвячена, не вирішене в достатній мірі.

Особливу увагу, в першу чергу, слід зосередити на задачі мінімізації форм представлення багатозначних логічних функцій, що грають важливу роль в проблемі синтезу дискретних автоматів [4]. У зв'язку з актуальністю проблеми мінімізації багатозначних перемикальних функцій з'явилися публікації, в яких робляться спроби узагальнити відомі методи та алгоритми знаходження мінімальних форм представлення бульових функцій на багатозначний випадок. Але складність подачі інформації в даних публікаціях призводить до потреби створення навчального інтерфейсу, орієнтованого на широке коло зацікавлених, заснований на простоті і доступності представленого матеріалу.

## III. Основні компоненти для вирішення задачі

Побудова гіпермедійного простору інтелектуальної системи потребує опису зв’язків та вузлів за допомогою апарату алгебри скінченних предикатів, при цьому основним критерієм оптимальності є кількість зв’язків між вузлами. Це відповідає завданню мінімізації площі відповідної характеристичної матриці, тобто добутку числа рядків на число стовпців даної матриці. Число певних елементів усередині матриці (елементів впізнавання) прийом як додаткового критерію оптимізації. Таким чином, будемо будувати найкоротші ДНФ скінченних предикатів і одночасно враховувати вимоги мінімальності числа впізнавань [5].

Іншими словами, будемо шукати мінімальне покриття одиничної області $N_f$ скінченного предиката $f$ максимальними інтервалами. Тому одинична область $N_f$ подана у вигляді характеристичної матриці. У цьому випадку завдання мінімізації ДНФ скінченного предиката можна інтерпретувати як задачу максимального стиснення матриці, при якому деякі сукупності рядків цієї матриці, що утворюють інтервали гіперкуба $M^n$, замінюються відповідними слабо визначеними векторами. Якщо деяка точка $u$ одиничної області $N_f$ належить лише одному з максимальних інтервалів цієї множини, а саме – деякому інтервалу $u$, то будь-яке найкоротше покриття області $N_f$ буде містити інтервал $u$. Будемо називати елемент $A$ визначальним, а інтервал $u$, що однозначно ним визначається – обов'язковим [6].

Щоб встановити чи є деяка точка $A$ визначальною, досить знайти всі сусідні з нею точки з області $N_f$, а потім побудувати мінімальний інтервал гіперкуба $M^n$, що їх містить, званий мінімальним поглинальним інтервалом. Якщо всі точки цього інтервалу належать до одиничної області, то цей інтервал є інтервалом області $N_f$, максимальним і обов'язковим, а елемент $A$ є визначальним. Мінімальний поглинальний інтервал для заданої множини точок простору $M^n$ отримують у такий спосіб. Будується вектор, компоненти якого приймають значення однойменних компонент координат точок з $M^n$, якщо ці значення збігаються, і приймають значення «-», якщо серед значень однойменних компонент координат точок зустрічаються різні літери з алфавіту. Якщо інтервал $u$ містить багато елементів, то перевірка питання, чи міститься інтервал $u$ в області $N_f$, зводиться до наступного.

З характеристичної матриці виділяється вектор, утворений перерахуванням рядків, сусідніх вектору $u$ за

допомогою стовпців, в яких вектор $u$ має значення «-», а потім виділяється перевірка мінору на вродженість (мінор назвемо виродженим, якщо він містить рядки, елементи яких представляють усі можливі комбінації з букв вихідного алфавіту). Якщо мінор вироджений, то інтервал $u$ міститься в $N_f$.

Обчислення обов'язкових інтервалів прискорюється при малій кількості сусідів розглянутої точки. Якщо точка не має сусідів, то вона сама утворює обов'язковий інтервал. Якщо точка має двох сусідів, один з яких відрізняється від $A$ за компонентою $i$, а інший за компонентою $j$, то обчислення зведуться до перевірки наявності в області $N_f$ елемента, відмінного від $A$ за двома компонентами $i$ та $j$. Знайшовши в області $N_f$ принаймні один обов'язковий інтервал, ми починаємо послідовно будувати елементи покриття одиничної області, яке за сприятливих умов дасть точне розв'язання нашої задачі.

Розглянемо поточну ситуацію, коли частина елементів одиничної області $N_f$ вже покрита деякими інтервалами, а інша частина, що утворює поточну, тобто змінювану в процесі розв'язання множину $N^*$, складається з елементів одиничної області, які ще не належать жодному з вибраних інтервалів. Нехай деякий елемент $C$ поточної множини $N^*$ належить одразу декільком максимальним інтервалам області $N_f$. Розглянемо перетини цих інтервалів з множиною $N^*$, називаючи їх надалі проекціями інтервалів на множину $N^*$. Якщо серед цих проекцій знайдеться така, яка містить в ролі своїх підмножин інші, то можна вважати обгрунтованим вибір будь-якого відповідного їй максимального інтервалу (їх може виявитися декілька) як чергового елемента найкоротшого покриття. Цей інтервал забезпечує покриття всіх елементів з $N^*$, які тільки можна покрити інтервалами множини $N_f$, які покривають одночасно елемент $C$. Такий інтервал назвемо допустимим, відзначимо при цьому, що даний інтервал виявляється допустимим лише при даній послідовності попередніх виборів інтервалу покриття.

Тепер розглянемо спосіб знаходження визначальних елементів в проміжних ситуаціях. Нехай деякі два елементи одиничної області $N_f$ несумісні, якщо поглинальний мінімальний інтервал міститься в $N_f$. Елемент $C$ виявляється визначальним, якщо поглинає інтервал для всіх елементів множини $N^*$, сумісних з елементом $C$, міститься в області $N_f$. [7].

Вибір у множині $N^*$, виконуваний під час пошуку сумісних з $C$ елементів, прискорюється тим, що він обмежує розгляд елементів, що належать до мінімального поглинального інтервалу для всіх сусідів елемента $C$, як сумісні з $C$ елементи можуть перебувати тільки в цьому інтервалі. Обидва мінімальних поглинальних інтервали як для сусідів елемента $C$, так і для сумісних з ним елементів будуються легко. Нарешті, вищенаведеним способом встановлюється, чи міститься останній з цих інтервалів одиничної області $N_f$. Позитивна відповідь на це питання доводить, що елемент $C$ є визначальним. Допустимим інтервалом в цьому випадку виявляється будь-який мінімальний інтервал області $N_f$, що містить знайдений мінімальний поглинальний інтервал для сумісних з $C$ елементів. Зокрема, ці два інтервали можуть співпасти.

Проміжні інтервали суттєво відрізняються від початкового тим, що в початковій ситуації від визначального елемента $C$ потрібно, щоб в одиничної області $N_f$ містився мінімальний поглинальний інтервал для всіх сумісних з $C$ елементів області $N^*$, в той час як у поточній ситуації ця вимога послаблена: там розглядаються мінімальні поглинальні інтервали тільки для тих елементів, сумісних з визначальним елементом, які належать до поточної множини $N^*$.

Ця відмінність визначає ланцюговий характер процесу побудови найкоротшого інтервального покриття одиничної області $N_f$. Включення в покриття чергового допустимого інтервалу супроводжується відповідним скороченням множини $N^*$, а це в свою чергу призводить до того, що деякі з решти елементів в $N^*$ можуть стати визначальними, що дозволить включити в розв'язання нові допустимі інтервали, далі скоротити поточну множину $N^*$ і т.д. У розглянутому способі конструювання найкоротшого інтервального покриття одиничної області $N_f$ можуть зустрітися критичні ситуації, коли в поточній множині $N^*$ не вдасться знайти жодного визначального елемента.

У такому випадку для отримання точного розв'язання потрібно виконати перебір різних варіантів побудови покриття, що відповідають вибору різних максимальних інтервалів як чергового елемента покриття. Необхідно вжити заходів щодо скорочення цього перебору, застосувавши розгалужені процеси. Замість допустимого інтервалу, в описаній критичної ситуації вибираємо деяку сукупність інтервалів, тобто множину максимальних інтервалів, щодо якої відомо, що в ній міститься, принаймні, один з допустимих в поточній ситуації інтервалів, хоча і невідомо, який саме. При цьому поняття допустимого інтервалу вживається в широкому сенсі. Назвемо допустимою таку сукупність інтервалів одиничної області $N_f$, якщо існує деяке найкоротше інтервальне покриття області $N_f$, що її містить. Якщо сформована на поточний момент часу частина покриття, що конструюється є допустимою, то деякий максимальний інтервал буде допустимим в даному випадку, якщо, прийнявши його як черговий елемент покриття, ми отримаємо знову допустиму сукупність. Розгляд різних варіантів вибору чергового елемента покриття з достатньої сукупності утворює точку розгалуження процесу пошуку найкоротшого інтервального покриття. Число вихідних з цієї точки гілок дорівнює числу елементів у даній достатній сукупності.

Скорочення перебору зводиться в зв'язку з цим до знаходження в поточній ситуації деякої мінімальної достатньої сукупності. Наприклад, достатньою є сукупність всіх максимальних інтервалів, яким належить певний елемент $C$ області $N_f$. Достатньою в поточній ситуації виявляється сукупність максимальних інтервалів, до яких належить певний елемент $C$ множини $N^*$ і деякі мають різні, що не містяться одиа в одній проекціями на множині $N^*$. Число елементів в цих допустимих сумах, як

правило, менше, якщо у елемента $C$, що їх задає мало сусідів.

Можна зробити висновок, що для скорочення перебору під час пошуку оптимального розв'язання даної задачі: попередньо зважити всі елементи $N_f$, визначаючи його вагу як число сусідів, а наступні перебори в області $N_f$ організувати в порядку не спадання цих ваг.

Даний метод породжує наближені методи, в яких не обов'язково розглядати всі варіанти, пов'язані з вибором різних елементів достатніх сукупностей. Наприклад, в кожній точці розгалуження може вибиратися один шлях, «кращий» за певним критерієм. Також може бути спрощено сам спосіб утворення точок розгалуження, в результаті чого задача знаходження мінімальної достатньої сукупності може вирішуватися також наближено або навіть не ставиться.

В описаному способі аналізу характеристичної матриці області $N_f$ скінченного предиката $f$, що мінімізується необхідно розглядати велику кількість різних сполучень елементів у множині $N_f$. Наприклад, відшукуючи в області $N_f$ сусідів, ми повинні перевірити всі пари елементів цієї множини. Цей перебір можна значно скоротити, задаючи розглянутий скінченний предикат $f$ безпосередньо на гіперкубі $M^n$, елементи якого впорядковані і певним чином пронумеровані. Якщо в деякій вершині гіперкуба $M^n$ скінченний предикат $f$ приймає значення $I$, тобто якщо ця вершина належить до одиничної області $N_f$, то, відшукуючи його сусідів в області $N_f$, не обов'язково перебирати всі елементи цієї області і порівнювати їх з даними, а досить переглянути лише сусідні елементи гіперкуба $M^n$ (їх число дорівнює $n$) і вибрати з них ті, на яких предикат $f$ приймає значення $I$. Таким чином, суцільний перебір елементів в характеристичній матриці, відповідної області $N_f$, замінюється впорядкованим вибором і аналізом елементів гіперкуба $M^n$. Такий спосіб назвемо скануванням.

Розглянемо метод мінімізації ДНФ скінченного предиката, що базується на виборі в одиничній області елементів в порядку зростання числа сусідів. Скінченний предикат, що мінімізується видається безпосередньо в табличній формі, де в лівій колонці перераховано всі елементи гіперкуба $M^n$ – набори значень аргументів, впорядковано відповідно до позиційного $k$-го коду, де $k$ – число букв алфавіту $A$, а праворуч значення на наборах скінченного предиката.

Оскільки послідовність наборів чітко впорядкована, тобто кожен набір однозначно визначено місцем, зайнятим у таблиці, то їх можна не показувати, що і робиться при поданні функції $f$, що мінімізується в пам'яті комп'ютера, коли набір ототожнюється з адресою, куди поміщається відповідне значення скінченного предиката $f$. Значення скінченного предиката на сусідніх елементах гіперкуба отримуються зміною значення тієї компоненти адреси, за якою відшукуються сусідні елементи. Чим менше сусідів в області $N_f$ має певний елемент цієї множини, тим меншому, як правило, числу різних максимальних інтервалів він належить. З огляду на це, описуваний метод починає побудову інтервального покриття множини $N_f$ з пошуку інтервалів для покриття елементів з мінімальним числом сусідів – в цьому випадку конструювання покриття буде цілеспрямованим.

Першим етапом є побудова таблиці сусідів, в якій для кожного елемента характеристичної матриці покано, за якими змінними цей елемент має сусідів в одиничній області $N_f$. Цю таблицю сумісний з таблицею значень скінченного предиката $f$, заповнюючи прочерком відповідні позиції для елементів нульової області. Розгляд починаємо з елементів, які не мають сусідів; якщо таких не виявлено, то вибираємо елементи з одним сусідом. Знаходимо для цих елементів обов'язкові інтервали і далі проводимо всі операції, описані вище в алгоритмі.

## IV. Висновки

В результаті проведеного дослідження порівняння інформаційно-начальної системи з існуючими аналогами був виділений ряд переваг реалізованого додатка перед схожими програмними рішеннями: досить висока швидкодія на середніх апаратних конфігураціях; максимальна простота користування; інтуїтивність та зрозумілість інтерфейсу; безвтратна робота з великими за об'ємом даними; можливість додавання нових навчальних тем; мобільність додатку.

Для подальшого покращення системи зроблені такі вдосконалення: посилення інформаційно – навчальної бази системи; підвищення рівня складності навчальної системи шляхом інтегрування тестуючого та ігрового навчального блоку; можливість роздрукування матеріалу лекцій за допомогою відповідних елементів інтерфейсу; вдосконалення презентативної здатності інтерфейсу через застосування нових елементів графічного відображення.

## Література References


[1] Bondarenko M (2007). Teoriya Intellekta / M.F. Bondarenko, Yu.P. Shabanov-Kushnarenko. Kharkiv.: «CMIT», 2007. – 221 p.

[2] Bondarenko M (2005). Algebra Predikatov i Predikatnykh Operaciy / M. Bondarenko, Z. Dudar, Yu.P. Shabanov-Kushnarenko // Radioelectronics & Informatics. – Kharkiv: KhNURE, 2005. – № 1. – pp. 80–87

[3] Tolkiehn G., Makariti A.(2015) MyWebRTC, a Free Do-It-Yourself Kit for Secure Real-Time Internet-Communication //Information Technologies in Information Business Conference (ITIB 2015) – Kharkiv, 2015. – pp 81-84.

[4] Kuzikov B. Programne Zabezpechennya Dlya Pobudovy Individualnih Navchalnyh Traektorij / B.O.Kuzikov // Informatika, Matematika, Avtomatika : Materialy ta programma naukovo-tekhnichnoi konferencii, 2012, Sumy. –: SumDU , 2012. –pp. 54-55.

[5] Shubin I., Karmanenko O., Umyarov K . The Methods of Adaptation in Computer-Based Training Systems //Information Technologies in Information Business Conference (ITIB 2015) – Kharkiv, 2015. – S 64-67

[6] Shubin I., Kirichenko I. (2016) Informatsionnye Technologii Modelirovaniya Adaptivnyh System Obucheniya // Matherials of The 5Th Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Informatsionnye sistemy i tehnologii ICT-2016», Kharkiv, 2016 – S. 244-245.

[7] Shubin I., Kirichenko I. Modeli Intellektualnoy Podderzhki Navigacii v Computer Ttraining Systems / International Journal "Information Models and Analyses" Vol. 2/ 2013, Number 2. – Bulgaria – 2013 – pp. 194-199

# Технології Big Data у Аналізі Ризиків Страхової Компанії

Михайло Лазар
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
mykhailo.lazar@nure.ua

Володимир Кобзєв
кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.kobziev@nure.ua

# Big Data Technologies in the Insurance Risk Analysis

Mykhailo Lazar
Software Engineering department
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
mykhailo.lazar@nure.ua

Volodymyr Kobziev
Software Engineering department
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.kobziev@nure.ua

***Анотація*—Розглядається можливість використання технологій Big Data у страхуванні. Зокрема, розглядається можливість використання сучасних засобів збору характеристик клієнтів, які використовуються в аналізі страхових ризиків у клієнтоорієнтованих страхових продуктах.**

***Abstract*—The possibility of using Big Data technologies in insurance is considered. In particular, the possibility of using modern means of collecting customer characteristics used in the analysis of insurance risks in client-oriented insurance products is considered.**

***Ключові слова— страхування; страхові ризики; оцінки ризику; Big Data; кластеризація***

***Keywords— insurance; insurance risks; risks estimates; Big Data; clasterization***

## VIII. Вступ

З появою теорії ймовірностей і актуарної науки як математичних дисциплін в XVII столітті, аналіз даних зіграв фундаментальну роль в страхуванні. Ці наукові досягнення дозволили страхуванню розвитися в галузь, засновану на раціональному обчисленні наявних даних і прийнятті обґрунтованих рішень. Ключову роль в зборі даних, необхідних для розрахунку актуарного аналізу зіграла Церква. У XVI столітті в деяких європейських країнах парафіяльним священикам було наказано вести записи про кількість хрещень, шлюбів і поховань [1].

У 1693 році Едмунд Галлей побудував першу повну таблицю смертності для населення міста Бреславля (Вроцлав), включивши в неї дитячу смертність. Він дав визначення основних показників таблиці смертності, перелічив ймовірності дожиття і смерті для своїх сучасників, ввів в науку поняття середньої тривалості майбутнього життя, сформулював методику регулювання тарифів в страхуванні життя за допомогою таблиці смертності. Фактично, Галлей є засновником теорії актуарних розрахунків у сфері страхування життя. Він ввів поняття норми відсотка або норми зростання грошей в страхуванні. Форма таблиці смертності Галлея і принципи її побудови використовуються в страхуванні донині [2].

В минулому страховики в основному покладалися на особисту інформацію зібрану безпосередньо у клієнтів (страхувальників) під час андеррайтингу для угруповання осіб в класи ризику. Наприклад, при особистому автострахуванні, страховики зазвичай покладалися на відомості про тип і вік автомобіля, історію втрат. За останні два десятиліття страховики все частіше використовують додаткові дані зі сторонніх джерел даних. Наприклад, коли з'явилися емпіричні дані про те, що люди з більш високими кредитними балами також мають тенденцію бути більш обережними водіями, страховики почали включати кредитні бали в їх аналіз для особистого автострахування. Роль даних, однак, в основному залишилася колишньою, їх використовують для розуміння ризиків і компенсації збитків, завданих клієнтам.

## IX. BIG DATA ТА СТРАХУВАННЯ

Сьогодні прогрес в області Big Data, штучного інтелекту та «Інтернету речей» (IoT) приводять до фундаментальної трансформації ролі даних в страховій бізнес-моделі. Цей розвиток викликаний появою двох нових джерел даних, які є актуальними в контексті страхування. Перший складається з даних, які автоматично генеруються в онлайн-режимі. Такі дані містять особисту інформацію, надану через соціальні мережі, через сервіси онлайн-покупок, а також дані, отримані у результаті пошуку та перегляду інформації. Дані про поведінку в Інтернеті допомагають виявляти інформацію про звички та спосіб життя людей доповнюють або змінюють дані, що традиційно використовуються страховими компаніями. Друге нове джерело даних пов'язане з вбудованими датчиками в побутові прилади та інші споживчі товари в IoT, наприклад датчиків, вбудованих в автомобілі або дані з носимих пристроїв, дані з розумних будинків у яких певний час знаходяться клієнти. Ці дані, зазвичай, фрагментовані і специфічні для конкретної мети.

Безперервний збір і аналіз поведінкових даних дозволяє робити індивідуальну і динамічну оцінку ризиків і встановлення безперервного циклу зворотного зв'язку для клієнтів, без втручання або обмеженого втручання людини. Такий цифровий моніторинг не тільки підвищує якість оцінки ризику, але також може надавати інформацію в режимі реального часу страхувальникам за їх ризикової поведінки та слугувати індивідуальним стимули для зниження ризику. Поєднання нових джерел даних - шлях для впровадження розширеного управління ризиками. Систем, які використовують інтелектуальну аналітику як основу для раннього втручання і запобіганню ризиків. Такі нові бізнес-моделі вже запущені або вже на горизонті. Вони включають як компанії, які пропонують індивідуальний страховий продукт, так і повністю цифрових страховиків (наприклад, Oskar, In Shared, Haven Life або Sherpa) [1].

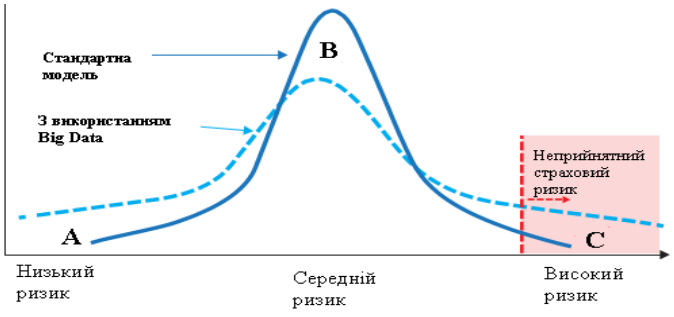



Рис. 1 Розподіл страхових ризиків

Посилення аналізу даних є вигідним як для страхувальників, так і їх клієнтів. Використання технологій Big Data дозволить страховикам краще розрізняти ризики. Цей процес проілюстровано на діаграмі (рисунок 1). Завдяки більш точному розподілу частка застрахованих як «Середній ризик» (B) буде зменшуватися вони будуть перекваліфіковані у «Низький ризик» (A) або «Високий ризик» (C). Таким чином у страхової компанії з'являється можливість зменшити розмір страхових премій для застрахованих з низьким ризиком і навпаки збільшити премії для застрахованих з високим ризиком. Такий перерозподіл розміру страхових премій дозволить знизити навантаження на тих клієнтів де ризик є низьким та більш ефективно виконувати свої зобов'язання перед клієнтами з високим ризиком. Тож використання технологій Big Data у страхуванні дозволяють клієнтам платити саме за той рівень захисту, який вони потребують, а страховим компаніям зробити свій ризик-менеджмент адекватним наявним ризикам.

Вже існує програма телематики «Progressive Insurance» (США), яка включає в себе продукт «Pay as You Drive» - пристрій встановлений в автомобілі застрахованого водія. Він збирає дані, такі як час дня, швидкість руху транспортного засобу і тенденції гальмування [3].

Звісно встановлення спеціального пристрою в кожен застрахований транспортний засіб пов’язане з певними витратами. Цю проблему можна вирішити шляхом встановлення спеціального програмного забезпечення на смартфон водія, що буде використовувати наявний GPS пристрій для визначення місцезнаходження транспортного засобу. Таким чином за допомогою мобільних додатків у смартфонах, смарт-годинників чи фітнес-трекерів можна збирати необхідну інформацію не тільки про транспортні засоби але і про людину. Такі данні є дуже важливими я в маркетингових цілях так і для страхування життя і здоров'я.

Використання технологій Big Data у сфері страхування здоров'я дозволить не тільки визначати ризик захворювання чи смерті для кожної людини окремо але і попередити їх. Маючи можливість одночасно обробляти інформацію про конкретну людину та накопичені системою охорони здоров’я статистичні дані можна з великою точністю передбачити ту чи іншу хворобу чи навіть її попередити. Смартфон чи інший носимий пристрій за допомогою відповідного програмного забезпечення зможе надавати певні рекомендації чи повідомити про необхідність відвідати лікаря. Страхова компанія може оптимізувати свої ризики, а клієнт отримати саме той рівень захисту який потрібен конкретно у його випадку.

Дослідження показують, що програми на основі способу життя, пов'язані з використанням носіїв, таких як «smart watches», стають все більш популярними. Ці програми впроваджують страховики, які збирають особисті дані окремих осіб, відстежують поведінку застрахованої особи, включаючи кількість виконаних кроків, кількість хвилин активності протягом дня, відпочинку і серцевого ритму і якість сну. Вони

призначені для позитивного впливу на поведінку страхувальника шляхом встановлення цілей і стимулів. Це також дає більш оптимальні страхові внески, які більш точно відображають ризик страхувальника. Дослідження показує [3], що 93% роздрібних клієнтів (в Австралії, Франції, Німеччині, Великій Британії та США) готові поділитися персоналізованими даними, якщо вони можуть заощадити гроші або отримати індивідуальні пропозиції.

Революція IoT та розвиток таких систем, як «Розумний будинок», відкривають нові можливості для оптимізації страхових ризиків і у напрямку страхування нерухомого майна. Головною метою таких систем є автоматизація будинку та побутової техніки. Але ці системи можна використовувати і для покращення захисту нерухомості. У такому «Розумному будинку» можна слідкувати за вологістю повітря, температурою, сейсмічною активністю, навантаження на електропроводку тощо. На підставі аналізу цієї інформації у разі необхідності автоматично будуть виконуватися певні дії (включення протипожежних систем, виклик аварійних служб та ін.). Також ці дані окрім попередження небажаних подій дозволять чітко визначити ризики, притаманні тому чи іншому об'єкту. Так, при страхуванні буде прийматися до уваги обладнаний об'єкт страхування такими системами чи ні, і в залежності від цього страхова премія буде збільшуватися або зменшуватися.

Звісно окрім переваг постійного збору даних виникає питання, як ця інформація буде використовуватися і чи не є це втручанням в особисте життя. У цьому питанні дійсно важливо саме як і для чого використовується зібрана інформація. Адже для того щоб страховій компанії правильно визначити ризики настання тої чи іншої події у конкретному випадку зовсім не потрібно слідкувати за кожним кроком людини. У тому ж прикладі з автомобілем нема потреби постійно слідкувати за його пересуванням. Достатньо мати дані про основні маршрути пересування. Маючі цю інформацію можна розрахувати ймовірність настання страхового випадку, використовуючи статистичні дані саме на цих маршрутах, а не в середньому по місту регіону чи країні. І ці ризики можуть суттєво відрізнятися впливаючи як на рівень захисту страхувальника так і на рівень страхової премії.

З метою групування отриманих даних за певними ознаками доцільно використовувати алгоритми ієрархічного поділу (partitioning algorithms). Ці алгоритми здійснюють декомпозицію набору даних, що складається з n спостережень, на $k$ груп (кластерів) із заздалегідь невідомими параметрами. При цьому виконується пошук центроїдів - максимально віддалених один від одного центрів згущення точок $C_k$ з мінімальним розкидом всередині кожного кластера [4]. Розглянемо приклад використання методу $k$ середніх Мак-Кіна ($k$-means clustering, MacQueen, 1967), в якому кожен з $k$ кластерів представлений центроїдом.

Страхова компанія «ABC» періодично купує списки водіїв із зовнішніх джерел. Актуарії в компанії «ABC» хочуть оцінити частоту потенційних претензій для цілей андеррайтинга. Для цього необхідно розділити водіїв, які є подібні один до одного, на групи відповідно до потенційного ризику. Після того, як водії будуть сегментовані, розмір вибірки потенційних клієнтів у кожному сегменті може бути використаний для оцінки частоти претензій. Результати цієї тестової оцінки дозволять актуаріям оцінити потенційний прибуток від потенційних клієнтів зі списку, як у цілому, так і для конкретних сегментів. Опис даних, які отримуються від постачальника, наведені в таблиці 1.

ТАБЛИЦЯ 1. ДАНІ ВОДІЇВ АВТОМОБІЛІВ

| Змінна | Тип змінної | Рівень вимірювання | Опис |
|---|---|---|---|
| Age | Неперервний | Інтервальний | Вік водія в роках |
| Car age | Неперервний | Інтервальний | Вік автомобіля в роках |
| Car type | Категоричний | Номінальний | Тип автомобіля |
| Gender | Категоричний | Бінарний | F = жінка, M = чоловік |
| Coverage level | Категоричний | Номінальний | Політика охоплення |
| Education | Категоричний | Номінальний | Рівень освіти |
| Location | Категоричний | Номінальний | Місце проживання |
| Climate | Категоричний | Номінальний | Клімат-код |
| Credit rating | Неперервний | Інтервальний | Кредитна оцінка водія |
| ID | Вхідний | Номінальний | Ідентифікаційний номер водія |

Для формування кластерів найчастіше використовують метод K-means. Розрахунки можна зробити за допомогою бібліотеки «cluster» мови R.

У таблиці 2 наведено принт-скрин результату кластеризації.

Відхилення означає середньоквадратичну помилку серед змінних кластерного стандарту відхилення, що дорівнює середньоквадратичній відстані між випадками в кластері. Під час процесу кластеризації значення обчислюється як значення між 0 та 1 для кожної змінної. Значення є мірою вартості заданої змінної для формування кластері. Як показано в таблиці 3, змінна "Gender " має значення 0, це означає, що ця змінна не використовувалась як розподіляюча змінна при розробці кластерів. Міра "Importance" вказує на те, наскільки добре кожна змінна розподіляє дані на класи. Змінні з нульовим значення не повинні бути виключені до процесу класифікації.

ТАБЛИЦЯ 2. ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛАСТЕРІВ

| Cluster | Frequency of Cluster | Maximum Distance from Cluster Seed | Nearest Cluster | Distance to Nearest Cluster | Credit Score | Car Age | Age | Gender | Location | Climate | Car Type | Coverage | Education |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 7 | 2.87 | 5 | 2.82 | 0.86 | 3.29 | 35.57 | 1.00 | 3.43 | 1.29 | 3.57 | 2.43 | 1.86 |
| 8 | 20 | 3.22 | 7 | 2.40 | 0.62 | 2.15 | 46.65 | 0.65 | 2.80 | 2.55 | 2.25 | 2.85 | 1.85 |
| 7 | 22 | 3.25 | 2 | 2.25 | 0.65 | 2.73 | 24.59 | 0.27 | 1.95 | 2.09 | 1.45 | 2.36 | 2.27 |
| 6 | 21 | 3.38 | 4 | 2.41 | 0.81 | 6.52 | 35.19 | 0.43 | 2.00 | 1.48 | 1.67 | 1.19 | 1.76 |
| 5 | 33 | 3.41 | 4 | 2.37 | 0.82 | 3.00 | 32.79 | 0.58 | 3.82 | 2.33 | 2.03 | 2.39 | 3.03 |
| 4 | 18 | 3.83 | 5 | 2.37 | 0.59 | 5.17 | 34.44 | 0.39 | 3.50 | 1.83 | 2.72 | 1.44 | 2.56 |
| 3 | 7 | 3.21 | 7 | 3.14 | 0.46 | 8.00 | 20.57 | 0.43 | 3.57 | 2.43 | 1.14 | 1.43 | 2.00 |
| 2 | 18 | 3.38 | 7 | 2.25 | 0.56 | 3.56 | 26.00 | 0.28 | 2.89 | 2.67 | 1.28 | 2.28 | 1.39 |
| 1 | 27 | 3.40 | 5 | 2.55 | 0.75 | 2.37 | 44.15 | 0.07 | 2.04 | 1.52 | 3.30 | 2.70 | 3.00 |

ТАБЛИЦЯ 3. ВАЖЛИВІСТЬ ЗМІННИХ

| Name | Importance |
|---|---|
| GENDER | 0 |
| ID | 0 |
| LOCATION | 0 |
| CLIMATE | 0 |
| CAR_TYPE | 0.529939 |
| COVERAGE | 0.363972 |
| CREDIT_SCORE | 0.343488 |
| CAR_AGE | 0.941952 |
| AGE | 1 |
| EDUCATION | 0.751203 |

Кластерний аналіз може бути використаний для покращення страхування від нещасних випадків шляхом сегментування баз даних у більш однорідні групи ризику. Однорідну групу можна досліджувати, аналізувати та моделювати. Сегменти за типом змінних, що асоціюються з факторами ризику, прибутком або поведінкою, часто забезпечують різкі контрасти, які буде легше тлумачити. Як результат, актуарії можуть більш точно передбачити ймовірність вимог та суму позову [5].

Нарешті, ідентифікатор кластера для кожного спостереження може бути переданий іншим вузлам для використання як вхідної, ідентифікаційної, групової або цільової змінної. Наприклад, можна сформувати кластери на основі різних вікових груп, на які націлений страховий агент. Потім можна створити прогнозні моделі для кожної вікової групи, передаючи змінну кластера як групову змінну до моделюючого вузла [6].

## X. ВИСНОВКИ

Використання технологій Big Data відкриває великі перспективи використання у всіх сферах людського життя і в страхуванні зокрема. Використання великої кількості додаткових характеристик клієнтів дозволить ще точніше враховувати ризики та за рахунок використання більш адекватної моделі страхування забезпечити бажаний рівень діяльності страхової компанії.

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Big Data and Insurance:Implications for Innovation, Competition and Privacy March 2018.

[2] Колчинский И.Г., Корсунь А.А., Родригес М.Г. Астрономы: Биографический справочник. — 2-е изд., перераб. и доп.. — Киев: Наукова думка, 1986. — 512 с.

[3] The Impact of Big Data on the Future of Insurance Green Parer November 2016

[4] В.К. Шитиков, С.Э. Мастицкий “Классификация, регрессия и другие алгоритмы Data Mining с использованием R”- Тольятти, Лондон – 2017.

[5] “Applying Data Mining Techniquesin Property/Casualty Insurance” Lijia Guo, Ph.D., A.S.A. University of Central Florida.

[6] A.B. Devale and Dr.R.V. Kulkarni “Applying Data Mining Techniquesin inlife insurance” - International Journal of Data Mining & Knowledge Management Process (IJDKP) Vol.2, No.4, July 2012.

# Дослідження Алгоритмів Обробки Сигналів в Інтелектуальних Радіолокаційних Комплексах

Ігор Малицький
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
ihor.malytskyi@nure.ua

Ігор Шубін
кандидат технічних наук, професор
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
igor.shubin@nure.ua

# Research of Algorithms of Signal Processing in Intelligent Radar Systems

Igor Malytskyi
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
ihor.malytskyi@nure.ua

Igor Shubin
PhD, associate professor
Department of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
igor.shubin@nure.ua

***Анотація*—Вирішена науково-практична задача підвищення ефективності обробки сигналів в інтелектуальних радіолокаційних комплексах шляхом створення методу, моделей та інформаційної технології семантичної обробки сигнальної інформації. Створено спектрально-семантичну і просторово-семантичну моделі обробки радіолокаційних сигналів.**

***Abstract*—The scientific and practical task of increasing the efficiency of signal processing in intelligent radar systems is solved by creating a method, models and information technology for semantic processing of signal information. Spectral-semantic and space-semantic models of radar signal processing were created.**

***Ключові слова—інтелектуальний радіолокаційний комплекс, компараторна ідентифікація, обробка та розпізнавання сигналів, просторово-семантична модель, спектрально-семантична модель***

*Keywords—**intellectual radar complex, comparator identification, radar signal processing, spatial-semantic model, spectral-semantic model.***

## I. Вступ

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій характеризується доцільністю створення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, які визначають здатність людини до сприйняття змістовної сторони явищ або процесів та врахування її в процесі прийняття рішень. Розробка інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень є особливо важливою для таких технологічних систем, як, наприклад, системи моніторингу радіолокації повітряного простору, системи управління рухомими об'єктами, системи медичної діагностики тощо.

## II. Стан вирішення проблеми

Перспективою розвитку існуючих технологій збору й обробки інформації є використання статистичних методів для змістовного аналізу інформації стосовно зорового сприйняття сигналів і сигнальних образів та опису складних планів поведінки в динамічних середовищах. Це обумовлює вдосконалення процедури автоматизованої обробки сигнальної інформації до логіки людини, що дозволить підвищити працездатність технологічних систем, зокрема в інтелектуальних радіолокаційних комплексах. Інтелектуальний радіолокаційний комплекс – це сукупність радіолокаційної станції (РЛС) та інших пристроїв, об'єднаних для спільної роботи і заснованих на технології обробки сигналів, яка використовує базу знань та семантичну складову процесу. Визначено, що на теперішній час перспективною є розробка моделей, методів та інформаційної технології обробки сигналів і їх образів з метою застосування в інтелектуальних радіолокаційних комплексах [1, 2].

Отже, науково-практична задача підвищення ефективності обробки сигналів в інтелектуальних радіолокаційних комплексах шляхом створення методу, моделей та інформаційної технології семантичної обробки сигнальної інформації є актуальною.

Метою дослідження є підвищення ефективності обробки сигналів в інтелектуальних радіолокаційних комплексах шляхом створення методу, моделей та інформаційної технології семантичної обробки сигнальної інформації. Перспективи розвитку існуючих радіолокаційних комплексів полягають у підвищенні рівня автоматизації процесів обробки даних, у тому числі в системах класифікації та радіолокаційного розпізнавання повітряних об'єктів за спектральним образом. Наряду з цим доцільно вдосконалити технології обробки сигналів, коли об'єкти та їх відображення пов'язані складними логічними залежностями, що наближує процедури сприйняття й аналізу сигналів до логіки людини. Проведено аналіз можливостей використання математичного апарату алгебри предикатів для формалізації процесів сприйняття та аналізу сигналів.

На підставі критичного аналізу існуючих невирішених проблем і задач автоматизації обробки сигналів сформульовані й обґрунтовані цільові задачі роботи [3].

## III. Основні методи для вирішення задачі

. присвячено розробці методу формалізації процесів сприйняття й перетворення сигналів і сигнальних образів, а також побудові просторово-семантичної моделі формування й аналізу зорових картин сигналів.

Для формування картини позиційної поведінки сигналів від повітряних об'єктів та завад запропоновані наступні основні операції алгоритму багатооглядової обробки радіолокаційних сигналів та інформації: формування елементів зони огляду РЛС, карти інтенсивності сигналів з урахуванням багатооглядової поведінки сигналу в кожному елементі обробки; формування елементів зони огляду РЛС, карти предикатів подій наявності, повтору в цьому елементі, повтору в сусідніх елементах і виходу сигналу з елемента обробки на основі міжоглядового зіставлення карти інтенсивності відміток і предикатів подій.

Ступінь формалізації процесів сприйняття та перетворення сигналів визначається семантичною складовою. Процес обробки сигналів і сигнальних образів визначений як дія при компараторній ідентифікації. Компаратор – це перетворювач із *m* входами, якими є внутрішні стани інтелектуальної системи та виходом, що є двійковою реакцією компаратора

Семантичні складові зображення картини радіолокаційної обстановки навколо аналізованого у відповідний момент елемента зони огляду РЛС описуються за допомогою предикатних ознак. Предикатні ознаки для кожного елемента обробки, запам'ятовуються в оперативній пам'яті разом із величинами сигналів у міру надходження поточної радіолокаційної інформації. Значення ознак залишаються незмінними або змінюються залежно від поведінки сигналу в елементі обробки й у прилеглих до нього елементах. За результатами аналізу динаміки поведінки предикатних ознак із плином часу приймається рішення про виявлення відмітки об'єкта в елементі обробки. Предикатна ознака формування трасового сліду сигнальної відмітки має вигляд предикатного рівняння. де номери елементів зображення трасового сліду щодо аналізованого елемента, визначаються розв'язуванням систем предикатних рівнянь покрокової перевірки наявності складових трасового сліду сигнальних відміток, та приймає значення залежно від швидкості повітряних об'єктів. На *першому* кроці складається предикатне рівняння шляхом порівняння ознаки наявності сигналу в центральному елементі підматриці або вікна аналізу з сусідніми 8-ма елементами попарно на можливість наявності в них предикатної ознаки. Шляхом розв'язування рівняння знаходяться значення поруч розташованого елемента обробки з предикатною ознакою, що відподна до відходу відмітки з елемента обробки. На *другому* кроці при складанні предикатного рівняння для знаходження наступного номера враховується напрямок трасового сліду (напрямок руху повітряного об'єкта), що позначився на першому кроці. При перевірці у вертикальному або горизонтальному напрямках номера елементів для перевірки визначаються, далі проводиться перевірка в діагональних напрямках, коли, перевіряються елементи, де номери формуються з урахуванням знаків [4].

Тоді для визначення застосовуються предикатні рівняння. У результаті вирішення системи предикатних рівнянь знаходяться всі значення і визначається напрямок трасового сліду. Запропонована модель дозволяє на основі інформації про поведінку сигналу в кожному аналізованому елементі обробки й предикатів подій (ознак) відрізняти об'єкт від завади не за перевищенням порога, а в результаті аналізу кваліфікаційних ознак, що є найбільш ефективним при виділенні слабких луна-сигналів малопомітних об'єктів [5].

Також в практичній реалізації розроблено модель класифікації повітряних об'єктів за спектральним образом. Для ідентифікації типів спектра вводяться предикати-ознаки, за їх поєднанням будь-який спектр однозначно співвідноситься з одним із типів згідно з розробленим рівнянням предикатних операцій. Запропоновано використовувати не тільки енергетичну ознаку перевищення порогу, а і логічну інформацію розпізнавання обстановки шляхом аналізу спектральних картин завад навколо елемента оброки. Розроблено інтелектуальну адаптивну систему виявлення малорозмірних повітряних об'єктів, основану на поєднанні сигнального та логічного спектрального аналізу з адаптацією параметрів виявлення до статистики та типу спектра завад.

Досліджується множина, що складається із значень спектральних складових, та деяка з її підмножин, спектральні складові якої перевищують порогове значення. Кожному типу спектра, відповідає певна комбінація нулів і одиниць у предикаті. Наприклад, тип 1 проявляється у вигляді єдиної групи одиниць серед всіх інших нулів. Для типу 2 характерними є дві групи

одиниць, кількість нулів між якими менше або дорівнює двом. Для ідентифікації типів спектра вводиться система ознак, чутлива до кількості й нерозривності нулів та одиниць у предикаті. Предикат перетворюється в інший вид предиката, де, побудованого на множині, елементи якої визначаються шляхом підсумовування за модулем два кожного елемента з суміжним елементом.

Для аналізу типів спектра використовується арифметична сума [6, 7]. Аналіз можливих значень $\Phi$ для різних типів спектра показує, що для одиночної групи одиниць у множині $F$ результат підсумовування завжди дорівнює двом, незалежно від ширини піка. Для двох віддалених один від одного піків результат такої операції дорівнює чотирьом, для трьох піків – шести тощо.

На підставі отриманих закономірностей вводяться ознаки $L$, що дозволяють відрізняти спектри за кількістю груп одиниць і розривності нулів між ними. Для визначення кількості піків вводиться ознака, верхній індекс якої вказує на наявність у предикаті спектральних піків.

Однією з причин низької ефективності систем виявлення малопомітних цілей є мала величина відношення сигнал/завада. Для покращення розпізнавання радіолокаційних сигналів запропоновано використовувати адаптивну вагову обробку образу спектра. Адаптація вагових коефіцієнтів корекції спектрального образу здійснюється на основі інформації, одержаної в низькочастотних спектральних каналах. Підставою для такого підходу є експериментально виявлена закономірність наявності широкого спектра сигналів заважаючих відбиттів ангел-луна, що охоплює «хвостом» високочастотну частину спектра, в якій переважно з'являється відбиття корисного сигналу рухомого об'єкта. В адаптивній системі поріг виявлення для кожної комірки дальності визначається за допомогою розробленого алгоритму.

На першому етапі алгоритму реалізується внутрішньооглядова обробка на основі спектрально-семантичної моделі. На другому етапі для об'єктів, класифікованих як ангел-луна або повітряні об'єкти, проводиться міжоглядова обробка, в основі якої лежить просторово-семантична модель. Остаточне рішення стосовно ідентифікації типу об'єкта приймається на підставі вирішення рівняння ідентифікації трасового сліду.

Верифікацію запропонованої інформаційної технології виконано методом імітаційного моделювання. Модель побудовано шляхом визначення сукупності числових значень, які для типів спектру визначаються як багатовимірна величина реального сигналу з накладенням випадкової складової. Значення, що представляють об'єкт або явище, надходять на вхід блоку аналізу, в якому визначається належність сигналу до одного з класів.

Апробація просторово-семантичної моделі формування й аналізу зорових картин сигналів, що змінюються в часі й просторі, проведена відповідно до правила, якщо: 1) відмітці відповідають предикатні ознаки $Z_n$ або $Z_{nc}$ або їх сукупність, то відмітка належить до класу ангел-луни об'єктів; 2) відмітці відповідає предикатна ознака $Z_y$ одна або в сукупності з ознаками $Z_n$ і $Z_{nc}$, то відмітка належить до класу повітряних об'єктів

## IV. Висновки

В результаті проведеного дослідження сформульовано й обґрунтовано перспективність використання моделей, методів і технології обробки сигналів в інтелектуальних радіолокаційних комплексах. Розроблено метод формалізації і функціонально-семантичної обробки сигналів на основі застосування алгебри скінченних предикатів і компараторної ідентифікації для моделювання діяльності експерта при обробці й аналізі радіолокаційних сигналів і зображень, що дозволяє суттєво зменшити обсяг переданих даних про сигнали. Створено просторово-семантичну модель аналізу зорових картин сигналів, що змінюються в часі й просторі, яка полягає в зіставленні карти інтенсивності сигнальних відміток на основі інформації про поведінку сигналу в кожному аналізованому елементі обробки й предикатів подій, що дає змогу класифікувати об'єкти на основі аналізу кваліфікаційних ознак та розроблено інформаційну технологію обробки сигналів на основі спектрально-семантичної і просторово-семантичної моделей.

Проведено верифікацію розробленого методу, моделей та інформаційної технології шляхом математичного моделювання, яка показала перевагу запропонованих засобів обробки сигналів над існуючими методами.

## Література References


[1] Bondarenko M (2007). Teoriya Intellekta / M.F. Bondarenko, Yu.P. Shabanov-Kushnarenko. Kharkiv.: «CMIT», 2007. – 221 p.

[2] Bondarenko M (2005). Algebra Predikatov i Predikatnykh Operaciy / M. Bondarenko, Z. Dudar, Yu.P. Shabanov-Kushnarenko // Radioelectronics & Informatics. – Kharkiv: KhNURE, 2005. – № 1. – pp. 80–87

[3] Solonska S.V.(2005) Intellectual multisurvey processing of radar information / V. V. Zhirnov, S. V. Solonska // Proceedings 6th International Conference on Antenna theory and techniques. – К. : НТУУ «КПИ», 2005. – С. 341-343.

[4] Солонская С. В. (2014) Использование алгебры предикатов для распознавания воздушных объектов по радиолокационному спектральному изображению / С. В. Солонская, В. В. Жирнов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків , 2014. – № 6/9(72) – С. 4-9.

[5] Kuzikov B. Programne Zabezpechennya Dlya Pobudovy Individualnih Navchalnyh Traektorij / B.O.Kuzikov // Informatika, Matematika, Avtomatika : Materialy ta programma naukovo-tekhnichnoi konferencii, 2012, Sumy. –: SumDU , 2012. –pp. 54-55.

[6] Shubin I., Karmanenko O., Umyarov K . (2015) The Methods of Adaptation in Computer-Based Training Systems // (ITIB 2015) – Kharkiv, 2015. – S 64-67

[7] Shubin I., Kirichenko I. (2016) Informatsionnye Technologii Modelirovaniya Adaptivnyh System Obucheniya // Matherials of The 5Th Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Informatsionnye sistemy i tehnologii ICT-2016», Kharkiv, 2016 – S. 244-245.

# Секція 7. Комунікаційні, GRID та хмарні технології

# Section 7. Communication, GRID and cloud technologies

# Академическая Технология Изучения Облачных Сервисов IBM Cloud в ХНУРЭ

Владимир Саенко
кафедра информационных управляющих систем
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
vladimir.sayenko@nure.ua

# Academy Education Technology On Study Of IBM Cloud Services at KhNURE

Vladimir Sayenko
Information Control System Department
Kharkov National University of Radioelectronics
Kharkov, Ukraine
vladimir.sayenko@nure.ua

***Аннотация*—Рассмотрены вопросы формирования образовательных технологий в области интенсивного изучения облачных сервисов. Предлагается образовательная технология для университетов. Эта технология предоставляет интенсивный процесс обучения. Технология позволяет студентам изучать облачные технологии за короткое время. Технология помогает разработать облачное приложение и получить академический сертификат. В качестве базовой облачной платформы была выбрана IBM Cloud.**

***Abstract*—The issues of education technologies on intensive cloud service study are considered. An educational technology for universities is proposed. This technology provides an intensive learning process. The technology allows students to study cloud technologies in a short time. It helps to develop a cloud application and get an academic certificate. As a basic cloud platform has been chosen IBM Cloud.**

***Ключевые слова—облачные технологии, Cloud приложения, электронное обучение, сертификация, образование в университете, академическая подготовка***

***Keywords—cloud technologies, Cloud applications, e-learning, certification, university education, academic training***

## I. Введение

В университетском образовании есть существенное различие между изучением фундаментальных наук и прикладных. Изучение и формирование навыков работы с информационными технологиями занимают особенную нишу и требует новых дидактических подходов [1]. Такое положение обусловлено высокими темпами развития этих направлений. По новым технологиям учебников нет, методических материалов нет. Все осваивается «с колес». Одним актуальных направлений являются Облачные технологии. Все новые и новые технологии и облачные сервисы становятся неотъемлемой частью современных информационных систем, все больше проникая в разные сферы деятельности социума [2].

Потребность в специалистах, имеющих опыт работы в облачной среде растет. Умение и знание студентами облачных технологий свидетельствует не только об их хорошей квалификации, но и способствует большей заинтересованности работодателей [3]. Одновременно с этим повышается имидж университета.

Основные положения для университета таковы: необходимо осваивать облачные платформы, необходимо организовать учебный процесс так, чтобы он успевал за развитием облачных платформ. Эти положения позволили сформулировать набор необходимых задач: выбор базовой платформы для изучения в учебном процессе, обеспечение обратной связи с разработчиками сервисов, формирование дифференцированного подхода к изучению платформы, создание мотивационных условий разработки новых приложений.

Предлагаемые результаты являются обобщением дидактического опыта Харьковского университета радиоэлектроники по организации учебного процесса при изучении облачных технологий [4].

## II. Концептуальное Описание Образовательной Технологии Активного Изучения IBM Cloud

### A. *Общие положения*

Для реализации учебного процесса по подготовке студентов в области облачных сервисов была разработана образовательная технология.

Технология состоит из 10 этапов (рис. 1).

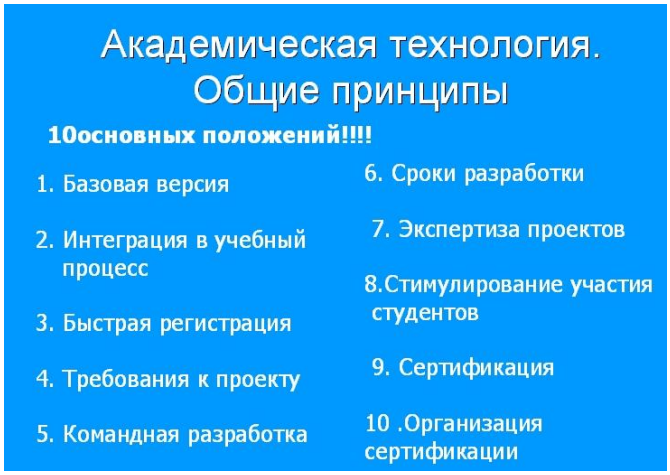



Рис. 1. Академическая технология

### B. *Этап 1. Базовая версия*

Первый этап – выбор базовой облачной платформы.

Cloud технологии сегодня становятся самыми популярными и востребованными. Уже существует значительное число Cloud систем с Public доступом. Все системы коммерческие, но уровень цен на ресурсы различен

К основным игрокам этого рынка услуг относятся Amazon Web Services (AWS), Microsoft (Azure), Google (Cloud Platform), IBM (IBM Cloud), Salesforce (Service Cloud), DigitalOcean. Это лидеры в области облачных сервисов. И, если с коммерческой точки зрения Amazon опережает всех, то с точки зрения удобства использования для академических программ все обстоит по-другому.

Для университетов наиболее адаптированными оказались два решения: Azure (Microsoft) [5], IBM Cloud [6].

В результате реального опыта работы мы остановились на выборе IBM Cloud. Платформа IBM Cloud – это набор специальных информационных сервисов с категорией облачного доступа. В целом IBM Cloud предлагает все основные облачные сервисы инфраструктуру как услугу (IaaS), программное обеспечение как услугу (SaaS) и платформу как услугу (PaaS). Реализация доступа к сервисам может быть через общедоступные, частные и гибридные реализации платформы.

Этот сервис дает большое разнообразие академических технологий и пока много свобод. Для получения соответствующих льгот необходимо чтобы университет был академическим партером IBM. Участие в Академической программе осуществляется через OnTheHub. В результате получаем промокоды на доступ к IBM Cloud на180 дней для студента и 360 для преподавателя. К достоинствам академического сотрудничества с IBM можно отнести наличие эффективной оперативной консультационной помощи и предоставления возможности получения для студентов «академических сертификатов». Этого у Microsoft нет.

Мы выбрали IBM Cloud, но все предлагаемые этапы технологии справедливы для любой другой платформы. Для университетов рекомендуем рассматривать MS Azure, AWS, Google Cloud.

### C. *Этап 2. Интеграция в учебный процесс*

Основные вопросы этого этапа – как интегрировать изучение технологий IBM Cloud в учебный процесс? К каким дисциплинам привязать? Мы пошли по простому пути. Дисциплины выбирались тем преподавателем, который инициативно продвигал эти технологии в университете. Поэтому наши рекомендации – можно выбирать любые ИТ дисциплины. В нашем случае было выбрано две дисциплины: «Компьютерные сети (3 курс)», «Оптимизация компьютерных сетей (5 курс)».

Чтобы не менять сложившуюся структуру дисциплины – работу переводим в категорию «Самостоятельной работы», но с обязательной отчетностью и назначением баллов (у меня аттестация по результатам накопления баллов в течение семестра). Все корректно с точки зрения общей нагрузки.

## III. Дидактические Особенности Реализации Образовательной технологии

Следующие этапы составляют основу дидактического подхода продвижения данного вида учебного процесса.

### A. *Этап 3. Быстрая регистрация*

Наш основной вопросы этого этапа – регистрация в информационном пространстве IBM для получения доступа к облачным ресурсам. Чтобы получить доступ к ресурсам, надо иметь промокод.

Таким образом, процедура получения доступа к ресурсам (для студента) состоит из нескольких этапов:

- регистрация со статусом «студент ХНУРЭ» (свой университет) и получение промокода;
- регистрация аккаунта IBM Cloud;
- активация промокода.

Основные требования: - ваш университет должен быть членом программы IBM Academic Initiative; у вашего университета должна быть корпоративная почта в своем домене; каждый студент должен иметь адрес электронной почты в этом домене и вы тоже; вы должны зарегистрировать свой университет на сайте OnTheHub.

Для упрощения процесса регистрации нами была разработана детальная инструкция (электронный документ и видеоролик). После регистрации студент получает не менее 180 - 220 дней.

*B. Этап 4. Требования к проекту*

Этот этап определяет формирование рациональных требований для разработки студенческого облачного проекта. Требования должны обеспечивать уменьшение трудоемкости разработки.

Используем принцип активного изучения: предлагаем им сразу сделать проект. Любой по сложности. Главное – создать облачное приложение. Требований к сложности проекта – нет. Лишь бы работало и было полезно для кого-то. При этом никаких лекций не проводится. Все выносится на самостоятельную проработку. Главное не программистские решения, а облачные технологии.

Чтобы облегчить создание проекта, было предложено четыре пути:

*1) Имеющиеся наработки:* можно использовать свой сайт из уже разработанных ранее и разместить его на облачном ресурсе.

*2) Репозиторий:* Можно взять что-то из репозитория Git, изменить для своих целей. Обязательно при этом указать, где и что взято.

*3) Облачные сервисы:* Можно сделать проект на основе примеров с использованием IBM Cloud сервисов (распознавание речи, изображений, перевод и т.п).

*4) Шаблоны:* Можно сделать небольшой проект по предлагаемому примеру в виде видео ролика.

В каком виде необходимо сдавать полученное задание?

*a) Ссылка на работающий проект.*

*b) Краткий отчет о проекте (строго по шаблону) на 3 страницы.*

*c) Видео ролик на youtube – демонстрация работы с проектом.*

При таком подходе и самый слабый студент все сделает, и для самого сильного студента найдется поле творчества.

Пример окончательного отчета и пример видеоролика представлены на ресурсах Google Disk [7], [8].

*C. Этап 5. Командная разработка*

Студентам предлагается самим формировать команды и распределять роли. «Тунеядцев» нет – они отпадают. Студенты подают заявку в начале всего этапа на состав группы. Потом можно состав менять, если кто-то оказывается лишним. Вдвоем–втроем уже можно любую проблему разобрать. Друг с другом советуются и спорят. А если, кто-то хочет разрабатывать все сам – не вопрос. Такие прецеденты тоже были.

В итоге создается не только хороший проект, но и студенты приобретают полезные навыки: реальная работа в команде, распределение сил, планирование работ.

Что требуется от преподавателя? Обязать студентов быстро сформировать группы

Пример, группа разработки С602 (С- технология Cloud, 6- порядковая группа в потоке КН-14-6, 02- группа разработки). В этой же таблице отмечаю факт несогласованности группы и потом в колонке RegCloud отмечаю факт регистрации группы на сайте IBM Cloud. Это необходимо для старта проекта. Сроки формирования групп жесткие. Никого не ждем.

*D. Этап 6. Сроки разработки*

Установление сроков - это очень важный вопрос. Самое важное, чтобы дата завершения проекта была не менее, чем за месяц до начала сессии. Устанавливаем дату старта. Это факт регистрации команды на сайте. На это даю 1 неделю. Студенты присылают подтверждение в виде скрина основного интерфейса IBM Cloud при входе. Кто не уложился в сроки, получает штрафные баллы. Далее стартуем разработку проектов. Срок 1 месяц. Это задание стараюсь дать так, чтобы оно заканчивалось за 2 месяца до экзаменов. Т.е., если экзамены в июне, то разработка в марте-апреле. И еще будет запас до середины мая. В обычной учебной практике, сколько бы времени ни давали, студенты все равно будут делать в последние дни. А в этом задании так не получится. Чтобы снять стресс от нарушения сроков, им разрешается их продлевать по заявке. При этом срок переноса указывается (обычно это еще одна неделя). В итоге все, так или иначе, приходят к успешному завершению

*E. Этап 7. Экспертиза проектов*

Процедуру экспертизы представляем в виде 2 этапов.

*1) Этап 1:* Команды завершили разработку проектов и присылают отчеты. Далее проверяем точность выполнения задания: наличие отчета – описания, наличие работающей ссылки, наличие видеоролика. Результаты заносим в таблицу.

*2) Этап 2:* Экспертное оценивание.

*a) Первичное оценивание:* Проверяем предварительно качество отчета: соответствие форме шаблона (оценка в таблице).

*b) Экспертная группа:* Создаем экспертную группы из числа преподавателей (всего 3 человека).

*c) Сортировка:* Просматриваем все проекты и сортируем их по группам.

Анализ проектов показал, что в итоге все проекты можно разделить на несколько групп: игры, демо, полезные системы.

*d) Оценивание:* Далее для каждого проекта выставляем оценки.

*F. Этап 8. Стимулирование студентов*

Важный шаг – стимулирование студентов при заключительной оценке результатов.

Была выбрана бальная система. Все баллы заранее известны. Студенты точно знают, что за проект получают достаточно высокие баллы.

Студенту предлагается следующая система:

*1) Сдача в срок:* фиксированные баллы, определяемые текущей системой общего оценивания по дисциплине - «5» по пятибалльной системе

*2) Сдача досрочно:* дополнительные баллы.

*3) Сдача после срока:* оценка не выше «3» по пятибалльной системе.

*4) Победители:* Верхние позиции в номинации «Лучший проект» (дополнительные баллы)

*5) Участие в сертификационной программе:* дополнительные баллы.

Такая система позволяет студенту оценить, какой этап проходить, какой нет.

Получаем первый итог - все студенты получили навык простейшей работы с облачными ресурсами IBM Cloud.

### *G. Этап 9. Сертификация*

Сложный вопрос для студента – зачем нужен сертификат? Мой опыт показал, что студенты в зависимости от своего отношения к этому вопросу делятся на три группы: (1) те, кто точно знают, что сертификат нужен и полезен; (2) те, кто считает, что сертификат вообще не нужен; (3) те, кто не определился с ответом на вопрос.

Прежде всего, студентам необходимо пояснить, а зачем ими этот сертификат нужен. Ответ прост – он нужен, как свидетельство, что они что-то знают по определенной тематике.

Очень важно правильно организовать процесс тестирования для сертификации, чтобы он не был формальностью. Только те бригады, которые сделали хорошие проекты (с высоким рейтингом в номинации «Лучший проект») допускаются к этой программе.

Далее участникам предлагается написать два вида сочинений на английском языке:

*a) Обзор:* свое видение на развитие использования облачного сервиса на тему «Сервисы IBM Cloud» (каждый персонально, 2-3 страницы).

*b) Отзыв разработчика:* описание процесса разработки приложения и описания тех сложностей, с которыми они столкнулись (отчет на бригаду). Должно быть представлено описание всех трудностей, багов, проблем при разработке проекта и интеграции его на IBM Cloud. Разные были случаи, например, что-то было невозможно нормально настроить на IBM Cloud. Хотя этот же проект на MS Azure разворачивался без каких-либо проблем. Этот отчет пишется на русском и английском языках.

Статистика показала, что только 10-20 % переходят к этапу сертификации.

### *H. Этап 10. Организация сертификации*

Это двух этапная процедура со своими сроками. Те, кто не уложится в эти сроки, а обычно все происходит на фоне близости сессии, те не попадают на процедуру сертификации.

Первый этап - студенты готовят полный комплект документов.

Второй этап - преподаватель проверяет отчеты студентов и готовит заявку и итоговый отчет для регионального офиса IBM.

Итак, что же в итоге должен сделать студент на допуск к сертификации?

*1) Полезность:* Проект должен быть полезным и понятным. Все должно работать.

*2) Форма:* Должен быть представлен отчет о проекте (я даю шаблон на 3-4 страницы).

*3) Ролик:* Должен быть разработан видео ролик.

*4) Обзор:* не компиляция из Интернет, авторская работа.

*5) Отзыв разработчика.*

Все отчеты проверяются и в виде полного суммарного отчета отправляются в региональный офис IBM согласно принятому шаблону. Далее ожидаем подтверждения от филиала IBM и сертификаты.

## IV. Выводы

Предложена образовательная технология активного изучения возможностей использования сервисов IBM Cloud. В рамках технологии студент получает возможность ознакомиться с сервисами IMB Cloud. Результатом использования технологии является разработка проекта – облачного приложения и получения студентом сертификата IBM. Технология получила апробацию в Харьковском национальном университете радиоэлектроники (кафедра Информационных управляющих систем, специальность «Компьютерные науки»).

Окончательный итог. Студент получил сертификат и освоил престижный сервис. Преподаватель получил свои баллы и уважение. Руководство с удовольствием торжественно вручило сертификаты студентам. Кафедра получила свои бонусы престижности вместе с университетом. В департаменте IBM смогли отчитаться в успешном использовании университетах технологий, а отделы маркетинга получили будущих потенциальных потребителей Cloud сервиса. Вроде бы все стройно и согласовано.

## Литература References


[1] Прохорова М.П., Семченко А.А. Концептуальные основы реализации инновационного развития педагогического образования // Вестник Мининского университета. – 2015. – № 4. – С. 14.

[2] Легезо Д., Мзюко В. Облачные технологии \ Ведомости. Касперский. 2018 [Online]. Available: http://kaspersky.vedomosti.ru/tehnologii/cloud

[3] Ваганова О.И., Дворникова Е.И., Кутепов М.М., Лунева Ю.Б., Трутанова А.В. Возможности облачных технологий в электронном обучении // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 6-2. – С. 183-187

[4] Партнерство IBM+ ХНУРЭ \ [Online]. Available: https://sites.google.com/a/nure.ua/ibm/

[5] Нимин В. Windows: время прощаться. Блог mobile-review. 2018 [Online]. Available: https://mobile-review.com/articles/2018/windows.shtml)

[6] IBM Bluemix в университетах: примеры реализованных проектов от студентов и преподавателей, Блог компании IBM, 2017. [Online]. Available: https://habr.com/company/ibm/blog/331868/

[7] Пример отчета, 2018 [Online]. Available: https://drive.google.com/a/nure.ua/file/d/0B3LpEtZG9wX6REhLYlU0QzJqa2c/view?usp=sharing

[8] Пример видеоролика , 2018. [Online]. Available: (https://youtu.be/zlWGEk39_Rc).

# Дослідження Технологій Формування Інфраструктури Комп'ютерної Мережі З Хмарними Сервісами

Володимир Саенко
кафедра інформаційних управляючих систем
Харківський національний університет
радіоелектроники
Харків, Україна
vladimir.sayenko@nure.ua

Дмитро Зьомша
кафедра інформаційних управляючих систем
Харківський національний університет
радіоелектроники
Харків, Україна
dzyomsha@yandex.ru

# Study On Design Technologies For Computer Network Infrastructure With Cloud Services

Vladimir Sayenko
Information Control System department
Kharkov National University of Radioelectronics
Kharkov, Ukraine
vladimir.sayenko@nure.ua

Dmitry Ziomsha
Information Control System department
Kharkov National University of Radioelectronics
Kharkov, Ukraine
dzyomsha@yandex.ru

***Анотація*—Розглянуті питання інтеграції хмарних сервисів у інфраструктуру комп'ютерній мережі. У якості базового рішення розглядається інфраструктура на основі Windows Server 2016 та Azure Cloud. Різні варіанти хмарних архітектур забезпечують гнучкість та відмовостійкість системи.**

***Abstract*—The questions on integration cloud services into computer network infrastructure are considered. Windows Server 2016 and Azure Cloud are chosen as a basis for the infrastructure. Various options for cloud architectures provide the flexibility and resiliency of the system.**

***Ключові слова—хмарні технології, Cloud додатки, мережева інфраструктура, хмарні сервіси, впровадження хмарних технологій.***

***Keywords—cloud technologies, Cloud applications, network infrastructure, cloud services, implementation of cloud technologies.***

## I. Вступ

Суть концепції хмарних технологій полягає в наданні кінцевим користувачам віддаленого динамічного доступу до послуг, обчислювальних ресурсів і додатків (включаючи операційні системи та інфраструктуру) через інтернет. Розвиток сфери хостингу було обумовлено великою потребою в програмному забезпеченні і цифрових послуг, якими можна було б управляти зсередини, але які були б при цьому більш економічними і ефективними за рахунок економії на масштабі [3].

Обчислювальні хмари складаються з тисяч серверів, розміщених в дата-центрах, що забезпечують роботу десятків тисяч додатків, які одночасно використовують мільйони користувачів. Неодмінною умовою ефективного управління такою великомасштабною інфраструктурою є максимально повна автоматизація.

Концепція хмарних обчислень значно змінила традиційний підхід до доставки, управління та інтеграції додатків. У порівнянні з традиційним підходом, хмарні обчислення дозволяють керувати великими інфраструктурами, обслуговувати різні групи користувачів у межах одної хмари, а також означають повну залежність від провайдера хмарних послуг. Хмарні обчислення - це ефективний інструмент підвищення прибутку і розширення каналів продажів для незалежних виробників програмного забезпечення (ISV) [3], операторів зв'язку та VAR-посередників (у формі SaaS). Цей підхід дозволяє організувати динамічне надання послуг, коли користувачі можуть здійснювати оплату за фактом і регулювати обсяг своїх ресурсів в залежності від реальних потреб без довгострокових зобов'язань.

Найголовнішим перевагою застосування хмар є відсутність необхідності мати потужну систему у кінцевого користувача, що однозначно веде до вагомого зниження витрат для користувача [1].

Використання і впровадження хмарних сервісів може бути різним. Це можуть бути сервіси для приватних користувачів, сервіси для невеликих торгових фірм, сервіси для розробників програм, сервіси для великих інфраструктур комп'ютерних мереж.

Для великих інфраструктур такі сервіси розширюють функціональний можливості мережі і можуть знижувати витрати на підтримку мережі в цілому. В цьому випадку ефективність впровадження залежить від багатьох факторів. Найважливіше питання-вибір оператора і основної хмарної платформи. На вибір хмарної платформи впливає архітектура мережі і основні серверні платформи. Хмарні сервіси повинні бути дружні до сервісів комп'ютерної мережі і легко інтегруватися в існуючу інфраструктуру [1].

## II. Пропозиції впровадження

### *A. Вибір оператора*

Вибір оператора слід проводити з точки зору співвідношення вартість/продуктивність. При порівнянні треба також враховувати, гарантуються чи необхідний рівень продуктивності, час запуску, швидкість масштабування і затримка передачі даних. На вибір може вплинути місцезнаходження ЦОД — провайдер повинен дотримуватися законів про приватність даних і корпоративні правила, що діють у замовника. Важливо розібратися в угодах про рівень обслуговування, пропонованих кожним оператором, а оскільки майже всі вони декларують високі показники на рівнях не нижче 99,95%, необхідно оцінити відшкодування, яке пропонується у разі невиконання SLA. Зазвичай, як вже зазначалося, втрати замовника через простої така угода не покриває, тому інфраструктура підприємства повинна бути до них готова [1].

### *B. Аналіз моливостей хмарних сервисів*

*a) Microsoft* Azure є платформою для розробки додатків і, у відповідності з моделлю PaaS, надає інструменти розробки, операційну середу (runtime environment) і набір хмарних сервісів, які надають готові рішення для типових задач при побудові додатків. Microsoft Azure також надає прикладні інтерфейси та інструменти розміщення ресурсів і управління. В якості інструментів розробки виступають Microsoft Visual Studio з встановленим Microsoft Azure SDK, багатий набір пакетів інтеграції в репозиторії nuget.org, а також сервіс Visual Studio Online, надає платформу управління проектом і вихідним кодом, а також складання, розгортання та тестування програми. В якості операційного оточення виступають сервіси Azure Virtual Machines, Azure Cloud Services і Azure App Service, які відрізняються рівнем контролю, легкістю розгортання і гнучкістю масштабування.

*b) Наступна платформа IBM Cloud*. Хмарні послуги IaaS від IBM SoftLayer дозволяють клієнтам використовувати віртуальні і виділені обчислювальні ресурси для вирішення своїх завдань. IBM надає клієнту доступ на веб-портал хмарного середовища, захищений паролем, за допомогою якого клієнт може керувати виділеними ресурсами за допомогою порталу самообслуговування. Для надання послуг IBM використовує кілька хмарних центрів зберігання даних, розташованих в різних регіонах [2].

*c) Amazon Web Services* — це платформа хмарних сервісів для різного роду послуг. За допомогою цієї структури можливо зберігати дані, орендувати сервери під великі завдання розробників, брати максимум потужностей та ін.

*d) Віртуальна платформа Google ,* пропонована Google , являє собою набір хмарних сервісів, які працюють на тій же інфраструктурі, яку Google використовує для своїх продуктів кінцевого користувача, таких як Google Search і YouTube . Поряд з набором інструментів управління, вона забезпечує ряд модульних хмарних сервісів, включаючи обчислення, зберігання даних , аналіз даних і машинне навчання [4].

Якщо основною серверною платформою комп'ютерної мережі є Windows Server 2016, то вибір доцільно робити в бік Microsoft Azure.

### *C. Розширені можливості Windows Server 2016.*

Windows Server 2016 має спеціальний продукт для зручності адміністрування керованого мережевого обладнання - Azure Cloud Switch (ACS). ACS дозволяє користувачеві виконувати завдання з адміністрування єдиного центру управління [3].

## III. Особливості реалізації хмарної інфраструктури на базі продуктів Microsoft

Хмарний стек Microsoft включає в себе Hyper-V (платформу віртуалізації гипервизорного типу на базі Windows Server 2016) і System Center 2016, яке абстрагує віртуальні ресурси і представляє їх як хмарні сервіси. Останній продукт містить наступні компоненти: Virtual Machine Manager (забезпечує централізоване управління віртуальною інфраструктурою), Configuration Manager (надає засоби для автоматизованого розгортання ОС і додатків, служить для управління оновленнями і для налаштування фізичної/віртуальної інфраструктури), Operations Manager (забезпечує моніторинг віртуальної і фізичної інфраструктури) і Orchestrator (програмний комплекс для автоматизації процесів управління, розгортання і підтримки віртуальної і фізичної інфраструктури) [3].

Microsoft пропонує два способи побудови хмари. шаблон розроблено для двох типів афіліацій:

*1) Перший* — використання наявних компонентів IT-інфраструктури та їх інтеграція, для чого компанія розробила рекомендації (Deployment Guide) і приваблює

системних інтеграторів, здатних зібрати готове рішення під конкретну задачу.

*2) Другий шлях* — застосування готового інтегрованого рішення. Спираючись на специфікації Microsoft Private Cloud Fast Track а також Microsoft Private Cloud Fast Track.

Технологія серверної віртуалізації Server App-V (Server Application Virtualization) у складі Microsoft System Center Virtual Machine Manager 2016 абстрагує додаток, відокремлюючи його від ОС, упаковує в виртуализаційнний пакет і динамічно налаштовує на етапі розгортання. Перед розгортанням додаток конфігурується за допомогою профілю та сервісного шаблону. Оновлення виконується шляхом зміни сервісного шаблону і через портал самообслуговування.

Рекомендується переходити на взаємодію з системами через Web-інтерфейс. Windows 2016 відійшла в сторону сервіс-орієнтованої архітектури (SOA). При використанні SOA додаток розділяється на компоненти, що обмінюються даними за допомогою будь-якого протоколу. Services Fabric-це розподілена системна платформа, що спрощує створення мікрослужб і перетворення додатків в архітектуру мікрослужб. До складу платформи входять засоби для управління всім життєвим циклом програми. Платформа доступна як в локальному середовищі, так і в Azure у вигляді Azure Service Fabric — достатньо один раз написати додаток, щоб розгорнути його як в локальному середовищі, так і в Azure без зміни використовуюмих API-інтерфейсів, застосовуючи типові засоби розробки, такі як Microsoft VisualStudio [3].

На основі платформи Service Fabric працюють багато сучасних служб Microsoft: СУБД Azure SQL Azure Document DB Cortana, Power BI, Intune, концентратори подій Azure, служби інтернет речей для Azure, Skype для бізнесу та багато інших важливих послуг Azure. При створення продукту Service Fabric були враховані результати аналізу використання перерахованих рішень.

У Windows 2016 передбачена можливість створення ізольованого сегмента публічної хмари з керованою внутрішньою адресацією всередині нього - отримана в результаті віртуальна приватна хмара може бути підключена до локальної інфраструктури по VPN IPSec, а також по Інтернету або виділених каналах зв'язку [3].

Ще один вид послуг — забезпечення інформаційної безпеки ). Ці послуги (хмарні і додаткові) включають в себе міжмережевий екран з фільтрацією і моніторингом трафіку, VPN (IPSec і SSL), захист від (D)DOS, IDS і IPS, антивірус і антиспам.

Для управління всіма ресурсами нової інфраструктури рекомендується використовувати System Center 2016. При цьому розширюються функції менеджменту в п'яти областях: управління пристроями, виділення ресурсів, моніторинг, автоматизація. Управління пристроями. *До цієї групи функцій належать підтримка розгортання Windows 10, реєстрація рішення для керування мобільними пристроями (MDM) в Azure Active Directory і обмеження доступу на основі реєстрації пристроїв і політики* [4].

*a) Виділення ресурсів.* Удосконалення в цій області включають підтримку функцій Hyper-V в Windows 2016, послідовний апгрейд кластерів (cluster rolling upgrade), спрощене управління мережами, підтримку екранованих віртуальних машин, управління захищеними вузламиі підтримку vCenter.

*b) Моніторинг.* Серед нововведень в області моніторингу — додавання підтримки Nano Server, сховища на базі Windows, а також з'явилися в цій версії продукту постачальник SMI-S і каталог пакетів управління. Крім того, забезпечуються зростання продуктивності, розширена візуалізація даних і підтримка партнерської програми SCOM. Сервіс відображається як розподілений додаток в Operations Manager і як бізнес-сервіс в Service Manager. При цьому здійснюється моніторинг всього сервісу, а також окремих рівнів, віртуальних машин і компонентів [5].

*c) Автоматизація.* Удосконалення в цій області включають спрощене перенесення додатків в хмару, пакети інтеграції SCO і модулів Runbook.

## IV. Висновки

Запропоновано технологію впровадження хмарних сервісів Microsoft Azure в комп'ютерну мережу.

Результатом використання технології є побудова інфраструктури комп'ютерної мережі з хмарними сервісами з метою забезпечення відмовостійкості, зниження витрат на придбання і підтримку. Підсумком пропонованих методів є сформована інфраструктура мережі з хмарними сервісами, яка буде достатньою для виконання необхідних функцій і отже, оптимізована під вирішувані завдання. Практична цінність запропонованих методів полягає в тому, що вони сприяють підвищенню швидкодії роботи комп'ютерної мережі і підвищують рівень її інформаційної безпеки.

## Література References


[1] Miller M. Cloud Computing: Web-Based Applications That Change the Way You Work and Collaborate Online /M. Miller. - Que, 2008. - 293p.

[2] Stallman R. Cloud Computing is a Trap! [Электронный ресурс] / R. Stallman. - http://www.guardian.co.uk/technology/2008/sep/29/cloud.com puting.richard.stallman

[3] Імерханов Р. Р. ОГЛЯД МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ MICROSOFT WINDOWS AZURE // Молодіжний науковий форум: Технічні і математичні науки: електр. зб. ст. по мат. XXIV міжнар. студ. науч.-практ. конф. № 5(24). URL: https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/5(24).pdf (дата звернення: 26.08.2018).

[4] Макаров С. В. За «Хмарні обчислення» //Креативна економіка.- М:, №8,

[5] Черняк Л. Інтеграція - основа хмари. //Відкрита система. СУБД 16 вересня 2011.

# Дослідження Технологій Розробки Серверних Додатків для Систем Internet Of Things

Володимир Саенко
кафедра інформаційних управляючих систем
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
vladimir.sayenko@nure.ua

Діана Кошелєва
кафедра інформаційних управляючих систем
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
diana.koshelieva@nure.ua

# Study on Technologies to Design Server Apps for Internet of Things Systems

Vladimir Sayenko
Information Control System department
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkov, Ukraine
vladimir.sayenko@nure.ua

Diana Koshelieva
Information Control System department
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkov, Ukraine
diana.koshelieva@nure.ua

***Анотація*—Концепція IoT стрімко розвивається, особливо в контексті хмарних технологій. Кількість платформ для систем IoT постійно зростає, хоча основні лідери залишаються постійними. Але все ж існує проблема вибору найкращої платформи для розробки власного додатку розумних речей. Далі наведений аналіз найпопулярніших на сьогодні IoT платформ, представлені оцінки по виділеним критеріям і розроблені рекомендації для вибору конкретної платформи.**

***Abstract*—The concept of IoT is rapidly evolving, especially in the context of cloud-based technologies. The number of platforms for IoT systems is steadily increasing, although the main leaders remain constant. But still there is a problem choosing the best platform for developing your own smart stuff application. The following is an analysis of the most popular today's IoT platforms, it is presented ratings for selected criteria, and developed recommendations for choosing a specific platform.**

***Ключові слова—IoT; хмарні платформи; розумні пристрої, IBM, AWS, IBM Watson***

***Keywords—IoT; Cloud Platform; smart things, IBM, AWS, IBM Watson***

## I. Вступ

У сучасному світі з кожним днем з'являється все більше і більше новин, присвячених розробкам в області Internet of Things. Дана концепція передбачає створення мережі фізичних предметів, що взаємодіють як між собою, так і з навколишнім середовищем. Смартфони, промислова та побутова техніка, медичні апарати вже сьогодні успішно взаємодіють із глобальною мережею. Список пристроїв незмінно поповнюється, і разом з тим поступово змінюється наш підхід до побутових і робочих справ. Розумні предмети, здатні під'єднуватися до інтернету, взяли на себе частину задач, що раніше повністю лежали на плечах у людей.

Необхідно зауважити, що пристрої IoT зазвичай мають дуже обмежені можливості через їх невеликий фізичний розмір і необхідність споживання енергії. Крім того, пристрої стають значно більш корисними для людини, коли є можливість дистанційно керувати ними на будь-якій відстані. Хмарні технології дозволять вирішити ці проблеми, надаючи користувачам централізований доступ, обчислювальні потужності, масштабованість, додатковий захист і можливість інтегрування з іншими корисними сервісами. Поява хмарних обчислень виступила каталізатором розробки та впровадження масштабованих бізнес-моделей та Інтернет додатків. Тому IoT і хмарні технології в даний час є двома дуже тісно пов'язаними інтернет-технологіями майбутнього, які йдуть бік о бік, і більшість сучасних IoT-екосистем є хмарними. Як результат, розвиток Internet of Things залежить від розвитку хмарних сервісів, з якими взаємодіють пристрої.

Хмарні IoT платформи не однакові між собою і відрізняються не лише концепцією і технологіями, але й термінологією, проте усі вони дозволяють виконувати приблизно ті ж самі дії: підключати різні пристрої, отримувати доступ до них, обробляти дані, і використовувати ці дані для створення автоматизованого контролю.

Таким чином, можна виділити проблему вибору найкращої платформи для розробки власного додатку розумних речей на базі хмарних технологій.

Постачальники представляють характеристики платформ на офіційних сайтах, додають необхідну документацію, рекомендації та власні принципи оплати послуг. Часом важко визначитися, порівнюючи різні характеристики та ціни на послуги, адже кожна з популярних платформ добре розвинута і, в залежності від точки зору, має особливі переваги над іншими платформами [1].

## II. Рішення проблеми

Для того, щоб обрати хмарну платформу для розробки серверного додатку, необхідно чітко визначити усі вимоги до цієї системи та пріорітизувати їх значення. Також необхідно визначити обмеження, які ви маєте. Як приклад таких обмежень можна привести недостатню кількість виділених коштів на оплату послуг, що надає IoT платформа або ж відсутність спеціалістів зі знанням тих мов програмування, якими обмежується платформа.

Лідерами сучасного ринку, що цілком задовольняють усім вимогам основних критеріїв, можна назвати платформи від Amazon, Microsoft Azure, IBM Cloud [2-4].

Пропонується виконати наступні три кроки для вибору хмарної IoT платформи:

*1) Визначення технологій.* Визначити, які технології, протоколи, мови програмування необхідні для реалізації конкретної системи і відразу відкинути з розгляду ті платформи, які цих можливостей не надають. Рекомендації [5] дозволили сформувати характеристики та обмеження вищеназваних платформ, які приведені у таблиці 1.

TABLE I. Характеристики та обмеження Cloud платформ

| Показники | AWS | IBM Watson IoT | Microsoft Azure |
|---|---|---|---|
| **Доступні протоколи взаємодії** | HTTP, MQTT, WebSockets | HTTP, MQTT | HTTP, AMQP, MQTT |
| **Офіційно схвалене обладнання** | Broadcom, Marvell, Renesas, Texas Instruments, Microchip, Intel | ARM mbed, Texas Instruments, Raspberry Pi, Arduino Uno | Intel, Raspberry Pi2, Freescale, Texas Instruments |
| **SDK/ Мови програмування** | Java,C, NodeJS | C#, C, Python, Java, NodeJS | .Net, UWP, Java,C, NodeJS |
| **Захищеність** | TLS | TLS | TLS |
| **Аутентифікація** | Для кожного пристрою з SAS токеном | X.509 certificate client authentication, IAM Service, Cognito Service | Для кожного пристрою з токеном |

*2) Оцінювання власного бюджету.* Наступним кроком пропонується оцінити власний бюджет і розрахувати приблизну вартість місячних послуг, що надає кожна з платформ.

Для початку необхідно визначити приблизну кількість пристроїв, що будуть підключені до системи, а також кількість та розмір повідомлень, якими вони обмінюються. Були виведені формули, що дозволяють розрахувати приблизну вартість послуг для кожної з платформ.

Щоб розрахувати вартість послуг платформи AWS, треба кількість підключених пристроїв помножити на 0.0072 і додати кількість повідомлень за місяць, помножених на 0.000001. Результат — ціна у доларах за місяць.

Щоб розрахувати вартість послуг платформи IoT Watson, треба кількість даних, що передаються, у мегабайтах помножити на 0.0007 і додати кількість повідомлень за місяць, помножених на 0.0044. Результат — ціна у доларах за місяць.

Для платформи Azure якщо кількість повідомлень на день не перевищує 6,000 - то ціна пакету $250 (пакети можуть бути поєднані), якщо кількість повідомлень на день не перевищує 300,000 - то ціна пакету - $2500.

Нижче наведена таблиця 2 з розрахованою вартістю послуг кожної з платформ для систем різного масштабу. Як бачимо, найдорожчі послуги у IBM, найдешевші — у AWS. Якщо ціна послуг занадто висока при виділеному бюджеті, то дану платформу надалі не розглядаємо.

TABLE II. Обмеження Cloud платформ

| Обмеження | AWS | IBM | Azure |
|---|---|---|---|
| Пристроїв: 1000<br>Розмір повідомлення: 8KB<br>Частота повідомлень: 2 повідомлення на хвилину<br>Повідомлень за місяць: 86,400,000<br>Кількість даних, що передаються (MB): 691,200 | $183 | $864 | $250 |
| Пристроїв: 200<br>Розмір повідомлення: 50KB<br>Частота повідомлень: 2 повідомлення на хвилину<br>Повідомлень за місяць: 17,280,000<br>Кількість даних, що передаються (MB): 864,000 | $174 | $1080 | $500 |
| Пристроїв: 1000<br>Розмір повідомлення: 4KB<br>Частота повідомлень: 60 повідомлень на хвилину<br>Повідомлень за місяць: 2,592,000,000<br>Кількість даних, що передаються (MB): 10,368,000 | $2084 | $5443 | $2500 |

Додаткові сервіси та переваги оплачуються окремо, тож для точного розрахунку треба користуватися калькулятором, що представлений на офіційному сайті постачальника.

*3) Оцінка платформи за виділеними критеріями:*

*а) Масштабованість.* Розробка системи на сто пристроїв цілком відрізняється від розробки системи на мільйон пристроїв. Коли кількість підключених пристроїв зростає, складність обробки їх збільшується експоненціально. Звичайним рішенням є створення балансувальників навантаження та розподіл навантаження на кілька серверів за допомогою кластеризації. Максимальна кількість пристроїв, що можуть бути

підключена до Microsoft Azure IoT hub – 500000, до AWS –1000000 пристроїв, максимальна кількість пристроїв, що може бути підключена до IBM Watson IoT - 500000.

*b) Пропускна здатність.* Дане обмеження інфраструктури визначає швидкість обміну інформацією. Azure надає можливість обміну повідомленнями зі швидкістю 120 повідомлень за секунду, AWS та IBM - 100 повідомлень за секунду.

*c) Продуктивність.* Простий критерій ефективності для пристрою IoT - це спрацьовування сигналу та вимірювання середнього часу, необхідного для виконання дії. Дані платформи однозначно можна назвати продуктивними.

*d) Захищеність.* Один з найважливіших критеріїв. Постачальник платформи Cloud IoT повинен надати унікальні методи ідентифікації на основі ідентифікацій на вашому пристрої. Також необхідно мати шифрування SSL або DTLS. Безпеку підключення до усіх платформ гарантує TSL протокол. Є можливість активування як серверної, так і клієнтської аутентифікації. Проте систему безпеки IBM вважають більш повною та ефективною.

*e) Можливість резервування та відновлення інформації.* Необхідно дізнатися, як часто збирається резервна копія даних, чи існує якийсь відмовний механізм. Кожна з платформ надає рішення з відновлення інформації. Одним з найдешевших та достатньо ефективним вважають Veeam agent від Microsoft.

*f) Підтримка.* Якщо планується довготривале використання системи, необхідно переконатися, що платформа IoT надає довготривалу підтримку, чітко документовані інтерфейси, схеми та API для будь-якої можливій міграції на інші платформи. Офіційні сайти платформ, що розглядаються, надають чітку документацію і підтримку, проте варто відзначити, що Azure не надає оперативного фідбеку у випадках необхідності відповіді на складні питання.

*g) Взаємодія із сервісами*. Необхідно визначити, які додаткові сервіси надає платформа і наскільки вони будуть корисними для конкретної системи. IBM на сьогоднішній день має небагато готових SaaS рішень для IoT та невелику кількість підтримуваних БД.

*h) Можливість інтеграції.* Використання гібридного хмарного середовища - це кращий спосіб приступити до роботи з хмарними технологіями і оптимізувати існуючі ресурси. Рішення по гібридній інтеграції забезпечують підтримку API і зв'язаність на підприємстві, дозволяючи швидко і легко інтегрувати програми, дані і процеси. Найкраще гібридність реалізована в Microsoft Azure [6].

## III. Приклад розрахунку

Нижче наведена таблиця 3 з оцінками платформ за критеріями, які запропоновано у роботі, а також визначений коефіцієнт значимості кожного з критеріїв у окремому прикладі.

Підсумкові значення оцінок критеріїв, які помножені на коефіцієнт значимості, отримаємо такі середні оцінки. AWS – 47.3 балів, IBM – 46.9 балів, Azure - 47.2 балів. За середньою оцінкою з незначним відривом переважають постачальники AWS, проте якщо якийсь з критеріїв оцінки не є суттєво важливим для конкретного проекту, його коефіцієнт може бути знижений, оцінки заново перераховано і вибрано іншу платформу. Проте варто бути обережним при зниженні коефіцієнта значимості, адже усі показники, особливо захищеність і продуктивність, є критично важливими для розвитку будь-якої IoT системи.

TABLE III. Приклад розрахунку

| Показники | AWS | IBM Watson IoT | Microsoft Azure |
|---|---|---|---|
| **Масштабованість** Коефіцієнт значимості: 0.5 | 10 | 9 | 9 |
| **Пропускна здатність** Коефіцієнт значимості: 0.7 | 8 | 7 | 7 |
| **Продуктивність** Коефіцієнт значимості: 0.9 | 9 | 9 | 9 |
| **Захищеність** Коефіцієнт значимості: 0.9 | 6 | 9 | 8 |
| **Резервування та відновлення інформації** Коефіцієнт значимості: 0.6 | 8 | 8 | 9 |
| **Підтримка** Коефіцієнт значимості: 0.6 | 8 | 8 | 6 |
| **Взаємодія із сервісами** Коефіцієнт значимості: 0.6 | 7 | 6 | 8 |
| **Загальна фінансова доступність** Коефіцієнт значимості: 0.6 | 9 | 6 | 7 |
| **Можливість інтеграції** Коефіцієнт значимості: 0.5 | 8 | 8 | 9 |

## IV. Висновки

Було проведено дослідження технологій розробки серверних додатків для систем Internet of Things: виконаний загальний аналіз технологій розробки серверних додатків для систем Internet of Things, складено порівняльну таблицю хмарних IoT платформ (AWS IoT, Microsoft Azure, IBM Watson), визначені основні критерії для вибору IoT платформи, розраховано середні оцінки трьох найпопулярніших хмарних IoT платформ.

## Література References


[1] Aazam, M., Khan, I., Alsaffar, A.A., Huh, E.N.: Cloud of Things: Integrating Internet of Things and Cloud Computing and the Issues Involved. In: International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology. IEEE — 2014.

[2] Amazon Web Services: AWS IoT Documentation . URL: https://aws.amazon.com/de/documentation/iot/.

[3] IBM: IBM Internet of Things Architecture Overview. URL: https://www.iot-academy.info/mod/page/view.php?id=478.

[4] Microsoft Azure: Azure IoT solution accelerators. URL: https://azure.microsoft.com/en-us/features/iot-accelerators/ .

[5] Daniel Torán Mercadé. Comparison of different Internet of Things platforms. - 2018.

[6] 6 questions to ask before choosing an IoT platform. URL: https://www.business.att.com/learn/operational-effectiveness/6-questions-to-ask-before-choosing-an-iot-platform.html .

# Исследование Технологий Повышения Эффективности Приложений для Систем Internet of Things

Владимир Саенко
кафедра информационных управляющих систем
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники Харьков, Украина
vladimir.sayenko@nure.ua

Роман Руденко
кафедра информационных управляющих систем
Харьковский национальный университет
радиоэлектроники Харьков, Украина
rorudenko@gmail.com

# Study on Technologies for Increasing the Efficiency of Internet of Things Apps

Vladimir Sayenko
Information Control System department
Kharkov National University of Radioelectronics
Kharkov, Ukraine
vladimir.sayenko@nure.ua

Roman Rudenko
Information Control System department
Kharkov National University of Radioelectronics
Kharkov, Ukraine
rorudenko@gmail.com

***Аннотация*—Рассмотрены вопросы повышения эффективности систем Интернета вещей. Предлагается методология повышения эффективности функционирования системы Интернета вещей, основанная на улучшении отдельных компонентов, выборе протоколов коммуникаций, распределении трафика и формировании распределенной топологии обработки данных. Актуальность данной темы обусловлена стремительным развитием Интернета вещей и отсутствием методологии повышения эффективности функционирования системы.**

***Abstract*—The issues of improving the efficiency of the Internet of Things are considered. A methodology is proposed for improving the performance of the Internet of Things system based on improving individual components, choosing communication protocols, distributing traffic, and creating a distributed data processing topology. The relevance of this topic is due to the rapid development of the Internet of Things and the lack of a methodology to improve the efficiency of the system.**

***Ключевые слова*—Интернет вещей, туманные вычисления, протокол.**

***Keywords*—Internet of Things, Fog computing, protocol.**

## I. Введение

Человечество вступает в новую эпоху – Интернета вещей (Internet of Things - IoT). В современном мире с каждым днем появляется все больше и больше новостей, посвященных разработкам в этой области.

Интернет вещей - это современная технология, в которой интеллектуальные объекты вокруг нас взаимодействуют друг с другом для достижения общих целей и включают в себя такие объекты, как смарт-камеры, носимые датчики, датчики окружающей среды, интеллектуальные бытовые приборы, транспортные средства и т. д. [1].

Для функционирования таких систем актуальными становятся вопросы повышения их эффективности.

Системы IoT интегрируются в облачные сервисы.

К основным преимуществам облачных технологий можно отнести: отказоустойчивость; высокий уровень безопасности; высокая скорость обработки данных; экономичность инженерных затрат; возможность использования хранилищ данных.

В сфере облачных технологий все большую и большую популярность приобретает принципиально новое направление технологий, получивший название "туманные вычисления" (Fog computing). Ее основной особенностью является обработка данных в непосредственной близости от источников их получения, без необходимости их передачи в облако.

Туманные технологии не является альтернативой для облачных. Напротив, они плодотворно взаимодействует с облачными технологиями, особенно в администрировании и аналитике данных, и такое взаимодействие порождает новый класс приложений.

Основные архитектурные отличия Fog от Cloud:

- Обеспечение качества услуг (QoS, Quality of Service), что требует динамической адаптации приложений к состоянию сети.
- Отслеживание местоположения (Location Awareness) для того, чтобы поддерживать стабильность работы приложения в условиях мобильности терминала.
- Отслеживание контекстной информации (Context Awareness), т.е. способность обнаруживать наличие доступных ресурсов поблизости.

Эти технологии также способствуют повышению эффективности построения систем IoT.

## II. Основные результаты

Пусть система Интернета вещей представляется в виде компонентной структуры: сенсорный узел, брокер, сервер, приложение пользователя.

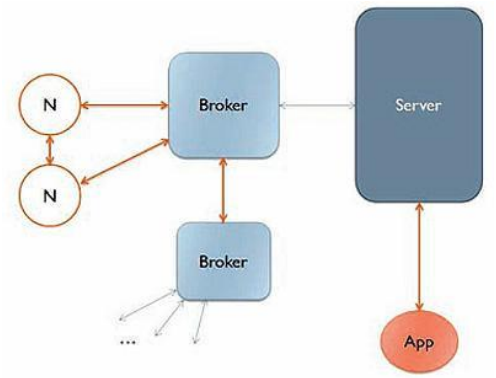



Рис. 1. Структура системы Интернета вещей

Сенсорный узел объединяет информацию от нескольких датчиков и направляет ее либо по запросу, либо самостоятельно с определенным интервалом времени или по происшествии какого-либо события на сервер. Брокер - это специализированный “сервер”, который осуществляет пересылку сообщений, их хранение и фильтрацию. Приложение пользователя установлено на персональном устройстве, и служит для графического представления обработанной сервером информации и управления системой.

Предлагается методология повышения эффективности функционирования системы Интернета вещей, основанная на:

- улучшении отдельных компонентов,
- выборе протоколов коммуникаций,
- распределении трафика и формировании распределенной топологии обработки данных (туманные вычисления).

Улучшение отдельных компонентов предполагает выбор определенного типа компонента с определенными характеристиками. К таким характеристикам относятся стоимостные, энергетические, физические (размеры).

Выбор протокола коммуникаций подразумевает рассмотрение всех участков передачи данных. Предлагается следующая структура связей в системы интернета вещей:

- между сенсорными узлами/датчиками,
- сенсорный узел – брокер,
- брокер – сервер,
- сервер - приложение пользователя.

Поддержка связей реализуется с помощью специальных прикладных протоколов. Такая классификация позволяет абстрагироваться от конкретного решения по применению протокола и сфокусироваться на его целевом назначении.

Для обеспечения связи между сенсорными узлами/датчиками используется протокол DDS (Data Distribution Service). Этот протокол распределяет данные между устройствами. DDS реализует прямую шинную связь между устройствами на базе реляционной модели данных. Протокол DDS реализует многоадресную систему, используя UDP.

На участке сенсорный узел - брокер реализуются такие задачи, как регистрация сенсорного узла; конфигурация и настройки узлов; передача и распределение информации и т.д. На этом сегменте сети могут использоваться два следующих протокола: XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) и CoAP (Constrained Application Protocol). Выбор конкретного протокола зависит от условий реализуемой сети.

В относительно небольших персональных сетях предлагается использовать протокол XMPP. Он обеспечивает простой способ адресации устройств и поддерживает различные коммуникационные модели (запрос-ответ, публикация-подписка и другие). Сильными сторонами этого протокола являются удобная передача данных между отдаленными, чаще всего независимыми точками, безопасность и масштабируемость [2].

Для сетей с ограниченными ресурсами, низким энергопотреблением предлагается использовать протокол CoAP. Это протокол прикладного уровня, работающий на основе REST (Representational State Transfer). В отличие от протокола HTTP CoAP – это бинарный протокол, который работает поверх UDP, что значительно уменьшает общий размер передаваемых данных и повышает гибкость взаимодействия.

На участке брокер - сервер решаются следующие задачи: сбор и агрегация данных; организация очередей сообщений; распределение и хранение информации "до востребования".

Для загруженных сетей с большим количеством устройств предлагается применять протокол, снижающий нагрузку на канал за счет организации очередей, – протокол MQTT (Message Queue Telemetry Transport). Он предназначен для телеметрии и дистанционного мониторинга. Используется для обмена сообщения между устройствами по принципу "издатель-подписчик" и позволяет устройствам посылать и получать данные при возникновении некоторого события.

Для сетей, использующих оборудование различных платформ и допускающих применение простого протокола передачи сообщений, предлагается использовать протокол STOMP (Simple Text Oriented Message Protocol). Это простой протокол обмена сообщениями, предполагающий широкое взаимодействие со многими языками, платформами и брокерами. Протокол в целом похож на HTTP и является простым текстовым протоколом, что позволяет клиентам STOMP общаться с любым брокером сообщений, поддерживающим данный протокол.

Отличаются данные протоколы тем, что протокол MQTT обеспечивает "сквозную" связь, как от брокера к сенсорным узлам, так и от брокера к серверу, тогда как протокол STOMP ориентирован только на взаимодействие брокера с сервером.

На участке Сервер - Приложение выполняются задачи, связанные с взаимодействием пользователя и системы: получение информации с сервера; конфигурация пользователем параметров (частоты получения информации, активация/дезактивация датчиков и узлов и т.д.) и другие.

Для обеспечения связи приложения пользователя с другими элементами сети Интернета вещей предлагается использовать протокол SOAP (Simple Object Access Protocol), который поддерживает обслуживание Web-сервисов и обеспечивает совместную работу платформы и интернет-приложений. Преимуществом этого протокола является выделенный механизм доступа RPC (Remote Procedure Call), который отвечает за удаленный вызов функций. SOAP использует базовую модель соединения, обеспечивающую согласованную передачу сообщения от отправителя к получателю, потенциально допускающую наличие посредников, которые могут обрабатывать часть сообщения или добавлять к нему дополнительные элементы.

Ключевые особенности протоколов зависят от их предполагаемого применения. Поэтому к выбору оптимального протокола для своего приложения нужно подходить основательно, объективно взвешивать все положительные и отрицательные свойства каждого из них, исходя из конкретных потребностей.

Традиционная система связи включает в себя клиентское устройство и центр обработки данных. Однако, за период поступления данных в центр обработки данных, они могут существенно устареть и потерять свою актуальность. Задержка в передаче данных может быть несущественной, а в некоторых случаях достаточно критической.

Для решения этой проблемы предлагается использовать технологию "туманных вычислений". Туманные вычисления могут выполняться в любом месте, куда могут поступить данные - в центрах обработки данных, на крайних узлах сети (edge of network) и даже где-то между ними. Туманные технологии распределяют вычислительные ресурсы, сервисы, средства коммуникации, средства хранения и управления, перемещая их ближе к самим устройствам, различным системам или непосредственно к пользователям [3].

Преимуществом туманных вычислений является снижение объема данных, передаваемых в облако, что уменьшает требования к пропускной способности сети, увеличивает скорость обработки данных и снижает задержки в принятии решений.

Для разработки структуры туманных вычислений выделено три цели – они должны быть горизонтально масштабируемыми; должны быть в состоянии работать через облако; и быть общесистемной технологией, которая простирается от границ сети до облака и различных сетевых протоколов.

Самый большой потенциал развития технологии туманных вычислений имеют следующие отрасли: энергетика, коммунальные службы, и транспорт, сельское хозяйство, торговля, а также здравоохранение и промышленное производство [4].

## III. Выводы

Предложена методология повышения эффективности функционирования системы Интернета вещей, основанная на улучшении отдельных компонентов, выборе протоколов коммуникаций, распределении трафика и формировании распределенной топологии обработки данных. Методология получила апробацию на кафедре Информационных управляющих систем Харьковского национального университета радиоэлектроники (специальность «Компьютерные науки»).

## Литература References


[1] Грингард С. Интернет вещей. Будущее уже здесь / Сэмюэл Грингард., 2017. – 188 с.

[2] Протоколы «Интернета вещей»: основные сведения. [Электронный ресурс] - Режим доступа: https: //rtsoft.ru/press/articles/detail.php?ID=2718.

[3] Черников А . Новое в Cloud Computing: репликация и туман. [Електронний ресурс] / А . Черников – Режим доступу https://ko.com.ua/novoe_v_cloud_computing_replikaciya_i_tuman_115420.

[4] Туманные вычисления. [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Туманные_вычисления_(Fog_computing).

# Дослідження Технологій Формування Інфраструктури Комп'ютерної Мережі

Володимир Саєнко
кафедра інформаційних управляючих систем
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
vladimir.sayenko@nure.ua

Роман Савченко
кафедра інформаційних управляючих систем
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
roma.savchenko.96@gmail.com

# Study on Designe Technologies for Computer Network Infrastructure

Vladimir Sayenko
Information Control System department
Kharkov National University of Radioelectronics
Kharkov, Ukraine
vladimir.sayenko@nure.ua

Roman Savchenko
Information Control System department
Kharkov National University of Radioelectronics
Kharkov, Ukraine
roma.savchenko.96@gmail.com

***Анотація*—Розглядаються питання щодо керування конфігурацією мережі. Конфігурація сервера комп'ютерної мережі розглядається як логічна конфігурація, сформована на основі сервісів у операційній системі Windows. Всі сервіси поділяються на кілька груп: обов'язкові, звичайні, спеціальні, помилкові, додаткові, невідомі. Критерії повноти функціональності, критерії рівня сервісу, технології вибору сервісів та технологічних змін у структурі-конфігурації мережевої інфраструктурі. Цей підхід забезпечує більш ефективне рішення для управління комп'ютерними мережами.**

***Ключові слова*—адміністрування, конфігурація, інфраструктура, комп'ютерна мережа, Windows Server, сервіси, служби, ролі.**

***Abstract*—The questions on network Configuration Management are considered. The computer configuration is considered as a logical configuration formed on the basis of services in the Windows operating system. All services are divided on a several groups: mandatory, ordinary, special, false, additional, unknown. The criteria for completeness of functionality, service level criteria, service selection technologies and technology changes in the structure-configuration of network infrastructure. This approach provides a more effective solution for computer networks management.**

***Keywords*—administration, configuration, infrastructure, computer network, Windows Server, services, services, roles.**

## I. Вступ

Під інфраструктурою мережі розуміють безліч взаємопов'язаних технологій і систем, які адміністратори повинні досконально знати, щоб успішно підтримувати роботу мережі і усувати неполадки.

Інфраструктура мережі - це набір фізичних і логічних компонентів, які забезпечують зв'язок, безпеку, маршрутизацію, управління, доступ і інші обов'язкові властивості мережі [1]. Найчастіше інфраструктура мережі визначається проектом, але багато визначають зовнішні обставини і «спадковості». Наприклад, підключення до Інтернету вимагає забезпечити підтримку відповідних технологій, зокрема протоколу TCP/IP. Інші ж параметри мережі, наприклад фізична компоновка основних елементів, визначаються при проектуванні, а потім вже успадковуються пізнішими версіями мережі.

Адміністрування комп'ютерних мереж – це той вид обслуговування, без якого не може обійтися жоден сучасний офіс. Завдяки локальній мережі став можливим обмін даними між групами користувачів і програмами в онлайн режимі. Проведення комп'ютерної мережі може допомогти заощадити гроші на програмному забезпеченні. Якщо співробітникам Вашої фірми для роботи потрібне певне програмне забезпечення (ПЗ), Вам зовсім не обов'язково купувати і встановлювати програми на кожен ПК, досить встановити їх на сервер. Це стало можливим, через підвищення рівня продуктивності серверів і їх доступності для установки і налаштування під кожен тип підприємства.

Традиційні способи адміністрування мережі засновані на управлінні нею з урахуванням певних чітко регламентованих правил. Такий підхід прийнятний тільки для адміністрування невеликої мережі з обмеженою інтенсивністю трафіку. Налаштування великих

корпоративних мереж, які мають складну топологію і включають безліч окремих підмереж, істотно відрізняється в адмініструванні через безлічі додаткових мережевих параметрів в конфігурації.

Основне призначення комп'ютерної мережі - надання інформаційних послуг (сервісів). Для реалізації процедури сервісу необхідно два програмних додатки: клієнт і сервер. Всі сучасні комп'ютери мають можливість надання сервісних послуг. Вони містять компоненти-додатки, які мають категорії «служби» (сервіси) [2]. Наявність таких служб визначає інформаційну функціональність комп'ютерної мережі. Фактично склад цих служб визначає логічну конфігурацію сервера комп'ютерної мережі. Кожна зі служб споживає ресурси і впливає на статус інформаційної захищеності мережі. Отже, формування оптимальної конфігурації цих служб дозволяє оптимізувати роботу комп'ютерної мережі. Розробка відповідних методів оптимізації - актуальне завдання, особливо для операційних систем (ОС) Windows.

Логічна конфігурація може бути розглянута з різних позицій [3]. Будемо розглядати тільки структуру, утворену на основі сервісів в ОС Windows Server 2016. Всі сервіси можна розділити на кілька груп: системні обов'язкові, просто системні, системні помилкові, спеціальні обов'язкові, додаткові, невідомі.

*A. Кроки аналізу:*

*a) a) Згідно* отриманих класів першою умовою є системні обов'язкові служби, без яких завантаження ОС неможливе.

*b) b) Наступна умова*, виходячи з вимог користувача, вибираємо номенклатуру сервісів з групи просто системні, ті які необхідні для роботи в мережі (локальній, інтерент), та запуску необхідних системних утиліт.

*c) c) З класу спеціальні обов'язкові,* якщо користувач буде використовувати ативірусне програмне забезпечення, додаткове ПЗ для виконання певних завдань, додаємо відповідні сервіси.

*d) d) Для функціонування додаткового обладнання* сервера комп'ютерної мережі додаємо до списку необхідні сервіси з класу додаткові.

*e) e) Також необхідно контролювати* сервісний склад виявляючи сервіси, які можна віднести до груп системні помилкові та невідомі.

Результати проведеного аналізу показують, що при безконтрольному ставленні до складу конфігурації число невідомих сервісів згодом збільшується. Як ми бачимо кількість запущених сервісів є дуже великою, що відображається на роботі системи. Проаналізувавши та чітко визначивши які служби потрібні, а які ні, можна значно оптимізувати роботу ОС.

Отримана конфігурація є достатньою для виконання необхідних функцій і оптимізована під вирішувані задачі. Практична цінність полягає в тому, що вона збільшує швидкодію комп'ютерної системи та покращує рівень інформаційної безпеки.

Залежно від бізнес-процесів і розмірів підприємств стандартний набір служб і ролей не є оптимальним для роботи сервера комп'ютерної мережі. Так як установка додаткових компонентів використовує доступні ресурси сервера.

## II. Основні результати

Пропонується метод контролю стану логічної конфігурації інфраструктури комп'ютерної мережі з використанням розширеного набору сервісів за рахунок використання можливостей нових версій операційних систем Windows [4].

Чому дана задача є актуальною? З виходом нових версій операційних систем Windows Server додаються нові сервіси та служби, спрощується процес адміністрування, але не всі сервіси необхідні для процесу функціонування конкретного типу підприємства, це залежить від розмірів об'єкта (малий офіс, середній офіс, великий офіс, компанія, корпорація), вимог безпеки (слабкий, середній, високий), рівня інформатизації об'єкта. У зв'язку з цим необхідна розробка технології вибору раціонального набору сервісів в залежності від типу підприємства, що значно скоротить вартість володіння, зробить рішення більш надійним і відмовостійким, а також підвищить загальний рівень безпеки інфраструктури.

Нововведення в Windows Server 2016 пов'язані з віртуалізацією, сховищами даних і службами віддаленого робочого столу.

Велика частина нововведень в Windows Server 2016 пов'язані з безпекою. Це можливо побачити по всіх ролях і службах, а саме Shielded VM в Hyper-V, code integrity в сервері додатків і Privileged Access Management в Active Directory Domain Services.

З виходом Windows Server 2016, служба Active Directory отримала три важливих нових функції, а саме Access Management, Azure AD Join і Microsoft Passport [5]. Це розподілена база даних і служба каталогів, яка реплікується на всі контролери домену в мережі. У базі даних Active Directory зберігається інформація про мережеві об'єкти, в тому числі про домени, комп'ютери, користувачів та інші об'єкти. Розподілена природа Active Directory дозволяє користувачам отримувати доступ до ресурсів, розташованим в будь-якій точці мережі, на основі одного входу в систему і забезпечує єдину політику адміністрування для всіх об'єктів мережі. Термін домен використовується як для позначення групи комп'ютерів в Active Directory, так і для завдання суфіксів в іменах DNS визначають ієрархію доменів [6].

Функціональність сервера Fi визначається набором сервісних програм (S1, S2,…, Sn).

Зміна функціонального стану безпосередньо пов'язана зі зміною складу чи інформаційних властивостей сервісів (S1, S2,…, Sn).

Логічна конфігурація комп'ютера (сервера) комп'ютерної мережі представлена набором від 1 до n сервісів (Services).

Проблема оптимізації логічної конфігурації формалізується у вигляді комплексного контролю за всіма елементами, діагностики, прийняття рішень для керування набором елементів логічної конфігурації, а саме набором сервісів.

Правильне функціонування (стабільний режим роботи) можна представити як набір сервісів, які вона підтримує, тобто

$$Services = \{Service\ 1, Service\ 2, \ldots, Service\ n\},$$

де n – кількість сервісів (служб).

Кожен з сервісів містить певний окремий набір показників P (інформація про процеси та програми з якими працює елемент; його розмір; ресурси які він використовує; доступ до портів та його активність тощо):

$$Service\ i = \{P1, P2, \ldots, Pk\},$$

де k – кількість показників.

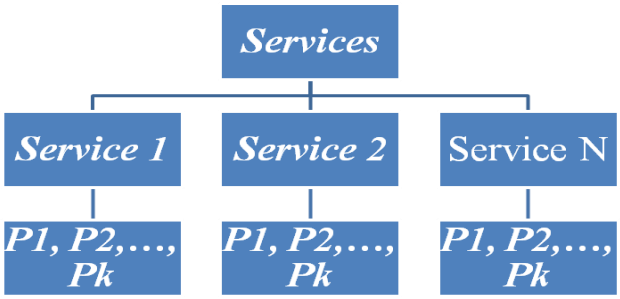



Рис. 1 - Конфігурація сервера комп'ютерної мережі.

Тоді наша задача оптимізації логічної конфігурації сервера комп'ютерної мережі набуває варіанту контролю стану окремих компонентів, в нашому випадку сервісів Service1, Service 2,…, Service n (на основі показників P1,P2,…,Pk), і побудови методів комплексного адміністрування, моніторингу, управління сервісами.

Метод заснований на представленні цієї конфігурації у вигляді комплексної інформаційної моделі. Модель складається з класів (груп) сервісів. Для кожного типового елементу класу вводиться опис, що відображає інформацію про процеси і додатках, з якими пов'язаний елемент; про його розмір, код і споживаних ресурсах, про порти, яке воно підтримує, про стан портів, про активність. Для кожного елемента створюється два опису: статичне (базова конфігурація) і динамічне (зміна активності). Оперативний контроль за сервісами дозволяє в будь-який момент часу дати характеристику функціонального стану комп'ютера і ступеня його фонової завантаженості. Аналогічні методи реалізовані в ProcessExplorer [2], але в ньому немає можливості провести розподіл сервісів на класи.

Наступним кроком є оптимізація конфігурації. Метод оптимізації заснований на використанні інформаційних властивостей сервісних елементів, що стосуються їх функцій. Метод полягає в тому, що користувач формує свій набір функцій, який йому потрібен. Система автоматично пропонує відповідний мінімальний (достатній і необхідний) набір сервісів. При цьому пропонується контролювати системну цілісність.

Додатковим методом оптимізації конфігурації є реалізація контролю системних служб з перевіркою їх істинності (порівняння з еталоном), а також виявлення неправдивих системних служб. Крім того виявляються служби, які можуть бути віднесені до категорії «невідомі».

Для всіх служб пропонується також створити опис «корисних» і «небезпечних» функцій. Точно так же, як і служби за замовчуванням, додаткові служби можуть бути ризиком для безпеки. Якщо служби спроектовані для взаємодії і контролю важливих даних і файлів операційної системи, то вони можуть стати потенційним шлюзом, через який зловмисник зможе отримати цю інформацію. Опис служб дають можливість користувачеві оцінити ризик від використання даної служби, тобто показують користь від використання служби і потенційну небезпеку для всієї системи при її активності.

Підсумком пропонованих методів є сформована інфраструктура комп'ютерної мережі, яка буде достатньою для виконання необхідних функцій і, отже, оптимізована під розв'язуванні задачі. Практична цінність запропонованих методів полягає в тому, що вони сприяють підвищенню функціональності роботи комп'ютерної системи і підвищують рівень зручності експлуатації комп'ютерної мережі, а також його інформаційної безпеки.

## III. Висновки

Розглянуто технологію формування інфраструктури комп'ютерної мережі на основі ОС Windows Server 2016. Всі необхідні сервіси в комп'ютерній мережі розгорнуті на одному сервері, що значно спрощує процес контролю за службами, а значить і адмініструванні всіх користувачів мережі. Визначено показники та критерії оцінювання повноти функціональності стану сервісної конфігурації, запропоновані нові методи контролю та оптимізації логічної конфігурації сервера комп'ютерної мережі.

## Література References

[1] Barinov, Andrei Security of the enterprise network infrastructure / Andrei Barinov. - Moscow: LAP Lambert Academic Publishing, 2016. - 513 p.

[2] Mark E. Russinovich, Aaron Margosis. Windows Sysinternals Administrator's Reference\Microsoft Press; 1 edition (July 20, 2011) - 496 c.

[3] A.Clemm. Network Management Fundamentals\ Cisco Systems, 2007 – 501 p.

[4] Deytel, H., M. Operating systems. Basics and principles. T. 1 / HM Daytel, DR Chofnes. - M.: Binom, 2016. - 1024 p.

[5] Russell, Jesse Web Server Comparison / Jesse Russell. - M.: VSD, 2017. - 310 p.

[6] Microsoft Windows 2000, Active Directory Services. MCSE Training Course. - M.: Russian Editorial Office, 2013. - 608 p.

## СЕКЦІЯ 8. ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ. ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА

## Section 8. Information protection. Information security

# DNA Cryptosystem Using a Simple Replacement

Oleksandr Sievierinov
Information Security Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oleksandr.sievierinov@nure.ua

Andrey Evheniev
Information Security Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
evheniev@gmail.com

# Криптосистема DNA з Використанням Простої Заміни

Олександр Сєвєрінов
Кафедра інформаційної безпеки
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
oleksandr.sievierinov@nure.ua

Андрій Євгенієв
Кафедра інформаційної безпеки
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
evheniev@gmail.com

***Abstract*—The paper considers the main purposes and possibilities of using DNA in such areas of information security as cryptography and steganography. The main opportunities for implementing and supporting systems based on DNA transformations, as well as the use of DNA containers as storage for a large amount of data. A cryptographic system is proposed simply for replacing with the use of DNA components.**

***Анотація*—У роботі розглядаються основні цілі та можливості використання DNA в таких сферах інформаційної безпеки, як криптографія та стеганографія. Основні можливості для впровадження та підтримки систем на основі перетворень DNA, а також використання контейнерів DNA як сховища великого обсягу даних. Криптографічна система пропонується просто для заміни з використанням компонентів DNA.**

***Keywords—DNA, cryptography, information security***

***Ключові слова—DNA, криптографія, інформаційна безпека***

## I. Introduction

The dimensions of the "digital universe" will exceed 16 zettabytes by 2017. A significant portion of this data is stored in the form of archives. For example, Facebook recently built a separate data center for the cold storage of 1 data exabyte. The same amount of information can fit into 1 mm3 of DNA. The preservation of data in DNA takes place in three stages: the conversion of digital data into a sequence of DNA nucleotides, the synthesis of DNA molecules and, directly, the storage of data. To count the data, it is necessary to select the required sequence from the DNA molecule and convert it to its original form. It should be noted that there are difficulties in working with DNA-storages, for example, there are questions about the cost of data encryption, but researchers are sure - as medical technologies develop, it will decrease. This is what happens. Time for synthesis and sequencing decreases exponentially, and the growth of their effectiveness follows the law [1].

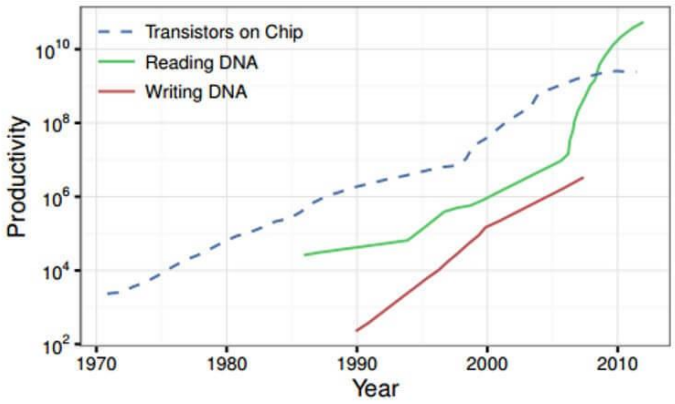



Fig. 1 - Productivity in relation to the year

The DNA molecule stores information in a quadruple number system, according to the number of nucleotides (0 = A, 1 = T, 2 = C, 3 = G). It is a compact container with a recording density that is thousands of times larger than that of existing media. However, in order for the technology to pass from scientific testing to commercial use, it is necessary to solve a number of problems. One is the specificity of digital information, in which the same bits can be repeated many times (CCCCCCCCCCCCCC). If you repeatedly repeat the same nucleotide in a DNA molecule, this adversely affects the stability of the cluster and information can be lost even if you use excessive duplication and error correction.

Researchers from the European Institute of Bioinformatics have published a paper describing how to significantly improve the stability of DNA. Simply, they propose to abandon the quaternary system (Base-4) in favor of the ternary (Base-3), and the fourth nucleotide to use for official purposes [1].

During the experiment, the researchers recorded almost a megabyte of information in the DNA, including all 154 Shakespeare sonnets in .txt format, a video recording of a 26-second Martin Luther King speech, a cover of the journal Bioinformatics Institute in .jpeg format, a scientific paper describing the structure of DNA in .pdf format, as well as another file describing the encoding process. In total, all fit in 739 kilobytes [2, p. 205].

When switching from Base-4 to Base-3, we lose 25% of the information capacity, but even in this version, scientists report an information recording density of petabytes per gram of biological material. The experiment showed the reliability of reading the information 100%. Theoretically, this scheme is capable of scaling up to the limits of the volume of all existing digital information, the authors of the study write[3].

## II. USING DNA TO PROTECT DATA

DNA cryptography is a new field based on studies in computational DNA and new technologies, such as PCR (Polymerase Chain Reaction). DNA computing has a high level of computational ability and is capable of storing a huge amount of data. The DNA gram contains 1021 DNA bases, which is equivalent to 108 terabytes of data. In DNA cryptography, we use existing biological information from publicly available DNA databases to encode plaintext [3, p. 415].

A cryptographic process can use different methods. The methods of single-use notebooks describe the most effective security algorithms. In the case of a one-time notepad, open text is combined with a secret random key or our notebook, which is used only once. The notepad is combined with plain text, using a typical modular addition or XOR operation. The speed of the algorithm should be quite high. Biological Background: DNA is an abbreviation for deoxyribonucleic acid, which is the germplasm of all life styles [2, p. 217].

DNA is a kind of biological macromolecule and consists of nucleotides. Each nucleotide contains one base and there are four types of bases: adenine (A) and thymine (T) or cytosine (C) and guanine (G) corresponding to four types of nucleotides. Single-stranded DNA is constructed with orientation: one end is called 5 ', and the other end is called 3'. Usually, DNA exists as double-stranded molecules in nature. Two complementary strands of DNA are held together, forming a double helix structure. The structure of the double helix was discovered by Watson and Crick; Thus, the complementary structure is called the Watson Crick complementarity.

Their discovery is one of the greatest scientific discoveries of the 20th century. The development of DNA cryptography benefits from the development of DNA calculations (also called molecular calculations or biological calculations). DNA contains four types of nucleotides: adenine (A), cytosine (C), guanine (G) and thymine (T). A DNA strand is a linear sequence of these nucleotides. Thus, we have four code (A, C, G, and T), so an obvious approach to storing binary data is to encode them in a quaternary number system, for example, 0 = A, 1 = C, 2 = G, and 3 = T, based on the data in Appendix A, the implemented encryption algorithm based on RSA using nucleotides is presented [4].

However, it should be borne in mind that synthesis and sequencing are prone to errors. The probability of errors can be reduced by encoding binary information not in a quaternary but in a ternarynumber system, as shown in the figure below. To avoid inefficient conversion of the original binary data to a ternary number system, the Huffman code is used. An example of such an input transformation in Figure 2.

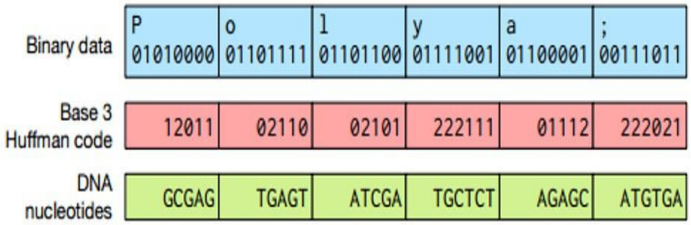



Fig. 2 - The process of converting a word to DNA nucleotides

Each of the three digits correlates with the DNA nucleotide in accordance with Figure 3, with the nucleotides in the chain being not repeated, which leads to a decrease in the sequencing error.

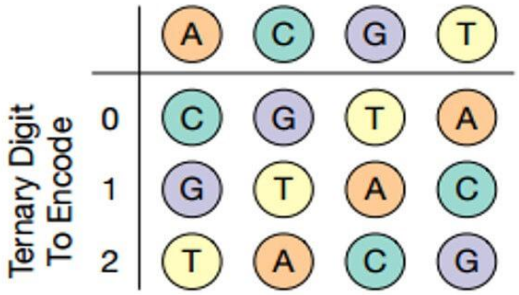



Fig. 3 - Coding of nucleotides

To ensure the possibility of random access to data, scientists organized the translation of keys into unique primer sequences. Primers are short synthetic threads that determine the beginning and the end of the region that needs to be amplified. Primers provide random access by polymerase chain reaction, which generates multiple copies of DNA. The circuits of a particular object have a common primer, and different chains with the same primer differ by address. "By controlling the sequences that are used as primers for polymerase chain reaction (PCR), we can specify which strands in the solution will undergo amplification. In order to consider the value of the key in the solution, we simply perform PCR using the primer corresponding to this key, "the scientists say [5].

## III. DNA CRYPTOSYSTEM USING REPLACEMENT

A one-time substitution system uses a group of plain text binary messages and a table group that defines a random mapping to encrypted text. The input chain has length n and is divided into unencrypted words of fixed length. The table displays all possible lines of unencrypted text with a fixed length in the corresponding lines of the encrypted text, so that there is a unique inverse mapping.

Encryption occurs by replacing each word of the plaintext of the DNA with the corresponding encrypted DNA word. The mapping is realized using a long DNA notebook consisting of a number of segments, each of which points to a single word with plain text for encoding word combinations. A word with plain text acts as a primer binding, which then lengthens. This leads to the formation of a text pair of plaintext and ciphertext.

An ideal one-time library will contain a huge number of notebooks, and each of them will provide a completely unique, random display of unprotected words in encrypted words.

A repeating block consists of: one word of the sequence $C_i$, from a set of words corresponding to the code or codebook and the prefix $P_i$. Note that $P_i$ includes a unique subsequence that prevents the attacks of frequency analysis by comparing several instances of the same plaintext message with different encrypted words. In addition, this prefix may optionally be used to encode the position of a word in a message [6].

Each pair of sequences $i$ uniquely connects a text word with a ciphertext word.

The sequence of stoppers prohibits the expansion of the growing DNA chain beyond the bounds of the pairwise encrypted word. Using this theme, a library of unique codebook chains is created. Each separate chain from this codebook library specifies a specific unique set of pair words.

A one-time notebook consists of a DNA chain of length n, containing

$$d = \frac{n}{L_1+L_2+L_3}$$

copies of a repeating pattern: an encrypted word of length $L_2$, a word of open text of length $L_1$and a length stop sequence $L_3$.

Note that the length of the word grows logarithmically along the entire length of the notebook. Definitely

$$L_1 = c_1 \log_2 n;\ L_2 = c_1 \log_2 n \text{ and } L_3 = c_3,$$

where $c_1, c_2, c_3$ are fixed integer constants and $c_1, c_2, c_3 > 1$. Each repeater specifies a single match pair, and no word from the codebook or text word will be used more than once in any notebook.

Therefore, given the encrypted word $C_i$, we are sure that it displays only one word with plaintext $P$ and vice versa. The stopper sequence acts as a "punctuation" between repeating links, so that the DNA polymerase can not continue copying the matrix filament (notepad). Stopper sequences consist of a sequence of identical nucleotides that act to stop the copying of the chain by DNA polymerase, given the lack of complementary nucleotide triphosphate in the tube. For example, the TTTT sequence will act as a stopping point if the polymerization mixture lacks its complementary base [7].

The experimental feasibility depends on the following factors: the size of the lexicon, which is the number of pairs of words of plaintext-encrypted text, the size of each word, the number of disposable DNA, the notebooks that can be created in the synthesis cycle, and the length of each message that must be encrypted. If the lexicon used consisted of English words, its size would be in the range of 10,000 to 25,000 word pairs. If, for experimental reasons, a smaller lexicon is required, then the words used can be a smaller set, such as ASCII characters, which leads to the size of the dictionary 128.

## IV. CONCLUSIONS

In the future, such systems will potentially save a huge amount of data on microscopic media. Imagine a "flash drive" of 100 mm3, capable of storing about 100,000 PBB of data. However, meanwhile, the biggest obstacle to the introduction of such technologies is time. Decoding and reading the DNA molecule takes many hours. Therefore, this kind of storage is hardly suitable for the content of frequently used data, but it can turn our notion of long-term storage in data centers.

## REFERENCES


[1] DNA Data cryptography [Electronic resource] // URL: https://www.slideshare.net/mayukhmaitra/dna-cryptography.

[2] G. Baumslag, B.Fine, and X.Xu, Cryptosystems Using Linear Groups Appl. Alg. in Engineering, Communication and Computing 17, 2006.

[3] A.G. Myasnikov, V.Shpilrain and A. Ushakov, Group-Based Cryptography, CRM Barcelona, 415, 2007.

[4] K.Ko, J.Lee, J.H. Cheon, J.W. Han, J.Kang, C.Park, New Public-Key Cryptosystem Using Braid Groups , Advances in Cryptology - CRYPTO 2000 Santa Barbara CA , Lecture Notes in Computer Science, Springer 1880, 2000, 166-183.

[5] V.Shpilrain and A. Ushakov, The Conjugacy Search Problem in Public Key Cryptography; Unnecessary and Insufficient Applicable Algebra in Engineering, Communication and computing, 17, 2006 285-289.

[6] Cerm´ak, J. “Digital generators of chaos,” Phys. Lett. 525, 1996, 151–160.

[7] K.Ko, J.Lee, J.H. Cheon, J.W. Han, J.Kang, C.Park, New Public-Key Cryptosystem Using Braid Groups , Advances in Cryptology - CRYPTO 2000 Santa Barbara CA , Lecture Notes in Computer Science, Springer 1880, 2000, 166-183.

# Дослідження Системи Управління Інформаційною Безпекою Судна на Мережі Петрі

Дмитро Бабійчук
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
cool.babiychyk2011@gmail.com

Марина Турти
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
turtym@meta.ua

# Investigation of the information security management system of the vessel on Petri's network

Dmytro Babiichuk
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
cool.babiychyk2011@gmail.com

Marina Turty
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
turtym@meta.ua

***Анотація* — Проведено огляд принципів функціонування системи управління інформаційної безпеки (СУІБ). Визначено особливості об'єкта інформаційної діяльності, системи захисту інформації і СУІБ які доцільно враховувати в імітаційній моделі, проаналізовано математичні основи методів побудови імітаційних моделей СУІБ, створена інформаційна модель системи управління інформаційної безпеки судна та відповідна їй імітаційна модель.**

**Abstract — An overview of the principles of the functioning of the information security management system (ISMS) was conducted. The peculiarities of the object of information activity, the information security system and the ISMS are determined, which should be taken into account in the simulation model, the mathematical bases of the methods of constructing simulation models of the ISMS are analyzed, the information model of the information security system of the ship and the simulation model**

***Ключові слова — інформаційна безпека, система управління інформаційною безпекою, імітаційна модель, мережі Петрі, суб'єкт, умови.***

***Keywords — information security, information security management system, simulation model, petri net, subject, conditions.***

## I. Вступ

Аналіз аварійності світового судноплавства показує, що майже 80% аварійних випадків пов'язані з «людським фактором», з помилками, порушеннями норм і правил з боку осіб суднового екіпажу. Тому відповідно до «Міжнародного кодексу з управління безпечною експлуатацією суден і запобіганням забрудненню» кожна судноплавна компанія повинна розробити і ввести в дію систему управління безпекою, до якої як складова входить система управління інформаційною безпекою.

Система управління інформаційною безпекою (СУІБ) (англ. Information security management system, ISMS) – частина загальної системи управління, яка грунтується на підході, що враховує ризики інформаційної безпеки як бізнес-ризики, призначена для розроблення, впровадження, функціонування, моніторингу, перегляду, підтримування та вдосконалення інформаційної безпеки.

СУІБ є дуже великим комплексом з ускладненою логікою, тому при розробці доцільно застосовувати проектні рішення, що перевірені на математичних моделях.

## II. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

На даний час задачі імітаційного моделювання систем захисту інформації і СУІБ розглядаються багатьма вітчизняними і зарубіжними науковцями [1-5].

Формалізований опис СУІБ ускладнюється тим, що у зв'язку з різною специфікою робіт технологічної схеми на кожному етапі використовується власний метод специфікації, причому всі методи базуються на моделях, що становлять собою той або інший вид машини послідовностей [3].

Здебільшого наукові роботи в цій галузі присвячені розв'язку конкретної задачі (моделюванню конкретної системи) в різноманітних програмних середовищах і на основі різних математичних моделей. Однак, на даний час задача вибору оптимальної математичної моделі для вирішення задачі дослідження процесу функціонування конкретної СУІБ з врахуванням особливостей об'єкта інформаційної діяльності, система захисту інформації і СУІБ відсутні.

## III. Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи є розробка імітаційної моделі функціонування системи управління інформаційною безпекою, з врахуванням особливостей об'єкта інформаційної діяльності, системи захисту інформації і системи управління інформаційною безпекою на мережі Петрі.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв’язати наступні задачі: проаналізувати методики дослідження систем на мережах Петрі, розробити інформаційну модель СУІБ судна і визначити особливості її використання.

## IV. Аналіз методики дослідження систем на мережах Петрі

Формально мережею називають трійку <P, T, F>, де P - непорожня множина елементів, що називаються місцями (позиціями); T - це непорожня множина елементів, що називаються переходами; F⊆ PxT ∪ TxP - відношення інциндентності.

При цьому виконуються умови:

1. P∩T=0: жоден елемент не може бути переходом і позицією одночасно.

2. (F≠∅)∧(∀x∈P∪T, ∃y∈P∪T: xFy ∨ yFx): відсутні елементи. які не інциндентні хоча б одному елементу протилежного типу.

3. $\forall p_1 p_2 \in P$: $({}^0p_1={}^0p_2)\wedge(p_1{}^0=p_2{}^0)\Rightarrow (p_1=p_2)$, де ${}^0p=\{y \mid yFp\}$, $p^0=\{y \mid pFy\}$: відсутні різні позиції, у яких співпадали б множини вхідних та вихідних переходів відповідно. Функціонування системи на моделі у вигляді мережі Петрі веде до появи процесу, що являє собою реалізацію послідовно в часі ряду подій. Самі процеси є не детермінованими, тобто система в однакових умовах функціонує по-різному, породжуючи множину процесів. Якщо подія реалізується, то вона породжує дію (реалізація події може не відбутись або відбутись кілька разів). Множина процесів, що породжуються системою, характеризує динаміку поведінки системи.

Прості мережі Петрі відображають статику, оскільки ніяк не фіксується поточний стан процесу. Для реєстрації динаміки додають дві функції на множині елементів мережі: $F \to N \setminus \{0\}$ - функція кратності дуг, яка ставить кожній дузі у відповідність натуральне число відмінне від нуля ( - множина натуральних чисел) та $\mu^0 : P \to N$ - функція початкової розмітки, що ставить у відповідність кожній позиції натуральне число, яке відповідає початковій кількості фішок в позиції.

Маркована мережа Петрі $(S, \mu)$ – це сукупність структури мережі Петрі $S = < P, T, I, O >$ і маркування $\mu^k = \{\mu_1^k, \mu_2^k, \ldots, \mu_n^k\}$ $\mu_i \in N$ , $k = 0, 1, 2, \ldots$ - номер кроку процесу моделювання.

Якщо для деякої події всі вхідні позиції мають маркери у кількості не меншій за кількість дуг з позиції в перехід, то подія стає активною (дозволеною). Дозволений (активний) перехід в маркованій мережі Петрі – це перехід, для якого виконується умова

$$\forall (p_i \in P): \mu_i = \mu(p_i) \geq \#(p_i, I(t_j)) \cdot$$

Активних переходів може бути декілька, але в простій маркованій мережі спрацьовує тільки один перехід, що обумовлює наявність невизначеності в мережах Петрі, оскільки порядок спрацьовування активних переходів не є детермінованим. Коли активна подія спрацьовує, то вона прибирає по одному маркеру з кожної вхідної позиції і додає один маркер у кожну вихідну позицію.

Мережа Петрі може бути застосована для моделювання процесів в системі перед її реалізацією з метою перевірки правильності функціонування проекту або для аналізу існуючої системи з метою її оптимізації. При цьому можна використати або формальні методи аналізу, або імітаційні моделі з вбудованими генераторами випадкових величин для вибору з активних переходів переходу для запуску. Ситуаціям ставиться у відповідність співвідношення змінних компонентів моделі (розмітки позицій) з постійними компонентами (навантаження дуг). Моделюються тільки такі дії, результати яких відображаються відніманням або додаванням констант (навантаження дуг) до змінних моделі (розмітка позицій).

Для оцінки процесів функціонування систем на ординарних мережах Петрі і мережах із кратними дугами визначають наявність таких основних властивостей: досяжність певної розмітки при заданій початковій розмітці, що відповідає досяжності певного узагальненого стану системи, якому відповідає певна сукупність позицій,

і певної послідовності подій в системі; покриття мережі; відсутність чи наявність безвихідних станів (англ. deadlock): t -тупикових маркувань і тупикових маркувань мережі; потенційна живучість переходів; живучість переходів; живість мережі; обмеженість позицій; обмеженість мережі; безпечність позицій; безпечність мережі; консервативність мережі; строгу консервативність мережі; повторюваність спрацьовування переходів; стаціонарна повторюваність спрацьовування переходів; стійкість мережі; оборотність мережі; наявність станів прийому; адекватність мережі як моделі реальній досліджуваній системі; еквівалентність двох мереж; включення однієї мережі в іншу.

Більш широкі можливості аналізу систем надають інші типи мереж Петрі:

а) мережі Петрі із змінною кратністю дуг, які дозволяють моделювати ситуації типу «посадки пасажирів», коли рух відбувається із змінною кількістю пасажирів з доставкою їх за різними маршрутами;

б) кольорові мережі Петрі, в яких фішки мають різні кольори, а умови можливості спрацьовування і запуску переходів визначаються для кожного виду фішок незалежно;

в) мережі подій, які призначені для імітаційного моделювання систем з дискретними подіями;

г) Е-мережі, які використовуються для алгоритмічних описів виробничих систем, які можуть бути структурованими у вигляді мережі подій;

д) мережі Петрі із затримками в часі використовуються для аналізу систем, в яких діють обмеження на ресурси, що використовуються системою (об'єм оперативної пам'яті, потужність, швидкість обслуговування тощо). Таким обмеженням в цих моделях відповідає умова обмеженості розмітки на певних інтервалах виконання мережі. Функціонування таких мереж моделюється за наступними правилами: фішки в позиціях можуть бути доступними або недоступними; перехід є активним, якщо у всіх його вхідних позиціях є фішки, і ці фішки доступні; переходи спрацьовують миттєво; після запуску переходу фішки пересуваються як у звичайних мережах Петрі, але в новій позиції деякий визначений час залишаються недоступними.

## V. Методологія дослідження

Основними проблемами створення СУІБ судна та автоматизації управління інформаційною безпекою судна є необхідність забезпечувати захист інформації такої складної системи як судно на всіх етапах «життя» судна: конструювання (планування, будівництво, випробування), експлуатація, утилізація (перебудова); залежність інформаційної безпеки судна від багатьох критеріїв; необхідність забезпечувати працездатність СУІБ судна на етапі експлуатації при відсутності професіоналів в галузі безпеки інформації. На інформаційну безпеку судна впливають фактори, які можна розбити на наступні групи: незадовільні властивості судна; несприятливі зовнішні умови; відмови суднових технічних засобів та обладнання; вплив вантажів, функціональних систем і пристроїв цільового призначення; помилки в діях екіпажу, пасажирів, персоналу.

Для мережі Петрі з пронумерованими позиціями $p_i, i=\overline{1,n}$ та переходами $t_j, j=\overline{1,m}$ складаємо дві матриці $B$ та $D$ розмірності $n\times m$, рядки в яких відповідають позиціям, а стовпці – переходам. Якщо для позиції $p_i$ наявна вихідна дуга кратності $k$, що є вхідною дугою переходу $t_j$, то $b_{ij}=k$. Якщо для позиції $p_i$ наявна вхідна дуга кратності $k$, що є вихідною дугою переходу $t_j$, то $d_{ij}=k$. В інших випадках елементи матриць $B$ та $D$ дорівнюють нулю. Матриці $B=\{b_{ij}\}, D=\{d_{ij}\}, i=\overline{1,n},\ j=\overline{1,m}$ відображають структуру мережі. Якщо мережа не має петель, то її структура може задаватися матрицею $C=D-B$. Початковий стан системи визначається початковим маркуванням $\mu^0=\{\mu_i^0\}$.

Для кожної позиції $p_i$ задається індикатор - вектор $u^{p_i}=\{u_l^{p_i}\}, l=\overline{1,n}$, а для кожного переходу $t_j$ задається індикатор - вектор $u^{t_j}=\{u_g^{t_j}\}, g=\overline{1,m}$. Всі елементи цих векторів дорівнюють нулю, окрім елемента, що відповідає *i*-ій позиції / *j*-ому переходу. Тоді добуток $u^{p_i}\times B=p_i^-$ є вектором кратностей вихідних дуг позиції $p_i$ до кожного з $m$ переходів (відсутність відповідної дуги виражається нулем), а добуток $u^{p_i}\times D=p_i^+$ є вектором кратностей вхідних дуг в позицію $p_i$ від кожного з $m$ переходів. Аналогічно добуток $B\times u^{t_j}=t_j^-$ є вектором кратностей вихідних дуг з переходу $t_j$ до кожної з $n$ позицій, а добуток $D\times u^{t_j}=t_j^+$ є вектором кратностей вхідних дуг переходу $t_j$ від кожної з $n$ позиції.

Умову активності переходу $t_j\in T$ представити у вигляді $\mu_i^k\ge t_{j_i}^-=B\times u^{t_j}$. Після спрацьовування переходу маркування зміниться на нове: $\mu_i^{k+1}=\mu_i^k-t_j^-+t_j^+=$ $=\mu_i^k-B\times u^{t_j}+D\times u^{t_j}=\mu_i^k+C\times u^{t_j}=\mu_i^k+C\times u^{t_j}$.

Таким чином, рівнянням стану мережі є система: $\mu^{k+1}=\mu_i^k+C\times u^{t_j}$, $\mu_i^0$, $\mu^k\ge B\times u^{t_j}$. Рівняння стану мережі є повним формальним представленням динаміки мережі, але є рекурентним і не розв'язується алгебраїчно, оскільки містить нерівності.

Фундаментальне рівняння мережі Петрі $\mu^k=\mu^0+C\times\sum_{t\in\sigma}u^t=\mu^0+C\times\sigma$, де вектор $\sigma=\sum_{t\in\sigma}u^t$ є

підрахунком спрацьовувань дозволеної послідовності переходів послідовності, має рішення в цілих невід'ємних числах ( $\sigma$ складається з цілих невід'ємних чисел) для певного маркування $\mu^k$, якщо це маркування є досяжним в цій мережі з початкового маркування $\mu^0$.

Для дослідження структурних властивостей мережі складемо системи рівнянь для пошуку цілих невід'ємних рішень (діофантові системи лінійних рівнянь): $x \times C = 0$ - для визначення інваріанту позицій мережі (*p*-інваріанту) і $C \times y = 0$ для визначення інваріанту переходів мережі (*t*-інваріанту). Структурними властивостями *p*-інваріантної мережі, тобто властивостями, які спостерігаються при будь-якому початковому маркуванні, є постійна зважена сума маркерів мережі і обмеженість мережі.

## VI. Обговорення результатів дослідження

СУІБ судна є складною за архітектурою системою, яка працює в умовах стохастичних і детермінованих динамічних вимог з боку зовнішнього середовища. Для моделювання процесу функціонування СУІБ можна використати нечітку часову мережу з інгібіторними зв'язками безпечного типу, яка характеризується тим, що в позиції не може перебувати більше одного маркера.

Накопичення і використання статистичних даних (в тому числі віртуальних), можливість моделювання як технічних, так і людино-машинних систем, процесів передачі інформації, дій зловмисників тощо надають нечітким часовим мережам безсумнівну перевагу при аналізі СУІБ, для чого модель досліджується у спеціалізованому програмному забезпеченні.

Розроблена схема моделі функціонування СУІБ містить наступні блоки: блок дестабілізуючих факторів, блок моделі захищеної системи, блоки первинних і вторинних наслідків, блок засобів контролю і управління, блок надійності і відновлення, блок оцінки функціонування системи і прийняття рішень.

Модель дозволяє визначати: обмеженість апаратної, реалізації – за критерієм «ціле число маркерів»; безпечність – за критерієм «кількість маркерів не перевищує 1»; потенційну живість – за критерієм «кожний із переходів може спрацювати», тобто відсутні тупикові маркування; досяжність маркування (в тому числі початкового) та покриття; стійкість – за критерієм «спрацювання будь-якого переходу не блокує інших»; активність – за критерієм «відсутні взаємні блокування. Модель дозволяє дослідити перспективність зміни структури і параметрів СУІБ. Проаналізувавши СУІБ за допомогою мереж Петрі, можна у зручній графічній формі дослідити коректність реалізації процесу оцінки та експлуатаційні властивості моделі.

## VII. Висновки

Таким чином, в даній роботі проведено аналіз методики дослідження систем на мережах Петрі, розроблено інформаційну модель СУІБ судна і визначені особливості її використання.

## Література References


[1] H. Arafat Ali, A new model for monitoring intrusion based on Petri Nets. Available https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/EUM0000000005807

[2] M. Szpyrka, B. Jasiul, Evaluation of Cyber Security and Modelling of Risk Propagation with Petri Nets. Poland. Available: https://pdfs.semanticscholar.org/d55c/ef791ecdd79993ee6431acf68927b6f61809.pdf

[3] L. Yao, T. Zheng, P. Dong, M. Guizani, Network security analyzing and modeling based on Petri net and Attack tree for SDN. International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), 2016. Available: https://www.researchgate.net/publication/301710155_Network_security_analyzing_and_modeling_based_on_Petri_net_and_Attack_tree_for_SDN

[4] В. Б. Дудикевич, Ю. Р. Гарасим, Дослідження моделі оцінювання живучості систем захисту інформації корпоративних мереж зв'язку за допомогою мереж Петрі. Вісник Національного університету "Львівська політехніка", 2011, № 699: Інформаційні системи та мережі, С. 82–94. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://science.lp.edu.ua/sites/ default/files/ Papers/09_71.pdf

[5] В. П. Самарай, Моделювання безпеки міжнародних систем і міжнародної системи безпеки в теорії графів [Електронний ресурс]. Режим доступу:: http://www.kymu.edu.ua/vmv/v/p06/samaray.pdf

[6] Д. О. Бабійчук, Математичні основи побудови імітаційної моделі функціонування системи управління інформаційною безпекою. Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної технічної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Актуальні проблеми сучасної прикладної математики»,-Миколаїв: НУК, 2017, С.7-9.

# Research of Phishing-Attacks Dynamics by the Wavelet-Analysis Method

Zhanna Deineko
Department of Media Systems and Technologies
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
zhanna.deineko@nure.ua

Diana Draz
Student of the Department of Media Systems and Technologies
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
diana.draz@nure.ua

# Дослідження динаміки Phishing-атак методом вейвлет-анализу

Жанна Дейнеко
кафедра медіасистем і технологій
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
zhanna.deineko@nure.ua

Діана Драз
студент кафедри медіасистем і технологій
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
diana.draz@nure.ua

***Abstract*—In the article, the problems of research and forecasting of Phishing-attacks by a method of discrete wavelet-transformation are considered. A discrete wavelet transformation method for estimating of the probability of Phishing-attacks is proposed; features of using the basic characteristics of wavelet-analysis for the study of time series are shown. On the example of real data, confirmed by Phishing-attacks, a long-term dependence is revealed, which can be used to justify the forecasts of the occurrence of Phishing attacks.**

***Анотація*—У статті розглянуті питання дослідження і прогнозування Phishing-атак методом дискретного вейвлет-перетворення. Пропонується метод дискретного вейвлет-перетворення для оцінки ймовірності Phishing-атак, показані особливості використання основних характеристик вейвлет-аналізу для дослідження часових рядів. На прикладі реальних даних, підтверджених Phishing-атак, виявлена довгострокова залежність, що може бути використано для обґрунтування прогнозів виникнення Phishing-атак.**

***Keywords—wavelet-analysis; wavelet-energy; time series, Phishing-attack***

***Ключові слова—вейвлет-аналіз; вейвлет-енергія; временной ряд; Phishing-атаки***

## I. INTRODUCTION

Recently, in the information field of modern remote communication systems, it is necessary to take into account the security of transmitting and receiving various data that may be accompanied by the presence of malicious components in the transmitted content [1]. Moreover, all sorts of technological tricks, along with objective shortcomings of software developers and designers, leave a large number of loopholes that somehow need to be taken into account. Among these loopholes a special place is occupied by the notion of phishing [2].

Today the most important risk and challenge is online fraud and phishing attacks. Phishing attacks were always used by attackers to steal users' passwords and electronic codes in virtual environment.

The term Phishing -attack is far from new and represents a process of deceiving customers for the subsequent theft of their identity and the transfer of their confidential information for criminal use. Access to logins and passwords is carried out by sending emails on behalf of popular brands and personal messages [2, 3].

Phishing attacks are categorized into different groups based on their attack method which include deceptive phishing, malware-based phishing, phishing by hosts file poisoning, system reconfiguration attacks, DNS-based phishing, content-injection phishing, search engine phishing, domain hijacking, PDF file phishing, and spear phishing. In all these phishing attacks, attackers use fake websites similar to main ones to achieve their goals and steal victims' information. In order to confront phishing attacks, different techniques have been invented which are called anti-phishing. Each anti-phishing

technique is focused on a certain characteristic of phishing pages or fake emails and some of them consider two or more characteristics and identify phishing pages using these characteristics.

## II. Study of Phishing-attack by the Discrete Wavelet-Transformation method

The article considers the possibility and shows the effectiveness of conducting a study of Phishing-attack using the methodology of discrete wavelet analysis.

In terms of dynamics of Phishing-attacks, there is a data that characterize the daily number of Phishing-attacks. Such a data allows you to consider the power of Phishing-attacks in their daily recalculation over a period of time, the intensity of such attacks at certain intervals, or their consistency. At the same time, such conclusions can be useful both for their prevention and for predicting the possible growth of Phishing-attacks.

The processing and analysis of the sequence of data presented in the form of a time series is one of the most common methodologies in the study of various processes and phenomena related to different fields of activity and research. In this case, many time series generated by information flows have fractal properties and can be considered as stochastic fractals. Identification and study of such fractal properties can be carried out on the basis of the methodology of wavelet analysis [1].

In order to study the dynamics of Phishing attacks, the data from the website http://www.phishtank.com was taken, where data on confirmed Phishing attacks (Figure 1) and data on the total number of attacks were taken as the initial data. These data cover the period of time from October 1, 2012 to May 31, 2018 in their daily submission. On Fig. 1 and Fig. 2, along the abscissa, the days of the explored period are plotted, and along the ordinate axis, the number of confirmed and submitted Phishing-attacks, respectively. In terms of the study, graphs of autocorrelation functions of time series were presented. In both cases, a process of slowly decreasing autocorrelation function is observed. Consequently, the considered dynamics of the number of Phishing attacks is a self-similar process [1].

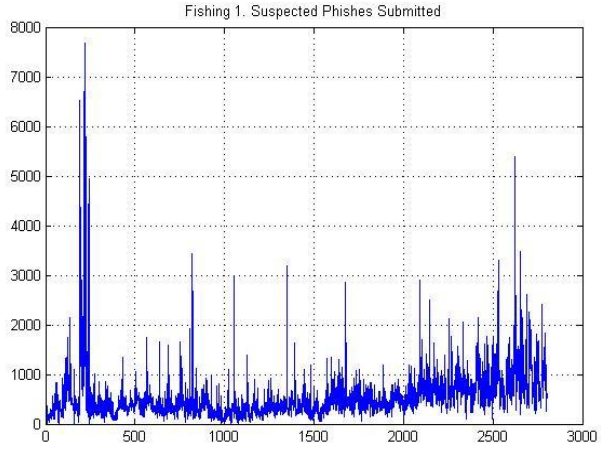



Fig. 1. Confirmed Phishing attacks data

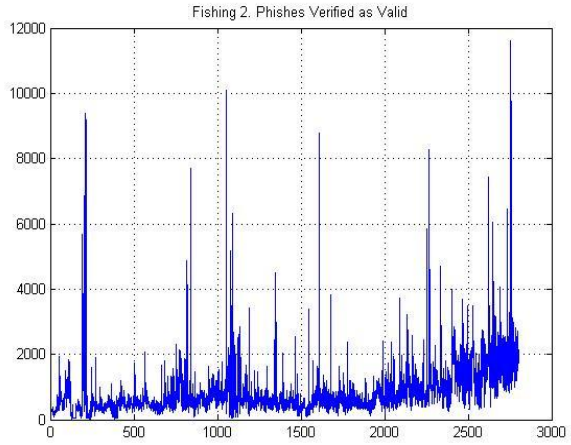



Fig. 2. Data on the total number of Phishing attacks

In the paper, general provisions concerning the wavelet analysis of time series were considered, and the features of using the basic characteristics of wavelet analysis for the study of time series were shown. Based on the real data, which are characterized by the time series presented, the ideology of applying wavelet analysis in the study of Phishing attacks is considered.

In particular, it is shown that the explored data series are characterized by the presence of a significant long-term dependence. This indicates the presence of long-term memory in the explored series of data, which makes it possible to build adequate forecast models for such a data.

## III. Conclusion

Analysis of the spectrum of wavelet energy allows us to consider the presence of a trend component in the structure of the explored series of data, which can also be used to justify the forecasts regarding the occurrence of Phishing-attacks. At the same time, a mutual study of the spectrum of the wavelet energy of data series allows us to draw conclusions about the conformity of the methods used to identify the diversity of various events taking place in the Internet environment from the point of view of identifying potential Phishing attacks.

## References

[1] Deineko, Zh. Properties of wavelet coefficients of self-similar time series // V. Lyashenko, Zh. Deineko, M. Ahmad / International Journal of Scientific and Engineering Research. – 2015. – 6 (1). – P. 1492-1499.

[2] Dadkhah, M. Prediction of phishing websites using classification algorithms based on weight of web pages characteristics // M. Dadkhah, M. Jazi, V. Lyashenko / Journal of Mathematics and Technology. – 2014. – 5(2). – P. 24-35.

[3] Dadkhah, M. Methodology of the Chaos Theory in Research of Phishing Attacks // M. Dadkhah, M. Jazi, V. Lyashenko / International Journal of Academic Research. – 2015. – 7(1). – P. 169-175.

# Методологія Оцінювання Генераторів Реальних Мовоподібних Завад в Захисті Мовної Інформації

Юрій Касьянов
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування
Миколаїв, Україна
yukas.nik.ua@gmail.com

Юлія Кисельова
студентка
Національний університет кораблебудування
Миколаїв, Україна
thejuliakiselyova@gmail.com

# Methodology for Assessment of Real Speech-like Interference Generators in the Speech Information Protection

Yurii Kasianov
Department of Computer Technology and Information Security
National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
yukas.nik.ua@gmail.com

Julia Kiselyova
student
National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
thejuliakiselyova@gmail.com

***Анотація*— Обгрунтовано доцільність використання критерію розбірливості мови для нормування захищеності мовної інформації. Запропоновано методологію оцінювання ефективності генераторів реальних мовоподібних завад.**

***Abstract*— Using of speech intelligibility criterion for speech information security rationing is substantiated. The methodology for efficiency assessment of real speech-like interference generators is proposed.**

***Ключові слова—захищеність мовної інформації; критерій оцінювання; розбірливість мови; реальна мовоподібна завада; генератор***

***Keywords— speech information security; assessment criterion; speech intelligibility; real speech-like interference; generator***

## I. Вступ

Захист мовної інформації від витоку по технічних каналах завжди був і зостається актуальною проблемою, оскільки вона має високу смислову насиченість і є об'єктом особливої уваги зловмисників, бажаючих оперативно отримати свіжі відомості про діяльність державних установ, різних підприємств і організацій, приватних осіб. Найбільш ефективним є активний захист з використанням генераторів акустичних завад, що дозволяє оперативно змінити рівень завади і пристосуватись до зміни ситуації.

Існує ряд сертифікованих ДССЗЗІ України генераторів завад ("РІАС", "МАРС-ТЗО-4-2", "Топаз" і т.д.), які в певній мірі відповідають вимогам нормативних параметрів в сфері технічного захисту інформації (ТЗІ). Вони формують сигнал "білого" шуму і його модифікації, що обумовлює підвищену вразливість захисту при використанні сучасних засобів шумоочищення.

Ефективними в цих умовах є генератори реальних мовоподібних завад. Але їх впровадження у практику гальмується використанням критерію відношення сигнал/шум при нормуванні захищеності мовної інформації та відсутністю методів і методик оцінювання ефективності.

Таким чином, підвищення ефективності протидії витоку мовної інформації потребує впровадження нових критеріїв нормування захищеності мовної інформації та розробки методів і методик оцінювання ефективності захисту, які б стали основою нових нормативно-правових документів в сфері ТЗІ.

## II. Аналіз літературних джерел та мета роботи

Для оцінювання якості каналів мовного зв'язку та акустики приміщень вже давно використовується критерій розбірливості мови [1], що є основою міжнародних та національних стандартів [2–5].

Відкриті публікації щодо використання критерію розбірливості мови у задачах оцінювання захищеності мовної інформації від витоку технічними каналами з'явились на початку століття. В [6] викладено основи методики для оцінювання захищеності мовної інформації, що використовує формантний метод визначення словесної розбірливості мови у інтерпретації М.Б. Покровського [1], доповнений формулами апроксимації залежностей аналогічно методу STI [5]. В подальшому ця методика була сертифікована ФСТЕК Росії. В монографії українських вчених [7] детально розглянуто основні методи визначення розбірливості, дано їх порівняння та можливості використання в задачах захисту інформації.

Наразі цей напрямок активно розвивається і публікації в основному присвячені удосконаленню і використанню вказаної вище методики, а також удосконаленню існуючих та пошуку нових методів визначення розбірливості мови для оцінювання захищеності мовної інформації [8–11].

Метою роботи було обґрунтування доцільності використання для нормування захищеності мовної інформації критерію розбірливості мови, як інваріантного до виду завади та розробка методології оцінювання ефективності генераторів реальних мовоподібних завад за даним критерієм.

## III. Обґрунтування доцільності використання критерію розбірливості мови

Задача захисту мовної інформації вирішується або зниженням рівня інформативного сигналу, або створенням додаткових акустичних завад в каналі витоку. Тому природно, що за критерій захищеності мовної інформації було взято відповідність відношення сигнал/шум у точках можливого знімання інформації (контрольних точках) значенням, встановленим нормативними документами, при яких виявлення і розпізнавання інформації в певній мірі, залежно від необхідного ступеня захисту, є неможливим. Наразі цей критерій використовується і в Україні.

Критерій "сигнал/шум" було прийнято в умовах тотального використання для активного захисту мовної інформації генераторів "білого" шуму, які до останнього часу задовольняли потреби інформаційної безпеки Тому вимоги нормативних документів (норми) щодо відношення сигнал/шум були орієнтовані на цю заваду. Аргументом на користь цього критерію були оперативність і простота вимірювання.

Розвиток засобів запису мовної інформації, спеціалізованих напрямків аналізу складних сигналів та принципів формування мовних сигналів привели до створення методик, які дозволяють проводити очищення фонограм від "білого" шуму та його модифікацій. В цій ситуації простим збільшенням рівня зашумлення задача боротьби з технічною розвідкою не вирішується, оскільки суттєво погіршуються умови спілкування всередині виділених приміщень. Це зумовило створення генераторів з більш ефективними типами завад, в тому числі генераторів реальних мовоподібних завад. Але при їх впровадженні у практику встає проблема неоднозначності зв'язку між відношенням сигнал/завада у точці можливого зняття інформації і зрозумілістю перехопленого мовного повідомлення при різних типах завад. При однаковому відношенні сигнал/завада але при різних типах завади зрозумілість отриманого (перехопленого) мовного повідомлення буде різною. Це підтверджено рядом досліджень [6, 7], де з використанням формантного методу отримано залежності словесної розбірливості мови, що є безпосередньою мірою зрозумілості, від інтегрального відношення сигнал/шум при різних типах шумових завад (рис.1). Аналогічні залежності отримано методом артикуляційних випробувань, в тому числі для деяких реальних мовоподібних завад [9].

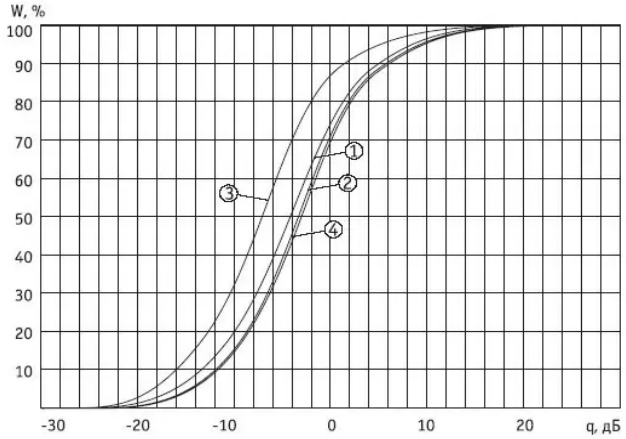



Рис.1 Залежність словесної розбірливості *W* від інтегрального відношення сигнал/шум *q* в смузі частот 175…5600 Гц: 1- "білий" шум; 2 – "рожевий" шум; 3 – "коричневий" шум; 4 – мовоподібний шум

Таким чином, норма у вигляді відношення сигнал/завада неоднозначно визначає ступінь захищеності мовної інформації у технічному каналі її витоку при різних типах завад. Тому орієнтація і надалі при нормуванні захищеності мовної інформації на типову заваду «білого» шуму при використанні генераторів більш ефективних завад призводить до надлишкового рівня завади, що погіршує умови спілкування всередині виділеного приміщення та автоматично потребує підвищення гучності розмови. Використання ж таких генераторів при нижчих рівнях створюваної завади входить у протиріччя з вимогам нормативних документів. Задавати в нормативних документах норми для різних типів завад теж є недоцільним через їх різноманіття та появу нових технічних рішень.

Виходом з ситуації є використання в якості критерію захищеності мовної інформації безпосередньої чисельної міри сприйняття інформації – розбірливості мови, як це зроблено в провідних країнах світу. Цей критерій зробить норму інваріантною (незалежною) до типу завади.

При цьому, на відміну від оцінювання якості каналу мовного зв'язку, нормується (обмежується) допустимий

максимум розбірливості. Окрім того, при оцінюванні захищеності мовної інформації потрібно врахувати цілий ряд особливостей, зокрема сумірність та навіть перевищення завадою інформативного сигналу у каналі витоку інформації, необхідність оперативності оцінювання захищеності, можливості технічної розвідки (можливість запису та багаторазового прослуховування перехопленого повідомлення, шумоочищення перехопленого сигналу, професійна підготовка аудиторів тощо). Тому безпосередньо використати методи та методики визначення розбірливості мови, що застосовуються в задачах оцінювання якості каналів мовного зв'язку та акустики приміщень, для задач оцінювання захищеності мовної інформації від витоку технічними каналами не можна. Необхідно провести їх адаптацію та удосконалення, або створити нові методи і методики.

## IV. Методологія оцінювання ефективності генераторів реальних мовоподібних завад

Основою методології оцінювання ефективності генераторів акустичних завад для захисту мовної інформації є використання залежності словесної розбірливості мови від інтегрального відношення сигнал/завада, аналогічної представленим на рис.1. Порівняння генераторів за ефективністю за ефективністю зводиться до порівняння словесної розбірливості при однакових значеннях відношення сигнал/завада.

Наразі в сертифікованих методиках оцінювання захищеності мовної інформації за критерієм розбірливості мови для отримання залежності словесної розбірливості мови від інтегрального відношення сигнал/завада використовується об'єктивний формантний метод, за яким словесна розбірливість в контрольній точці визначається за сумарною формантною розбірливістю (в міжнародних та іноземних національних методиках її називають інтегральним індексом артикуляції мови). Сумарна формантна розбірливість, в свою чергу, розраховується як сума розбірливості формант в октавних або третиноктавних смугах мовного діапазону частот (спектральних індексів артикуляції мови), що залежать від відношення сигнал/шум в цих смугах. Відношення сигнал/шум визначають шляхом вимірювання у контрольних точках. Тестовий інформативний сигнал при цьому є шумовим сигналом зі спектром, аналогічним спектру довготривалої мови (має таку ж обвідну) [6].

Дані методики дають цілком адекватні результати при використанні шумових завад, в тому числі і шуму зі спектром, подібним до спектру мови. Однак, методики на базі формантного методу не дозволять адекватно оцінювати захищеність мовної інформації при використанні реальних мовоподібних завад, так як розбірливість мови залежатиме не тільки від довготривалого енергетичного спектру завади (її середніх рівнів в октавних чи третиноктавних смугах), але і від її семантично-смислового характеру (видів та спектрів короткочасних мовних фрагментів, з яких формується завада, а також нових семантичних одиниць, що можуть виникати при накладанні завади на інформативний сигнал).

Ці особливості автоматично враховуються при використанні суб'єктивного методу артикуляційних випробувань [1–4]. Але цей метод потребує підготовлених дикторів і аудиторів, є статистичним, пов'язаним з багатоваріантними дослідженнями, і в реальній практиці оцінювання захищеності мовної інформації не може бути використаний, бо не задовольняє вимозі оперативності і мінімальних часових та матеріальних затрат.

Пропонується для генераторів реальних мовоподібних завад залежність словесної розбірливості мови від інтегрального відношення сигнал/завада отримувати методом артикуляційних випробувань на фірмі-виробнику і зробити її паспортною характеристикою. Аналогічно можна зробити і для генераторів інших типів завад.

При використанні артикуляційного методу в даному випадку, на відміну від досліджень якості каналів мовного зв'язку, слід користуватись артикуляційними таблицями слів, наборами фраз та зв'язними текстами, що врахує сприйняття слів за смислом.

Доцільно паспортну характеристику давати з певним запасом виходячи з найгіршого варіанту та враховуючи можливості технічної розвідки щодо шумоочищення даного типу завад, підвищення розбірливості за рахунок запису та багаторазового прослуховування, професійно-лінгвістичної підготовки зловмисника тощо.

Наявність такої паспортної характеристик дозволить легко вибрати ефективний генератор завади, виходячи з конкретних умов та необхідного ступеня захищеності мовної інформації. Оцінювання захищеності мовної інформації за критерієм розбірливості при цьому зводиться до вимірювання відношення сигнал/завада в контрольних точках за традиційною методикою, визначення значень словесної розбірливості за паспортною характеристикою генератора завади та порівняння цих значень з нормативними вимогами.

Виходячи з даної методології було проведено дослідження ефективності генератора реальної мовоподібної завади ОССА-1, розробленого на кафедрі КТІБ Національного університету кораблебудування до та після модернізації. Програма досліджень включала в себе відтворення підготовлених аудіозаписів таблиць слів та наборів, фраз і визначення розбірливості слів на фоні реальної мовоподібної завади при різних відношеннях сигнал/завада артикуляційним методом.

Для запису та прослуховування використано таблиці слів та набори фраз з [2]. Слова зачитувались почергово двома дикторами (чоловіком і жінкою) рівним голосом, з постійним рівнем мови, чітко без підкреслювання окремих звуків. Темп зачитування слів: 15…20 слів за хвилину з паузами між ними 2…3 секунди для їх запису аудиторами. Фрази читались у темпі звичайної розмови (приблизно 25…30 слів за хвилину) з паузами 5…7 секунд в кінці фрази для її запису. Аудіозапис здійснювався на персональний комп'ютер при однаковому рівні запису всього текстового матеріалу.

В експерименті приймали участь 5 аудиторів, що не мають дефектів слуху та пройшли попереднє тренування

по методиці експерименту. Аудіозаписи відтворювались на комп'ютері, звідки сигнал подавався на акустичну систему та на генератор завади ОССА-1, де з нього формувалась мовоподібна завада, яка відтворювалась іншою акустичною системою. Рівень корисного сигналу у місці прослуховування задавався рівним 70 дБ і залишався незмінним на протязі всього експерименту. Рівень завади дискретно змінювався забезпечивши відношення сигнал/завада: -20; -15; -10; -5; 0, 5 дБ. Рівень сигналів вимірювався шумоміром ВШВ-003. При кожному з відношень сигнал/завада аудитори прослуховували нову таблицю слів та записували почуте. Перед прослуховуванням проводиться попередня адаптація аудиторів до шуму на протязі 5…10 хвилин.

Обробка результатів полягала у визначенні словесної розбірливості, як відношення розпізнаних слів до їх загальної кількості, та статистичному усередненні результатів. Слова з помилками, які не змінювали їх смисл, за принципом найгіршого варіанту захищеності вважались розпізнаними.

Отримані характеристики показано на рис.2. Там же для порівняння приведено характеристики генераторів шумових завад, взяті з [6]. Аналогічні залежності були отримані і при використанні наборів фраз.

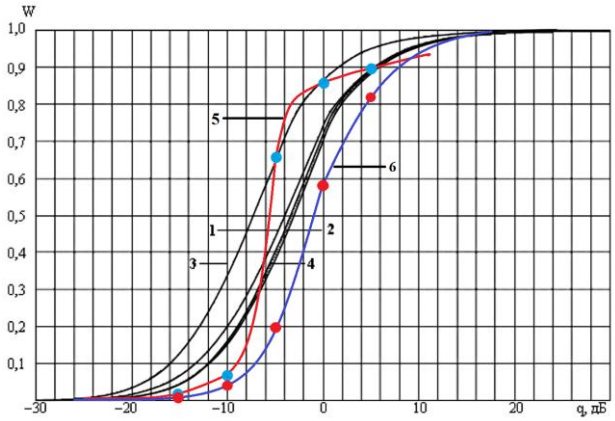



Рис.2 Залежність словесної розбірливості *W* від інтегрального відношення сигнал/завада *q*: 1 – "білий" шум; 2 – "рожевий" шум; 3 – "коричневий" шум; 4 – мовоподібний шум; 5 – реальна мовоподібна завада сформована генератором ОССА-1 до модернізації; 6 – реальна мовоподібна завада сформована генератором ОССА-1 після модернізації

## V. Висновки

1. Обґрунтовано доцільність використання для нормування захищеності мовної інформації критерію словесної розбірливості мови, що зробить нормативні вимоги інваріантними до виду завади та дасть можливість знизити рівні зашумлення у виділених приміщеннях за рахунок використання більш ефективних генераторів завад при незмінності нормативних вимог захищеності.

2. Запропоновано методологію оцінювання ефективності генераторів завад, що базується на використанні залежності словесної розбірливості мови від інтегрального відношення сигнал/завада, яка отримана артикуляційним методом і є паспортною характеристикою генератора.

3. Дослідження ефективності генератора реальної мовоподібної завади ОССА-1 за запропонованою методологією показали, що він має вищу ефективність ніж шумові генератори практично для усіх ступенів захищеності.

## Література References


[1] Pokrovskiy N.B. "Raschet i izmerenie razborchivosti rechi" [Calculation and measurement of speech intelligibility]. Moscow, The State Publishing House of Literature on Communications and Radio, 1962, 392 P.

[2] GOST 16600-72. "Peredacha rechi po traktam radiotelefonnoy svyazi. Trebovaniya k razborchivosti rechi i metody artikulyatsionnyh izmereniy" [The transmission of speech through the radiotelephone communication paths. Speech intelligibility requirements and methods of articulation measurements]. Moscow, Standards Publ., 1973. 90 P.

[3] GOST R 50840-95. "Peredacha rechi po traktam svyazi. Metody otsenki kachestva, razborchivosti i uznavaemosti" [The transmission of speech through the communication paths. Methods for assessing quality, intelligibility and recognizability]. Moscow, Standards Publ., 1996. 198 P.

[4] ISO 9921:2003. Ergonomics — Assessment of speech communication [Электронный ресурс] – ISO: Online Browsing Platform – Режим доступу: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9921:ed-1:v1:en.

[5] EN 60268-16-2011. Sound system equipment - part 16: objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. – BSI Standards Publication, 2011. – 74 p.

[6] Khorev A.A., Makarov Yu.K. "Metody zashchity rechevoy informatsii i otsenki ikh effektivnosti" [Methods of speech information protection and assessment of their effectiveness]. *Spetsialnaya tekhnika* [Special equipment], 2001, no. 4, pp. 22–33.

[7] Didkovskiy V.S., Didkovskaya M.V., Prodeus A.N. "Akusticheskaya ekspertiza kanalov rechevoy kommunikatsii: monografiya" [Acoustic examination of the speech communication channels: monograph]. Kiev, Imeks-LTD, 2008. 420 P.

[8] Prodeus A.N. "O nekotorykh osobennostyakh razvitiya obyektivnykh metodov izmereniy razborchivosti rechi" [On some development features of objective methods of speech intelligibility measuring]. Elektronika i svyaz, tematicheskiy vypusk "Elektronika i nanotekhnologii" [Electronics and communications, thematic issue "Electronics and Nanotechnology"], 2010, no. 2, pp. 217–233.

[9] Trushin V.A., Ivanov A.V., Reva I.L. "O korrektirovke metodiki otsenki zashchishchennosti rechevoy informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalam" [On the correction of the methodology for assessing the security of voice information from leakage through technical channels]. Spetsialnaya tekhnika [Special equipment], 2016, no. 6, pp. 22–30.

[10] Khorev A.A. "Kontrol effektivnosti zashchity vydelennykh pomeshcheniy ot utechki rechevoy informatsii po tekhnicheskim kanalam" [Monitoring the effectiveness of allocated premises protection from the speech information leakage through technical channels]. INSIDE, 2010, no. 1, pp. 34–45.

[11] Kasianov Yu.I., Nuzhniy S.M "Otsiniuvannia efektyvnosti generatora realnoi movopodibnoi zavady za kryteriiem rozbirlyvosti movy" [Assessment of real speech-like interference generator effectiveness by intelligibility criterion]. Visnyk natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika" "Avtomatyka, vymiriuvannia ta keruvannia" [Bulletin of Lviv Polytechnic National University]. 2016, issue 852, pp.105–110.

# Інформаційна Модель Системи Управління Інформаційною Безпекою на Основі Міжнародних Стандартів

Костянтин Коновалов, Марина Турти
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
kostkon@i.ua, turtym@meta.ua

# Information Model of Information Security Management System Based on International Standards

Kostyantin Konovalov, Marina Turty
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
kostkon@i.ua, turtym@meta.ua

***Анотація*—Розглянуто основні вимоги до створення інформаційної моделі системи управління інформаційною безпекою (СУІБ) на основі міжнародних стандартів в контексті функціонально-лінгвістичного підходу. Створені алгоритми автоматизованої системи оцінки СУІБ вимогам міжнародних стандартів на основі отриманих результатів.**

***Abstract*—The main requirements for the creation of an information model of information security management system (ISMS) on the basis of international standards in the context of a functional-linguistic approach are considered. The algorithms of the automated system of estimation of ISMS are based on the requirements of international standards on the basis of the obtained results.**

***Ключові слова—система управління інформаційною безпекою, міжнародні стандарти, національні стандарти, інформаційна модель, критерії відповідності.***

***Keywords—information security management system, international standards, national standards, information model, conformity criteria.***

## I. Вступ

Міжнародні [1, 2] і національні стандарти [3-7] в області безпеки інформаційних технологій визначають функціональні вимоги безпеки і вимоги гарантій безпеки, задоволення яких дозволяє стверджувати, що система є захищеною. В ході активного дослідження (оцінювання) ІТ-продукту на відповідність вимогам гарантій має формуватися впевненість споживача в достатності і коректності реалізації функціональних послуг безпеки.

Організація процесу оцінювання регламентується нормативними документами НД ТЗІ, а з точки зору споживача Тому до даного процесу висуваються вимоги ширини, глибини і суворості, а до результатів оцінювання – вимоги об'єктивності, повторюваності, неупередженості, відтворюваності і порівнянності.

У процесі еволюції технологій і систем захисту інформації (СЗІ) виникла необхідність уніфікувати вимоги до їх створення та забезпечити деяку стандартизацію. Одним з найважливіших підсумків цієї роботи став міжнародний стандарт ISO/IEC 15408, так звані «Загальні критерії», що отримав визнання в багатьох країнах світу. Паралельно з критеріями захищеності, що оперують в якості мети оцінки сукупності програмно-апаратних засобів, розвивався напрямок стандартизації в частині менеджменту ІБ, результатом чого стало затвердження міжнародного стандарту ISO/IEC 27001. Наразі сімейство стандартів СУІБ складається з міжнародних стандартів під загальною назвою «Information technology – Security techniques».

Таким чином, а даний час існує ряд документів НД ТЗІ, що стосуються оцінки захищеності комп'ютерних систем

[3, 4], міжнародні стандарти з управління інформаційною безпекою [1, 2] і документи НД ТЗІ щодо встановлення відповідності між ними [5-7]. Ці документи мають досить великий обсяг і передбачають перевірку відповідності вимогам захищеності з багатьох параметрів, тому актуальною є автоматизація цього процесу.

## II. Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи є розробка інформаційної моделі системи управління інформаційною безпекою (СУІБ) на основі міжнародних стандартів і розробка алгоритмів оцінки СУІБ за вимогами міжнародних стандартів.

Для досягнення поставленої мети необхідно проаналізувати нормативно-правову базу побудови СУІБ; розробити алгоритми автоматизованої системи оцінки СУІБ за вимогами міжнародних стандартів на основі обраного методу моделювання.

## III. Моделювання процесу оцінювання якості захисту об'єктів

Оцінювання захищеності об'єктів може проводитися різними методами: перевіркою відповідності функціональних послуг безпеки і рівнів гарантій вимогам НД ТЗІ, логіко-ймовірнісними методами, імітаційним моделюванням тощо. Багато авторів при цьому використовують нечіткі оцінки і спеціалізовані експертні системи для їх отримання [8-11]

У роботах ряду авторів [12] пропонується функціонально-лінгвістичний підхід до оцінювання гарантій інформаційної безпеки, який дозволяє розробляти методику оцінювання і виконувати вищевказані вимоги як до процесу оцінювання, так і до результатів оцінювання.

Оцінка гарантій безпеки здійснюється в чотири етапи.

На першому етапі проводиться онтологічний аналіз і моделювання предметної області оцінювання. Аналіз включає в себе дослідження множини гарантій $(R=\{r_1, r_2,...r_i\},)$, які висуваються до об'єкту оцінювання (ОО), і виявлення множини властивостей гарантій $(P=\{p_1, p_2,...,p_i\},)$, якими повинен володіти об'єкт оцінювання. На множині властивостей гарантій *P* визначаються залежності та взаємозв'язки між властивостями.

На другому етапі здійснюється функціональне моделювання процесу оцінювання гарантій, і процес оцінювання представляється у формалізованому вигляді. В якості мови моделювання була обрана нотація IDEF0 [8], яка дозволяє однозначно відобразити кроки проведення оцінювання у вигляді спрямованого графу.

На третьому етапі для кожної властивості $P_j$ вводиться лінгвістична змінна і визначається її терм-множина. Найчастіше ступінь прояву властивості гарантій не може бути описана за допомогою кількісних показників. Тому для прийняття рішення щодо ступеня прояву властивості гарантій зручно використовувати математичний апарат нечіткого логічного висновку.

На четвертому етапі будуються діаграми потоків робіт в нотації IDEF3. Це дозволяє однозначно встановити порядок і пріоритетність виконання операцій оцінювання. Кожен блок діаграми являє собою окрему дію експерта-оцінювача. Після кожного блоку йде перехрестя, яке визначає критерій (правило) вибору наступної дії в залежності від того, яке рішення прийме експерт щодо ступеня прояви оцінюваної властивості. Кількість варіантів вибору залежить від кількості значень, які може приймати лінгвістична змінна, що описує оцінювану властивість. Діаграми визначають точки, в яких експерт повинен прийняти рішення і винести вердикт щодо ступеня прояву тієї чи іншої властивості.

## IV. Розробка інформаційної моделі СУІБ на основі міжнародних стандартів

Міжнародні стандарти системи управління являють модель для налагодження та функціонування системи управління. Ця модель включає в себе функції, за якими експерти досягли згоди на підставі міжнародного досвіду, накопиченого в цій області.

Враховуючи, що система СУІБ має бути ефективною і адаптовною, а також працює циклічно, визначаємо функції, які мають бути реалізовані в автоматизованій системі розробки, впровадження та експлуатації СУІБ, підсистемою якої є система визначення відповідності СУІБ вимогам міжнародних стандартів:

- інформаційна підтримка постановки задачі захисту інформації;
- збирання, аналіз та збереження даних про поточний стан ОО і стан інформаційної безпеки (ІБ);
- прогнозування стану ІБ;
- ідентифікація загроз;
- оцінка інформаційних ризиків;
- формування політики безпеки;
- оцінка відповідності СУІБ вимогам міжнародних стандартів на поточний момент і прогнозний період;
- планування заходів з обробки ризиків. Засоби управління можуть бути обрані із стандартів або з множини інших документів та заходів управління визначених для даного класу систем, або можуть бути розроблені, щоб задовольнити потреби компанії відповідно до обраної політики безпеки;
- інформаційна підтримка впровадження механізмів контролю, розподілу ролей і відповідальності;
- аналіз ефективності складових програми зниження ризиків, в тому числі навчання та мотивації персоналу, моніторингу механізмів контролю.

## V. ПОБУДОВА АЛГОРИТМІВ СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ СУІБ НА ОСНОВІ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

При створенні системи управління інформаційної безпеки потрібно керуватися відповідними заходами. Заходи управління варто вибирати, ґрунтуючись на відношенні вартості реалізації послуг та впровадження систем безпеки й зниження ризиків і можливих втрат, якщо відбудеться порушення безпеки інформаційно-комунікаційних систем.

Різні міжнародні стандарти мають різну структуру, тому перевірка відповідності вітчизняних і міжнародних стандартів для кожної пари стандартів повинна передбачати в загальному випадку перевірку різної кількості умов. Наприклад, при порівнянні національних стандартів із Європейськими критеріями слід враховувати дані табл. 1.

ТАБЛИЦЯ I. АНАЛІЗ ВІДПОВІДНОСТІ СТРУКТУРИ КРИТЕРІЇВ ЗАХИСТУ ISO/IEC 15408 ТА НД ТЗІ 2.5-004-99

| № | НДТЗІ | Європейські критерії |
|---|---|---|
| 1 | Класи АС: АС-1, АС-2, АС-3 | Рівні безпеки – базовий, середній і високий |
| 2 | Рівні деталізації:<br>1. Клас АС і специфікатор властивостей захищеності<br>2. Функціональний профіль<br>3. Вимоги, яким має задовольняти комплекс засобів захисту, щоб були реалізовані функціональні послуги безпеки із заданим рівнем гарантій | Рівні деталізації:<br>1.Цілі, які переслідує забезпечення безпеки<br>2.Специфікації функцій захисту<br>3.Механізми, що реалізують функції захисту |
| 3 | Групи функцій захисту:<br>1. Конфіденційність<br>2. Цілісність<br>3. Доступність<br>4. Спостереженість | Групи функцій захисту:<br>1. Ідентифікація й автентифікація<br>2. Керування доступом<br>3. Підзвітність<br>4. Аудит<br>5. Повторне використання об'єктів<br>6. Цілісність інформації<br>7. Надійність обслуговування безпека обміну даними |
| 4 | Профілі захищеності:<br>90 стандартних функціональних профілів захищеності | Набори функцій безпеки – 10 класів-шаблонів: *F-C*1, *F-C* 2, *F-B*1, *F-B*2, *F-B*3, *F-IN*, *F-AV*, *F-DI*, *F-DC*, *F-DX* |

В загальному випадку СУІБ повинна включати: автентифікацію (користувачів, даних, послуг, тощо); авторизацію (авторизований перелік цін, ключових торговельних документів, партнерів, користувачів, керівництва); аудит інформаційних ресурсів та послуг.

З аналізу нормативних документів визначаємо дані для розроблюваної автоматизованої системи, їх типи і спосіб представлення. Так при вхідні дані (табл.2) в залежності від рівня гарантій, які можуть бути об’єднані в три групи: перелік функціональних послуг безпеки (ПФПБ), інформаційні ресурси (ІР) та модель політики безпеки (МПБ). У випадку проектування системи захисту інформації і у випадку проведення експертизи діючої системи вхідні і вихідні дані будуть різними.

Оскільки в системі має перевірятися відповідність СУІБ міжнародним стандартам, то за окремими розробленими алгоритмами повинні здійснюватися: вибір стандартного функціонального профілю захищеності і визначення вимог до комплексу засобів захисту інформації, обумовлених функціональними послугами безпеки цього профілю та необхідними рівнями гарантій коректності реалізації функціональних послуг безпеки (даний алгоритм наведений на рис. 1).

ТАБЛИЦЯ II. ВХІДНІ ДАНІ

| № | Дані | Тип | Задачі обробки | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | ***ПФПБ*** | Текст | ***Обов’язковий вибір, визначення за групами*** | | | |
| | | | Конфіден-ційність | Цілісність | Доступ-ність | Спостере-женість |
| | | | КД | ЦД | ДР | НР |
| | | | КА | ЦА | ДВ | НИ |
| | | | КО | ЦО | ДЗ | НК |
| | | | КК | ЦВ | ДВ | НО |
| | | | КВ | | | НЦ |
| | | | | | | НТ |
| | | | | | | НВ |
| | | | | | | НА |
| | | | | | | НП |
| 2. | ***ІР*** | Текст КЗЗ | Визначення інформаційних ресурсів як об’єктів певного типу | | | |
| 3. | ***МПБ*** | Текст | Неформалізована для рівня Г-1 | | | |
| | | Текст | Часткова формалізована Г-2, Г-3 | | | |
| | | Формули | Формалізована для Г-4 та вище | | | |
| | | Правило | Правила політики реалізованих ФПБ | | | |
| | | Текст | Характеристики реалізованих ФПБ | | | |

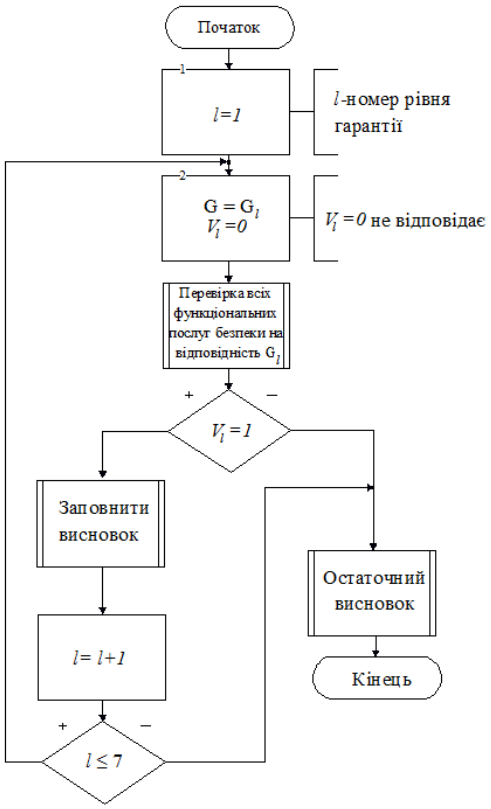



Рис. 1. Алгоритм експертизи гарантій безпеки

За алгоритмом рис. 2 необхідно описати середовище функціонування і користувачів системи, визначити за цими даними клас АС, а потім за алгоритмом рис. 1 – вимоги до комплексу засобів захисту. Після цього слід визначити множину суб'єктів, тобто користувачів і процесів, що впливають на стан ІБ при взаємодії з об'єктами захисту. Відповідність СУІБ міжнародним стандартам в цьому випадку визначається як дійсність умов, для перетинів множин суб'єктів і вимог функціональних послуг безпеки та гарантій.

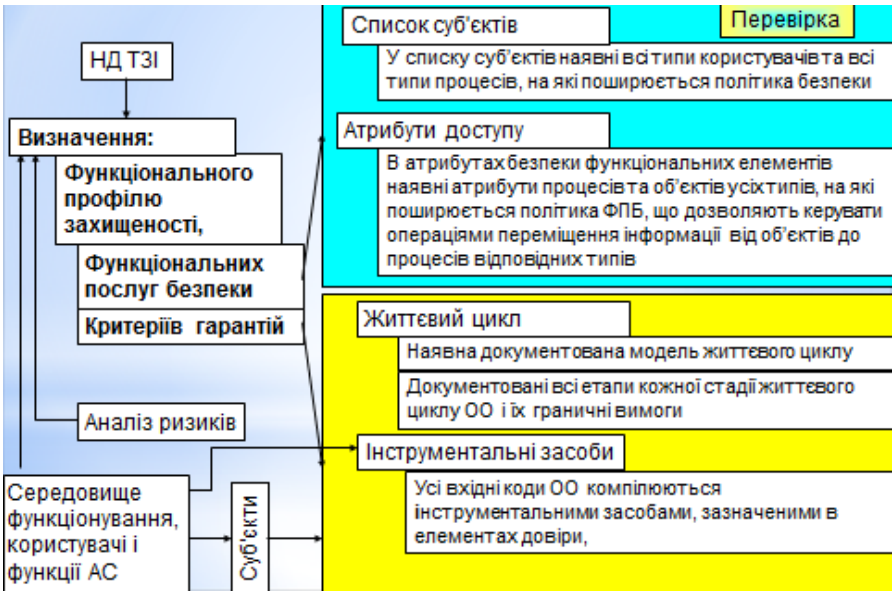



Рис. 2. Визначення відповідності європейським стандартам

## VI. Висновки

В даній роботі проведено аналіз нормативно-правової бази побудови СУІБ; розроблено алгоритми автоматизованої системи оцінки СУІБ за вимогами міжнародних стандартів на основі обраного методу моделювання.

## Література References


[1] ISO/IEC 27001:13 Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements. [Електроннийресурс]. Режим доступу: https://www.iso.org/standard/54534.html.

[2] ISO/IEC 17799:2005. Information technology. Security techniques. Code of practice for information security management. [Електроннийресурс] - Режим доступу: https://www.iso.org/standard/39612.html

[3] НДТЗІ 2.5-004-99. Критерії оцінки захищеності інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу. К.: ДСТСЗІСБУкраїни, 1999, 53 с.

[4] НД ТЗІ 2.5-005-99 Класифікація автоматизованих систем і стандартні функціональні профілі захищеності оброблюваної інформації від несанкціонованого доступу.- [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://dstszi.kmu.gov.ua/dstszi/control/uk/publish/article;jsessionid=afd6198c23cb1f96abafd7189bbdce03?showhidden=1&art_id=101870&cat_id=89734&ctime=1344501089407.

[5] НД ТЗІ 2.6-002-2015 Порядок зіставлення функціональних компонентів безпеки, визначених ISO/IEC 15408, з вимогами НД ТЗІ 2.5-004-99. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.dsszzi.gov.ua/dsszzi/control/uk/publish/article?art_id=89740

[6] НД ТЗІ 2.6-003-2015 Порядок зіставлення компонентів довіри до безпеки, визначених ISO/IEC 15408, з вимогами НД ТЗІ 2.5-004-99. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.dsszzi.gov.ua/dsszzi/control/uk/publish/article?art_id=89740

[7] НД ТЗІ 2.7-013-2016 Методичні вказівки з виконання зіставлення результатів оцінювання засобів захисту інформації від несанкціонованого доступу на відповідність вимогам ISO/IEC 15408 з вимогами НД ТЗІ 2.5-004-99. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.dsszzi.gov.ua/dsszzi/control/uk/publish/article?art_id=89740

[8] E. Pricop, Research Regarding Security Of Control Systems. Doctoral Thesis. Ploiesti, 2017. Available: https://www.upg-ploiesti.ro/sites/default/files/doctorat/2017/pricop_emil_rezumat_sinteza_teza_engleza.pdf

[9] A. Javed, K. P. Manoj, Advance Cyber Security System using fuzzy logic. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/279917296_Advance_Cyber_Security_System_using_fuzzy_logic

[10] G. Kerim, Designing a Fuzzy Rule Based Expert System for Cyber Security. International journal of information security science, İstanbul, Turkey, 2012, Vol.1, №1, pp.13-19.

[11] K. Kozhakhmet, G. Bortsova, A. Inoue, L. Atymtayeva, Expert System for Security Audit Using Fuzzy Logic. Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan. [Online]. Available: http://ceur-ws.org/Vol-841/submission_35.pdf

[12] А. В. Потий, Д. С. Комин, Онтологическое моделирование процесса оценивания гарантий в контексте функционально-лингвистического подхода. Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. Запоріжжя, ЗНТУ, 2011. С.64-73. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://ores.su/ru/journals/radoelektronka-nformatika-upravlnnya/2011-nomer-1-24/?

# Групповая Подпись на Основе Алгоритма Шнорра для Децентрализованных Систем

Александр Курбатов
Кафедра Безопасности Информационных Технологий
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
oleksandr.kurbatov@nure.ua

Геннадий Халимов
Кафедра Безопасности Информационных Технологий
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
gennadykhalimov@gmail.com

# Group Signature Based on the Schnorr Algorithm for Decentralized Systems

Oleksandr Kurbatov
Information Security Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oleksandr.kurbatov@nure.ua

Gennady Khalimov
Information Security Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
gennadykhalimov@gmail.com

***Аннотация*—в данной статье описываются основные шаги алгоритма подписи Шнорра, его улучшения и те преимущества, которые можно получить при использовании этой схемы подписи. Поскольку цифровые подписи в некотором роде определяют связь публичного и секретного ключа, выбор алгоритма цифровой подписи крайне важен для обеспечения конфиденциальности и эффективности.**

***Abstract*—This article describes the main steps of the Schnorr signature algorithm, its improvements and the benefits that can be achieved by using this signature scheme. Since digital signatures somehow determine the relationship between public and private keys, the choice of the digital signature algorithm is extremely important for ensuring privacy and efficiency.**

***Ключевые слова—схема; алгоритм; цифровая подпись; Шнорр; мультиподпись.***

***Keywords—algorithm; digital signature; Schnorr; scheme; multisignature.***

## I. Введение

Децентрализованные системы активно используют алгоритм подписи ECDSA на кривой secp256k1 для проверки целостности и авторства данных. Алгоритм ECDSA стандартизирован, но имеет некоторые недостатки[1]:

- теоретически не доказана безопасность ECDSA;
- при использовании подписи ECDSA третья сторона без доступа к закрытому ключу, имеет возможность изменить существующую подпись для конкретного открытого ключа или создать подпись, которая действительна для того же открытого ключа и сообщения.

На текущий момент было предложено несколько различных вариантов замены ECDSA. Одним из альтернативных алгоритмов стал алгоритм цифровой подписи Шнорра.

## II. Описание и особенности реализации алгоритма Шнорра

На данный момент предложено два варианта реализации подписи Шнорра. Первая реализация подписи представляет собой комбинацию ($e$, $s$) и верифицируется при помощи формулы [1]:

$$e = H(sG - eP \mid\mid m).$$

Такая реализация позволяет избавиться от сложности кодирования точки в значение подписи.

Второй вариант подписи определяется значениями ($R$,$s$) и верифицируется уравнением:

$$sG = R + H(R \mid\mid m)P.$$

Подобная схема позволяет реализовать простую схему пакетной подписи. При этом могут возникнуть некоторые проблемы, связанные с кодированием точки в значение подписи, однако существует несколько способов решить их. В данной работе подробнее будет рассмотрен второй вариант, так как он представляет больший интерес и полезность.

Параметрами алгоритма являются значения:

- значение модуля *p*, порядка кривой *n* и значение базовой точки *G* (генератора группы);
- параметры эллиптической кривой;
- *x(P)* и *y(P)* являются координатами точки *P* на эллиптической кривой.

Алгоритм подписи выглядит следующим образом:

1. Вычисляется $k = Hash(d \,||\, m) \bmod n$ , где *d* - значение личного ключа.
2. Вычисляется значение $R = kG$.
3. Если $jacobi(y(R)) \neq 1$, то $k = n - k$.
4. Вычисляется $e = Hash(x(R)||dG||m) \bmod n$.

Значение подписи равно $sig = x(R)||(k + +ed \bmod n)$.

Алгоритм верификации подписи состоит из следующих шагов:

1. Проверяется соответствие открытого ключа заданной эллиптической кривой.
2. Вычисляется $r$ как левые 32 байта подписи.
3. Значение $s$ определяется правой частью значения подписи (32 байта).
4. Вычисляется $e = Hash(r||P||m) \bmod n$.
5. Если точка R не является точной на бесконечности, $jacobi(y(R)) \neq 1$ и $x(R) \neq r$.

## III. Групповая подпись Шнорра

Помимо простой подписи, алгоритм подписи Шнорра позволяет реализовать групповую подпись [2]. При помощи интерактивной схемы (мультиподпись, пороговая подпись) участники могут создавать общую подпись и проверять ее с помощью заранее сгенерированного общего ключа. Это позволяет реализовать схему подписи n-of-n, которая с точки зрения верификатора ничем не будет отличаться от обычной одиночной подписи. Кроме того, при комбинации алгоритма подписи Шнорра и обязательств Педерсена возможно получить интерактивную схему пороговой подписи, которая гарантирует, что подписи могут быть созданы не только произвольными, но и заранее определенными наборами подписантов [3]. Таким образом, могут быть реализованы схемы типа m-of-n.

**Групповая подпись, выработанная при помощи алгоритма Шнорра**, обладает следующими характеристиками:

- подпись имеет один и тот же размер независимо от количества подписантов;
- избегается структурная утечка информации о ключах участников.

Алгоритм мультиподписи состоит из следующих шагов [2]:

1. Вычисляются $R_1 = r_1 G, R_2 = r_2 G, \ldots, R_i = r_i G$.
2. Вычисляется значение $R = R_1 + R_2 + \ldots + R_i$.
3. $s = s_1 + s_2 + \ldots + s_i, s_i = r_i + Hash(P, R_i, m) \cdot r_i$.
4. Полученные значения $(R, s)$- значение подписи.

Верификация мультиподписи происходит следующим образом:

1. Проверяется соответствие общего открытого ключа заданной эллиптической кривой.
2. Вычисляется $r$ как левые 32 байта подписи.
3. Значение $s$ определяется правой частью значения подписи (32 байта).
4. Вычисляется $e = Hash(r|| P || m) \bmod n$.
5. Если точка R не является точной на бесконечности, $jacobi(y(R)) \neq 1$ и $x(R) \neq r$.

Можно заметить, что алгоритм верификации мультиподписи ничем не отличается от алгоритма верификации одиночной. Поэтому даже сторона-верификатор не будет знать о факте проведения мультиподписи, не говоря уже о третьих сторонах.

Однако существует возможность мухлежа одной из подписывающих сторон, в случае проведения которого для верификации подписи понадобится ключ только одной из сторон. Рассмотрим ситуацию, когда два участника *A* и *B* формируют мультиподпись. При нормальном взаимодействии происходит следующее [2]:

1. *A* и *B* генерируют свои личные ключи *a* и *b* соответственно.
2. После этого происходит вычисление открытых ключей сторон, в результате имеются два публичных ключа $pA = aG, pB = bG$.
3. Участники формируют общий открытый ключ, который равен $pAB = pA + pB$. С помощью этого ключа в дальнейшем и будет происходить верификация.
4. После этого стороны обмениваются ключами и вырабатывается значение подписи. В результате мультиподпись равна $sigAB = sig(pAB)$. Свойства алгоритма Шнорра позволяют провести агрегацию значений ключей с обеспечением их линейности.
5. В результате подпись $sigAB$ возможно будет проверить только ключом $pAB$, при этом участники не знают о секретных ключах друг друга.

В случае мошенничества одной из сторон, происходит следующее:

1. *A* и *B* генерируют свои личные ключи *a* и *b* соответственно.
2. После этого происходит вычисление открытых ключей сторон, в результате имеются два публичных ключа $pA = aG, pB = bG$.
3. Сторона B вычисляет еще один открытый ключ, который равен $false\_pB = pB - pA$.
4. Стороны обмениваются открытыми ключами. Только в этом случае сторона *A* получает ложный ключ стороны *B*. В результате значение общего ключа равно $pAB = pA + pB - pA$, а значение мультиподписи равно $sigAB = sig(pA + pB - pA) = sig(pB)$. В этом случае получается что подпись была выработана только с использованием ключа *B*, и подтвердить свою подпись может только сторона *B*.

Данная схема атаки называется Rouge Key Attack Существует две схемы, позволяющие избежать такого рода атаки. К ним относится схемы Беллара-Ньювена и MuSig [2].

## IV. Схема Беллара-Ньювена и MuSig

Такая схема не позволяет провести Rouge Key Attack, однако для верификации подписи требуются ключи всех сторон и становится возможно определить факт использования мультиподписи. Алгоритм подписи выглядит следующим образом [2]:

1. Вычисляется значение $L = H(X_1 + X_2 + \ldots + X_i)$.
2. Вычисляется $R = r_1 \cdot G + r_2 \cdot G + \ldots + r_3 \cdot G$.
3. $s = s_1 + s_2 + \cdots + s_i,\ s_i = r_1 + H(L, X_1, R, m) \cdot x_i$
4. **Полученные значения** $(R, s)$- значение подписи.

Верификация выполняется следующим образом:

$$s \cdot G = R + H(L, X_1, R, m) \cdot X_1 + \ldots + H(L, X_i, R, m) \cdot X_i.$$

Следующим решением, позволяющим избежать вероятности атаки Rouge Key и при этом использовать для проверки всего лишь один (общий) публичный ключ является MuSig [2]. Так при подписывании используются ключи всех подписантов, при проверке цифровой подписи используется агрегированный открытый ключ. В этом случае при использовании одного ключа верификация мультиподписи ничем не отличается от верификации одиночной. Схема выглядит следующим образом:

1. Вычисляется значение $L = H(X_1 + X_2 + \ldots + X_i)$.
2. $X = H(L, X_1) \cdot X_1 + H(L, X_2) \cdot X_2 + \ldots + H(L, X_2) \cdot X_2$.
3. Вычисляется $R = r_1 \cdot G + r_2 \cdot G + \ldots + r_i \cdot G$.
4. $s = s_1 + s_2 + \ldots + s_i,\ s_i = r_i + H(X, R, m) \cdot H(L, X) \cdot x_i$.
5. **Полученные значения** $(R, s)$- значение подписи.

Верификация мультиподписи, выработанной с помощью MuSig ничем не отличается от верификации одиночной подписи и при этом избегает угрозы проведения Rouge Key Attack.

На графике ниже (рис. 1) представлена зависимость времени верификации от количества подписываемых сообщений при помощи ECDSA.

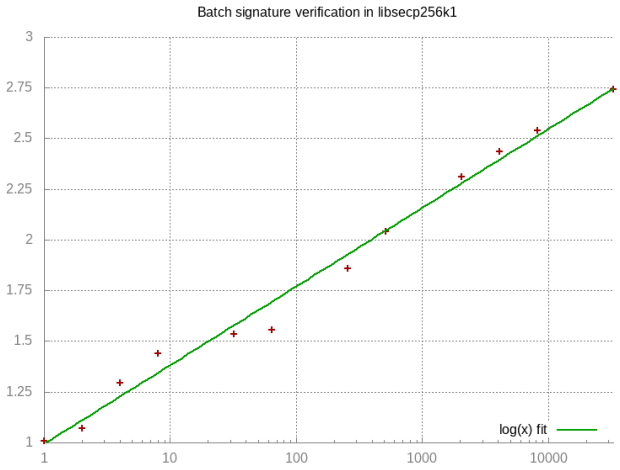



Рис. 1. График зависимости времени верификации от размера подписей в пакете

Можно заметить, что время верификации одиночных подписей по отдельности примерно совпадает с пакетным временем. Соответственно эффективность реализации пакетной подписи - минимальна.

На рис. 2 показано сравнение времени пакетной подписи при помощи ECDSA и с помощью алгоритма Шнорра в зависимости от размера подписи.

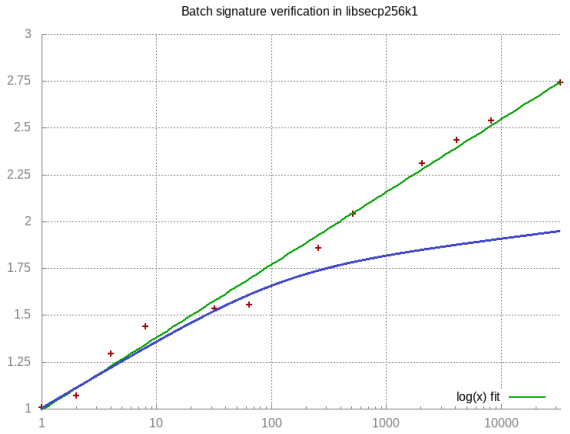



Рис. 2. График сравнения ECDSA и подписи Шнорра.

Из графика следует, что время пакетной подписи для алгоритма Шнорра (нижняя кривая) меньше, чем время, которое затрачивается при использовании алгоритма ECDSA.

## V. Выводы

Так как в подписи Шнорра, можно использовать те же кривые, что и для ECDSA, то закрытые и открытые ключи идентичны для обеих схем. Это свойство позволяет избежать возникновениям гипотез относительно безопасности используемых кривых.

Подпись алгоритма Шнорра является подписью с теоретически доказанной безопасностью. Такого доказательства для ECDSA не существует. Подпись Шнорра позволяет существенно снизить время верификации для группы подписей.

Практическая реализация подписи Шнорра лежит в плоскости разработки технической спецификации. В июне 2018 года был обнародован проект, в котором излагается техническая реализация алгоритма [1]. На данном этапе проводится интенсивный анализ и изучение основных механизмов подписи Шнорра.

## Литература References


[1] “BIP-Schnorr” [Online]. Available: https://github.com/sipa/bips/blob/bip-schnorr/bip-schnorr.mediawiki

[2] “Key aggregation for Schnorr signature” [Online]. Available: https://blockstream.com/2018/01/23/musig-key-aggregation-schnorr-signatures.html

[3] “Why Schnorr signatures will help solve 2 of Bitcoin’s biggest problems today” [Online]. Available: https://medium.com/@SDWouters/why-schnorr-signatures-will-help-solve-2-of-bitcoins-biggest-problems-today-9b7718e7861c

# Табличні Моделі Псевдонедетермінованих Криптографічних Перетворень

Володимир Лужецький Юрій Баришев
кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
yuriy.baryshev@gmail.com

# Table Models of Pseudonondeterministic Cryptographic Transformations

Volodymyr Luzhetskyi Yurii Baryshev
Department of Information Protection
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
yuriy.baryshev@gmail.com

***Анотація*—В роботі обґрунтовано доцільність реалізації концепції псевдонедетермінованих криптографічних перетворень. Наведено математичний опис цієї концепції та табличні моделі для її реалізації. На прикладі застосування показано коректність запропонованих моделей.**

***Abstract*—The reason of pseudonondeterministic cryptography transformation conception usage was proven at the work. The mathematical description and table models were presented for this conception. The implementation instance was shown to present proposed models correctness.**

***Ключові слова—криптографія; перетворення; таблиці Келі; псевдонедетермінований; заміна; перестановка***

***Keywords—cryptography; transformations; Cayley tables; pseudonondeterministic; substitition; permutation***

## I. Вступ

Протягом історії розвитку криптології склалося два основних підходи до розробки шифрів, які відрізняються ступенем відкритості алгоритму шифрування для загалу. Перший з них, пропріетарний (proprietary), засновується на очевидному, на перший погляд, припущенні: чим менше зловмисник знає про алгоритм шифрування, тим складніше йому зламати шифр [1, 2]. Другий, відкритий, передбачає розкриття алгоритму шифрування для громадськості, будуючи стійкість на невизначеності деяких вхідних даних для третіх осіб. Попри інтуїтивно очевидну перевагу у стійкості першого підходу історія розсудила ці підходи на користь останнього [1, 2].

Обґрунтування переваг відкритих алгоритмів шифрування, актуальне і наразі, вперше було наведено в роботі [1], основна теза якої: стійкість криптографічного перетворення повинна засновуватись на зберіганні в секреті ключової інформації, а не алгоритмів, які реалізують перетворення. Такий підхід забезпечує можливість використання шифру після компрометації критичної інформації – ключа, що неможливо при використанні пропріетарного підходу. Сучасні дослідження пропріетарних криптографічних перетворень акцентують увагу на трудомісткості їх розробки в межах закритого кола науковців [2], коли відкриті криптографічні алгоритми аналізуються науковцям всього світу, що суттєво пришвидшує процес виявлення і усунення недоліків.

Незважаючи на ці істотні переваги, відкритість алгоритмів криптографічних перетворень має низку недоліків, викликаних саме цією відкритістю. Найбільш яскравим випадком є загальні атаки на методи гешування. При чому ці атаки можуть бути застосовані до будь-якої геш-функції з певною конструкції [3]. При цьому збільшення довжини проміжних геш-значень, застосоване у деяких сучасних геш-функціях [4, 5] дозволяє збільшити стійкість в короткостроковій перспективі, але залишає саму функцію вразливою в довготерміновій. Саме тому відомі підходи розвитку не повинні розглядатися як остаточні та безальтернативні.

Авторами запропоновано псевдонедетермінований підхід до побудови криптографічних перетворень, який доповнює відомі підходи. Зокрема, у роботах [6-8] було

розглянуто застосування даного підходу до побудови методів псевдонедетермінованого гешування, який дозволив підвищити стійкість геш-функцій до загальних атак без збільшення довжини проміжних геш-значень. Відповідно очікується досягнення подібного ефекту при реалізації підходу до процесу проектування інших криптографічних перетворень.

Метою даного дослідження є збільшення стійкості криптографічних перетворень, зберігаючи відкритість їх алгоритмів, водночас породжуючи їх невизначеність для зловмисників.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати концепцію псевдонедетермінованих криптографічних перетворень;
- розробити табличні моделі криптографічних перетворень, які дозволяють реалізувати дану концепцію;
- навести приклади застосування запропонованих моделей.

## II. Концепція псвдонедетрмінованих криптографічних перетворень

З теорії обчислень [9] відомі поняття детермінованого автомату та його узагальнення – недетермінованого автомату. Детермінований автомат описується як така п'ятірка [9]:

$$Automaton = \left(\mathbf{A}, \mathbf{S}, s_0, \mathbf{S}^{Allowed}, f(\cdot)\right), \quad (1)$$

де $\mathbf{A}$ – алфавіт автомата, $\mathbf{S}$ – множина його станів, $s_0$ – початковий стан, $\mathbf{S}^{Allowed}$ – множина дозволених кінцевих станів, $f(\cdot)$ – функція переходу автомата з одного стану в інший залежно від символу алфавіту, що надходить на його вхід. Основною відмінністю недетермінованого автомата є те, що правило його переходу (1) необов'язково є функціональною залежністю, тобто воно узагальнено розглядається як відображення $\mathbf{A} \times \mathbf{S} \to \mathbf{S}$.

Концепція псевдонедетермінованих криптографічних перетворень передбачає його реалізацію так, щоб автомат, який реалізує перетворення виглядав як детермінований для особи, яка володіє ключем, та як недетермінований – для особи, яка не знає ключа [6, 8].

Реалізація цієї концепції досягається шляхом виконання криптографічних перетворень за допомогою автомата, який формалізується так [6]:

$$PNDAutomaton = \left(\mathbf{A}, \mathbf{S}, s_0, \mathbf{S}^{Allowed}, \mathbf{F}, \mathbf{V}\right), \quad (2)$$

де $\mathbf{F} = \{f_v(\cdot)\}$ – множина функцій криптографічного перетворення $f_v(\cdot)$, параметри яких визначаються вектором керування $v \in \mathbf{V}$.

Якщо вектор керування відомий для стороннього спостерігача, то автомат (2) функціонує як детермінований, інакше – як недетермінований.

Очевидно, що форма запису (2) зводиться до детермінованого автомата (1) при $v = const$, отже є його узагальненням. При $v = var$ автомат (2) є частковим випадком недетермінованого автомата.

## III. Правила побудови табличних моделей

Розглянемо задачу опису $k$ різних бінарних операцій, що виконуються над елементами однієї множини. Для розв'язання такої задачі необхідно скласти $k$ різних таблиць Келі [10]. Залежно від особливостей постановки задачі, такої як шифрування або гешування даних, необхідно визначати послідовність застосувань цих операцій над даними, що захищаються криптографічним перетворенням. Така варіативність ускладнює процес розробки псевдонедетермінованих криптографічних перетворень. Саме тому автори пропонують підхід до побудови табличної моделі криптографічного перетворення даних.

Нехай задано кортеж даних $\mathbf{D} = \langle d_1 || d_2 || ... || d_n \rangle$ та кортежі псевдовипадкових чисел $\mathbf{G} = \langle g_1 || g_2 || ... || g_n \rangle$ $\mathbf{Q} = \langle q_1 || q_2 || ... || q_n \rangle$, де "||" – операція конкатенації. Кожен елемент кортежів належить множині цілих додатних чисел $\mathbf{M} = \{0, 1, ..., (m-1)\}$. Перестановки відбуваються за певним набором правил $\mathbf{P}$. Результатом виконання певної послідовності різних бінарних операцій, над $\mathbf{D}$ буде кортеж $\mathbf{C} = \langle c_1 || c_2 || ... || c_n \rangle$. Необхідно формалізувати правила побудови таблиць, які описують такі бінарні перетворення. Для цього необхідно виконати такі дії [10]:

- крок 1 – побудувати таблицю, елементи якої визначаються на основі $\mathbf{G}$ та правил $\mathbf{P}$;

- крок 2 – зчитування комірок таблиці на основі $\mathbf{Q}$ та правил $\mathbf{P}$.

Розглянемо такий кортеж $\mathbf{G} = \langle 2 || 0 || (m-1) || ... || 1 \rangle$. Результатом реалізації першого кроку наведеного вище алгоритму є таблиця 1, яка формалізує криптографічне перетворення над цими даними.

TABLE I. Вигляд таблиці прямого перетворення

| **Значення** | **Номер перестановки** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $g_1 = 2$ | $g_2 = 0$ | $g_3 = m-1$ | ··· | $g_n = 1$ |
| 0 | $p_{10}$ | $p_{20} = d_2$ | $p_{30}$ | … | $p_{n0}$ |
| 1 | $p_{11}$ | $p_{21}$ | $p_{31}$ | … | $p_{n1} = d_n$ |
| 2 | $p_{12} = d_1$ | $p_{22}$ | $p_{32}$ | … | $p_{n2}$ |
| … | … | … | … | … | … |
| *m*-1 | $p_{1(m-1)}$ | $p_{2(m-1)}$ | $p_{3(m-1)} = d_3$ | … | $p_{n(m-1)}$ |

Результат перетворення формується шляхом вибору відповідно до послідовності **Q** елемента з кожного стовпця табл. 1, який відповідає рядку, значення якого визначає елемент кортежу **Q**. Нехай $\mathbf{Q} = \langle 0 \,||\, 2 \,||\, (m-1) \,||\, \ldots \,||\, 1 \rangle$ внаслідок застосування кроку 2 запропонованого алгоритму отримано такий кортеж результатів $\mathbf{C} = \langle p_{10} || \, p_{22} || \, p_{3(m-1)} || \ldots || p_{n1} \rangle$.

Для виконання операції, зворотної до формалізованої у табл. 1, необхідно виконати аналогічні дії, переставивши, кортежі **Q** та **G** місцями. Так у стовбець з номером $i$ ($i$=1,2,…,$n$) записується перестановка, яка у рядку $q_i$ містить елемент, значення якого відповідає елементу $c_i$ з кортежу шифротексту **C**. Таким чином отримується таблиця 2.

TABLE II. ВИГЛЯД ТАБЛИЦІ ЗВОРОТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

| **Значення** | **Номер перестановки** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $q_1 = 0$ | $q_2 = 2$ | $q_3 = m-1$ | ··· | $q_n = 1$ |
| 0 | $p_{10} = c_1$ | $p_{20}$ | $p_{30}$ | … | $p_{n0}$ |
| 1 | $p_{11}$ | $p_{21}$ | $p_{31}$ | … | $p_{n1} = c_n$ |
| 2 | $p_{12}$ | $p_{22} = c_2$ | $p_{32}$ | … | $p_{n2}$ |
| … | … | … | … | … | … |
| $m$-1 | $p_{1(m-1)}$ | $p_{2(m-1)}$ | $p_{3(m-1)} = c_3$ | … | $p_{n(m-1)}$ |

Внаслідок цього перетворення отримується таблиця, ідентична табл. 1, за якою інвертується перетворення. Для цього відповідно до кроку 2 формується кортеж відкритого тексту. Проте для розшифрування використовується псевдовипадкова послідовність з кортежу **G**.

## IV. ПРИКЛАДИ ВИКОРИСТАННЯ ТАБЛИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Розглянемо приклад використання запропонованих табличних моделей для шифрування даних. Для цього припустимо кортеж даних **D** = ⟨2||1||3||0||1||2⟩. При цьому нехай на основі ключової інформації отримано такі значення кортежів псевдовипадкових чисел **G** = ⟨3||0||1||3||2||1⟩, **Q** = ⟨2||1||3||0||1||2⟩. За цими даними отримується таблиця 3.

TABLE III. ПРИКЛАД ТАБЛИЦІ ЗАШИФРУВАННЯ

| **Значення** | **Номер перестановки** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $g_1$ | $g_2$ | $g_3$ | $g_4$ | $g_5$ | $g_6$ |
| | 3 | 0 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| 0 | 3 | **1** | 2 | **1** | 3 | 1 |
| 1 | 0 | 2 | **3** | 2 | 0 | **2** |
| 2 | 1 | 3 | 0 | 3 | **1** | 3 |
| 3 | **2** | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 |

Використовуючи табл. 3 та значення з кортежу **Q** отримується шифротекст **C** = ⟨1||2||1||1||0||3⟩.

Для розшифрування будується таблиця розшифрування за кроком 1 та набором псевдовипадкових чисел **Q**.

TABLE IV. ПРИКЛАД ТАБЛИЦІ РОЗШИФРУВАННЯ

| **Значення** | **Номер перестановки** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $q_1$ | $q_2$ | $q_3$ | $q_4$ | $q_5$ | $q_6$ |
| | 2 | 1 | 3 | 0 | 1 | 2 |
| 0 | 3 | 1 | 2 | **1** | 3 | 1 |
| 1 | 0 | **2** | 3 | 2 | **0** | 2 |
| 2 | **1** | 3 | 0 | 3 | 1 | **3** |
| 3 | 2 | 0 | **1** | 0 | 2 | 0 |

На основі табл. 4 відбувається розшифрування відповідно до якого **D** = ⟨2||1||3||0||1||2⟩, що збігається з даними, отриманими перед зашифруванням, отже дії були виконані коректно. Аналогічно до шифрування запропоновані моделі можуть використовуватись для гешування даних.

## V. ВИСНОВКИ

Аналіз поточного стану розвитку методології побудови криптографічних перетворень дозволив визначити перспективність псевдонедетермінованих перетворень. Для реалізації даної концепції запропоновано табличні моделі, які реалізують операцію заміни, що відбувається на основі певних керуючих даних. Запропоновані моделі передбачається використовувати як криптографічний примітив у поєднанні з іншими операціями, зокрема перестановками.

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] A. Kerckhoffs. "Military cryptography", *Journal of Military Sciences*, 9(1): 5–38, 1883. (in French) Available: http://www.petitcolas.net/kerckhoffs/crypto_militaire_1.pdf

[2] R. Verdult. "The (in)security of proprietary cryptography." PhD thesis. KU Leuven, Radboud Universiteit Nijmegen, 2015, 274 p.

[3] K. Halunen. "Hash function security. Cryptanalysis of the Very Smooth Hash and multicollisions in generalised iterated hash functions", University of Oulu Graduate School; University of Oulu, 2018, 88 p.

[4] J.-P. Aumasson. Serious Cryptography : A Practical Introduction to Modern Encryption. San Francisco, No Starch Press, Inc, 2018, 464 p. Available: http://index-of.es/Varios-2/Serious%20Cryptography%20A%20Practical%20Introduction%20to%20Modern%20Encryption%20(2).pdf

[5] Hirose S. Some Plausible Constructions of Double-Block-Length Hash Functions, 2006, 13 p. Available: http://www.iacr.org/archive/fse2006/40470213/40470213.pdf

[6] Ю.В. Баришев. "Моделі псевдонедетермінованих криптографічних перетворень". *Інформаційні технологій та комп'ютерна інженерія*; матеріали статей п'ятої міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 27-29 травня 2015 року, Івано-Франківськ: Супрун В. П., 2015, С.189-191.

[7] V. Luzhetskyi, Y. Baryshev "Data-driven pseudonondeterministic hashing constructions" *3rd International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PICS and T 2016*. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/7905352/

[8] В.А. Лужецький, Ю.В. Баришев. "Концепція псевдо-недетермінованого гешування" *Системи управління, навігації та зв'язку*, 3, 2010, С. 94-98.

[9] J.A. Anderson. "Discrete mathematics with combinatorics", Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2004, 960 p.

[10] В.А. Лужецький, О.Ю. Романенко. "Про одну табличну модель перетворення даних" *Методи та засоби кодування, захисту ущільнення інформації*. Тези доповідей Третьої Міжнародної науково-практичної конференції. м. Вінниця, 20-22 квітня 2011 року, Вінниця: ВНТУ, 2011, С. 78-79

# Об'єктивізована Методологія та Технологія Оцінки Стану Захисту Складнозашумленої Мовної Інформації

Сергій Нужний
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
s.nuzhniy@gmail.com

# Objectified Methodology and Technology for Assessing the Degree of Protection the Excessive-Noise Speech Information

Sergey Nuzhniy
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
s.nuzhniy@gmail.com

***Анотація*—Об'єктивізована методологія поєднує методи визначення критеріїв залишкової розбірливості мови (методи Покровського та Speech Intelligibility Index), методи фільтрації складнозашумлених акустичних сигналів (вейвлет-перетворення, фонемно-кореляційний аналіз та інші) та метод порівняння тест-сигналу в точці розміщення джерела сигналу і на межі контрольованої зони. Запропоновано технологію синтезу тест-сигналів на основі випадкових фонограм і їх дослідження в середовищі Matlab.**

***Abstract*—The objectified methodology combines the methods of determining the criteria of residual legibility of the language (Pokrovsky's method and the Speech Intelligibility Index), the methods of filtering the excessive-noise speech information (wavelet transformation, phonemic correlation analysis, etc.) and the method of comparing the test signal at the point of the source of the signal and on border of the controlled zone. The article proposes a technology for the synthesis of test signals based on random phonograms and their research in Matlab environment.**

***Ключові слова—захист мовної інформації, акустичні завади, розбірливість мови, очищення мовного сигналу***

***Keywords—speech information protection, acoustic noise, intelligibility of speech, clearing of speech signal***

## I. Вступ

Зазвичай, при побудові систем захисту мовної інформації для систем постановки активної завади використовують генератори білого шуму (або його кольорових клонів). Визначення рівня захищеності мовної інформації від витоку акустичними та вібраційними каналами відбувається за відповідними нормативними методом та технологією. Але використання зловмисником багатоканальних методів перехоплення мовної інформації та сучасних методів обробки цифрових фонограм (вейвлет-перетворення, кореляційного аналізу та інше) може призвести до часткового або навіть й до повного відновлення мовної інформації.

Таким чином виникає питання створення нових підходів до задач побудови систем захисту мовної інформації – розробки об'єктивізованої методології та технології оцінки ступеню захищеності мовної інформації на межі контрольованої зони

## II. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Ідея використати спеціалізованих акустичних сигналів (шумів) та систем (пристроїв) для захисту виділених

об’єктах (територіях, приміщеннях та інше, далі контрольованих зонах (КЗ)) з’явилась в першій половині 20-ого століття [1,2,6,13] і до його середини сформувались в напрям «Системи контролю акустичної завади» [14]. При цьому основним методом дослідження рівня впливу шумової завади на мовний сигнал є артикуляційний метод [6,13,14].

В [1] проводиться аналіз результатів досліджень Е. Пойрсона (1920 р.), М. Марро (1936 р.) та ряду інших дослідження, які проводились на протязі 1937 – 1949 рр. В самій же роботі Г. Міллер та Дж. Ліклайдер визначили оптимальні співвідношення мовного сигналу та шумової завади – інтенсивності сигналів, тимчасовий та спектральний склад і інше. Їх рекомендації дозволили будувати системи захисту мовної інформації як при передачі сигналів в лінію зв’язку так і для захисту виділених приміщень.

Використання білого шуму для створення шумової завади в системах захисту мовної інформації було обґрунтовано його властивостями в роботі К. Шеннона «Зв'язок у присутності шуму» (1949 р.) [2].

В наш час в США, Канаді та ЄС вказані роботи регламентуються рядом нормативних документів, в тому числі [3-5, 15]. В рамках тематики статті особливий інтерес має [5], в якому встановлюється методи розрахунку коефіцієнту (індексу) розбірливості мови (КРМ) – *Speech Intelligibility Index* (*SII*). КРМ – це коефіцієнт, який характеризує розбірливість мови при різних несприятливих умовах прослуховування, таких як маскування шумом (завадою), фільтрація, реверберація та інше. Коефіцієнт змінюється від 0 до 1 та вираховується з залежності

$$S = \sum_{i=1}^{n} I_i A_i, \qquad (1)$$

де $n$ – кількість смуг по яких розраховується коефіцієнт розбірливості мови (зазвичай $n$ = 6 або 7 – при використанні октавних смуг, або $n$ = 18 або 21 – при використанні ⅓-октавних смуг); $I$ – коефіцієнт вагомості інформації в смузі; $A$ – коефіцієнт якості розпізнавання інформації в смузі.

Враховуючи, що

$$\Delta L = L_S' - L_n^e = 20 \cdot lg \frac{P_S'}{P_n^e},$$

де $L_S'$ та $L_n^e$ – піковий рівень мовного сигналу та ефективний рівень шуму (завади) в дБ, відповідно; $P_S'$ та $P_n^e$ – потужності вказаних сигналів в Вт, можемо перейти до більш звичного, на пострадянському просторі, співвідношенню сигнал/завада.

в ANSI/ASA S3.5-1997 коефіцієнт якості розпізнавання інформації замінено функцією, яка залежить від різниці між піковим рівнем мовного сигналу в смузі та ефективним рівнем шуму (завади).

$$A(\Delta L)_i = \begin{cases} 0, & \Delta L_i \le 0\ дБ \\ \dfrac{\Delta L_i}{30}, & 0 < \Delta L_i \le 30\ дБ \\ 1, & \Delta L_i > 30\ дБ \end{cases}.$$

На пострадянському просторі використання критерію розбірливості мови для визначення рівня її захищеності вперше було запропоновано [16–18]. В основу робіт були закладені дослідження [7-11]. Головною ідеєю робіт є визначення рівня залишкової розбірливості мовного сигналу після впливу на нього пасивних та активних завад – той же критерій розбірливості мови, робоча зона якого зміщена в область від’ємних значень співвідношення сигнал/завада.

Подальший розвиток ідея набула в роботах [12,19–23] та інших. Однак, основним принципом залишилось використання сигналу завади (білого, кольорового чи мовоподібного типів) для запобігання розпізнавання на його фоні небезпечного сигналу.

В [22, 23] запропоновані методи, які вже розглядають спектри мовного сигналу та їх структурних одиниць (фонем) по ⅓-октавним смугам. При цьому метод захисту, знову ж таки, залишається незмінним – постановка завади з метою приховати небезпечні частоти. Також необхідно відмітити, що термін «мовоподібний» в більшості випадків позначає модифікацію форми сигналу білого шуму – її адаптовано до характеристик рівної гучності.

## III. Мета та задачі дослідження

Мета даного дослідження полягає в визначенні можливості побудови системи захисту мовної інформації, здатної забезпечити вимоги по захищеності від витоку акустичними та вібраційними каналами, при використанні сучасних методів та технологій фільтрації шумової завади.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити пріоритетний метод формування сигналу завади;
- визначити критерії оцінювання рівня захищеності мовних сигналів;
- запропонувати математичну модель.

## IV. Аналіз принципів побудови активних систем протидії витоку мовної інформації за межі контрольованої зони

Класичне використання білого шуму для систем захисту мовної інформації зі збільшенням рівня його інтенсивності стало мати надто незадовільний біоакустичний вплив на персонал об’єкту. Це призвело до розробки так званого «мовоподібного» сигналу завади, який був оптимізований в відповідності до ліній рівної гучності [16–18].

Одночасно з цим, розвиток математичних методів обробки сигналів в телекомунікаційних системах призвів до розуміння необхідності створення нових підходів до формування шумового сигналу завади. Кінець 20-го століття відзначився створенням двох напрямків в формуванні мовоподібних завад [20, 21]:

1) сигнали які синтезуються на основі мовного сигналу, який і необхідно захистити (в літературі їх часто називають корельованими завадами, одна така назва в більшості випадків на даний час вже не є коректною). До такого типу відносяться, в першу чергу, завади реверберaційного типу, завади з перестановкою та/або інверсією частотних смуг та інші. Їх головною особливістю є можливість динамічної зміни гучності завадового шуму в залежності від гучності мови диктора;

2) сигнали завади, що використовують сторонні джерела мови. Найбільшого поширення набули завади типу «мовних хор» (він же «гомін натовпу»).

Аналіз наведених типів мовоподібних сигналів показує наявність певних обмежень для їх використанні. Так, для першого типу сигналів характерними недоліками є наявність достатньої кількості інформації для синтезу фільтру завади. Використання методу формування завади другого типу надає більш значний рівень захищеності мовному сигналу диктора. Це зумовлюється тим що для відновлення мови необхідно виконати часткове або в повній мірі відновлення мови всіх дикторів, на базі яких створено сигнал завади. Рівень відновлення залежить від рівня впливу та подібності складових сигналу завади до мови диктора.

Також необхідно відмітити, що в останнє десятиріччя почали з'являтись пристрої, що мають комбінований тип. Так в [24–26] розглянуто генератор в якому використовується метод мовного хору з 6 активних джерел з бази на 10 джерел, комбінації тимчасових смуго-інверсних та частотних смуго-інверсних перестановок. База джерел формуються динамічно за рахунок підключення та контролю працездатності вибраних з бази url-адресів джерел сигналу та оновлюється не рідше 1 разу на 5 хвилин. Перелік активних джерел поновлюється на кожному тимчасовому періоді за динамічним кодом. Початок відтворення кожної активної фонограми визначається для тимчасового періоду за динамічним кодом. Для підвищення рівня захищеності синтезованого сигналу в генераторі використовується динамічне кодування тимчасових і частотних перестановок. Однак головною відмінністю від аналогів є використання зворотного зв'язку по випроміненому сигналу завади. Для даного генератора авторами [24–26] запропоновано назву – генератор мовоподібного сигналу скремблерного типу.

Застосування такого типу генератора мовоподібної завади створює надскладну комбінацію артикуляційних елементів, в тому числі й створених з мови диктора, що робить використання нейромережевих фільтрів недоцільним – навчання блоків фільтру необхідно проводити для кожного тимчасового такту за наявності значної неоднозначності.

## V. Адаптація КРМ до об'єктивізованого розрахункового методу визначення рівня захищеності мовної інформації

В [15-17] запропоновано використання КРМ для визначення рівня її захищеності, тобто, фактично повернення до первинного стану. Це було зумовлене широким впровадженням мовоподібних сигналів завади для систем захисту інформації, розробкою нових методів та технологій обробки фонограм. При цьому головним стало розуміння того, що використання співвідношення сигнал/завада не дозволяє коректно визначити рівень захищеності мови, який є інтегральним коефіцієнтом. Тобто, не враховує значної кількості артикуляційних факторів людської мови.

Таким чином є необхідність введення нового критерію в визначенні рівня захищеності мовного сигналу – коефіцієнту залишкової розбірливості мови (або коефіцієнту деструктивних змін). Цей коефіцієнт повинен враховувати викривлення спектрального складу мінімальних мовних одиниць (пропонується використання алофонів) по ⅓-октавним смугам з врахуванням коефіцієнтів вагомості інформації в смузі та якості розпізнавання інформації в смузі.

В методиці також враховується коефіцієнт важливості розпізнавання алофону для розпізнавання слава (фрази, речення) та коефіцієнт частоти вживання даного алофону в мові (можлива заміна на частоту вживання алофону в артикуляційних таблицях).

Таким чином вираз (1) для розрахунку SII набуде вигляду

$$S^R = \frac{1}{m}\sum_{y=1}^{m}\left[ R_y^a H_y \sum_{i=1}^{n} I_i A_i \right],$$

де $S^R$ – коефіцієнту залишкової розбірливості мови (*RII – residual intelligibility index*); $m$ – загальна кількість алофонів в слові; $R^a$ – коефіцієнт важливості розпізнавання алофону для розпізнавання слава (фрази, речення); $H$ – коефіцієнт частоти вживання даного алофону в мові.

Запропонована залежність визначає можливість переходу до об'єктивізованого розрахункового методу визначення рівня захищеності мовної інформації.

## VI. Обговорення результатів дослідження моделі генератора мовоподібного сигналу скремблерного типу для захисту мовної інформації

Дослідження тест-сигналів, які формуються програмою Sound Forge (це імітує використання фонограм з реального об'єкту та запобігає можливості виникнення процесу автокореляції), проводиться в середовищі Matlab. Значення середньоквадратичного рівня отриманих фонограм в окремих ⅓-октавних смугах і фактичного рівня піку може відрізнятись на величину до 16…18 дБ.

При синтезі складнозашумлених тест-сигналів забезпечується співвідношення середньоквадратичних рівні сигналу та завади (імітація значень вимірювальної

апаратура на реальних об’єктах) на рівнях від –3дБ до – 24 дБ з кроком –3дБ.

Дослідження показали, що при співвідношенні сигнал/завада –21…–24 дБ проведення процедури фільтрації та шумоочищення з використанням вейвлет-аналізу (програма MatLab, блок «Wavelet 1-D», функції Analize та DE-NOISE) призводить до зменшення співвідношення сигнал/завада до рівня – 8…–5 дБ з рівнем розпізнавання мови W > 60 % [16, табл. 9].

## VII. Висновки

1. Проведено аналіз методів формування акустичної шумової завади для активних систем захисту мовної інформації та розглянуто можливість використання спеціальних методів обробки цифрових фонограм для фільтрації шуму завади. Визначено обмеження для використання завад на основі білого шуму і мовоподібних завад першого та другого типів, що дозволило запропонувати метод формування мовоподібної завади скремблерного типу як пріоритетного.

2. Запропоновано об’єктивізовану методологію яка поєднує методи визначення критеріїв залишкової розбірливості, методи фільтрації складнозашумлених акустичних сигналів та метод порівняння тест-сигналу в точці розміщення джерела сигналу і на межі контрольованої зони. Це дозволяє підвищити достовірність отриманої оцінки рівня захищеності мовного сигналу від витоку акустичними та вібраційними каналами за межі контрольованої зони.

3. Запропоновано технологію синтезу тест-сигналів на основі випадкових фонограм та/або фонограм озвучення дикторами артикуляційних таблиць і мікшування їх з різними типами завадового шуму при заданих співвідношеннях сигнал/завада. Дослідження проведені в блоці «Wavelet 1-D» середовища Matlab. Встановлено, що при використанні шумової завади типу білий шум та співвідношеннях сигнал/завада –20…24 дБ запропонована методологія збільшує залишкову розбірливість тест-сигналу з W=10 % до W=40…60 %. Таким чином аргументовано недоліки існуючих систем захисту мовної інформації на основі завади типу білий шум.

## Література References


[1] Miller, George A., Licklider, J. C. R. (1950). The Intelligibility of Interrupted Speech // The Journal of the Acoustical Society of America, 22 (2 (1950.03)). Available at: http://www.andrew.cmu.edu/user /nbradley/afrl/PAPERS/IntelligibilityOfInterruptedSpeech.pdf

[2] Shannon, Claude E. (1949). Communication in the Presence of Noise. Proceedings of the IEEE, 86 (2 (1998.02)). Available at: http://nms.csail.mit.edu/spinal/shannonpaper.pdf

[3] ASA S3.42-1992 PART 1 (R2017) American National Standard Testing Hearing Aids with a Broad-Band Noise Signal / STANDARD by American National Standards of the Acoustical Society of America, 1992.01.01.

[4] ASA S3.37-1987 (R2017) American National Standard Preferred Earhook Nozzle Thread for Postauricular Hearing Aids / STANDARD by American National Standards of the Acoustical Society of America, 1987.01.01.

[5] ASA S3.5-1997 (R2017) American National Standard Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index / STANDARD by American National Standards of the Acoustical Society of America, 1997.01.01.

[6] French, N. R, Steinberg, J. C. (1947). Factors governing the intelligibility of speech sounds. J Acoust Soc Am. 19: 90–119.

[7] Bykov, YU. S. (1959). Teoriya razborchivosti rechi i povysheniya effektivnosti radiotelefonnoy svyazi. M.-L .: Gosenergoizdat, 350.

[8] Ioffe, V. K., Sapozhkov, M. A. (1951). K voprosu o metodike rascheta razborchivosti rechi. Trudy komissii po akustike AN SSSR, Vol. 6.

[9] Sapozhkov, M. A. (1963). Rechevoy signal v kibernetike i svyazi. – M .: Svyaz'izdat,. 472.

[10] Pokrovskyy, N. B. (1962). Raschet y yzmerenye razborchyvosty rechy – M.: HYzLVSR, 392.

[11] HOST 16600-72. Peredacha rechy po traktam radyotelefonnoy svyazy. Trebovanyya k razborchyvosty rechy y metodы artykulyatsyonnыkh yzmerenyy M.: YPK Yzdatel'stvo standartov, 90.

[12] Gavrilenko, A. V., Didkovskiy, V. S., Prodeus, A. N. (2008). Sopostavleniye versiy formannogo metoda otsenki razborchivosti rechi. Elektronika i svyaz'. Tematicheskiy vypusk «Problemy elektroniki», 1. 227-231.

[13] Licklider, J. C. R. (1948). The influence of interaural phase relations upon the masking of speech by white noise. Journal of the Acoustical Society of America, 20, 150-159.

[14] Rosenblith, W. A., Stevens, K. N. and the Staff of Bolt, Beranek & Newman (1953). Handbook of Acoustic Noise Control. I and II.

[15] ISO 9921:2003 Ergonomics – Assessment of speech communication Available at: https://www.iso.org/standard/33589.html.

[16] Zheleznyak, V. K., Makarov, YU. K., Khorev, A. A. (2000). Nekotoryye metodicheskiye podkhody k otsenke effektivnosti zashchity rechevoy informatsii. Spetsial'naya tekhnika, 4, 39 – 45.

[17] Khorev, A. A., Makarov, YU. K. (2001). Metody zashchity rechevoy informatsii i otsenki ikh effektivnosti. Spetsial'naya tekhnika, 4. 22 – 33.

[18] Khorev, A. A. (2005). Sposoby i sredstva zashchity rechevoy (akusticheskoy) informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalam. Spetsial'naya tekhnika, 5. 54 – 59. & 6. 54 – 62.

[19] Didkovskiy, V. S., Didkovskaya, M. V. Prodeus, A. N. (2008). Akusticheskaya ekspertiza kanalov rechevoy kommunikatsii. Kiyev: Imeks-LTD. 420.

[20] Mytiai, Y., Zamsha, K., Lozinskyi, B., Stepanovska, O., Prodeus A. (2016). Objective and subjective assessment of bandlimited signaling speech quality. Electronics and Communications. 21 (1 (90)), 18-26. doi: 10.20535/2312-1807.2016.21.1.82250.

[21] Bogdanova, N., Prodeus, A (2014). Objective quality evaluation of speech band-limited signals. Electronics and Communications. 19 (6 (83)). 58-65. doi: 10.20535/2312-1807.2014.19.6.113479.

[22] Bortnikov, A. N., Gubin, S.V., Lobov, V.A., Siromashenko, A.V., Chernyshov, P.V. (2007). Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy vozmozhnostey perekhvata rechevoy informatsii pri realizatsii metodov dvukhkanal'nogo s"yoma. Voprosy zashchity informatsii, 1. 11-17.

[23] 23. Lobov, V. A. (2007). Otsenka vozmozhnostey perekhvata rechevoy informatsii pri realizatsii metoda mnogokanal'nogo s"yoma. Voprosy zashchity informatsii, (4). 27-35.

[24] Nuzhniy, S. M., Kas′yanov, YU. I. (2015). Otsinka zakhishchenosti movnoyi ynformatsyy pry zashumlenni y synkhronnoho vimiryuvanni z dvokh tochok. .L′viv: Izd-vo NULP, 175 – 176.

[25] Kas'yanov, YU. Í., Nuzhniy, S. M. (2016). Otsínyuvannya yefektivností generatora real'noï movopodíbnoï zavadi za kriteríêm rozbírlivostí movi. "Avtomatika, vimíryuvannya ta keruvannya", (852). L′viv: Izd-vo NULP, 105-110. Available at: http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ ntb/36473

[26] Nuzhniy, S. M. (2018). Udoskonalena tekhnologíya otsínki stupeney zakhistu movnoï ínformatsíÍ. Suchasniy zakhist ínformatsíÍ, 1 (33). 66-73. Available at: http://journals.dut.edu.ua/index.php/dataprotect/article/ view/1796

# Алгоритмічні та Програмно-апаратні Засоби Оцінювання Рівня Захищеності Мовної Інформації на Основі Об'єктивізованого Методу Визначення Розбірливості Мови

Денис Стаканов
кафедра інформаційних управляючих систем та технологій
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
onspeed13.new@gmail.com

Сергій Нужний
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
s.nuzhniy@gmail.com

# Algorithmic and Soft-hardware for Assessing Degree of Protection the Speech Information on the Basis of the Objectified Method of Intelligibility Speech

Denys Stakanov
Department of Informational Control Systems and Technology
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
onspeed13.new@gmail.com

Sergey Nuzhniy
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
s.nuzhniy@gmail.com

***Анотація*—Розглянуто питання розробки алгоритму об'єктизованого форматного методу оцінки стану захищеності мовної інформації на основі тонального методу. Проаналізовано основні функції системи підтримки прийняття рішень для задач оцінювання рівня захищеності мовної інформації.**

***Abstract*—The questions of elaboration of the algorithm of objectified format method for assessing the state of the security of the linguistic information on the basis of the tonal method are considered. The main functions of the decision support system for the evaluation of the level of protection of the language information are analyzed.**

**Ключові слова—оцінка захищеності мовної інформації; критерії захищеності; розбірливість мови**

**Keywords—evaluation of the security of the language information; security criteria; legibility of speech**

## I. Вступ

Мовна інформація несе велике смислове навантаження і є одним з основних джерел отримання даних про фінансову, науково-дослідну, виробничу діяльність організації або особисте життя людини, тобто відомостей, що не підлягають широкому розголосу і є інформацією з обмеженим доступом. Тому у сучасних умовах конкуренції захист мовної інформації є однією з найважливіших задач у загальному комплексі заходів щодо забезпечення інформаційної безпеки об'єкта або установи.

Оскільки контроль захищеності мовної інформації повинен мати певну оперативність і економічність, то використання суб'єктивних методів є недоцільним. Наразі в сертифікованій в Україні методиці оцінювання захищеності мовної інформації використовується метод визначення співвідношення сигнал/завада, який не може врахувати ряд факторів, що характеризують залишкову розбірливість мови. Одночасно з цим, перехід до суб'єктивних методів, заснованих на визначенні розбірливості мови (як зробили в Росії), не дає достатнього рівня гарантій в достовірності отриманої оцінки рівня захищеності мовної інформації на об'єкті.

Таким чином, розробка нових методів і технологій визначення розбірливості мови, основаних на адаптації та вдосконаленні уже існуючих методів до задач захисту інформації є актуальною проблемою.

## I. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Спеціалізовані звіти про дослідження з питання захисту мовної інформації почали з'являтись в першій половині 20-ого століття. Автори Г. Міллер та Дж. Ліклайдер розглядали у [1] вплив частоти переключання акустичного сигналу та шумової завади в різних комбінаціях та з різними співвідношеннями сигнал/завада, опираючись на результати досліджень Е. Пойрсона (1920 р.), М. Марро (1936 р.) та ряду інших вчених, що оприлюднили свої дослідження на протязі 1937 – 1949 рр.

Важливою частиною проведених робіт є дослідження впливу акустичних сигналів (мови та різних типів шумів) на біофізичні, психосоматичні та інші показники людського здоров'я. Напрям на початку 50-их років отримав назву біоакустика. Найбільш значимі результати напрямку були відображені в розроблених Акустичним товариством Америки (*Acoustical Society of America, ASA*) рекомендаціях та стандартах, а такі як [2-4] та інші, набули статусу *ANSI* та прийняті на міждержавному рівні.

В [4] встановлюються методи розрахунку коефіцієнту (індексу) розбірливості мови (КРМ) – *Speech Intelligibility Index* (*SII*). КРМ – це коефіцієнт, який характеризує розбірливість мови при різних несприятливих умовах прослуховування, таких як маскування шумом (завадою), фільтрація, реверберація та інше.

В роботах Ю.С. Бикова [5], В.К. Іоффе і М.А. Сапожкова [6,7] та М.Б. Покровського [8], а відповідно й в ГОСТ 16600-72 [9], для проведення розрахунків введені поняття середньоквадратичних (тобто ефективних) рівнів сигналу та завади. Так як, у вказаних роботах, для спрощення розрахунків реальний мовний сигнал замінено на білий шум. Така методика надала змогу отримувати високу якість досліджень у випадках, коли бажано мати тест-сигнали з заданими параметрами амплітудно-частотної характеристики.

Використання критерію розбірливості мови для визначення рівня її захищеності на пострадянському просторі вперше було запропоновано Хоревим А.А., Макаровим Ю.К., Железняком В.К. [10-11]. В основі лежить методика Покровського М.Б. [8] та ГОСТ 16600-72 [9]. Головною ідеєю робіт є визначення рівня залишкової розбірливості мовного сигналу після впливу на нього пасивних та активних завад.

Подальший розвиток ідея набула в роботах Продеуса А.М., Дідковського В.С. [12], Бортникова А.Н., Лобова В.А. [13] та інших. Однак, основним принципом в їх роботах залишилось використання сигналу завади (білого, кольорового чи мовоподібного типів) для запобігання розпізнавання на його фоні небезпечного сигналу.

Основними недоліками вказаних методів є:

3) суб'єктивність методики;

4) значний об'єм робіт, які необхідно виконати при обстеженні ОІД;

5) вразливість методу захисту мовної інформації, основаного на використанні білого шуму в системах постановки активних акустичних/вібраційних завад.

## II. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є розробка теоретичного підґрунтя для створення системи підтримки прийняття рішення для системи технічного захисту інформації на основі об'єктивізованого методу та технології визначення рівня залишкової розбірливості мови.

Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні задачі:

- аналіз та обґрунтування коефіцієнтів-показників якості мовного сигналу, що можуть бути використані для об'єктивної оцінки рівня залишкової розбірливості мови;
- проведення процедури алгоритмізації вдосконаленої об'єктивізованої методики визначення рівня залишкової розбірливості мовного сигналу для система підтримки прийняття рішень.

## III. Аналіз принципів побудови СППР для оцінювання рівня захищенності мовної інформації

Система підтримки прийняття рішень (СППР) - комплекс програмних засобів, що включає комплекс різних алгоритмів підтримки рішень, базу моделей, базу даних, допоміжні та керівну програми. СППР для оцінювання рівня захищеності мовної інформації має містити наступні функції:

1) Графічне відображення вхідного сигналу із банку даних нормованих тест-сигналів (фонограм) у вигляді залежності рівня сигналу від часу (спектрограма та сонограма) та/або можливість його запису з мікрофону і прослуховування.

2) Графічне відображення сигналу завади, що використовує стороннє джерело (білий шуму, кольоровий клон білого шуму та/або синтезована завада типу «мовний хор»), із банку даних, нормованого під задане значення середньоквадратичні рівні сигналу у вигляді залежності рівня сигналу від часу та/або можливість його запису з мікрофону і прослуховування. Передбачається можливість подальшого розширення бази.

3) Графічне відображення сигналу завади, що синтезований на основі мовного сигналу, який і необхідно захистити (в літературі такі завади часто називають корельованими завадами), нормованого під задане значення середньоквадратичні рівні сигналу у вигляді залежності рівня сигналу від часу та/або можливість його запису з мікрофону і прослуховування. Передбачається можливість подальшого розширення бази методів формування завадового сигналу.

4) Створення змішаного сигналу з шумової завади і вхідного сигналу та його графічне відображення у вигляді залежності рівня сигналу від часу та/або можливість його

запису з мікрофону, прослуховування та збереження до банку даних.

5) Розрахунок та відображення коефіцієнтів-показників якості мовного сигналу, що можуть бути використані для об'єктивної оцінки якості мовного сигналу. Планується використовувати шість показників, таких як сегментне відношення сигнал-шум *SSNR* (*Segmental Signal to Noise Ratio*), логарифмічне спектральне спотворення *LSD* (*Logarithmic Spectral Distortion*), частотно-зважене сегментне відношення сигнал-шум *fwSSNR* (*frequency-weighted segmental SNR*), барк-спектральне спотворення *BSD* (*Bark Spec-tral Distortion*) і перцептуальна оцінка якості мови *PESQ* (*Perceptual Evaluation of Speech*) [14] та коефіцієнту розбірливості мови *SII* (*Speech Intelligibility Index*) [4].

Міра *SSNR* відноситься до групи показників тимчасової області:

$$SSNR = \frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M} 10\,lg\left\lfloor \frac{\sum_{n=R(m-1)+1}^{Rm} x^2(n,m)}{\sum_{n=R(m-1)+1}^{Rm}\left[x(n,m)-y(n,m)\right]^2} \right\rfloor \qquad (1)$$

де $x(n,m)$ и $y(n,m)$ − $n$ вибірки $m$ фрейму чистого сигналу $x(n)$ та спотвореного сигналу $y(n)$, відповідно; $M$ − кількість фреймів; $R$ − кількість вибірок фрейму.

Міра *LSD* належить до групи показників частотної області:

$$LSD = \frac{2}{RM}\sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J}\left|G\{X(j,m)\}-G\{Y(j,m)\}\right|,$$
$$G\{X(j,m)\} = max\{20\,lg(|X(j,m)|),\delta\}, \qquad (2)$$
$$\delta = \max_{l,k}\{20\,lg(|X(j,m)|)\}-50,$$

де $X(j,m)$ та $Y(j,m)$ − дискретні перетворення Фур'є m фрейму сигналу $x(n)$ та $y(n)$, відповідно, $j$ − номер частотної вибірки, $J$ − кількість частотних вибірок.

До групи показників частотної області також належить *fwSSNR*:

$$fwSSNR = \frac{10}{M}\sum_{m=1}^{M}\frac{\sum_{k=1}^{K} W(k,m)\,lg\dfrac{|X(k,m)|^2}{\left(|X(k,m)|-|Y(k,m)|\right)^2}}{\sum_{k=1}^{K} W(k,m)} \qquad (3)$$

де $k$ − номер критичної смуги; $K$ − кількість критичних смуг; $|X(k,m)|$ − амплітудний спектр чистого сигналу; $W(j,m)$ − вагові коефіцієнти [4].

Міра *BSD* відноситься до групи перцептуальних показників, враховуючих особливості слухової системи людини:

$$BSD = \frac{\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\left[B_x(k,m)-B_y(k,m)\right]^2}{\sum_{m=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\left[B_x(k,m)\right]^2} \qquad (4)$$

Об'єктивна міра *PESQ* є однією із найскладніших для розрахунку і рекомендується для оцінки якості мови в 3,2 кГц (вузько смугова міра).

Міра *PESQ* обчислюється як лінійна комбінація середнього значення збурення і середнього асиметричного значення збурення:

$$PESQ = a_0 + a_1 D_{ind} + a_2 A_{ind} \qquad (5)$$

де $a_0 = 4.5$ , $a_1 = -0.1$ та $a_2 = -0.0309$ . Однак ці параметри оптимізовані для обробки мови через мережі, а не для мови посиленої алгоритмом зменшення шуму. Оптимізація коефіцієнтів міри *PESQ* розглянута у [14-15] для роботи із показниками: спотворення мови, спотворення звуку і загальна якість.

6) На основі отриманих показників приймається рішення по рівень захищеності мовної інформації. Якщо встановлено, що він є недостатнім – дослідження завершуються та надається негативний звіт. Якщо рівень захищеності є достатнім, то приймається рішення про проведення наступного етапу досліджень – аналіз змішаного сигналу на можливість фільтрації сигналу завади та відновлення вхідного тест-сигналу.

7) Фільтрація відбувається методами кореляційного аналізу, вейвлет-перетворення, нейронними та адаптивними фільтрами

Після фільтрації проводиться повторний розрахунок та відображення коефіцієнтів-показників якості мовного сигналу. Проводиться аналіз отриманих показників та приймається рішення по рівень захищеності мовної інформації. Якщо встановлено, що він є достатнім – надається позитивний звіт. В іншому випадку, рівень є недостатнім, надаються рекомендації по проведенню виправленню недоліків.

## IV. Алгоритмізація об'єктивізованого форматного методу

Основні етапи об'єктивізованого форматного методу для задач оцінки захищеності інформації:

1) Вимірювання рівнів тестових тональних сигналів в контрольній точці на середньогеометричних частотах октавних смуг.

2) Зняття частотної характеристики шуму (рівні шуму в октавних смугах) в контрольній точці.

3) За залежностями порогу відчуття тону від рівня шуму в октавних смугах із банку даних, визначається поріг відчуття тону в контрольній точці на середньогеометричних частотах. В залежності від рівня шуму та його спектральних характеристик він буде по різному впливати на поріг відчуття тону.

4) Визначаються рівні відчуття тону. Вони дорівнюють різниці між рівнем тестового сигналу та порогом відчуття тону на певній частоті.

5) За рівнем відчуття тону, використовуючи аналітичне представлення залежності форматної розбірливості від рівня відчуття тону (1), визначається формантна розбірливість в октавних смугах.

$$A = \begin{cases} 0.035 \cdot E^{1.27}, \text{ якщо } E < 11 \\ 0.14 \cdot E - 0.78, \text{ якщо } 11 \le E \le 36 \\ 1.73 \cdot 10^{-4} \cdot E^3 - 0.025 \cdot E^2 + 1.21 \cdot E - 15.34, \text{ якщо } E > 3 \end{cases} \quad (6)$$

6) Визначається загальна формантна розбірливість як сума значень формантної розбірливості для окремих частот:

$$A = \sum_{i=1}^{20} \Delta A_i \quad (7)$$

7) За отриманою загальною форматною розбірливістю визначається складова і словесна розбірливість через формули (8) та (9) відповідно:

$$S = \begin{cases} 4A^{1.43}, \text{ якщо } A \le 0.15 \\ 1.1 \cdot [1 - 1{,}17 \exp(-2.9A)], \text{ якщо } 0.15 \le A \le 0.7 \\ 1.01 \cdot [1 - 9.1 \exp(-6.9A)], \text{ якщо } A > 0.7 \end{cases} \quad (8)$$

$$W = \begin{cases} 1.54A^{0.25}[1 - \exp(-11A)], \text{ якщо } A < 0.15 \\ 1 - \exp\left(-\frac{11A}{1 + 0.7A}\right), \text{ якщо } A \ge 0.15 \end{cases} \quad (9)$$

## V. Аналіз результатів дослідження

Перелічений функціонал для СППР забезпечує можливість аналізу захищеності мовної інформації на об'єкті (контрольованій зоні) за об'єктивними показниками. Вони дадуть змогу проаналізувати записані на об'єкті сигнали на предмет захищеності мовної інформації.

## VI. Висновки

1) В роботі розглянуто основні функції СППР для задач оцінювання захищеності мовної інформації за критерієм розбірливості мови. У якості критеріїв обрані міри: *SSNR, LSD, fwSSNR, BSD, PESQ, SII*. Їх використання забезпечує отримання об'єктивного оцінювання рівня захищеності мовної інформації від витоку акустичними та вібраційними каналами. СППР враховує можливість застосування зловмисником сучасних методів фільтрації сигналу завади та відновлення мовної інформації, що дозволяє підвищити достовірність визначення рівня залишкової розбірливості мовного сигналу.

2) Запропоновано процедуру алгоритмізації об'єктивізованого форматного методу шляхом розрахунку коефіцієнтів складової та словесної розбірливості для вхідного та відновленого тест-сигналів, що дозволяє розраховувати рівень впливу завадового сигналу та процедури фільтрації.

## Література References


[1] George A. Miller, J. C. R. Licklider The Intelligibility of Interrupted Speech // The Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 22, No. 2 March, 1950 [Online]. Available: http://www.andrew.cmu.edu/user/nbradley/afrl/PAPERS/IntelligibilityOfInterruptedSpeech.pdf

[2] ASA S3.42-1992 PART 1 (R2017) American National Standard Testing Hearing Aids with a Broad-Band Noise Signal / STANDARD by American National Standards of the Acoustical Society of America, 1992.01.01.

[3] ASA S3.37-1987 (R2017) American National Standard Preferred Earhook Nozzle Thread for Postauricular Hearing Aids / STANDARD by American National Standards of the Acoustical Society of America, 1987.01.01.

[4] ASA S3.5-1997 (R2017) American National Standard Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index / STANDARD by American National Standards of the Acoustical Society of America, 1997.01.01.

[5] Bykov, YU. S. (1959). Teoriya razborchivosti rechi i povysheniya effektivnosti radiotelefonnoy svyazi. M.-L .: Gosenergoizdat, 350.

[6] Ioffe, V. K., Sapozhkov, M. A. (1951). K voprosu o metodike rascheta razborchivosti rechi. Trudy komissii po akustike AN SSSR, Vol. 6.

[7] Sapozhkov, M. A. (1963). Rechevoy signal v kibernetike i svyazi. - M .: Svyaz'izdat,. 472.

[8] Pokrovskyy, N. B. (1962). Raschet y yzmerenye razborchyvosty rechy – M.: HYzLVSR, 392.

[9] HOST 16600-72. Peredacha rechy po traktam radyotelefonnoy svyazy. Trebovanyya k razborchyvosty rechy y metodы artykulyatsyonnыkh yzmerenyy M.: YPK Yzdatel'stvo standartov, 90.

[10] Khorev, A. A., Makarov, YU. K. (2001). Metody zashchity rechevoy informatsii i otsenki ikh effektivnosti. Spetsial'naya tekhnika, 4. 22 - 33.

[11] Khorev, A. A. (2005). Sposoby i sredstva zashchity rechevoy (akusticheskoy) informatsii ot utechki po tekhnicheskim kanalam. Spetsial'naya tekhnika, 5. 54 – 59. & 6. 54 - 62.

[12] Didkovskiy, V. S., Didkovskaya, M. V. Prodeus, A. N. (2008). Akusticheskaya ekspertiza kanalov rechevoy kommunikatsii. Kiyev: Imeks-LTD. 420.

[13] Bortnikov, A. N., Gubin, S.V., Lobov, V.A., Siromashenko, A.V., Chernyshov, P.V. (2007). Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy vozmozhnostey perekhvata rechevoy informatsii pri realizatsii metodov dvukhkanal'nogo s"yoma. Voprosy zashchity informatsii, 1. 11-17.

[14] Cote, N. (2011). Integral and diagnostic intrusive prediction of speech. - Springer-Verlag Berlin Heidelberg, P. 267.

Hu, Y., Loizou, P. (2008). Evaluation of objective quality measures for speech enhancement. IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, 16(1), Pp. 229-238.

# Оптимізація нечітких систем управління технічними засобами захисту інформації

Марина Турти
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
turtym@meta.ua

# Optimization of fuzzy control systems by technical means of information protection

Marina Turty
Department of Computer Technologies and Information Security
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mikolayv, Ukraine
turtym@meta.ua

***Анотація* — Стаття присвячена актуальній проблемі – підвищенню ефективності систем захисту інформації. Метою даного дослідження є розробка підходу до рішення проблеми оптимізації нечітких систем управління технічними засобами захисту інформації. В роботі проведено аналіз особливостей, обумовлених специфікою застосування нечітких систем для вирішення прикладних задач інформаційної безпеки, визначені критерії і розроблено методику оптимізації нечітких систем управління технічними засобами захисту інформації, ефективність якої доводиться порівняльним аналізом варіантів рішень.**

***Abstract*— The article is devoted to the actual problem - to increase the efficiency of information security systems. The purpose of this research is to develop an approach to addressing the problem of optimizing fuzzy control systems by technical means of information protection. The work analyzes the peculiarities due to the specifics of the use of fuzzy systems for solving applied security information security problems, defines the criteria and develops a method for optimization of fuzzy control systems by technical means of information protection, the efficiency of which is proved by comparative analysis of solution variants.**

***Ключові слова— технічні засоби захисту інформації, система управління, нейронна мережа, оптимізація***

***Keywords— technical information security means, control system, neural network, optimization)***

## I. Вступ

В системах технічного захисту інформації (ТЗІ) застосовуються різноманітні керовані апаратні і програмні засоби. Для управління технологічними процесами і технічними пристроями, на даний час одним із найбільш поширених і ефективних технічних рішень є штучні нейронні мережі (НМ). Забезпечення ефективності систем захисту інформації є складною і актуальною проблемою в умовах загострення інформаційної боротьби в кіберпросторі при наявній тенденції до зростання кваліфікації середньостатистичних зловмисників і розширення спектру використовуваних ними апаратних і програмних засобів.

## II. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Проблемі створення ефективних систем захисту інформації на основі нечітких систем (НС) і нейронних мереж присвячені наукові праці багатьох вітчизняних і зарубіжних учених [1-6].

Побудова систем захисту інформації, систем управління засобами ТЗІ, систем моніторингу і контролю стану інформаційної безпеки може здійснюватися методами і засобами нечіткої логіки [1-6] на різному теоретичному підґрунті [4, 7], що визначають припустимі методи формування функцій належності (ФН) нечітких чисел і лінгвістичних змінних, а також разом із задачами обробки – припустимі методи обробки ФН.

При формуванні системи отримання висновку [5] певний метод обробки нечітких даних може застосовуватися до ФН, якщо вони мають певні властивості [1], і характеризується обсягом задіяної пам'яті та кількістю виконуваних процедур.

Реалізація НС управління може бути здійснена на основі НМ різних типів [3-5, 8-11], що мають відмінності у структурній складності, кількості задіяних елементів, алгоритмах навчання, здатності до адаптації і складності налагодження системи. Таким чином, виникає задача розробки комплексного підходу до процесу оптимізації нечітких систем управління технічними засобами захисту інформації (СУТЗЗІ), який за принципом Беллмана має охоплювати процеси опису нечітких даних, процеси отримання висновку, реалізацію системи управління у вигляді оптимальної НМ і враховувати специфіку прикладних задач інформаційної безпеки.

## III. Мета і задачі дослідження

Метою даної роботи є розробка підходу до рішення проблеми оптимізації систем управління технічними засобами захисту інформації на основі нейронних мереж.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати наступні задачі: визначити вимоги до систем управління засобами ТЗІ; визначити критерії і розробити методику оптимізації СУТЗЗІ на основі нейронних мереж.

## IV. Аналіз принципів побудови оптимальних нечітких систем інформаційної безпеки

Критерії оптимізації систем, що передбачають формування, обробку і отримання висновків щодо об'єктів і процесів систем захисту інформації за допомогою нечітких знань та формування управляючих впливів на основі цих висновків, повинні враховувати специфіку всього життєвого циклу системи ТЗІ і специфіку галузі застосування системи управління. Зокрема, для систем моніторингу, що працюють в режимі реального часу, першочергову важливість має швидкодія системи; для систем управління технічними засобами – точність і швидкість отримання висновків, на основі яких формуються вихідні сигнали систем керування; для процесів фаззифікації – обсяг задіяних обчислювальних ресурсів, кількість виконуваних процедур, необхідність виконувати додаткові обчислення в процесі наступного отримання висновку тощо.

Опис нечітких даних може бути здійснений на основі методів класичної нечіткої логіки [7] та методів однозначної нечіткої логіки [4], що характеризуються особливостями алгоритмів отримання та обробки експертних даних і здатні формувати ФН з певними властивостями. За класичною теорією [1-3, 7] ФН нечітких чисел визначаються широким спектром методів і можуть бути довільної форми, і ФН термів лінгвістичних змінних визначаються незалежно одна від одної. За теорією однозначної нечіткої логіки [4] ФН є параметричними, нормальними і унімодальними, тобто можуть визначатися лише методом призначення параметрів, крім того ФН термів лінгвістичних змінних є взаємопов'язаними.

Формування системи отримання висновку багато в чому залежить від опису нечітких даних. По-перше, кожен метод обробки нечітких даних висуває певні вимоги до властивостей ФН нечітких чисел. По-друге, кожен метод порівняння нечітких чисел використовує певні параметри нечітких множин (наприклад, центр тяжіння, $\alpha$-рівні), які або мають бути визначені на етапі опису нечітких даних, або повинні автоматично обчислюватися за алгоритмами різної складності із використаннями різних обчислювальних ресурсів. По-третє, висновки на одній і тій самій моделі отримання висновку можуть отримуватися різними методами, які мають власні показники якості.

Реалізація СУТЗЗІ у вигляді нейронної мережі передбачає вибір таких нейронів і топології мережі, які при мінімальній вартості здатні забезпечувати виконання необхідних процедур обробки нечітких і чітких вхідних даних та вироблення ефективного управляючого впливу із показниками якості не нижче заданого, відповідають вимогам приладної задачі щодо адаптовності і складності налаштування СУТЗЗІ.

## V. Методологія дослідження

Специфіка прикладних задач інформаційної безпеки може враховуватися за допомогою критеріїв швидкості виконання алгоритмів формування ФН, швидкості алгоритмів обробки ФН і отримання висновків, критеріїв якості отриманих висновків, що характеризують несуперечливість і повноту висновків на основі нечітких вхідних даних, які адекватно моделюють об'єкти і процеси інформаційної безпеки.

При виборі теоретичного підгрунтя для побудови нечіткої системи (НС) слід враховувати, що за класичною теорією нечітка множина описується множиною пар «значення ФН – число з універсуму», а за теорією однозначних нечітких систем необхідною і достатньою інформацією про окремі терми є координата відповідного числа-терму, координати його сусідів зліва та справа на універсумі та монотонна функція, що визначає форму ФН.

Розроблена в [5] методика оптимізації процедур обробки нечітких даних з врахуванням обмежень, обумовлених специфікою прикладних задач інформаційної безпеки, є розширенням методики вибору методу формування функцій належності і містить наступні етапи:

1. Аналіз прикладної задачі і визначення вимог до ФН, обумовлених її специфікою, зокрема: вимог до мінімізації обсягу пам'яті; вимог до максимізації швидкості визначення ФН; вимог до мінімізації тривалості діалогу з експертами; вимог до спектру виконуваних операцій з нечіткими множинами; вимог до швидкості виконання операцій з нечіткими множинами; вимог щодо наявності у ФН певних властивостей з точки зору швидкості виконання операцій з нечіткими множинами і обсягу використовуваної пам'яті; вимог, обумовлених узгодженістю та адаптацією системи.

2. Ранжування визначених вимог до ФН будь-яким методом, наприклад методом попарного порівняння на рангових оцінках [6].

3. При наявності вимог до властивостей ФН – визначення методів, що дозволяють сформувати ФН із заданими властивостями.

4. Оцінка визначених у п.3 методів формування ФН з точки зору вимог до швидкості визначення і обробки ФН; обсягу пам'яті, задіяної при формуванні та обробці нечітких множин; мінімізації тривалості діалогу з експертами. Оцінка швидкості визначення і обробки ФН та тривалості діалогу з експертами може здійснюватися за кількістю виконуваних елементарних процедур, а оцінка обсягу пам'яті – за кількістю і типами вхідних, проміжних і вихідних даних. Отримані оцінки мають є функціями від кількості експертів та кількості елементів нечіткої множини.

5. Визначення методів для обробки сформованих ФН, і їх оцінка аналогічно п.4 за критеріями п.1.

6. Визначення методів отримання висновку для вирішення прикладної задачі і їх оцінка за визначеними критеріями з врахуванням особливостей кожного методу формування і узгодженого з ним метода обробки ФН.

7. Визначення можливих засобів реалізації НС і їх оцінка з врахуванням результатів п.6.

Нейронна мережа є сукупністю окремих нейронів, взаємозв'язаних між собою згідно із топологією мережі. Окремі нейрони можуть виконуватися за різними конструктивними схемами, що впливає на загальну топологію нейронної мережі, її складність, вартість, здатність до адаптації і навчання тощо. Задача оптимального вибору засобів реалізації систем управління технічними засобами захисту інформації в разі обробки нечітких даних є складовою комплексної задачі побудови оптимальних нечітких систем. Для розв'язку цієї задачі може бути використаний наступний алгоритм :

1. Аналіз прикладної задачі і визначення:

а) ресурсних обмежень НС, обумовлених специфікою прикладної задачі, зокрема, вимог надійності, обмежень структурної складності системи, обмежень знизу пропускної здатності каналів передачі інформації і швидкості виконання операцій, обмежень зверху вартості системи та ін.;

б) функцій системи: вимог щодо оптимальних узагальнених процедур обробки даних; вимог щодо оптимальних елементарних процедур обробки даних; вимог щодо навчання системи (процедур навчання, швидкості та зручності їх реалізації і необхідних для цього ресурсах); вимог щодо адаптовності системи.

2. Ранжування визначених обмежень (п.1) будь-яким методом, наприклад методом попарного порівняння на рангових оцінках [6].

3. Аналіз відомих нейронів і нейронних мереж на здатність виконувати елементарні і узагальнені процедури обробки даних. Формування множин альтернативних рішень для кожної елементарної і узагальненої процедури.

4. Оцінювання елементів множин альтернативних рішень для кожної елементарної і узагальненої процедури за кожним критерієм п.1. Оцінювання альтернативних рішень для кожної елементарної і узагальненої процедури з врахуванням рангів критеріїв оцінювання.

5. Оцінювання наскрізної узгодженості і сумісності системи.

В якості критеріїв оптимізації СУТЗЗІ можна виділити такі властивості як швидкодія $z_1$, визначеність виходу системи у просторі станів об'єкта керування $z_2$, зручність налагодження системи $z_3$, здатність до навчання $z_4$ і адаптації $z_5$, вартість $z_6$, обсяг ресурсів, витрачених на реалізацію СУТЗІ $z_7 = \{z_{71}, z_{72}, \ldots z_{7q}, \ldots, z_{7Q}\}$ і задіюваних нею в процесі роботи $z_8 = \{z_{81}, z_{82}, \ldots z_{8g}, \ldots, z_{8G}\}$, показники якості СУЗЗІ як системи управління $Z_9 = \{Z_{91}, Z_{92}, Z_{93}\}$, де $Z_{91} = \{z_{911}, z_{912}, \ldots z_{91r_1}, \ldots, z_{91R_2}\}$ - показники точності в усталених режимах, $Z_{92} = \{z_{921}, z_{922}, \ldots z_{92r_2}, \ldots, z_{92R_2}\}$ - показники якості перехідних процесів, $Z_{93} = \{z_{931}, z_{932}, \ldots z_{93r}, \ldots, z_{93R_3}\}$ - показники стійкості системи. Для різних об'єктів управління ці критерії мають різну вагу $v_h$, тому функція мети для задачі оптимізації СУТЗЗІ в разі представлення значень критеріїв оптимізації бальними оцінками може бути задана у вигляді

$$F = \sum_{h=1}^{6} v_h z_h + \frac{v_7}{Q}\sum_{q=1}^{Q} z_{7q} + \frac{v_8}{G}\sum_{g=1}^{G} z_{8g} + \\ + \frac{v_9}{3}\sum_{p=1}^{3}\frac{v_{9p}}{R_p}\sum_{t=1}^{R_p} z_{9pt} \to \max. \qquad (1)$$

При формуванні функції мети бальні оцінки різних критеріїв задаються з міркувань отримання системи високої якості, тобто, наприклад, найбільшій швидкодії відповідає найбільше граничне значення з прийнятого діапазону оцінок, а найбільшій вартості – найменше.

## VI. Обговорення результатів дослідження

При виборі теоретичного підгрунтя для побудови НС слід враховувати, що теорія однозначних нечітких систем розв'язує такий же об'єм задач, як і класична теорія НС. При цьому скорочується обсяг оброблюваної інформації, усуваються логічні неузгодженості класичної теорії [4, 7] та забезпечується ряд практичних переваг:

- наявний не тільки чіткий однозначний перехід на універсумі від числа до терму з певною мірою впевненості, а й зворотне однозначне перетворення терму з мірою упевненості в чітке число;
- спрощується аналіз НС: чисельні методи дефаззифікації замінені на один простий та логічно обґрунтований алгоритм їх однозначного

визначення, однаковий для усіх НС; не потрібно узгоджувати між собою чисельні правила, ФН та вагові коефіцієнти;

- збільшується швидкодія за рахунок аналізу меншої кількості правил при отриманні рішення;
- у засвоєнні теорії, проектуванні та налагодженні однозначна НС потребує менше зусиль порівняно з класичною НС.

Доцільність оптимізації процедур обробки нечітких даних підтверджується розрахунками. Так, наприклад, серед методів формування ФН, основаних на попарних порівняннях [1], безумовну перевагу має метод рангових оцінок, розроблений Ротштейном А.П. [6]. Оцінка методу прямого і зворотного оцінювання показала, що за кількістю виконуваних процедур та задіяним обсягом пам'яті він є досить витратним і в класичному варіанті непридатний для використання в адаптовних системах, які автоматично виконують класифікацію об'єктів, але його модифікація згідно з теоретичними основами однозначної нечіткої логіки дозволяє скоротити кількість виконуваних операцій більше ніж у 1,5 рази, а необхідний для збереження даних обсяг пам'яті – приблизно в два рази. Метод інтервальних оцінок є функціонально відмінним від методу прямого і зворотного оцінювання і дозволяє виконувати в 6,4 рази менше процедур та задіювати щонайменше вдвічі менший обсяг пам'яті.

Як приклад оптимізації реалізації СУТЗЗІ розглянемо можливості оптимізації процесу навчання НМ. Окремі відомі способи навчання НМ [8-10] характеризуються відсутністю зв'язку внутрішньої структури НМ із специфікою розв'язку поставленої задач, складністю процедури навчання, в процесі якого необхідно коригувати всі без винятку вагові коефіцієнти нейронів, і високою вартістю НМ, обумовленою неоптимальністю структури схеми, що пояснюється відсутністю критеріїв визначення кількості асоціативних шарів та кількості нейронів в них. Спосіб навчання НМ, запропонований в [11], дозволяє навчати та перенавчати систему у процесі її роботи при зміні функцій системи шляхом введення нових навчальних експериментальних даних, зменшити витрати на обладнання, експлуатацію, налагодження системи за рахунок спрощення кінцевої схеми НМ, використовувати НС та підвищувати точність за рахунок опису складних ділянок досліджуваного процесу найменшими фрагментами на осях вхідних змінних системи управління.

## VII. Висновки

В даній роботі на основі аналізу особливостей, обумовлених специфікою застосування НС в різних галузях інформаційної безпеки, визначені вимоги до систем управління засобами ТЗІ; визначені критерії і розроблена методика оптимізації СУТЗЗІ на основі НМ.

## Література References


[1] А. Г. Корченко, Построение систем защиты информации на нечеткихмножествах. Теория и практическиерешения. К.: "МК-Пресс", 2006, 320 с.

[2] P.V.S.S.Gangadhar, Sirigiri Pavani, Dr. R. N. Behera, Evaluate E-Government Security Strategy by using Fuzzy Logic Techniques. Global Journal of Computer Science and Technology Interdisciplinary vol.12, issue 10, ver. 1.0, 2012 Available: https://computerresearch.org /index.php/computer/article/download/538/538

[3] E. Pricop, Research Regarding Security Of Control Systems. Doctoral Thesis. Ploiesti, 2017. Available: https://www.upg-ploiesti.ro/sites/default/files/doctorat/2017/pricop_emil_rezumat_sinteza_teza_engleza.pdf

[4] М. В. Турти, Теорія однозначних нечітких систем та нейронні мережі: Монографія. Частина 1. Миколаїв: Вид-во Європейський університет, Миколаївська філія, 2007, 140 с.

[5] М. В. Турти, Задача оптимізації процедур обробки нечітких даних в інформаційній безпеці, Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційно-телекомунікаційні технології». Т.4. Сучасні технології інформаційної безпеки. К.: ДУІКТ, 2015, С.153-155.

[6] М. В. Турти, Процедура формування нечітких еталонів на основі попарних порівнянь, Вісник Східноукраїнського національного університету ім.В.Даля. Луганськ: Вид-во СНУ ім.В.Даля, 2013, №15(204), Ч.1, С.204-209.

[7] Л. Заде, Понятие лингвистической переменной и его применение к понятию приближенных решений, М.: Мир, 1976, 165 с.

[8] Widrow B., Hoff M.E.Jr. Adaptive switching circuits // Western Conference Rec., IRE. – 1960. - №4. –P. 94 – 104.

[9] Руденко О.Г., Бодянський С.В. Штучні нейронні мережі. – Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. – 404 с.

[10] Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning Internal Representation by Error Propagation // Parallel Distributed Processing. - V.1. – P.P. 318-362. - Cambridge, MA, MIT Press. - 1986.

[11] Патент на корисну модель UA №96456 Спосіб навчання нейронної мережі /Кутковецький В.Я., Турти М.В.- G 06 N 7/00. – Бюл.№3,- 10.02.2015.

# Оцінка Конфіденційності Децентралізованих Платіжних Систем

Світлана Халімова
Кафедра Електронні Обчислювальні Машини
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
svitlana.khalimova@nure.ua

Богдан Скрябін
Кафедра Безпеки Інформаційних Технологій
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
skriabin@hotmail.com

# Assessment of the Confidentiality of Decentralized Payment Systems

Svetlana Khalimova
Electronic Calculating Machines Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
svitlana.khalimova@nure.ua

Bogdan Skryabin
Information Security Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
skriabin@hotmail.com

***Анотація*—проведений аналіз конфіденційності користувачів децентралізованих платіжних систем, запропоновані методи підвищення рівня конфіденційності в залежності від вимог користувача.**

***Abstract*—the analysis of the confidentiality of users of decentralized payment systems, suggested ways to increase the level of confidentiality, depending on the requirements of the user.**

***Ключові слова—платіжна система, конфіденційність, невідстеженість, анонімніст, транзакції***

***Keywords—payment system, confidentiality, untraceability, anonymity, transactions***

## I. Вступ

У даний час все більше розповсюдження отримують децентралізовані платіжні системи на основі технології blockchain. Протоколи децентралізованих платіжних систем, такі як Bitcoin, Monero, Bitshares, Zcash, Dash, побудовані на принципу, коли кожна окрема робоча станція в системі не довіряє іншим. Ці системи мають типові вразливості, пов’язані з конфіденційністю користувачів. Тому актуальним питанням для децентралізованих платіжних систем є забезпечення необхідного рівня конфіденційності користувачів.

## II. Конфіденційність платіжних систем

Поняття конфіденційності включає в себе дві основні складові: untraceability (невідстеженість) і anonymity (анонімність). Untraceability полягає у неможливості віднести групу дій до деякого користувача в мережі. Anonymity пов'язана з неможливістю достовірно встановити особу користувача.

Для забезпечення максимального рівня конфіденційності потрібно приховувати дані про транзакції - дані про походження монет, суму переказів, адреси відправника і одержувача в тілі транзакції. Важливо також приховати мережеві адреси користувачів, що зазвичай досягається за допомогою даркнета, де використовуються такі протоколи, як Freenet, TOR і I2P.

Результати аналізу конфіденційності платіжних систем представлені в таблиці 1 [1-5].

Аналіз показує, що деякі платіжні системи не відповідають вимогам конфіденційності. Найпростіша реалізація біткоін гаманця здатна забезпечити тільки мінімальний рівень конфіденційності.

Для підвищення конфіденційності децентралізованих платіжних систем існує декілька методів.

## III. Методи підвищення конфіденційності платіжних систем

### A. *Метод CoinJoin*

Найпростішим методом для заплутування графа транзакцій є CoinJoin. Суть даного методу полягає в створенні спільної транзакції, внаслідок чого походження відправляються монет стає неоднозначним. Формується група з користувачів, які створюють загальну транзакцію, в рамках якої одночасно відбувається кілька платежів (рис. 1).

TABLE I. Порівняння платіжних систем по конфіденційності

| Складові конфіденційності | Monero | Zcash | Bitshares | Dash | Bitcoin | Central Bank Currency |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Історія проходження монет** | заплутування (за замовчуванням) | прихована (за замовчуванням) | відкрита (за замовчуванням) | заплутування (опціонально) | відкрита (за замовчуванням) | відкрита (обов'язково) |
| **Сума переказу** | прихована (за замовчуванням) | прихована (за замовчуванням) | прихована (опціонально) | заплутування (опціонально) | відкрита (завжди) | відкрита (обов'язково) |
| **Ідентифікатори користувачів** | приховані (за замовчуванням) | приховані (за замовчуванням) | приховані (опціонально) | приховані (опціонально) | приховані (опціонально) | відкриті (персональні) |
| **Анонімність мережевого трафіку** | підтримується (опціонально) | можливо (вручну) | можливо (вручну) | можливо (вручну) | можливо (вручну) | можливо (вручну) |

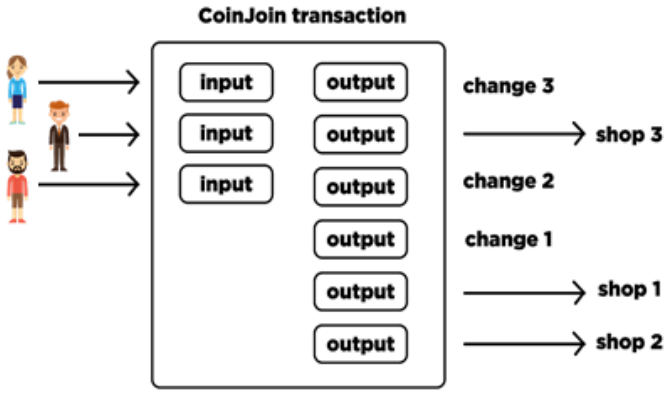



Рис.1. Схема роботи методу CoinJoin

Монета, яка пройшла ланцюжок таких транзакцій, має тисячі можливих варіантів походження.

### B. *Метод Chaumian CoinJoin*

Модифікацією методу CoinJoin є Chaumian CoinJoin, заснований на використанні централізованого оператору і сліпого підпису. Оператор потрібен, щоб виконати перемішування входів і виходів, після чого скласти кінцеву транзакцію. В такому випадку ні користувачі, ні сам оператор не можуть деанонімізіровать монети на вихідних адресах. Метод містить цілий ряд механізмів захисту для протистояння несприятливим сценарієм, які дозволяють чесним користувачам гарантовано сформувати кінцеву транзакцію. Механізми захисту використовують таймаут, відстеження невитрачених виходів та інші.

### C. *Метод CoinShuffle*

Модифікацію CoinJoin, під назвою CoinShuffle запропонували в 2014 році. Її перевагою є відсутність центрального оператора. Користувачі самостійно формують загальну транзакцію, спілкуючись між собою. При цьому вони не можуть порушити конфіденційність перемішування вихідних адрес. Ще одна перевага цієї методики полягає в тому, що користувачам не обов'язково використовувати додаткові мережі для анонімізації трафіку, так як всі необхідні властивості будуть досягнуті при використанні P2P- протоколу взаємодії учасників.

На даний час існують практичні реалізації CoinShuffle. Вони ефективно працюють навіть на групах з декількох десятків користувачів. Очікується інтеграція цього протоколу до деяких біткоін гаманців.

Недоліком методів, заснованих на CoinJoin, є велика складність off-chain взаємодії для формування транзакції, а також вразливість до CoinJoin Sudoku analysis, який заснований на зіставленні сум на виходах транзакцій.

Іншим методом, який вирішує проблему відкритих сум переказу, є Confidential Transactions.

### D. *Метод Confidential Transactions*

Особливість методу Confidential Transactions (CT) полягає в тому, що він повністю приховує фактичні суми на входах і виходах транзакції від третіх осіб. Кожен може перевірити, що сума всіх виходів не перевищує суму всіх входів, чого вже достатньо для валідації цієї транзакції.

З метою боротьби з неконтрольованою емісією монет в цій схемі застосовується доказ використання допустимих сум на виході транзакції. Щоб перевірити, що були використані невід'ємні суми, які не перевищують порядок базової точки, застосовуються так звані Range Proofs.

Однак створення Range Proofs досить затратно з точки зору обчислювальних ресурсів, так як вони мають дуже великий обсяг. Теоретично інтегрувати Confidential Transactions в протокол біткоін можна, але практичних реалізацій на даний час не існує через їх великий обсяг. Проте вже є працюючі системи обліку, де Confidential Transactions успішно застосовуються.

### *E. Методика Ring Confidential Transactions*

Для заплутування історії походження монет в методі Ring Confidential Transactions використовуються кільцевий підпис. Застосування кільцевих підписів таким чином було вперше запропоновано в протоколі CryptoNote, на базі якого працюють кілька криптовалют.

Ring Confidential Transactions використовує CT. Він дозволяє створювати транзакції з безліччю входів і виходів, де неможливо однозначно відстежити походження кожного входу, суми переказів приховані, а взаємодія з іншими користувачами для створення транзакції не потрібна.

### *F. Метод Stealth Addresses*

Для прихованого розрахунку адрес, на які будуть відправлятися монети використовують метод Stealth Addresses. В якості ідентифікаторів користувачів використовуються відкриті ключі. На основі відкритого ключа отримувача та своєї пари ключів відправник розраховує новий одноразовий відкритий ключ, який вказується в транзакції в якості адреси. Для стороннього спостерігача зв'язок між ідентифікатором користувача і адресою на виході транзакції встановити неможливо.

## IV. Підвищення конфіденційності за допомогою концепції MAST

Концепція MAST (Merkelized Abstract Syntax Tree) використовується дляє підвищення конфіденційністі і зменшення розміру транзакцій. Вона основана на ідеї дерева Меркле і абстрактного синтаксичного дерева для завдання взаємовиключних умов витрати монет.

Схема конструкції MAST представлена на рис. 2

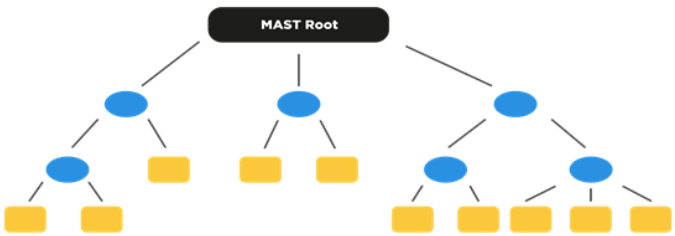



Рис.2. Схема конструкції MAST

Кореневе хеш-значення MAST Root, яке буде міститися виході транзакції, отримується на основі хеш-значень окремих елементів даних. Причому монети, які будуть витрачені найімовірніше, поміщають якомога ближче до кореня дерева.

Використання концепції MAST дозволяє вирішити проблеми:

- перекладає необхідність включення великих обсягів даних в транзакцію, тому відповідно підвищену комісію буде платити одержувач, а не відправник, що дозволяє задати більш об'ємні і складні умови витрати монет;
- зняти обмеження за розміром і кількістю операцій ScriptPubKey без шкоди для надійності за рахунок взаємовиключних умов;
- приховувати умови витрати монет до моменту самої витрати.

## V. Висновки

Децентралізовані платіжні системи та незалежні цифрові валюти знайшли широке застосування завдяки високому рівню доступності та цілісності облікової системи, відсутності обмежень, простоти використання, а також за рахунок можливості значно підвищити рівень конфіденційності при їх використанні.

Проведений аналіз методів підвищення конфіденційності показав, що необхідно комбіноване використання цих методів. Перспективним для підвищення конфіденційності є використання концепції MAST.

## Література References

[1] A Peer-to-Peer Electronic Cash System [Електронний ресурс]. Режим доступу: www / URL: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf .

[2] Специфікація протоколу Bitcoin [Електронний ресурс]. Режим доступу: www / URL: https://en.bitcoin.it/wiki/Main_Page.

[3] Специфікація протоколу Ripple [Електронний ресурс]. Режим доступу: www / URL: https://wiki.ripple.com/Main_Page.

[4] Специфікація протоколу Bitshares [Електронний ресурс]. Режим доступу: www / URL: http://docs.bitshares.eu.

[5] Специфікація протоколу Ethereum [Електронний ресурс]. Режим доступу: www / URL: http://www.ethdocs.org/en/latest.

# Электронная Цифровая Подпись на Основе Криптосистемы McEliece

Геннадий Халимов
Кафедра Безопасности Информационных Технологий
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
gennadykhalimov@gmail.com

Дмитрий Шипилов
Кафедра Безопасности Информационных Технологий
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
Харьков, Украина
dmytrii.shypilov@nure.ua

# Electronic Digital Signature Based on McEliece Cryptosystem

Gennady Khalimov
Information Security Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
gennadykhalimov@gmail.com

Dmitry Shipilov
Information Security Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
dmytrii.shypilov@nure.ua

***Аннотация*—в данной статье рассмотрена цифровая подпись на основе криптосистемы McEliece. Данный результат эксплуатирует идею представления хеш кода сообщения кодовым словом. Безопасность цифровой подписи определяется сложностью решения задачи декодирования линейных кодов, которая за счет маскирования порождающей матрицы случайной невырожденной матрицей и перестановочной матрицей является NP-сложной.**

***Abstract*—This article describes a digital signature based on the McEliece cryptosystem. This result exploits the idea of representing the hash of the message code with a codeword. The security of a digital signature is determined by the complexity of solving the decoding problem for linear codes, which, due to masking the generating matrix by a random nondegenerate matrix and a permutation matrix, is NP-complex.**

***Ключевые слова—цифровая подпись, криптосистема McEliece, кодирование.***

***Keywords—digital signature, cryptosystem McEliece, coding.***

## I. Введение

Криптосистема McEliece предложена в 1978 году Робертом Мак-Элисом и является одним из кандидатов в криптографии на постквантовый период. Криптоалгоритм основывается на сложности декодирования полных линейных кодов (общая задача декодирования является NP-сложной) и на данный момент не существует квантового алгоритма её решения. В первоначальной конструкции были предложены двоичные коды Гоппы [1]. Наиболее практичные из известных атак используют алгоритм декодирования множества данных и не являются эффективными [1,2]. Уровень безопасности системы McEliece остается очень стабильным и устойчивым несмотря на множество теоретических атак в течение более 40 лет. Аутентичные параметры McEliece были спроектированы только для уровня безопасности $2^{64}$, система легко масштабируется до очень больших параметров, гарантирующих защиту против атак с использованием квантовых вычислений. Недостатком классической криптосистемы McEliece является большой размер ключа. Улучшения криптосистемы с кодовыми вычислениями предложены в 2015 году группой разработчиков Gaborit, Ruatta, Schrek, Tillich, Z'emor. Так для 128 битного уровня безопасности достигается размер ключа в 2809 бит [3]. Дальнейшим улучшением является криптосистема McNie на основе скоростного алгоритма Нидеррайта [4]. Применение 4 квази-циклических LRPC кодов над полем приводит к размеру ключа в 2775 бит для 128 битного уровня безопасности. Криптоалгоритм McNie

остается безопасным против структурных атак и атак подмены. Для криптосистемы McEliece предложены реализации для ассиметричного шифрования . Задачей статьи является разработка цифровой подписи на основе криптосистемы McEliece.

## II. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ЭЛЕКТРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ПОДПИСИ

Криптосистема McEliece определяется матричными вычислениями над кодовыми словами *[n,k,d]* кода над конечным полем *GF(q)* с оценкой вектора ошибок. Подписываемое сообщение представляет собой вектор фиксированной длинны.

Цифровая подпись на основе ассиметричной криптосистемы определяется следующими вычислениями:

1. генерация ключа;
2. вычисление подписи;
3. проверка подписи.

Для криптосистемы McEliece содержание шагов является следующим.

Генерация ключа.

1. Алиса выбирает *[n,k,d]* – линейный код, исправляющий $t$ ошибок. Для выбранного кода вычисляется порождающая матрица $G$ размером $k \times n$.

2. Для маскирования порождающей матрицы кода генерируется случайная невырожденная матрица $S$ размером $k \times k$ и перестановочная матрица $P$ размером $n \times n$.

3. Вычисляется матрица $\hat{G} = S * G * P$.

4. Открытым ключом является пара $(\hat{G},t)$, а личным – $(S,G,P)$.

Для вычисления цифровой подписи предлагается следующий алгоритм.

1. Фиксируется хеш-функция $h(x)$ с $n$ символами на выходе. Для сообщения $D$ вычисляется хеш значение $h(D)$.

Многократно вычисляется $h(h(D)||i)$, для $i = 0,1,2\ldots$, пока для некоторого минимального $i = i_{min}$ не станет возможным декодировать $h(h(D)||i)$, с вектором ошибок веса не больше $t$.

2. Хеш значение $h(h(D)||i_{min})$ можно представить как кодовое слово $\mathrm{A}\hat{G}$ с вектором ошибок $z$ для некоторого информационного вектора A

$$h(h(D)||i_{min}) = \mathrm{A}\hat{G} + z.$$

Второй вариант подписи определяется значениями $(R,s)$ и верифицируется уравнением:

$$sG = R + H(R \,||\, m)P.$$

3. Определить значение вектора A можно с помощью следующих вычислений:

• Умножение на обратную матрицу перестановки $P^{-1}$, которая не изменяет вес вектора ошибки

$$h(h(D)||i_{min}) * P^{-1} = (\mathrm{A}\hat{G} + z) * P^{-1} = \mathrm{A} * S * G + z * P^{-1}.$$

• Последующее декодирование $h(h(D)||i_{min}) * P^{-1}$ даст вектор $\mathrm{A}' = \mathrm{A} * S$ и вектор ошибки $z' = z * P^{-1}$.

• Умножение на обратную матрицу $S^{-1}$ (матрица $S$ не вырожденная) и матрицу перестановки даст искомые значения $\mathrm{A}, z$

$$\mathrm{A} = \mathrm{A}' * S^{-1},$$
$$z = z' * P.$$

4. Цифровой подписью документа $D$ является вектор значений $(\mathrm{A}, z, i_{min})$.

Проверка подписи:

1. Вычисляется $v_1 = h(h(D)||i_{min})$.

2. Для значений $\mathrm{A}, z$ и известного ключа $\hat{G}$ вычисляем $v_2 = \mathrm{A} * \hat{G} + z$.

3. Если $v_1 = v_2$ и $wt(z) \le t$, то подпись верна.

Пример. Вычислить цифровую подпись в криптосистеме McEliece на основе двоичного кода $[12,4,5]$.

Для выбранного кода порождающая матрица $G[4 \times 12]$ имеет вид

$$G = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}.$$

Характеристики распределения для символов матрицы имеют значения *"1"–47,9167%* и *"0"–52,0833%*.

Выберем случайную невырожденную матрицу $S[4 \times 4]$

$$S = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}.$$

Матрица $S[4\times 4]$ имеет символов распределения $"1"-43{,}75\%$ и $"0"-56{,}25\%$ .

Сформируем случайную матрицу перестановок $P[12\times 12]$

$$P=\begin{vmatrix}1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0\end{vmatrix}.$$

Вычислим матрицу $\hat{G}$:

$$\hat{G}=S*G*P=\begin{vmatrix}1&1&0&1&0&0&0&0&0&1&1&1\\1&1&0&0&0&1&0&1&0&0&1&0\\0&0&1&0&1&1&0&1&1&0&0&1\\0&1&0&0&0&1&1&0&1&0&1&1\end{vmatrix}.$$

Открытый ключ $-(\hat{G},t)$, личный ключ $-(S,G,P)$.

Пусть для сообщения D при $i_{min}=5$ имеем хеш значение

$$h(h(D)||i_{min})=|0\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0|.$$

Кодовое слово $h(h(D)||i_{min})$ включает некоторый вектор A и вектор ошибки $z$.

Вычислим A и $z$. Обратная матрица $P^{-1}$ имеет вид

$$P^{-1}=\begin{vmatrix}1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1\\0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0\\0&0&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0&0\end{vmatrix}.$$

$h(h(D)||i_{min})*P^{-1}=|0\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0|.$

Применяя декодирование для кодового слова $decod(h(h(D)||i_{min})*P^{-1})$ получим

$$A'=A*S=|1\ \ 1\ \ 0\ \ 1|,$$

$$z'=z*P^{-1}=|1\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 1\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0|.$$

Вычислим $A=A'*S^{-1}=A*S*S^{-1}$ и $z=z'*P=z*P^{-1}*P$ с помощью обратной матрицы $S^{-1}$.

$$S^{-1}=\begin{vmatrix}1&0&0&0\\0&1&1&0\\0&0&0&1\\1&1&0&1\end{vmatrix},$$

$$A=A'*S^{-1}=|1\ \ 0\ \ 1\ \ 0|,$$

$$z=z'*P=|1\ \ 1\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0|.$$

Подписью $D$ является вектор значений

$$(A,z,i_{min})=(|1\ \ 0\ \ 1\ \ 0|,\ |1\ \ 1\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0|,5).$$

Проверка подписи.

Вычислим

$$v_1=h(h(D)||i_{min})=h(h(D)||5)=$$
$$|0\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0|$$

и $v_2=A*\hat{G}+z$.

$$\hat{G}=\begin{vmatrix}1&1&0&1&0&0&0&0&0&1&1&1\\1&1&0&0&0&1&0&1&0&0&1&0\\0&0&1&0&1&1&0&1&1&0&0&1\\0&1&0&0&0&1&1&0&1&0&1&1\end{vmatrix},$$

$$A*\hat{G}=|1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0|,$$

$$v_2=A*\hat{G}+z=$$
$$|1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0|\oplus$$
$$|1\ \ 1\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0\ \ 0|=$$
$$|0\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0|$$

Подпись верна так, как

$$v_1=v_2=|0\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 1\ \ 0|$$

и $wt(z)\le 2$.

## III. Выводы

Безопасность цифровой подписи на основе криптосистемы McEliece определяется размером порождающей матрицы кода. Для ряда кодовых конструкций эти оценки колеблются в пределах значений в несколько тысяч. Безопасность криптосистемы McEliece основана на предположении, что открытый ключ неотличим от случайной матрицы. Атаки на криптосистему подразделяются на два класса, которые пытаются восстановить секретный ключ из открытого ключа и атаки, направленные на извлечение сообщения открытого текста из одного зашифрованного текста. До сих пор нет известного субэкспоненциального алгоритма для любого типа атаки.

Криптосистема McEliece невосприимчива к квантовому алгоритму Шора, который является уязвимым для криптосистем RSA и ECDSA. В [5] Бернштейн представил в настоящее время самую эффективную атаку на Криптосистема McEliece с использованием квантового алгоритма Гровер. Для криптосистемы McEliece для сохранения постквантовой безопасности размер ключей должен быть увеличен в четыре раза.

## Литература References


[1] Мак-Вильямс Ф. Дж., Слоэн Н. Дж. А. Теория кодов, исправляющих ошибки: Пер. с англ. — М: Связь, 1979. — 744 с.

[2] Daniel J. Bernstein, Tung Chou, Tanja Lange and others. Classic McEliece: conservative code-based cryptography, 2017. – 38c.

[3] Gaborit, Ruatta, Schrek, Tillich, Z'emor. RankSign -a signature proposal for the NIST's call , 2017. – 37 c.

[4] Y. X. Li, R. H. Deng, and X. M. Wang. On the equivalence of McEliece's and Niederreiter's public-key cryptosystems. IEEE Transactions on Information Theory, 40(1):271–273, January 1994.

[5] D. J. Bernstein. Grover vs. McEliece. In N. Sendrier, editor, Post-Quantum Cryptography, Third International Workshop, PQCrypto 2010, Darmstadt, Germany,May 25-28, 2010. Proceedings, volume 6061 of Lecture Notes in Computer Science, pages 73–80. Springer, 2010

# Вдосконалення Методу Захисту Мовної Інформації та Технології Використання Активних Систем Протидії Витоку Мовної Інформації за Межі Контрольованої Зони Роботи Водолазів

Катерина Шевченко
кафедра інформаційних управляючих систем та технологій, магістр
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
kaate.romanovaa@gmail.com

Сергій Нужний
кафедра комп'ютерних технологій та інформаційної безпеки, к.т.н., доцент
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Миколаїв, Україна
s.nuzhniy@gmail.com

# Improvement of Protection Method of the Speech Information and Technology of Active Systems for Counteracting the Leakage of Speech Information out Border the Control Zone of Diver Operations

Kateryna Shevchenko
Informational Control Systems and Technology Department
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
kaate.romanovaa@gmail.com

Sergey Nuzhniy
Computer Technologies and Information Security Department
Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolaiv, Ukraine
s.nuzhniy@gmail.com

***Анотація*—Запропоновано структуру системи захисту мовної інформації, що передається по підводному гідроакустичному каналу. Система постановки активних завад побудована на основі генератора мовоподібного шуму. Розглянуто формалізований алгоритм визначення рівня захищеності мовної інформації.**

***Abstract*—The offer a structure of the system of protection for speech information transmitted by the underwater hydroacoustic channel. The jamming system is based on the speech-like noise device. The propose a formalized algorithm for determining the level intelligibility of speech information.**

***Ключові слова—система постановки активних завад; мовоподібний шум; оцінка захищеності мовної інформації.***

***Keywords—jamming system, speech-like noise, intelligibility of speech***

## I. Вступ

Зв'язок відіграє важливу роль під час виконання людиною роботи під водою. Засоби підводного зв'язку грають таку ж важливу роль в створенні безпечних умов роботи під водою, як і системи забезпечення життєдіяльності. Захист мовної інформації в каналах зв'язку водолазів вимагає особливої уваги, оскільки під час робіт є основним засобом обміну інформацією та спілкування. Одночасно з цим, підводний канал зв'язку є вирішальним демаскуючим фактором, який забезпечує як несанкціоноване перехоплення інформаційних повідомлень та розмов водолазів між собою та з постами керування, так і просто демаскує факт проведення робіт. Це є особливо актуальним для акваторії Азовського та Чорного морів, що підтверджує досвід лабораторії «Дельта» Національного університету кораблебудування по виявленню сторонніх предметів в районі фарватерів та суднохідних шляхів.

Вдосконалення методу захисту мовної інформації на межі роботи водолазів з урахуванням впливу природньої шумової звади та методів активного маскування проведення підводних робіт дає змогу оцінити параметри захисту даних. Вирішення цієї задачі дало б змогу підвищити ефективність обміну інформацією та забезпечити захист мовної інформації від витоку під час переговорів.

## II. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Дослідження впливу звукового поля водного середовища на якість передачі інформації акустичними хвилями проводяться з початку XX століття. Однак морська вода має складну структуру, особливо в вертикальному напрямку, та параметри, що постійно змінюються в залежності від значної кількості внутрішніх та зовнішніх факторів (температура та її градієнти, солоність, глибина, течії, хитавиця та інше).

На даний час звукова модель поля, в основному, включає в себе нормальну хвильову модель, модель випромінювання, модель швидкого звукового поля, модель параболічного рівняння тощо [1,2].

При моделюванні звукового каналу для малих глибин (на яких працюють водолази) модель може бути розділена на багатопроменева модель, змінна модель каналу фільтра і модель випадкового статистичного каналу [3-5].

В багатьох випадках, для використовують емпіричну залежність Торпа [6], модель Шулькіна-Марша [7], а також формулу Фішера-Сіммона [8].

Однак, ці математичні моделі можуть бути застосовані лише для зв'язку типу «точка-точка» і не підходять для моделювання мобільної підводної акустичної мережі зв'язку [9,10].

Вказану проблему вирішують шляхом використання моделі Венца та введенням каналу Релея для імітації згасання сигналу, викликаного багатошаровим ефектом підводного акустичного каналу [11,12].

В [13] розглядається докладний опис проблеми розпізнавання класифікаційних ознак в задачах виявлення та класифікації акустичних сигналів. Основною проблемою є те, що захист мовної інформації потрібно забезпечити у підводних умовах таким чином, щоб це не впливало на зручність передачі і розбірливість мови. Для робіт, що проводяться водолазами це має принципове значення, адже від цього залежить безпека їх життя під час проведення робіт. Типовими змінами мови в підводних умовах є збільшення висоти тону та зникнення слабких фонем. Дальність розповсюдження звуку та шуми зростають. Вирішити поставлену проблему пропонується за допомогою формантного методу.

## III. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою є вдосконалення методу захисту мовної інформації та технології використання активних систем протидії витоку мовної інформації за межі контрольованої зони роботи водолазів за умови значних шумових завад.

Для досягнення мети будуть вирішуватися такі задачі:

- • аналіз методів дослідження звуку та мови в умовах підводного середовища;
- • вдосконалення технології використання активних систем протидії витоку мовної інформації за межі контрольованої зони роботи водолазів.

## IV. АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ПІДВОДНОГО СПІЛКУВАННЯ ЗА УМОВИ ЗНАЧНИХ ШУМОВИХ ЗАВАД

Інформація, що передається каналом зв’язку або отримується в результаті вимірювання, знаходиться в структурі гідроакустичного сигналу. Для оцінки інформаційної ємкості сигналу повинен бути встановлений зв’язок між параметрами сигналу і кількістю інформації, яку можна передати за допомогою даного сигналу. Наявність шуму, зменшує достовірність прийому повідомлень. Крім того у процесі передачі і прийому повідомлень сигнали піддаються різним перетворенням.

Під час побудови системи підводного спілкування важливо враховувати те як буде змінюватись мова людини. Головний вплив на неї мають умови навколишнього середовища, а також особливості підводного спорядження та умов його експлуатації. Системи підводного спілкування мають забезпечувати як хорошу якість зв’язку, так і захист від прослуховування зловмисником. Щоб мати можливість спілкуватися один з одним, підводні активи вимагають загальних стандартів [14]. Протягом останніх десяти років CMRE працює над розробкою першого міжнародного цифрового протоколу підводного зв'язку, відомого як JANUS, який тепер є затвердженим стандартом НАТО [15-17]. Це цифрова підводна сигналізація, яка може використовуватися для контакту з підводними пристроями з використанням загального формату; оголосити про наявність пристрою для зменшення конфліктів; і дозволяє групі підводних пристроїв (які можуть бути підводними роботами, підводними човнами, дайверами або будь-яким іншим обладнанням, що працює під водою), щоб інсталювати себе в мережі. JANUS широко тестувався в морі на навчаннях.

## V. АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ОБ’ЄКТИВІЗОВАНОГО ФОРМАНТНОГО МЕТОДУ

Формалізований алгоритм розрахунку включає наступні стадії:

*A. Задаються початкові дані:*

*1)* Інтегральний та октавні рівні мовного сигналу;

*2)* Тип та інтегральні рівні шумової завади;

*3)* Середньогеометричні та граничні частоти октавних смуг.

*B. Для семи октавних смуг (в циклі) та n співвідношень інтегральних рівнів сигнал/шум за формулами розраховуються:*

*1)* Формантний параметр;

*2)* Значення апроксимацій, що знаходяться з емпіричної функції розподілу появи формант і відповідають верхній та нижній границі октавної смуги;

*3)* Ваговий коефіцієнт кожної смуги, що відображає ймовірність появи формант в даній частотній смузі;

*4)* Рівні шумової завади;

*5)* Відношення сигнал/шум у децибелах та ефективні рівні відчуття формант;

*6)* Коефіцієнт сприйняття формант за залежністю коефіцієнта сприйняття від ефективного рівня відчуття формант;

*7)* Розбірливості формант в октавних смугах (спектральний індекс артикуляції мови).

C. *Розраховуються формантна розбірливість мови (інтегральний індекс артикуляції мови), складова розбірливість та словесна розбірливість мови;*

D. *Будуються графіки залежності формантної, складової та словесної розбірливості від співвідношення сигнал/шум.*

## VI. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Забезпечення захищеності мовної інформації виконується по двох напрямках – створення дезінформуючої шумової завіси, яка імітує природні та промислові завади [18], і зменшення рівня небезпечного сигналу, за рахунок використання завадоподібних протоколів, таких як JANUS.

## VII. ВИСНОВКИ

1) В роботі розглянуто основні методи моделювання звукового каналу в підводному середовищі, які дозволяють врахувати суттєву залежність розповсюдження акустичних хвиль від зовнішніх впливів та суттєвої неоднорідності внутрішніх параметрів середовища. Показано, що для зони роботи водолазів характерні шумові завади мілководного типу, які створюють підвищений рівень завадового шуму. Однак є висока вірогідність випадкового виникнення прошаркового каналу з суттєво поліпшеними співвідношеннями сигнал/завада. Одночасно з цим показано, що типовими змінами мови в підводних умовах є збільшення висоти тону та зникнення слабких фонем. Для водолазів це має принципове значення, адже від цього залежить безпека їх життя під час проведення робіт.

2) Запропоновано структуру системи захисту мовної інформації від витоку по гідроакустичному каналу шляхом використання в системі постановки активних акустичних та вібраційних завад генератора мовоподібного сигналу скремблерного типу, що дає змогу розробляти системи захисту мовної інформації, стійких до її відновлення методами фільтрації та багато точкового перехоплення.

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] T. Niu, R. Yang and F. Liu, “Research on simulation and modeling about underwater acoustic communication channel”, Silicon Valley, no.9, pp.103-105, 2009.

[2] T. Munekata, T. Yamaguchi, H. Handa, R. Nishimura and Y. Suzuki, “A portable acoustic caption decoder using IH techniques for enhancing lives of the people who are deaf or hard-of-hearing – System configuration and robustness for airborne sound”, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, vol.5, no.7, pp.1829-1836, 2009.

[3] B. Sun, E. Cheng and X. Ou, “Research and simulation on shallow water acoustic channels”, Wireless Communication Technology, no.3, pp.11-15, 2006.

[4] B. A. Tan, M. Motani, M. Chitre and S. S. Quek, “Multichannel communication based on adaptive equalization in very shallow water acoustic channels”, Proc. of ACOUSTICS 2006, pp.515-522, 2006.

[5] H. Wang, J. Jiang, X. Shen and J. Bai, “Modifying SNR-Independent velocity estimation method to make it suitable for SNR estimation in shallow water acoustic communication”, Journal of Northwestern Polytechnical University, vol.27, no.3, pp.368-374, 2009.

[6] W. H. Thorp, “Analytic Description of the Low- Frequency Attenuation Coefficient”, The Journal of the Acoustical Society of America, vol.42, no.1, pp.270-280, 1967.

[7] M. Schulkin J. A. Mercer (1962) “Colossus Revisited: A Review and Extension of the Marsh-Schulkin Shallow Water Transmission Loss Model”, Applied Physics Laboratory University of Washington, Seattle, Washington.

[8] F. H. Fisher and V. P. Simmons,“Sound Absorption in Sea Water”, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 62, No. 3, pp.558–564, 1977.

[9] J. Yin, J.Hui and L. Guo, “Study on point-to-point mobile underwater acoustic communication”, Acta Physica Sinica, vol.57, no.3, pp.1753-1758, 2008.

[10] C. Hsu, “Downlink MIMO-SDMA optimization of smart antennas by phase-amplitude perturbations based on MEMETIC algorithms for wireless and mobile communication systems”, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, vol.5, no.2, pp.443-459, 2009.

[11] R. Coates, “Underwater Acoustic Systems”, John Wiley, New York, USA, 1989.

[12] Chengsheng Pan, Liangchen Jia, Ruiyan Cai and Yuanming Ding, “Modeling and simulation of channel for underwater communication network”, International Journal of Innovative Computing, Information and Control. vol.8, no 3(B), pp. 2149–2156, 2012.

[13] A. N. Prodeus, V. S. Didkovskiy, K. V. Koval'chuk and I. M. Faleyev “Ekspertnaya sistema dlya gidroakusticheskoy klassifikatsii”, Elektronika i Svyaz', vol. 64. no 5. pp. 62–69, 2011

[14] J. D. Pelton “Through-water diver communication system test and evaluation”, Navy experiмenтal diving unit report, no. 2-88, March 1988

[15] NATO, “A new era of digital underwater communications”. [Online]. Available: https://www.nato.int/cps/ie/natohq/news_143247.htm

[16] Navy secrets, Atlantic Undersea Test and Evaluation Center (AUTEC). [Online]. Available: http://www.thelivingmoon.com/45jack_files/03files/AUTEC_Atlantic_Undersea_Test_and_Evaluation_Center.html

[17] Ocean Technology Systems. Undersea Systems International, Inc. [Online]. Available: http://www-oceantechnologysystems.clients.mwrc.net/wp-content/uploads/2011/07/OTS-2011-Military-Brochure.pdf

[18] Kas'yanov, YU. Í., Nuzhniy, S. M. (2016). Otsínyuvannya yefektivností generatora real'noí movopodíbnoí zavadi za kriteríêm rozbírlivostí movi. "Avtomatika, vimíryuvannya ta keruvannya", (852). L′viv: Izd-vo NULP, 105-110. Available at: http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/36473

## Секція 9. Інтелектуальний аналіз даних, DataMining і BigData–технології

## Section 9. Intellectual data analyses, Data Mining and Big Data technologies

# Модель Рекомендаційної Системи для Аптечної Мережі

Анна Бакурова, Ганна Ропало
Кафедра системного аналізу та обчислювальної математики
Запорізький національний технічний університет
Запоріжжя, Україна
abaka111060@gmail.com, annropalo@gmail.com

# Model of Pharmacy Network Recommendation System

Anna Bakurova, Hanna Ropalo
Department of Systems Analysis and Computational Mathematics
Zaporozhye National Technical University, Zaporozhye, Ukraine
abaka111060@gmail.com, annropalo@gmail.com

***Анотація*–Побудовано модель гібридної рекомендаційної системи для підтримки управління аптечною мережею, що складається з трьох блоків: кластеризації аптек мережі, оптимізації портфеля товарів та рекомендацій користувачу інтернет-аптеки.**

***Abstract*–The model of the hybrid recommendation system for the controlsng of pharmacy network is introduced. The model consists of three blocks: clustering pharmacies, optimizing the product portfolio and recommending them to the online pharmacy.**

***Ключові слова–аптечна мережа, рекомендаційна система, оптимальний портфель товарів, задача кластеризації, колаборативна фільтрація***

***Keywords–pharmacy, recommendation system, optimal portfolio of goods, task of clustering, collaborative filtering***

## I. Вступ

Рекомендаційні системи сьогодні є одним з важливих інструментів аналізу великих даних. Вони утворюють значний клас моделей, метою яких є підвищення бізнес-показників за рахунок релевантних рекомендацій користувачеві. Такі системи складаються з комплексів алгоритмів, програм та сервісів, основним завданням яких є передбачення, які об'єкти (товари чи послуги) будуть цікаві користувачеві, якщо відома інформація про його профілі або інші дані.

Рекомендаційні системи мають два різних рівня функціонування, яким відповідають два класи моделей:

- офлайн-моделі виявляють глобальні закономірності, повільно мінливі особливості та переваги, залежності від характеристик користувача тощо. Мета таких моделей - знайти глобальні оцінки з досить рідкісних інтересів людей і веб-сторінок та рекомендувати людині те, що ймовірно йому сподобається;
- онлайн-моделі реагують дуже швидко, виявляють короткочасні тренди, актуальні вподобання, швидкі зміни інтересу в часі.

За останній час інтерес до алгоритмів, що лежать в основі рекомендаційних систем невпинно зростає. Вітчизняні та зарубіжні науковці у своїх публікаціях розглядають, як фундаментальні, так і прикладні питання розробки методів та засобів прогнозування рекомендацій [1-4]. Серед основних напрямів досліджень можна виділити наступні:

- оптимізація структур даних, що використовуються;
- оптимізація продуктивності рекомендаційних систем;
- проблема вибору міри схожості за результатами аналізу даних.

Необхідно відзначити, що, характерною рисою вирішення цих проблем є зосередження на властивостях предметної області, в якій розробляється конкретна рекомендаційна система. Не виключенням є фармацевтична галузь, що за велінням розвитку цифрової економіки приймає складну мережеву структуру.

Метою даної роботи є побудова моделі гібридної рекомендаційної системи для підтримки управління аптечною мережею, що складається з трьох блоків: кластеризації аптек мережі для оптимізації структури вихідних даних, офлайн-моделі для оптимізації портфеля товарів та онлайн-моделі для формування пропозицій користувачу інтернет-аптеки і збору персональних даних.

Гібридна рекомендаційна система ставить на меті дати рекомендації менеджменту аптечної мережі в напрямі підвищення ефективності її функціонування та персоніфіковані пропозиції користувачам інтернет-аптек мережі стосовно нових чи недооцінених товарів на основі введених даних.

## II. Побудова моделі

Двома базовими елементами будь-якої рекомендаційної системи є суб'єкт інтересу (в нашому випадку, це аптека – в другому блоці, користувач інтернет-аптекою – в третьому блоці) та предмет інтересу (медичні товари і лікарські засоби). Відповідно, рекомендаційна система отримує від аптеки інформацію по певному товару, а потім видає йому прогнозовану оцінку (educated guess) інших товарів. Формат даних, які надає аптека системі - це дані по проданим товарам.

В першому блоці виконується кластеризація аптек мережі у просторі ознак, що характеризують геолокацію та ефективність функціонування. Для реалізації завдань блоку авторами в роботі [5] була побудована система підтримки прийняття рішень (СППР) на основі вирішення задачі лінгвістичної апроксимації. Серед аптек мережі з однаковими характеристиками розташування (геолокації) виокремлюються два класи: ефективно функціонуючих (клас $A_i$) та нефективних (клас $B_i$), де індекс *i* вказує певну групу геолокації.

Другий блок містить офлайн-модель розробки рекомендацій з формування оптимального портфелю для аптек класу $B_i$ на основі досвіду ефективно функціонуючих аптек, що мають схожу з ними геолокацію. Таким чином забезпечується підвищення якості портфелю неефективних аптек, а також неявно враховано користувацькі вподобання, що знайшли відображення у складі портфелів аптек класу $A_i$. В основу моделі другого блоку покладено колаборативну фільтрацію методом найближчого сусіда з косинусною мірою схожості.

В загальному випадку, колаборативна фільтрація – метод, що дає прогнози відносно продажів аптеки за зібраною інформацією про смаки множини користувачів. Його основне припущення – ті, хто погоджувався в минулому, схильні погоджуватися в майбутньому. Варто відмітити, що ці прогнози є індивідуальними, незважаючи на те, що інформація зібрана від багатьох учасників. Тим самим даний метод відрізняється від більш простого підходу, який дає усереднену оцінку для кожного об'єкта.

Для її реалізації було побудовано таблицю аптек досліджуваної аптечної мережі з відповідними до них портфелями товарів медичного призначення та лікарських засобів, в якій аптеки діляться за результатом кластеризації першого блоку на два класи $A_i$ та $B_i$ (показано на рис. 1).

| Місто | Товар / Адреса аптеки | Клас | Адреналіна гідрохлориду розчин 0,1% р-р д/ін. 0,1 % фл. 20 кор. | Андроксур табл. 50 мг | Аспаркам табл. уп/контур.п/эч. 10 | Аспаркам табл. уп/контур.п/эч. 20 | Аспірин табл. 500 мг бл. 10 | Аспірин табл. 100 мг бл. 10 | ацетилсаліцилова кислота табл. 0,5 г уп/контур.п/эч. 10 | АЦЦ 100 таблетин. 100 мг туба 20 кор. | АЦЦ 200 таблетин. 200 мг туба 20 кор. | АЦЦ лонг таблетин. 600 мг туба 10 кор. | Бородузал р-р д/ін.зал. фл.-кап. 20 мл кор. | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ХЕРСОН | гв. Херсонской дивізії, 10 | A | | | | | | | | 66 | 6 | | 3 | ... |
| КИЇВ | А.Ахматової, 50 | B | | | | | | | | | 1 | 1 | | ... |
| ПОЛТАВА | Шевченка, 50а | A | | | 5 | | | | 1 | 75 | 2 | 10 | 5 | ... |
| КИЇВ | Бальзака, 80 | A | 2 | | 26 | 1 | | | | | 3 | 5 | 4 | ... |
| ВАСИЛЬКІВ | Грушевського, 22/2 | A | | | | | | | | | 1 | 2 | 1 | ... |
| КИЇВ | Давидова, 2/7 | A | | | 21 | | 1 | | | | 3 | 5 | 10 | ... |
| ОДЕСА | Канатна, 72 | A | | 6 | | | | 1 | | 80 | 1 | | 4 | ... |
| ЖИТОМИР | Київська, 39 | B | | | | | | 2 | 1 | 20 | | 1 | 3 | ... |
| КИЇВ | Константиновська, 25 | A | | | | | | | | | 1 | 3 | 5 | ... |
| | | | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Рис. 1. Фрагмент матриці суб'єкт (аптека)-об'єкт (товари)

За цією інформацією в середині кожної групи можна виділити найпопулярніші лікарські засоби або товари медичного призначення, які аптеки продають частіше всього. Отже, кожні учасники певної групи рекомендують популярні товари.

Введемо позначення для вихідних даних:

$U$ – множина торгівельних точок (аптек),

$$U=\{u_1,u_2,\ldots u_m\};$$

$I$ – множина товарів (лікарських засобів або товарів медичного призначення), $I=\{i_1,i_2,\ldots i_n\}$

$Y$ – простір опису транзакцій;

$D$ – транзакційні події, $D=(u_t,i_t,y_t)_{t=1}^{m}\in U\times I\times Y$.

Агреговані дані:

$$R=\|r_{ui}\|-\textit{матриця розміру}\,|U|\times|I|,$$

де $r_{ui}=aggr\{(u_t,i_t,y_t)\}\in D\;u_t=u,i_t=i$

$R_{ui}$ – відповідає події: аптека *u* продала товар *i*.

Всі наявні продажі від усіх аптек створюють матрицю $U*I$.

Системи колаборативної фільтрації зазвичай застосовують двоступеневу схему:

- знаходять тих, хто розділяє оціночні судження активного користувача;

- використовують оцінки користувачів, що мислять подібно активному користувачу для обчислення прогнозу.

Розглянемо окремо аптеку *a* класу $B_i$ та ті аптеки класу $A_i$, що продали товар *j*. Алгоритм найближчого сусіда з обраною мірою схожості включає в себе три кроки:

- для кожної аптеки *u* визначимо, наскільки її інтереси співпадають з інтересами аптеки a;
- після цього оберемо множину аптек, найбільш близьких до a;
- визначимо прогнозну оцінку на основі оцінок об'єкта *j* «сусідами» з попереднього кроку.

Кожній аптеці в матриці відповідає один рядок. Тож, треба обчислити близькість векторів-рядків.

Для обчислення міри близькості між векторами в моделі було обрано косинусну міру. Крім того можна використати інші відомі міри схожості та експериментально обрати найкращу: коефіцієнт кореляції Пірсона; коефіцієнт Танімото; евклідова відстань; манхетенська відстань тощо.

Результатом другого блоку є пріоритети товарів для формування портфелів аптек класу $B_i$. Побудовану в другому блоці офлайн-модель можна також використовувати для формування портфелю товарів нової аптеки, що немає ще власної історії продаж.

Третій блок має на меті використання онлайн-моделі, що ґрунтується на транзакційній історії інтернет-аптек мережі та даних про вподобання певних користувачів.

Для побудови рекомендаційної системи для інтернет-аптеки необхідно вирішити наступні задачі:

- спрогнозуватия незаповнені комірки $r_{ui}$;
- оцінити схожості між групами клієнтів за даними їх вподобань ;
- призначити товару *i* певну оцінку, на базі даних, що надав клієнт *u;*
- сформувати клієнту *u* перелік рекомендованих товарів *j*.
- запропонувати клієнту «перехресну» покупку товару–компліменту (пробіотик до антибіотику, спиртову серветку до шприцю тощо);
- інформувати клієнта про акційні пропозиції;
- сегментувати клієнтську базу, виділити цільові аудиторії.

На останньому етапі виконується поєднання ансамблів моделей різних блоків та два рівня навчання:

- навчання окремих моделей в ансамблі;
- навчання комбінації моделей.

Дві головні переваги об'єднання моделей - це збільшення точності і можливості більш гнучкого налаштування на різні групи клієнтів. До недоліків слід віднести меншу интерпретованість та більшу складність реалізації і підтримки.

Відомі такі стратегії об'єднання:

- Stacking - передбачення окремих моделей є входами іншого класифікатора, який навчається правильно зважувати проміжні оцінки;
- Switching - застосування різних алгоритмів для різних продуктів/користувачів;
- Mixing - обчислення рекомендації по різних алгоритмах та наступне об'єднання в один список.

Наприклад, формується інтегральна рекомендація як лінійна згортка результатів колаборативної фільтрації в різних моделях другого та третього блоків методом Stacking (налаштування ваги зваженої суми відповідей базових алгоритмів):

$$P(u,i)= w_1P_1(u,i)+ w_2P_2(u,i)+...+ w_nP_n(u,i)\ .$$

Ваги $w_1, w_2...w_n$ отримуються з навчальної вибірки.

Ефективність побудованої гібридної рекомендаційної системи можна оцінити за економічними показниками:

- скорочення часу, що є необхідний для пошуку товарів, за рахунок релевантних рекомендацій;
- збільшення ймовірності попадання в поле зору користувача інших об'єктів, які зможуть його зацікавити;
- підвищення лояльності і задоволеності користувачів веб-сервісами;
- зменшення витрат на рекламу та збільшення середнього чеку;
- збільшення частоти відвідувань постійними користувачами і зменшення ризику відтоку клієнтів;
- збільшення обсягів споживання і зростання прибутку.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Сегаран. Т. Программируем коллективный разум. – Пер. с англ. – СПб: Символ-Плюс, 2008. – 368 cL.

[2] Model-based methods for recommender systems / [Stekh Y., Lobur M., Artsibasov V. // International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology – 2015. – v.4. – P.3061-3066.

[3] Джонс Т. Рекомендательные системы: Введение в подходы и алгоритмы. [Електронний ресу**рс] // Режим доступу**: http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/os-recommender1/index.htm.

[4] Коллаборативная фильтрация [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://www.machinelearning.ru/wiki/images/ archive/9/95/20140413184117%21 Voron-ML-CF.pdf.

[5] Бакурова А.В., Ропало Г.М. Система підтримки прийняття рішення про розміщення аптек на основі нечіткої логіки // Управління проектами, системний аналіз і логістика, Науковий журнал, Випуск 19, 2017, Частина 2: Серія «Економічні науки». - С.5-13.

# Використання Методів Глибинного Навчання для Сегментації Пухлин Головного Мозку на МРТ-Зображеннях

Наталія Білоус
Кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелекроніки
Харків, Україна
bilous.n.v@gmail.com

Олексій Комаров
Кафедра програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелекроніки
Харків, Україна
komarov.oleksii@gmail.com

# Deep Learning Approach for Brain Tumors Segmentation of MRI Images

Natalia Bilous
Software Engineering Department
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
bilous.n.v@gmail.com

Oleksii Komarov
Software Engineering Department
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
komarov.oleksii@gmail.com

***Анотація* – У даній роботі представлена каскадна модель трьох згорткових нейронних мереж для обробки мультимодальних МРТ-зображень мозку та розпізнання і сегметації трьох регіонів гліальних пухлин головного мозку. Для експеременту була обрана вибірка даних з конкурсу BraTS 2017. За результатами експеременів були отримані середні показники за індексом Дайса, що становлять 0.7453, 0.7898, 0.7839 для ядра пухлини, пухлини цілком та регіону розповсюдження пухлини навколо ядра, відповідно.**

***Abstract* - In this paper a cascade model of three convolutional neural networks for processing multimodal MRI brain images, recognition and segmentation of three regions of glial tumors of the brain is presented. For the experiment, a sample of data from the BraTS 2017 contest was selected. According to the results of the experiments, the average indexes of the Dice score were 0.7453, 0.7898, 0.7839 for the tumor core, the entire (whole) tumor, and the enhancing tumor core, respectively.**

***Ключові слова – нейромережа, вейвлет, томографія, мозок, пухлина, розпізнання, сегментація, Дайс.***

***Keywords – neural network, wwavelet, tomography, brain, tumor, recognition, segmentation, Dice.***

## I. Вступ

Гліоми є найбільш поширеними пухлинами головного мозку, які виникають з гліальних клітин. Вони можуть бути розділені на два основних типи: низькоякісні гліоми (LGG), які, як правило, виявляють добрі тенденції та вказують на кращий прогноз для пацієнта та високоякісні гліоми (HGG), які є злоякісними та більш агресивними. З розвитком магнітно-резонансного(МР) сканування, з'явилася можливість сканувати пухлини мозку, використовуючи різні МР-послідовності: T1-зважена, T1c-зважена з покращеним контрастом, FLAIR-послідовність та T2-зважена послідовність. Різні послідовності можуть надавати різну інформацію для аналізу різних регіонів пухлин. T1 та T1c послідовності підсвічують на зображеннях пухлину без перитуморального набряку (едеми). T2 та FLAIR послідовності підсвічують на зображеннях пухлину разом з перитуморальною едемою. T1c послідовність також дозволяє добре побачити на зображені регіон ядра пухлини, який поширюється.

У наш час дуже поширюється область застосування МРТ для діагностування пухлин головного мозку. Основним етапом класифікації пухлин є їх сегментація, яка дуже довго проводилася мануально фахівцями. Тому останнім часом дуже сильно поширюються дослідження

різних методів автоматизації цього процесу, тому що це може призвести до покращення таких процесів, як діагностування пухлин, планування лікування пацієнтів. У той же час, процес сегментації доволі складним через різні розміри, форми, локалізацію пухлин у різних пацієнтів, а також через розмиті межі між тканинами пухлин та мозку на зображеннях.

В останні десятиріччя було проведено багато досліджень щодо автоматичної сегментації пухлин мозку [1]. Більшість сучасних методів використовують генеративні або дискримінаційні підходи. Генеративні підходи чітко моделюють імовірнісні розподіли анатомії та присутності пухлини або здорових тканин [2],[3]. Вони часто демонструють добре узагальнення для нових зображень шляхом включення попередніх набутих знань. Однак точні імовірнісні розподіли пухлин головного мозку важко моделювати. Дискримінаційні підходи безпосередньо вивчають взаємозв'язок між інтенсивністю зображення та класами тканин, і їм потрібен набір анотованих навчальних зображень для навчання. Репрезентативні роботи включають класифікацію на основі методу опорних векторів [4] та дерев рішень [5].

В останні роки, саме дискримінаційні методи, які базуються на глибоких нейронних мережах набули найбільшої продуктивності при вирішенні задач багато модальної сегментації пухлин головного мозку. У роботі [6] була запропонована згорткова нейронна мережа (CNN) для використання як локальних, так і глобальних функцій для надійної сегментації пухлини головного мозку. Проте їхній підхід працює для окремих двовимірних шарів, не враховуючи тривимірну контекстну інформацію. DeepMedic [7] використовує CNN з 11 шарами для сегментації пухлини головного мозку. Мережа обробляє вхідне зображення в декількох масштабах, і результат обробляється методом умовних випадкових полів (CRF) для видалення помилкових значень. Проте, DeepMedic працює на локальних патчах зображень і має низьку ефективність. Останнім часом досліджено кілька ідей щодо підвищення ефективності сегментації CNN. 3D U-Net [8] дозволяє проводити всебічне тренування та тестування для сегментації об'ємних зображень. HighRes3DNet [9] пропонує компактну 3D-CNN, яка підтримує багатомасштабні функції з високою роздільною здатністю з розширеною згорткою та залишковим з'єднанням [10],[11]. Інші роботи також пропонують свої архітектури повністю конволюційних нейронних мереж [12],[13], що включають великі візуальні контексти, використовуючи суміш операцій згортки та субдискредитації, а також обробки несбалансованих навчальних даних шляхом розробки нових функцій втрат та вибіркових стратегій.

У данній роботі ми пропонуємо каскадну модель згорткову нейронну мережу з використанням вейвлетного перетворення у якості шарів субдискредитації для послідовної сегментації пухлин головного мозку.

## II. Запропонована модель

Зважаючи на специфіку тематики сегментації пухлин головного мозку на мультимодальних тривимірних МРТ-сканах та вибірку, яка на якій повинно проводитися тестування, була побудована каскадна модель, яка складається із трьох згорткових нейроних мереж (рис. 1) із залишковим навчанням, вейвлетною субдискредитацією та пакетною нормалізацію даних.

Побудована модель націлена на те, що згорткові нейронні мережі, які входять до неї будуть сегментувати регіони гліоматичної пухлини поступов.

Каскадна модель поділяє дуже комплексну проблему сегментації тривимірних зображень пухлин на три більш прості бінарні задачі сегментації двовимірних зображень і надає можливість знизити помилкові результати класифікації.

Три згорткові нейронні мережі були застосовані для того, щоб ієрархічно та послідовно сегментувати регіони пухлини мозку (див. рис. 2)

Перша мережа сегментує пухлину цілком з отриманої на вході мультимодальної тривимірної ємності пацієнта. На виході ми отримуємо границі пухлини.

Друга мережа приймає на вхід отриманий першою мережею сегмент зобаження у якому знаходиться пухлина. Далі проходить сегментація ядра пухлини і таким же чином формуються межі для нього.

Далі, таким же чином, регіон зображення всередені сформованих меж другою мережею потрапляє на вхід до третьої для сегментації регіону поширення пухлини.

Таким чином результат сегментації першої мережі застосовується у другій як бінарна маска , результат сегментації другої мережі – як маска для третьої. В результаті роботи третьої мережі ми отримуємо повністю сегментовану пухлину та її субрегіони.

За згортковими шарами з будь-яким з цих ядер слідує шар пакетної нормалізації і шар активації. Шари активації використовують функцію зрізаних лінійних вузлів (ReLU), яка останнім часом є традиційною у вирішені таких задач через свою простоту та ефективність.

Усього перша та друга мережа мають по 20 внутрішньочастотних згорткових шарів та чотири міжшарові згорткові слої з двома субдискретизуючими шарами. Замість звичайних шарів субдискредитації було застосовано вейвлетну субдискретизацію [16] 2-го рівня з материнським вейвлетом Добеши-4.

Третя мережа використовує ту ж саму кількість згорткових шарів, але лише один слой субдискретизації, зважаючи на менший розмір вхідних даних (див. рис. 2)

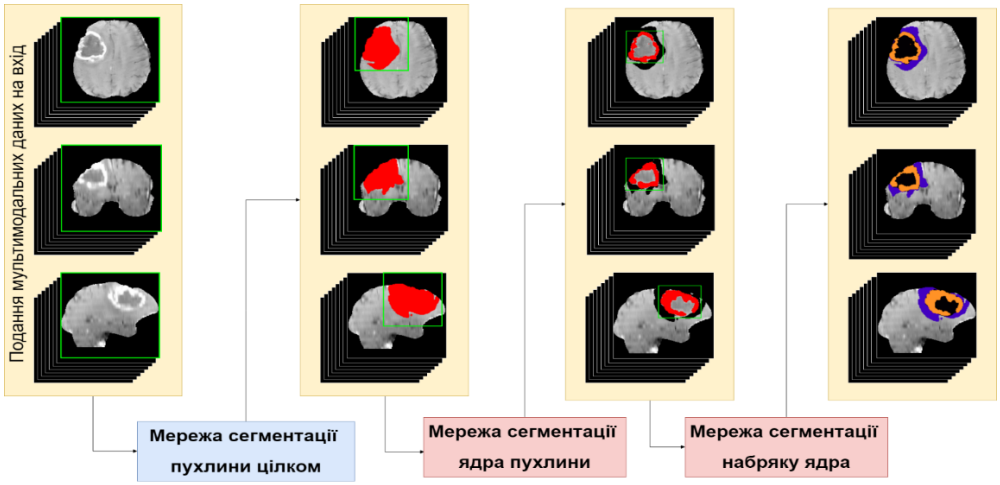



Рис. 1. Запропонована каскадна модель для сегментації ПГМ

На стадії тренування межі формуються автоматично на основі мануально-сегментованих експертами зображень

На стадії тестування, межі генеруються на основі бінарної сегментації результатів пухлини цілком та ядра пухлини.

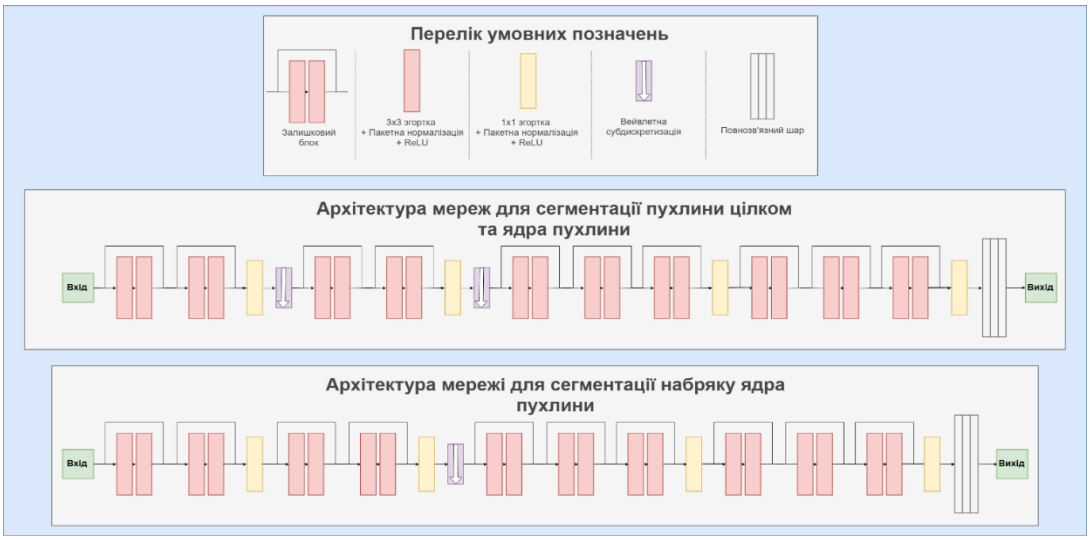



Рис. 2. Архітектура нейронних мереж для сегментації пухлин головного мозку

## III. Результати сегментації

Нами був використаний набір даних конкурсу BraTS 2017 [14, 15]. Навчальний набір містить зображення з 285 пацієнтів, які мають гліому (210 з гліомою високого класу і 75 з гліомою низького класу). Комплект валідації та тестування BraTS 2017 включає зображення з 46 та 146 пацієнтів з пухлинами мозку невідомого класу, відповідно.

Кожен пацієнт був сканований з чотирма послідовностями: T1, T1c, T2 і FLAIR. Всі зображення попередньо оброблені та повторно перезібрані до ізотропної роздільної здатності 1 мм3, а чотири послідовності того самого пацієнта були зареєстровані спільно. Істинна сегментація була отримана за допомогою ручної сегментації експертами-радіологами.

Для оцінки якості сегментації була застосована оцінка на основі індексу Дайса, та результати були

порівняні з іншими найкращими роботами конкурсу BraTS 2017.

Суть індексу Дайса складається у порівнянні отриманих зображень сегментованих регіонів з еталонною сегментацією експертами.

Індекс Дайса можна виразити за наступною формулою:

$$dice(x,y) = \frac{2|X \cap Y|}{|X|+|Y|}, \quad (1)$$

У таблиці 1 представлені результати сегментації за індексом Дайса трьох регіонів пухлини та їх порівняння з іншими схожими методами.

ТАБЛИЦЯ 1. ІНДЕКС ДАЙСА ДЛЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СЕГМЕНТАЦІЇ

| Посилання на роботу | Індекс Дайса | | |
|---|---|---|---|
| | Ядро | Пухлина | Запалення |
| Поточна робота | 0.7453 | 0.7898 | 0.7839 |
| Метод з роботи [6] | 0.84 | 0.84 | 0.84 |
| Метод з роботи [17] | 0.7674 | 0.8844 | 0.7261 |
| Метод з роботи [18] | 0.67 | 0.78 | 0.68 |
| Метод з роботи [19] | 0.76 | 0.83 | 0.78 |
| Метод з роботи [20] | 0.761 | 0.833 | 0.783 |
| Метод з роботи [21] | 0.69 | 0.89 | 0.69 |
| Метод з роботи [22] | 0.714 | 0.877 | 0.637 |
| Метод з роботи [23] | 0.600 | 0.797 | 0.690 |

На рис. 3 наведений приклад результату сегментації пухлини, використовуючи даний метод.

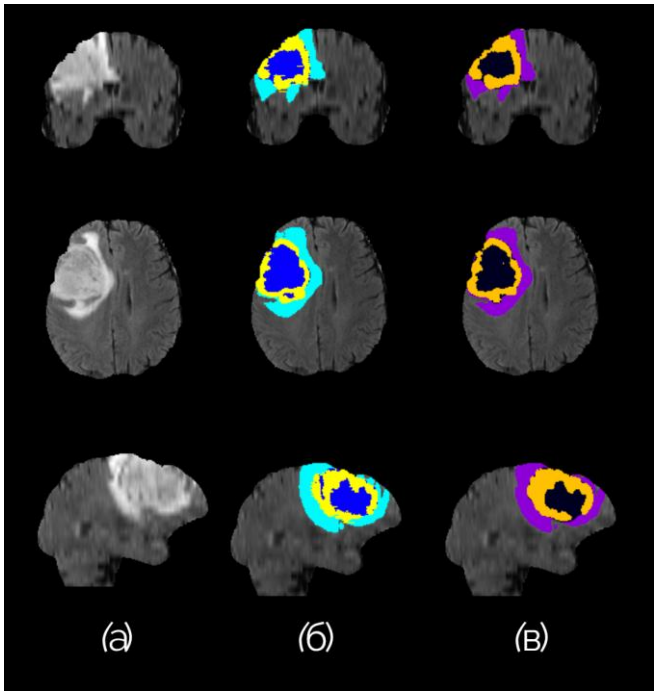



Рис. 3. МРТ зображення пацієнта з гліомою високого класу з результатами сегментації, де (а) – похідне зображення у FLAIR-модальності, (б) – результат мануальної сегментації експертом, (в) – результат автоматичної сегментації нейронною мережею

## IV. ВИСНОВКИ

Метою даної роботи був пошук, аналіз та реалізація методів автоматизації процедури сегментації ПГМ на МРТ-зображеннях для збільшення точності та достовірності діагностики, класифікації та подальшого лікування пухлини головного мозку, з використанням сучасних технологій машинного зору, до яких відносяться вейвлетні перетворення, та машинного навчання.

Для досягнення цієї мети було проведене ретельне дослідження різноманітних наукових публікацій за даною тематикою, після чого була поставлена науково-технічна задача, яка складалася з шести етапів: проведення аналізу існуючих підходів та можливостей методів для вирішення задачі сегментації пухлин, розробки алгоритму сегментації пухлин на сканах МРТ у трьох проекціях використовуючи сучасні методи машинного навчання, з використанням вейвлетних перетворень для обробки зображень, програмної реалізації алгоритму, вибору методу оцінки результатів роботи алгоритму, проведення тестування та оцінювання результатів, проведення порівняння алгоритму з існуючими нині.

З урахуванням накопиченого досвіду в була побудована модель згорткової нейронної мережі, яка використовує вейвлетні-перетворення у якості шарів субдискретитації, замість звичних максимізуючих та усереднюючих.

Результатом роботи стала програмна реалізація побудованої моделі з використанням фреймворків NiftyNet та Tensorflow, бібліотеки PyWavelets на мові програмування Python, яка успішно виконує задачу сегментації пухлин головного мозку типу гліобластоми високого та низького класів з усіма субрегіонами з показниками індексу Дайса 0.7453, 0.7898, 0.7839 для ядра пухлини, пухлини цілком та посилюючої області пухлини, відповідно.

Отримані показники майже не поступаються, а іноді і перевершують існуючі нині моделі та методи сегментації пухлин головного мозку на МРТ-зображеннях.

Отже, згідно з результуючими показниками, ідея використання вейвлетної субдискретизації в архітектурі згорткових мереж для цілей сегментації пухлин не є поганою, і така модель може конкурувати зі вже представленими раніше іншими дослідниками.

## ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Wang, J., Liu, T. (2014) “A survey of MRI-based brain tumor segmentation methods”. In: Tsinghua Science and Technology 19(6), pp. 578 – 595.

[2] Kaus, M.R. et. al. (2001). “Automated segmentation of MR images of brain tumors”. Radiology 218(2), pp. 586 -591

[3] Menze, B.H. et. al. (2010). “A generative model for brain tumor segmentation in multi-modal images”. In: MICCAI. pp. 151 - 159

[4] Lee, C.h., Schmidt, M., Murtha, A. (2005). “Segmenting brain tumors with conditional random _elds and support vector machines”. In: CVBIA. pp. 469 - 478
[5] Zikic, D. et.al. (2012). “Decision forests for tissue-speci_c segmentation of high-grade gliomas in multi-channel MR”. In: MICCAI. pp. 369 – 376.
[6] Varghese A. (2017). “Brain Tumor Segmentation from Multi Modal MR images using Fully Convolutional Neural Network”. In: MICCAI. pp. 1 – 9.
[7] Kamnitsas, K. et. al. (2017) “Multi-scale 3D CNN with fully connected CRF for accurate brain lesion segmentation. Medical Image Analysis 36, 61 – 78.
[8] Abdulkadir, A., Lienkamp, S.S., Brox, T., Ronneberger, O. (2016) “3D U-Net : Learning dense volumetric segmentation from sparse annotation”. In: MICCAI. pp. 424 – 432.
[9] Li, W. et. al. (2017) “On the compactness, e_ciency, and representation of 3D convolutional networks: brain parcellation as a pretext task”. In: IPMI. pp. 348 – 360.
[10] Wang, G. et. al. “A deep interactive geodesic framework for medical image segmentation”. arXiv preprint arXiv:1707.00652
[11] Chen, H., Dou, Q., Yu, L., Heng, P.A. (2017) “Voxresnet: Deep voxelwise residual networks for volumetric brain segmentation”. arXiv preprint arXiv:1608.05895.
[12] Havaei, M. et. al. (2016) “HeMIS : Hetero-modal image segmentation”. In: MICCAI. pp. 469 – 477.
[13] Fidon, L. et. al. (2017) . “Scalable multimodal convolutional networks for brain tumour segmentation”. In: MICCAI. pp. 285 – 293.
[14] Menze B.H., et. al. (2015) "The Multimodal Brain Tumor Image Segmentation Benchmark (BRATS)", IEEE Transactions on Medical Imaging 34(10), 1993-2024. DOI: 10.1109/TMI.2014.2377694.
[15] Bakas S. et. al. (2017). "Advancing The Cancer Genome Atlas glioma MRI collections with expert segmentation labels and radiomic features", Nature Scientific Data, 4:170117 DOI: 10.1038/sdata.2017.117.
[16] Williams T., Li R. (2018) “Wavelet Pooling for Convolutional Neural Networks” In: ICLR 2018 Conference Blind Submission.
[17] Amorim, P.H.A., Chagas, V.S., Escudero, G. (2017) “3D U- Nets For Brain Tumor Segmentation in MICCAI 2017 BraTS Challenge” In: MICCAI. pp. 9–15.
[18] Beers A, Chang K., Brown J. (2017) “Sequential 3D U- Nets for Brain Tumor Segmentation” In: MICCAI. pp. 20–24.
[19] Bharath H.N., Colleman S., Sima D.M. (2017) “Tumor segmentation from multi- parametric MRI using random forest with superpixel and tensor based feature extraction” In: MICCAI. pp. 24–30.
[20] Cao S., Qian B., Yin C. (2017) “3D U- Net for Multimodal Brain Tumor Segmentation” In: MICCAI. pp. 30–34.
[21] Castillo L.S., Daza L.A., Rivera L.C. (2017) “Volumetric Multimodality Neural Network For Brain Tumor Segmentation” In: MICCAI. pp. 34–42.
[22] Cata M., Casamitjana A., Sanchez I. (2017) “Masked V- Net: an approach to brain tumor segmentation” In: MICCAI. pp. 42–50.
[23] Dong S. (2017) “Separate 3D- SegNet Architecture for Brain Tumor Segmentation” In: MICCAI. pp. 54–61.

# Аналіз можливостей Apache Kafka в рамках забезпечення стримінгу Big Data

Олег Дашкевич
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
oleh.dashkevych@nure.ua

Ігор Шубін
кафедра Програмної Інженерії
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
igor.shubin@nure.ua

# Analysis of the Apache Kafka capabilities as part of providing Big Data Streaming

Oleh Dashkevych
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oleh.dashkevych@nure.ua

Igor Shubin
Department of Software Engineering
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
igor.shubin@nure.ua

***Анотація*—Оскільки Інтернет речей займає більше опору в різних галузях промисловості, труднощі з обробкою всіх трьох «V» Big Data будуть зростати. Все більше і більше програм і організацій створюють файли та документи, а не лише цінності та цифри. Потокове передавання може здійснювати більшу частину обробки в режимі реального часу. Це призвело до третього (на момент написання: поточної) хвилі Big Data: переходу до повного обхвату потокового (іноді називається каппа-архітектура, як еволюція лямбда-архітектури)**

***Abstract*—*As the Internet of Things takes more of a foothold in various industries, the difficulties in handling all three «V's» of Big Data will increase. More and more applications and organizations are generating files and documents rather than just values and numbers. Streaming could do most of our processing in real-time. This led to the third (at the time of writing: current) wave of big data: the move to a full embrace of streaming (sometimes referred to as the kappa architecture, as an evolution of lambda architecture).***

***Ключові слова*—*Big Data; Kafka; брокер; тема; реплікація; дані; ZooKeeper***

***Keywords*—*Big Data; Kafka; broker; topic; replication; data; ZooKeeper***

## I. Вступ

У новій моделі побудови архітектури систем, що накопичують великі дані, події транслюються безперервно, з припущенням, що вони необмежені - вони можуть ніколи не закінчуватися - таким чином, системи більше не можуть чекати, щоб отримувати "всі дані", а замість цього потрібно обробляти їх на льоту, як тільки ті надходять. Це вимагає нових методів: неможливо отримати повний перегляд всіх даних перед його обробкою, але ви повинні визначити своє вікно обробки - як слід групувати вхідні події і де "окреслити лінію" перед обробкою групи - і розрізняти час події (коли це відбувається) і час обробки (коли він обробляється). З потоковою передачею фундаментальний зсув рухається від "даних в стані спокою" до "даних в русі" - від відтворення до реального часу. Потокове передавання даних не тільки для вузькоспеціалізованих проектів.

Нові технології та архітектурні проекти дають змогу створювати гнучкі системи, які не тільки більш ефективні та прості у побудові, але також краще моделюють процес ведення бізнес-процесів. Це правда частково тому, що нові системи відокремлюють взаємозв'язок між процесами, які передають дані та процеси, які використовують дані. Дані з багатьох джерел можуть бути передані в сучасну платформу даних і використовуватися різними споживачами майже відразу або пізніше, коли це необхідно. Саме тому для вирішення данної проблеми був створений проект Apache Kafka.

## II. KAFKA: ПОТОКОВИЙ АРХІТЕКТУРИНИЙ ПІДХІД

Kafka — це розподілена потокова платформа, що має три основні можливості:

- публікувати та підпис на потоки записів, схожі на чергу повідомлень або систему корпоративних повідомлень;
- зберігайти потоки записів у відмовостійкому та тривалому режимі;
- обробляти записи, як тільки ті вони створюються.

Kafka найчастіше використовується для потокового передавання даних в режимі реального часу в інші системи. Kafka є середнім шаром, щоб відокремити ваші канали передачі даних у реальному часі. Ядро Kafka не підходить для прямих обчислень, таких як агрегації даних або Комплексної Обробки Подій [1]. Потокове передавання Kafka, що входить до складу екосистеми Kafka, дає змогу здійснювати аналізи в реальному часі. Вона може використовуватися для живлення швидких смугових систем (систем реального часу та операційних даних), таких як Storm, Flink, Spark Streaming, а також ваші послуги та системи Комплексної Обробки Подій. Kafka також використовується для потокового передавання даних для аналізу пакетних даних. Kafka має можливість віддавати дані на Hadoop. Він передає їх на велику платформу даних або в RDBMS, Cassandra, Spark або навіть S3 для деякого майбутнього аналізу даних. Ці сховища даних часто підтримують аналіз даних, звітність, стиснення даних, аудит відповідності та резервне копіювання.

Kafka використовує ZooKeeper для вибору головного брокера Kafka та порціювання розділів теми. Kafka використовує ZooKeeper, щоб керувати пошуком сервісів для брокерів Kafka, які утворюють кластер. ZooKeeper надсилає зміни до топології до Kafka, тому кожен вузол в кластері знає, коли приєднується новий брокер, брокер помирає, тема видаляється або додана тема, тощо. ZooKeeper забезпечує синхронізований перегляд конфігурації кластера Kafka [2].

Тема — це назва або категорія. Теми в Kafka завжди є мульти-абонентом - тобто тема може мати нуль, той, на який написано. Для кожної теми кластер Kafka підтримує журнал розділів (рис. 1)

Виробники Kafka пишуть дані на теми. Kafka споживачі читають з теми. Тема пов'язана з журналом, який є структурою даних на диску. Kafka додає записи від виробника (ів) до кінця журналу тем [3].

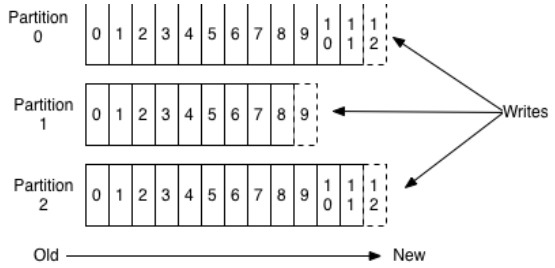



Рис.1. Журнали розділів для тем

Журнал тегів складається з багатьох розділів, які розповсюджуються на декілька файлів, які можуть бути розповсюджені на декількох вузлах кластера Kafka. [3] Споживачі читають з тематики Kafka у своїй каденції і можуть вибрати, де вони (зсув) у журналі тем. Кожна група споживачів відстежує, де вони перестали читати. Kafka поширює розділи журналу теми на різні вузли в кластері для високої продуктивності з горизонтальною масштабованістю. Розповсюдження розділів допомагає швидко записувати дані. Розділи журналу тематик — це шлях Kafka до відокремленого читання та запису до журналу тем. Крім того, потрібні розділи для одночасного роботи декількох споживачів групи споживачів (рис. 2). Kafka повторює розділи для багатьох вузлів, щоб забезпечити відмову.

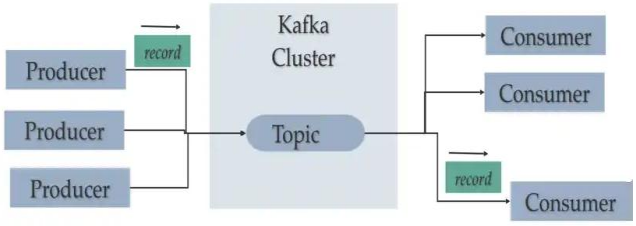



Рис.2. Схема взаємодії споживачів та продюсерів з кластером Kafka

## III. ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ

### A. *Брокери Kafka*

Група Kafka складається з декількох брокерів Kafka. Кожен Kafka Брокер має унікальний ідентифікаційний номер. Брокери Kafka містять розділи журналу тем. Підключення до одного брокера завантажує клієнта до всього кластера Kafka. Для аварійного завершення роботи необхідно розпочати з мінімум від трьох до п'яти брокерів. У кластері Kafka можуть бути 10, 100 або 1000 брокерів в кластері, якщо це необхідно.

### B. *Kafka Streams для обробки потоку*

API Kafka Stream будується на основі ядра Kafka та має власний життєвий цикл [4]. Kafka Streams дозволяє обробляти потоки в реальному часі та підтримує потокові

процесори. Поточний процесор приймає постійні потоки записів з вхідних тем, виконує деяку обробку, перетворення, агрегацію на вхід, і виробляє один або декілька вихідних потоків. Наприклад, додаток для відеопрогравача може приймати потік вхідних подій переглянутих відеозаписів, призупинити відтворення відео та виводити потоки користувацьких уподобань, а потім передавати нові рекомендації щодо відео, виходячи з останніх дій користувачів або сукупної активності багатьох користувачів, щоб побачити, що нового відео гаряче. API Kafka Stream вирішує важкі проблеми із запитами поза обліковим записом, об'єднуючись у кількох потоках, об'єднуючи дані з декількох потоків, дозволяючи виконувати обчислення за станом [5].

### *C. Кластер Kafka, відмовостійкість, ISRs*

Kafka підтримує реплікацію для підтримки відмови. Kafka використовує ZooKeeper для формування брокерів Kafka в кластері, і кожен вузол в кластері Kafka називається брокером Kafka. Тематичні розділи можуть бути відтворені в декількох вузлах для відмови від переходу. Тема повинна мати коефіцієнт реплікації, більший за 1. Наприклад, якщо ви працюєте в AWS, ви хотіли б, щоб передача працювала в разі затримки однієї зони доступності AWS. Якщо один Kafka Брокер перестає працювати, то інший, який є ISR (синхронізована репліка), може обслуговувати дані [6].

### *D. Kafka Failover та аварійне відновлення Kafka*

Kafka використовує реплікацію (рис. 3) в разі відмови [7]. Тиражування розділів журналу тематики Kafka дозволяє відмовитися від стійки або зони доступності AWS (AZ). Потрібен коефіцієнт реплікації, щонайменше 3, для виживання однієї аварії AZ.

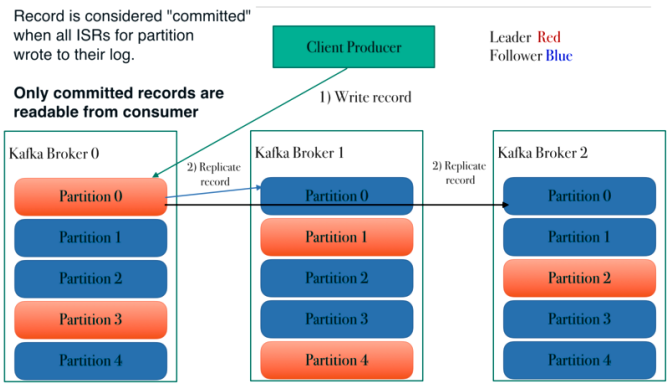



Рис.3. Схема реплікації данних

Для аварійного відновлення потрібно використовувати Mirror Maker - утиліту Kafka, котра поставляється з його ядром. Mirror Maker повторює кластер Kafka в інший центр обробки даних або регіон AWS. Mirror Maker відзеркалює, тому його не варто плутати з реплікацією.

Зауважте, що не існує жорсткого та швидкого правила щодо того, як потрібно самостійно налаштувати кластер Kafka. Наприклад, можна налаштувати весь кластер в одному AZ, щоб використовувати розширені налаштування мережі AWS і групи місць розташування для більш високої пропускної спроможності, а потім використовувати Mirror Maker, щоб відобразити кластер на іншому AZ у тому самому регіоні в режимі очікування.

## IV. Висновок

Провівши огляд технології в рамках адаптації її для трансферингу BigData незалежно від їх доменної області, можна зробити висновок щодо релевантності Kafka, як брокера подій. По перше, Kafka послідовно записує файлові системи, що є швидко. Завдяки сучасному швидкому накопичувачу, Kafka може легко записати до 700 МБ або більше даних в секунду. По друге, Kafka є масштабуємою, пише і зчитує, розділяючи журнали тем у розділи. Згадані журнали тем можуть бути розділені на декілька розділів, які можна зберігати на декількох різних серверах, і ці сервери можуть використовувати кілька дисків. Кілька виробників можуть писати на різні розділи тієї ж теми. Кілька споживачів з декількох груп споживачів можуть ефективно читати з різних розділів. Це вирішує проблему BigData «V» — обсяг та швидкість.

## Література References


[1] Jean-Paul Azar (2017). “What Is Kafka? - DZone Big Data” [Online]. Available: https://dzone.com/articles/what-is-kafka

[2] Jean-Paul Azar. (2017). “Kafka Architecture - DZone Big Data” [Online]. Available: https://dzone.com/articles/kafka-architecture

[3] Cloudurable. (2017). “Kafka Architecture: Consumers” [Online]. Available: http://cloudurable.com/blog/kafka-architecture-consumers/index.html

[4] Jean-Paul Azar (2017). “Kafka Detailed Design and Ecosystem - DZone Big Data” [Online]. Available: https://dzone.com/articles/kafka-detailed-design-and-ecosystem

[5] Stéphane Maarek (2017). “How to use Apache Kafka to transform a batch pipeline into a real-time one” [Online]. Available: https://medium.com/@stephane.maarek/how-to-use-apache-kafka-to-transform-a-batch-pipeline-into-a-real-time-one-831b48a6ad85

[6] Neha Narkhede (2015). “Hands-free Kafka Replication: A lesson in operational simplicity - Confluent” [Online]. Available: https://www.confluent.io/blog/hands-free-kafka-replication-a-lesson-in-operational-simplicity/

[7] Marcio Andrada (2017). “2-Way Replication With Apache Kafka _ LinkedIn” [Online]. Available: https://www.linkedin.com/pulse/2-way-replication-apache-kafka-marcio-andrada

# Нечітка Інкрементна Самоорганізована Багатошарова Мапа та її Послідовне Навчання

Євгенія Іванова
кафедра штучного інтелекту
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
yevheniia.ivanova@nure.ua

Євгеній Бодянський
кафедра штучного інтелекту
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
yevgeniy.bodyanskiy@nure.ua

# Fuzzy Incremental Self-Organizing Multilayer Map and its Sequential Learning

Yevheniia Ivanova
Artificial Intelligence Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
yevheniia.ivanova@nure.ua

Yevgeniy Bodyanskiy
Artificial Intelligence Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
yevgeniy.bodyanskiy@nure.ua

***Анотація*—В статті запропоновано нечітку інкрементну самоорганізовну багатошарову мапу для вирішення задачі послідовного кластерування. Архітектура самоорганізовної мапи складається з нечіткого шару виводу, що дозволяє проводити нечітке кластерування в послідовному режимі.**

***Abstract*—The paper proposes a fuzzy incremental self-organizing multilayer map for solving the problem of serial data streams clustering. The architecture of self-organizing map consists of a fuzzy output layer that allows for fuzzy clustering in sequential mode.**

***Ключові слова—нечітке кластерування, інкрементна самоорганізовна мапа, послідовне навчання, інтелектуальний аналіз даних, багатошарова нейронна мережа.***

***Keywords—fuzzy clustering, incremental self-organizing map, consistent learning, data science, multilayer neural network.***

## III. Вступ

В епоху інформаційних технологій динамічне зростання обсягу даних викликало стрімкий розвиток наукового напрямку штучний інтелект. Існує багато напрямків цієї науки і найбільш великими є машинне навчання та інтелектуальний аналіз даних.

В рамках цих наук вирішується доволі багато завдань, а саме таких як регресія, класифікація, кластерування, прогнозування та інші. Найбільш ефективні методи реалізовані на основі штучних нейронних мереж.

Рішення задачі кластерування масивів даних здійснюється в режимі навчання без вчителя. Вхідна множина об'єктів розбивається на групи зі схожими властивостями. Серед алгоритмів кластерування виділяється клас методів нечіткого кластерування. Застосування методів цього класу дозволяє формалізувати різного роду невизначеності, які завжди існують при вирішенні реальних завдань. Нечітке кластерування є синтезом ідей кластерного аналізу та теорії нечітких множин.

Самоорганізовна інкрементна нейронна мережа використовується для навчання без вчителя в онлайн режимі. Ключове завдання полягає в розділенні немічених нестаціонарних вхідних даних в різні класи без попереднього знання о кількості існуючих класів і основних характеристиках вибірки даних. Також завдяки використанню запропонованого алгоритму є можливість вивчити топологію вхідних даних.

Для реалізації цих цілей потрібно визначити ключові аспекти, а саме концепція введення нових вузлів, адаптивна швидкість навчання та видалення вузлів з низькою щільністю. SOINN (self-organizing incremental neural network) [3] використовує двошарову конкурентну мережу, в якій алгоритм навчання для першого та другого шарів однаковий.

## IV. Нечітка інкрементна самоорганізовна багатошарова мапа та її послідовне навчання

### A. *Самоорганізовна інкрементна нейронна мережа*

SOINN складається з двох шарів. двошарову конкурентну мережу. Перший шар аналізує щільність розподілу вхідних даних і використовує вузли та ребра для представлення цього розподілу. Другий шар розділяє дані на кластери шляхом розташування області вхідних даних з низькою щільністю та використовує менше вузлів ніж перший шар. Коли навчання другого шару завершено, SOINN підлаштовує кількість кластерів і видає прототипи вузлів кожного кластера. Він також використовує аналогічний алгоритм навчання для першого та другого шарів.

Конкурентне навчання Хебба представляє парадигму для побудови зв'язків між вузлами нейронної мережі. Конкурентне правило Хебба можна описати таким чином: для кожного вхідного сигналу з'єднається два найближчі вузли, вимірювані на основі евклідової відстані. Граф є оптимальною топологією в режимі послідовного навчання та протягом усього процесу навчання мережі вузли, сусідні на ранній стадії, можуть стати не сусідніми на більш розвиненій стадії. Тим самим стає необхідним видаляти з'єднання, які були оновлені дуже давно.

Для завдання класифікації без учителя необхідно визначити, чи відноситься вхідний приклад до раніше вивчених кластерів або до нового кластеру. Припустімо, що два приклади належать до одного кластеру, якщо евклідова відстань між ними менша за порогову відстань $T$. Якщо $T$ занадто велике, всі зразки будуть віднесені до одного кластеру. Якщо $T$ занадто мале, кожен зразок буде утворювати ізольований одиночний кластер. Щоб отримати «природні» кластери, $T$ має бути більшим ніж відстань всередині кластера і менша, ніж відстань між кластерами.

Для обох шарів обчислюється порогова відстань $T$. У першому шарі встановлюється вхідний сигнал як новий вузол (перший вузол нового кластеру), коли відстань між сигналом і найближчим вузлом (або другим найближчим вузлом) перевищує порогове значення $T$, яке постійно адаптується до поточної інформації. У другому шарі розраховується відстань всередині кожного кластера і відстані між кластерами на основі тих вузлів, що були згенеровані в першому шарі. В результаті отримується постійна порогова відстань $T_c$ відповідно до відстаней всередині кластера та відстаней між кластерами.

Коли вхідний вектор подається на вхід SOINN [3], він знаходить найближчий вузол (переможець) і другий найближчий вузол (другий переможець) вхідного вектору. Потім використовуючи порогові критерії подібності мережа визначає, чи належить вхідний вектор кластеру першого переможця або другого.

Перший рівень SOINN адаптивно оновлює поріг подібності кожного вузла, оскільки розподіл вхідних даних невідомий. Якщо вузол і-тий має сусідні вузли, поріг подібності *Ti* обчислюється з використанням максимальної відстані між вузлом і-тим і сусідніми його вузлами згідно з формулою (1), а якщо вузол *i* не має сусідніх вузлів за формулою (2):

$$T_i = \max_{j \in N_i} \| w_i - w_j \|, \quad (1)$$

$$T_i = \min_{j \in N \setminus \{i\}} \| w_i - w_j \|. \quad (2)$$

На рис. 1 представлена блок-схема алгоритму SOINN.

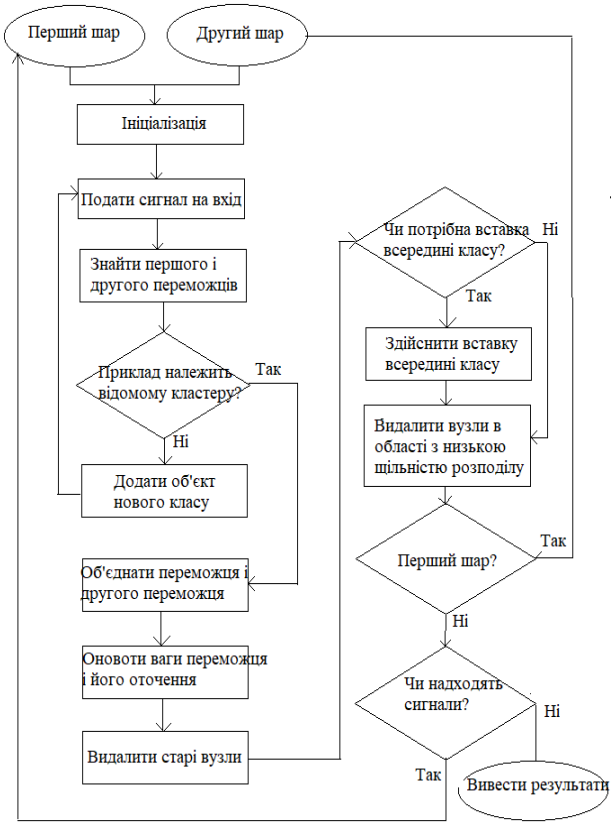



Рис. 1. Блок-схема алгоритму SOIINN

Вхідний вектор визначається в мережі як новий вузол для представлення першого вузла нового класу, якщо відстань між вхідним вектором і переможцем або другим переможцем більше, ніж поріг схожості переможця або другого переможця. Якщо вхідний вектор визначений як належний до одного кластеру як у переможця або другого переможця і якщо немає ребра, що з'єднує переможця і другого переможця. Тоді з'єднуємо переможця і другого переможця за допомогою ребра і встановлюємо вік ребра рівним нулю. Надалі збільшуємо вік всіх ребр, пов'язаних з переможцем, на одиницю.

Після цього оновлюється вектор ваги переможця та його сусідні вузли за формулами (3) і (4). Використаємо *i* для позначення вузла переможця і *Mi*, щоб показати час, коли він став переможцем. Зміна ваги переможця $\Delta w_i$ і зміна ваги сусіднього вузла $\Delta w_j$ визначаються як:

$$\Delta w_i = \frac{1}{M_i}(w_s - w_i), \quad (3)$$

$$\Delta w_i = \frac{1}{100M_i}(w_s - w_i). \quad (4)$$

Якщо вік одного ребра більше заданого параметра $age_{max}$, то це ребро видаляється.

Після $\lambda$ ітерацій ($\lambda$ є таймером) SOINN [2] вставляє нові вузли в положення, де накопичена помилка є великою. Скасовується вставка, якщо вона не може зменшити помилку. Вставка називається внутрікласовою вставкою, тому що новий вставлений вузол знаходиться в межах існуючого класу. Крім того, під час вставки новий клас не буде створено. Потім SOINN знаходить вузли, кількість сусідів яких менша або дорівнює одиниці і видаляє ці вузли.

*B. Нечітка інкрементна самоорганізовна мапа*

Відмінною особливістю нечіткого кластерування є той факт, що кожен об'єкт може відноситися до кожного кластеру з певним ступенем належності. Правильний вибір функції належності є важливим для коректної роботи алгоритму. Аналіз збіжності процесів конкурентного самонавчання, проведений М. Котреля і Дж. Фортом [1], показав, що в процесі настройки синаптичних ваг, повинен зменшуватися не тільки крок пошуку, але і параметр ширини функції сусідства. Чим більша відстань переможця від об'єкта, тим меньше корегуєтеся його синаптична вага.

Функція сусідства повинна бути ширше на початку процесу навчання, і її ширина повинна зменшуватися з часом таким чином, щоб до кінця цього процесу здійснювалася підгонка тільки безпосередніх сусідів переможця і другого переможця.

В якості функції сусідства найчастіше використовують Гауссіан, параметри якого змінюються від часу, найчастіше лінійно. Ця функція має наступну формулу (5):

$$u(j, l, k) = exp\left(-\frac{d^2(w_j^*(k), w_l(k))}{\sigma^2}\right), \quad (5)$$

в якій $\sigma$ – параметр ширини функції належності; $w_j^*(k)$ – синаптична вага нейронна переможця, $w_l(k)$ – синаптичні ваги мережі.

Цей параметр необхідно налаштовувати і вводити формулу для його розрахунку. Тому в атестаційної роботі запропоновано функцію належності, параметри якої налаштовувалися без введення нових.

Використання функцій сусідства призводить до модифікованого правила навчання інкрементної самоорганізовної мапи і реалізує принцип «переможець отримує більше». Для спостереження *x(k)*, яке поступає на вхід, визначається перший і другий вузол переможець $w_j^*(k)$ і наближається до спостереження за формулою (6):

$$w_j^*(k+1) = w_j^*(k) + \eta(k)u^2(j, l, k)(x(k) - w_j^*(k)). \quad (6)$$

Всі інші вузли (для спрощення обчислень це може бути фіксована кількість вузлів або всі вузли ближче деякої порогової відстані) перераховуються за формулою (7):

$$w_l(k+1) = w_l(k) + \eta(k)u^2(j, l, k)(x(k) - w_l(k)). \quad (7)$$

Змінна *u(j, l, k)* – функція належності. На прикладі алгоритму FCM (fuzzy c-means) визначається функція сусідства і розраховується за формулою (8):

$$u_j(k) = \frac{d^{-2}(x(k), c_j)}{\sum_{l=1}^{m} d^{-2}(x(k), c_l)} = \frac{\|x(k)-c_j\|^{-2}}{\sum_{l=1}^{m} \|x(k)-c_l\|^{-2}}. \quad (8)$$

Після розрахунку функції належності, перевизначаються координати центроїдів кожного кластера згідно формули (9):

$$c_j = \frac{\sum_{k=1}^{N} u_j^2(k)x(k)}{\sum_{k=1}^{N} u_j^2(k)}. \quad (9)$$

Формула (9) – це математичне трактування функції сусідства Кошіан. Перевагою запропонованої функції належності є те, що на відміну від Гауссіана значення функції на нескінченності не близько до нуля. Що сприяє тому, що в навчанні беруть участь всі вузли.

В процесі роботи нечітка інкрементна самоорганізовна мапа реагує на отримання спостереження *x(k)*, наближаючи до нього вузол-переможець $w_j^*(k)$ відповідно до принципів конкурентного навчання. При цьому інші вузли $w_l(k)$ наближаються до вузла-переможця пропорційно ступеня сусідства між ними.

## V. Імітаційне моделювання

Для реалізації нечіткого методу послідовного кластерування на основі інкрементної самоорганізовної нейронної мережі була обрана середовище програмування PyCharm і мова Python.

Нижче описуються базові бібліотеки, які були використані в ході написання програми FSOINN. Ці бібліотеки роблять з мови програмування Python потужний і надійний інструмент для аналізу і візуалізації даних.

NumPy – основна бібліотека Python, яка спрощує роботу з векторами і матрицями. Містить готові методи для самих різних операцій: від створення, зміни форми,

множення і розрахунку детермінанта матриць до рішення лінійних рівнянь і сингулярного розкладання. В реалізації FSOINN використовувалась ця бібліотека для створення масивів, в яких зберігався поданий на вхід сигнал і в цьому виді передавався на обробку. Також застосовувалися функції знаходження суми, максимального і мінімального значення, наприклад, для формул (1) і (2).

SciPy – бібліотека ґрунтується на NumPy і розширює її можливості. Включає методи лінійної алгебри і методи для роботи з ймовірними розподілами, інтегральним обчисленням і перетвореннями Фур'є. Також містить підпрограми, такі як чисельна інтеграція і оптимізація, для підвищення продуктивності. Як і всі бібліотеки Python описана в документації. Використовується бібліотека scipy.sparse.dok_matrix – словник ключів на основі розрідженої матриці.

Бібліотека Matplotlib для створення двовимірних діаграм і графіків. З її допомогою можна побудувати будь-який графік. Однак для складної візуалізації потрібно більше коду, ніж в розвинених бібліотеках.

Для перевірки роботи розробленого алгоритму кластерування, були згенеровані вибірки різних форм. Ці вибірки були обрані, бо головна мета – показати характеристики різних алгоритмів кластерування на наборах даних, які є «цікавими», але все ще в 2D.

Процес обробки вхідних даних включає в себе такі етапи:

- користувач задає параметри системі;
- завантажує в систему дані;
- система задає початкові параметри мережі;
- система проводить нечітке кластерування;
- система підраховує функції належності;
- система розраховує час навчання нейронної мережі;
- дані відображаються в 2D (елементи фарбуються згідно з результатами кластерування).

Для експерименту взяті вибірки складної неопуклого форми, а саме так званий "бублик" і дві спіралі.

На рис. 2 показано дві вибірки і час навчання нейронної мережі. Причому в першій вибірці один клас знаходиться всередині іншого, а в другій вони лінійно неподільні. Але запропонований метод кластерного аналізу точно відокремлює одне кільце від іншого.

Вибірка складалася з 2000 прикладів і нейронна мережа навчилася за 28 секунд.

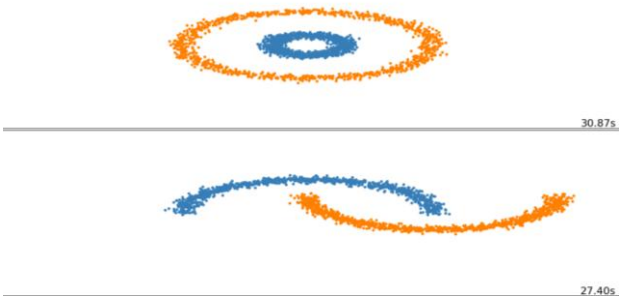



Рис. 2. Візуалізація кластерування методом FSOINN

## VI. Висновки

Запропоновано метод кластерного аналізу нечітка інкрементна самоорганізована мапа в режимі послідовного навчання на основі самоорганізованої інкрементної нейронної мережі. Запропонований алгоритм дозволяє без апріорного знання кількості кластерів вирішувати задачу нечіткого послідовного кластерування і візуалізувати топологічну структуру даних в двомірному просторі для ефективного аналізу даних.

Розроблений алгоритм ефективно працює з неопуклими наборами даних і досить простий в реалізації, але для проведення навчання необхідно налаштовувати параметри. Він відноситься до особливого класу штучних нейронних мереж, а саме до самоорганізовних мап, які вирішують завдання кластерування і топологічної структури даних.

В статті представлені результати, які відповідно до поставленої мети є рішенням актуального завдання нечіткого кластерування масивів даних в умовах довільної кількості кластерів. Теоретично була виведена, обгрунтована і запропонована функція належності, а також доведені її переваги.

## Література References

[6] Shen F. An Algorithm for Incremental Unsupervised Learning and Topology Representation / F. Shen, H. Osamu. 2006. P. 105.

[7] . Shen F. An enhanced self-organizing incremental neural network for online unsupervised learning / F. Shen, H. Osamu. Neural Networks, 2007. №20. P. 893–903

[8] Shen F. A fast nearest neighbor classifier based on self-organizing incremental neural network / F. Shen, H. Osamu. Neural Networks, 2008. №21. P. 1537–1547.

[9] Shen F. An incremental network for on-line unsupervised classification and topology learning / F. Shen, H. Osamu. Neural Networks, 2006. №90. P. 106.

[10] Borgelt C. Prototype-based Classification and Clustering [Text] / C. Borgelt. Magdeburg, 2005. P. 350.

[11] Bodyanskiy Ye. Data streams fast EM-fuzzy clustering based on Kohonen`s self-learning [Text] / Ye. Bodyanskiy, A. Deineko, Y. Kutsenko, O. Zayika // The 1th IEEE International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP 2016): proc. of int. conf., Lviv, August 23-27, 2016. Lviv, 2016. P. 309-313.

# Глибинна Кластерувальна Нейро-Фаззі Система та її Послідовне Самонавчання

Анна Норцова
кафедра штучного інтелекту
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
anna.nortsova@nure.ua

Анастасія Дейнеко
кафедра штучного інтелекту
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
anastasiia.deineko@nure.ua

# Deep Clustering Neuro-Fuzzy System and its Sequentional Self-Learning Algorithm

Anna Nortsova
Artificial Intelligence Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
anna.nortsova@nure.ua

Anastasiia Deineko
Artificial Intelligence Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
anastasiia.deineko@nure.ua

***Анотація*—В статті запропоновано новий метод послідовного кластерування потоків даних в умовах апріорно невідомої кількості класів. Пропонована модель містить в собі можливості нечітких самоорганізовних мап Кохонена та використовує ієрархічний підхід.**

***Abstract*—This paper proposed a new clustering method for serial data streams in the conditions of the apriori unknown number of classes. The proposed model contains the possibilities of fuzzy self-organising maps by Kohonen and uses a hierarchical approach.**

***Ключові слова—глибинне навчання; індекс Ксі-Бені; інтелектуальний аналіз даних; кластерування; нейронна мережа; нейро-фаззі система; самоорганізовна мапа Кохонена; штучний інтелект***

***Keywords—deep learning; parametr clustering accuracy Xi-Beni; data mining;clustering; neural network;neuro-fuzzy system; Kohonen self-organised map; artificial intelligence***

## I. Вступ

Дуже актуальним напрямом є задача кластерування даних, що є одним із методів аналізу та обробки множин об'єктів. Його мета полягає у групуванні елементів на окремі підгрупи – кластери, що схожі за певними ознаками. Так як в умовах новітнього часу даних стає дедалі більше, потреба у адекватному групуванні зростає пропорційно.

На сьогоднішній день запропоновано багато підходів для отримання якісних результатів кластерування, але не існує однозначного рішення, яке б задовольняло всі вимоги. Серед підходів, що використовуються, особливо ефективними показали себе нейронні мережі та нейро-фаззі системи [1,2], завдяки, насамперед своїм універсальним апроксимуючим та екстраполюючим можливостям та здатності навчатися в умовах суттєвої структурної і параметричної невизначенності.

В задачах інтелектуального аналізу даних, що пов'язані з кластеруванням широкого розповсюдження набули самоорганізовні мапи Кохонена [1]. Властивості самоорганізації SOM пов'язані з тим, що налаштування синаптичних ваг відбувається за відсутністю зовнішнього навчального сигналу, тобто в режимі самонавчання, при цьому кожен вхідний образ викликає налаштування тих чи інших параметрів.

У випадку неопуклих та кластерів, що перетинаються, рішення про належність вхідного образу до одного з кластерів, що приймається згідно до правила «переможець отримує все», може давати неточне кластерування. Це зумовлено тим, що деякі образи можуть належати в той самий час до декількох кластерів з певним ступенем належності. Саме у зв'язку з цим доцільно забезпечити SOM можливості і властивості нечіткого кластерування.

## II. КЛАССТЕРУВАЛЬНА НЕЙРО-ФАЗЗІ СИСТЕМА

### A. *Конкурентні нейронні мережі*

Особливим видом самонавчання є, так зване, конкурентне навчання, коли всі нейрони мережі «змагаються» між собою за право бути активним, реалізуючи принцип «Переможець отримує все» (Winner takes all), що веде до того, що в мережі може активуватися тільки один нейрон. Саме ця особливість конкурентного навчання забезпечила йому широке використання в задачах класифікації та кластерування.

Процес конкуренції може бути представлений у формі наведеній у формулах (1) та (2):

$$y_q(k) = \begin{cases} 1, \text{якщо } w_q^T(k)\widetilde{x_k} > w_p^T(k)\widetilde{x_k} \text{ для всіх } p \neq q, \\ 0 \text{ в протилежному випадку,} \end{cases} \quad (1)$$

$$\widetilde{x_k} = \frac{\overrightarrow{x_k}}{\left\|\overrightarrow{x_k}\right\|}, \left\|w_q(k)\right\| = 1, \quad (2)$$

При цьому в кожен момент часу налаштовується тільки нейрон-переможець за допомогою алгоритму відомого як правило навчання Т. Кохонена [1], наведеного у формулі (3).

$$w_q(k+1) = \begin{cases} w_q(k) + \eta(k)\left(\widetilde{x_k} - w_q(k)\right), \text{якщо } q - \text{нейрон переміг} \\ w_q(k) \text{ в протидежному випадку} \end{cases} \quad (3)$$

Поточний нормований вектор $\widetilde{x_k}$ найближчий до вектора синаптичних ваг $w_2(k)$, в результаті чого «перемагає» третій нейрон який і налаштовує свої параметри за допомогою правила Кохонена, «підтягуючи» $w_2(k)$, до $\widetilde{x_k}$ на відстань пропорційну параметру кроку $\eta(k)$ як наведено у формулі (4):

$$\begin{cases} w_2^T(k)\widetilde{x_k} > w_1^T(k)\widetilde{x_k}, \\ w_2^T(k)\widetilde{x_k} > w_2^T(k)\widetilde{x_k}, \end{cases} \quad (4)$$

Конкурентне навчання лежить в основі ряду нейромереж, що набули широкого поширення в задачах обробки інформації та інтелектуального аналізу даних.

### B. *Самоорганізовні мапи Т. Кохонена*

Мережа Кохонена [3] відноситься до самоорганізовних мереж. це означає, що вони не отримують бажаний вихідний сигнал при надходженн вхідного навчального вектора, а в результаті навчання мережу розділяє вхідні сигнали на класи, таким чином формуючи топологічні карти. Однією з найважливіших властивостей навченої мережі Кохонена є її здатність до узагальнення. Суть роботи мережі Кохонена полягає в тому, що відбувається кластерування вхідних векторів в групи схожих між собою векторів. При цьому ваги мережі налаштовуються так, щоб вхідні образи, які належать одному кластеру, активізували один і той ж вихідний нейрон.

Вектор кожного з нейронів мережі Кохонена може замінити групу відповідних йому векторів, що класифікуються.

Самоорганізовна мапа має дуже просту архітектуру з прямою передачею інформації. Крім нульового (рецепторного) шару, вона містить єдиний шар нейронів, який дуже часто називають шаром Кохонена.

Саме завдяки такій організації, кожен нейрон мережі отримує всю інформацію по аналізованому образу і генерує на свій вихід відповідний відгук.

Після цього в шарі Кохонена виникає режим конкуренції [4], в результаті якої визначається єдиний нейрон-переможець з максимальним вихідним сигналом. Цей сигнал по латеральним зв'язкам забезпечує збудження найближчих «сусідів» переможця і придушення реакції далеко віддалених вузлів.

Розглянемо докладніше архітектуру самоорганізовної мапи. На вхід мережі надходить n -мірний вхідний сигнал. мережа містить єдиний шар з m нейронів, які утворюють на площині прямокутні решітки. Нейрони характеризуються своїм місцем розташування в мережі. кожен нейрон шару Кохонена пов'язаний з кожним входом нульового (вхідного) шару прямими зв'язками, а також з усіма іншими нейронами поперечними (латеральними) зв'язками.

В процесі навчання сусідні нейрони впливають один на одного сильніше, ніж ті, які розташовані далі. Саме латеральні зв'язки в мережі забезпечують збудження одних нейронів і гальмування інших. Кожен нейрон з шару Кохонена формує зважену суму сигналів $f(x,w) = \sum_{i=1} w_i x_i$. При цьому, якщо синапси прискорюють, то $w_{ij} > 0$. Якщо ж синапси гальмуючі, то $w_{ij} < 0$.

Перед початком роботи алгоритму навчання мережі Кохонена вхідні вектори попередньо нормалізуються як показано у формулі (5):

$$\widetilde{x_i} = \frac{x_i}{\sqrt{\sum_i x_i^2}} = \frac{x_i}{\|x\|}, i = 1, 2, \ldots, N \quad (5)$$

Самоорганізовні мапи можуть мати різну топологію. Однак найбільш часто рецептори і нейрони розташовуються у вузлах одно- або двовимірної решітки.

### C. *Нейронна мережа Т. Кохонена з нечітким висновком*

Властивості самоорганізації SOM пов'язані з тим, що налаштування синаптичних ваг відбувається без зовнішнього навчального сигналу, тобто в режимі самонавчання, при цьому кожен вступний образ викликає налаштування тих чи інших параметрів.

У разі пересічних і неопуклих кластерів рішення про приналежність вхідного образу до одного з кластерів, прийняте відповідно до правила «переможець отримує все», може давати неточне кластерування, так як деякі образи можуть належати одночасно до кількох кластерів з певним ступенем приналежності. У зв'язку з цим

розглядається нечітка самоорганізовна мапа, в якій нейрони SOM замінені нечіткими правилами і множинами. Ця мережа є, по суті, схемою реалізації Fuzzy C-means методу кластерування.

Процедура самонавчання, в такому випадку, теж базується на принципах конкурентного навчання. Загальноприйнята процедура самоорганізації складається з трьох основних етапів: конкуренції, кооперації і синаптичної адаптації [5]. Самоорганізація починається з аналізу образу, що надходить з рецепторного шару на всі нейрони шару Кохонена. Для кожного з нейронів обчислюється відстань як показано у прикладі (6)

$$D\left(\tilde{x}_k, w_q(k)\right) = \left\|\tilde{x}_k - w_q(k)\right\|, \quad (6)$$

до того ж, входи слід попередньо пронормувати, щоб $\|\tilde{x}_k\| = 1$. В якості відстані (6) використовується евклідова метрика, а мірою близькості між векторами $\tilde{x}_k$ і $w_q(k)$ може слугувати скалярний добуток, що обчислюється за формулою (7):

$$D\left(\tilde{x}_k, w_q(k)\right) = \tilde{x}_k^T w_q(k) = cos(\tilde{x}_k, w_q(k)) = cos\,\theta_q \quad (7)$$

Далі обирається нейрон-переможець (8), «найближчий» до вхідного образу такий, що:

$$(\tilde{x}_k, w^*(k)) = \min_q D\left(\tilde{x}_k, w_q(k)\right) \quad (8)$$

Після чого у найпростішому випадку, оминаючи етап кооперації, можна налаштувати синаптичні ваги мережі.

Однією з особливостей мапи Кохонена є наявність етапу кооперації в процесі самоорганізації, коли нейрон-переможець визначає так звану локальну область топологічного сусідства, в якій збуджується не тільки він сам, але і його найближче оточення, при цьому більш близькі до переможця нейрони збуджуються сильніше, ніж віддалені. Ця топологічна область визначається функцією сусідства $\varphi(q, l)$, що залежить від відстані $D\left(w_q(k), w_l(k)\right)$ між переможцем $w_q^*$ та будь-яким нейроном з шару Кохонена $l = 1, 2, \ldots, n$ і деякого параметра, що задає ширину.

Використання функцій сусідства призводить до модифікованого правила навчання Кохонена (формула 9):

$$w_l(k+1) = w_l(k) + \eta(k)\phi(q, l, k)\left(\tilde{x}_k - w_l(k)\right), l = 1, 2, \ldots, m, \quad (9)$$

що реалізує принцип «Переможець отримує більше» (Winner takes more – WTM) замість традиційного «Переможець отримує все».

У разі, якщо в навчальній вибірці є класифікація спостережень, то для подальшого більш точного налаштування радіусів кластерів може бути використана проста градієнтна процедура оптимізації. Налаштування радіусів кластерів буде виражатися в отриманні більш точної нечіткої класифікації спостережень.

## III. АНСАМБЛІ НЕЧІТКИХ МАП КОХОНЕНА

Якість рішення конкретної поставленої задачі (емуляції, прогнозування, розпізнавання образів, зворотного моделювання, управління тощо) може бути істотно підвищена за допомогою ансамблів (колективів, комітетів, сумішей, банків, груп) штучних нейромереж [6], в яких в даному випадку вхідні дані послідовно обробляються декількома нечіткими самоорганізовними мапами Т. Кохонена (FSOM), вихідні сигнали яких передаються на наступну ітерацію доти, доки не будуть задовольняти обраному критерію якості кластерування. Концептуальна схема нейромережевого ансамблю представлена на рис. 2.

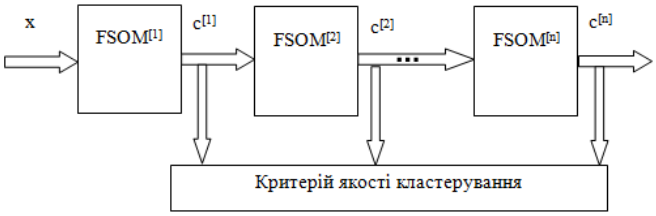



Рис. 3. Ансамбль нечітких нейронних мереж Кохонена

Системи машинного навчання, засновані на ансамблях, мають на увазі паралельне навчання багатьох моделей для вирішення одного завдання[7]. На відміну від традиційного підходу до машинного навчання, замість того, щоб намагатися сформулювати за даними єдину найкращу гіпотезу, ансамбль виробляє цілий набір гіпотез на основі різних моделей і далі комбінує їх в узагальнене рішення.

Так як в даній роботі розглядаються ієрархічні методи кластерування, то в цьому випадку метою використання ансамблів є реалізація саме ієрархічного підходу. Суть розробленого підходу полягає у тому, щоб поєднати властивості двох алгоритмів: самоорганізовних мап Кохонена і c-means з використанням нечіткості (FCM – Fuzzy C-means).

Як зазначалося раніше властивості SOM добре застосовуються для реалізації потокового кластеруваняя, тобто дають можливість роботи в online-режимі, а механізм c-means з нечіткою логікою використовується для вирішення проблеми кластерів, що перетинаються. Для оцінки результатів кластерування і вибору оптимальної кількості кластерів, прийнято рішення використовувати індекс Ксі-Бені(XB) наведеній у формулі (10).

$$XB = \frac{\sum_{i=1}^{c}\sum_{k=1}^{n} u_{ij}^m \|x_k - v_i\|^2}{n \min_{ii} \|v_j - v_i\|^2} \quad (10)$$

Чисельник у даній формулі відображає компактність нечіткого розбиття, а знаменник – якість розділення між кластерами. Згідно до цього, мінімальному значенню XB відповідає висока якість кластерування.

Спираючись на це система буде нарощувати свою архітектуру до того часу, поки не буде досягнутий деякий мінімум індекса Ксі-Бені.

Спираючись на вищесказане, запропонований ансабль при нарощенні своєї архітектури більше трьох шарів може розглядатися як глибинна система послідовно з'єднаних моделей нечітких самоорганізовних мап Т. Кохонена з метою досягнення оптимального результату кластерування.

## IV. Імітаційне моделювання

Однією з основних переваг, притаманних пропонованій самонавчанній нейро-фаззі системі є те, що вона послідовно будує свою архітектуру, і автоматично визначає оптимальну кількість кластерів, спираючись на значення індексу Ксі-Бені на кожному етапі обробляння даних.

Серію експериментів було проведено на штучно зсинтезованих наборах даних з різним ступенем розмитості та перекриття класів, аби дослідити якість кластерування в послідовному режимі опрацювання інформації для різних варіантів розбиття даних.

Кожен з наборів даних містить вісімдесят спостережень з двома ознаками (для очності) у кожному спостереженні. Тестові дані були згенеровані таким чином, аби у першому наборі класи були чітко розподілені (crisp dataset), у другому наборі кластерні границі були дещо розмиті (fuzzy dataset), у третьому випадку класи сильно перетиналися (extra fuzzy dataset). Розроблена система видала кращі результати кластерування на наборі даних з чітко розподіленими класами і відповідно якість кластерування зменшувалась зі збільшенням розсіювання даних, тобто на вибірці, де границі класів спостережень є більш розмитими. Але не дивлячись на погіршення якості кластерування, запропонована система впоралася навіть з дуже розсіяними вибірками.

Спостереження надходили до нейро-фаззі мережі у послідовному режимі, вагові коефіцієнти нейронів були проініціалізовані, використовуючи online модифікацію обраного алгоритму кластерування на датасеті з довільних двадцятьох спостережень відповідного набору даних.

В Таблицях 1-3 наведено чисельні характеристики якості кластерування, що оцінювалися за допомогою індекса Ксі-Бені.

ТАБЛИЦЯ I. Результати кластерування Crisp dataset

| **I шар** | **C = 2** | **III шар** | **C = 4** |
|---|---|---|---|
| ***Індекс Ксі-Бені*** | 0.15687 | ***Індекс Ксі-Бені*** | 0.127232 |
| **II шар** | **C = 3** | **IV шар** | **C = 5** |
| ***Індекс Ксі-Бені*** | 0.052129 | ***Індекс Ксі-Бені*** | 0.15985 |

ТАБЛИЦЯ II. Результати кластерування Fuzzy dataset

| **I шар** | **C = 2** | **III шар** | **C = 4** |
|---|---|---|---|
| ***Індекс Ксі-Бені*** | 0.16668 | ***Індекс Ксі-Бені*** | 0.131235 |
| **II шар** | **C = 3** | **IV шар** | **C = 5** |
| ***Індекс Ксі-Бені*** | 0.07587 | ***Індекс Ксі-Бені*** | 0.27516 |

ТАБЛИЦЯ III. Результати кластерування Crisp dataset

| **I шар** | **C = 2** |
|---|---|
| ***Індекс Ксі-Бені*** | 0.12528 |
| **II шар** | **C = 3** |
| ***Індекс Ксі-Бені*** | 0.10584 |
| **III шар** | **C = 4** |
| ***Індекс Ксі-Бені*** | 0.020364 |
| **IV шар** | **C = 5** |
| ***Індекс Ксі-Бені*** | 0.510392 |
| **V шар** | **C = 6** |
| ***Індекс Ксі-бені*** | 0.93626 |

## V. Висновки

Запропоновано новий метод послідовного кластерування потоків даних при апріорно невідомій кількості кластерів на основі нечітких самоорганізовних мап Т. Кохонена з використанням ієрархічного підходу.

Застосування запропонованого методу дає можливість визначення кількості кластерів за відсутності заздалегідь відомої інформації у випадках роздільних кластерів і кластерів, що перетинаються.

Реалізація розробленого методу досить проста і полягає в об'єднанні можливотей SOM для роботи з потоками даних в режимі online та ідеї алгоритму FCM для вирішення проблеми кластерів, що перетинаються у вибірках з розсіяними даними. Оцінка якості кластерування проводилася за допомогою індексу Ксі-Бені.

## Література References


[1] Kohonen T. Self-Organizing Maps. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 362 p.

[2] Bezdek J.C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. N.Y.: Plenum Press, 1981. 272 p.

[3] Гібридна каскадна оптимізована нейронна мережа / І.П. Плісс, О.К. Тищенко, Д.С. Копаліані // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. Запоріжжя: ЗНТУ. 2014. 1(30). С. 129–134.

[4] Каскадные нейронные сети / Аведьян Э. Д., Баркан Г. В., Левин И. К. // Автоматика и телемеханика. 1999. No3. С. 38-55.

[5] Neural Fuzzy Systems: A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems / Chin-Teng Lin, C. S. George Lee . Prentice Hall. 1996. 797 p.

[6] Schalkoff R. J. Artificial Neural Networks . N.Y. : The McGraw-Hill Comp. 1997. 528 p.

[7] The cascade neo-fuzzy neural network and its learning algorithm / Bodyanskiy Ye., Viktorov Ye., Pliss I. // Вісник Ужгородського національного університету. Серія «Математика і інформатика». 2008. Вип. 17. С. 48-58.

# Класифікація Фрактальних Часових Рядів Методами Машинного Навчання

Людмила Кіріченко
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
lyudmyla.kirichenko@nure.ua

Юлія Кобицька
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
yuliia.kobytska@nure.ua

Тамара Радівілова
кафедра інфокомунікаційної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
tamara.radivilova@nure.ua

# Classification of Fractal Time Series by Machine Learnin Methods

Lyudmyla Kirichenko
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
lyudmyla.kirichenko@nure.ua

Yuliia Kobytska
Department of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
yuliia.kobytska@nure.ua

Tamara Radivilova
Department of Infocommunication Engineering
Kharkiv National University of Radioelectronics
Kharkiv, Ukraine
tamara.radivilova@nure.ua

***Анотація*—У статті проведено порівняльний аналіз класифікації фрактальних часових рядів за допомогою мета-алгоритму на основі дерев рішень Random forest. Для побудови модельних фрактальних часових рядів були обрані біноміальні стохастичні каскадні процеси. Результати свідчать про велику перевагу методів машинного навчання перед традиційними методами оцінювання фрактальних характеристик при класифікації часових рядів за фрактальними властивостями.**

***Abstract*—The article compares the classification of fractal time series using a meta-algorithm based on the Random forest decision trees. Binomial stochastic cascade processes were chosen to construct model fractal time series. The results show a great advantage of machine learning methods over traditional methods of estimating fractal characteristics when classifying time series by fractal properties.**

***Ключові слова—мультифрактальні часові ряди, класифікація часових рядів, Random forest, показник Херсту.***

***Keywords—multifractal time series, time series classification, Random forest, Hurst parameter.***

## I. Вступ

Часові ряди є основною інформацією для розуміння динаміки в реальних складних системах різного типу. Протягом останніх двох десятиліть були запропоновані і розроблені методи інтелектуального аналізу даних часових рядів, в тому числі методи машинного навчання [1-3]. Машинне навчання використовуються для різних завдань аналізу часових рядів, включаючи класифікацію. Для розробки і тестування нових методів необхідно мати бази даних реальних часових рядів, проте, не менш важливі модельні дані з необхідними властивостями [4, 5].

Багато складних систем мають фрактальну структуру, а їх динаміка представлена часовими рядами, які мають фрактальні (самоподібні) властивості. Аналіз фрактальних властивостей часових рядів широко використовується в різних областях знань [6]. У багатьох випадках виникають

проблеми розпізнавання і класифікації фрактальних часових рядів. Найчастіше такі завдання вирішуються шляхом оцінки та аналізу фрактальних характеристик в часовому ряду [7-9]. Однак в останні роки зростає інтерес до методів машинного навчання для аналізу і класифікації фрактальних рядів [10-12]. Метою даної роботи є порівняльний аналіз класифікації фрактальних стохастичних часових рядів, які виконуються мета-алгоритмами з використанням методів дерева рішень.

## II. Мультифрактальні часові ряди

Стохастичний процес *X(t)* є самоподібним з параметром самоподібності *H*, якщо процес $a^{-H}X(at)$ описується тими ж кінцевомірними законами розподілів, що і *X(t)*:

$$Law\{X(t)\} = Law\{a^{-H}X(at)\}, \vee\ a>0,\ t>0\ .$$

Параметр *H*, 0<H<1, називається показником Херста, який являє собою ступінь самоподібності. Початкові моменти самоподібного випадкового процесу мають властивість

$$M\left[|X(t)|^q\right] \propto \cdot t^{qH}\ .$$

Мультифрактальні процеси проявляють більш гнучкі скейлінгові закономірності для моментних характеристик

$$M\left[|X(t)|^q\right] \propto \cdot t^{qh(q)},$$

де *h(q)* - узагальнений показник Херста, який є нелінійною функцією, для якої значення $h(q=2)=H$ [13].

Простими моделями мультифрактального процесу з заданими властивостями є біноміальні мультиплікативні каскади [13]. При їх побудові початковий одиничний інтервал ділиться на два рівних інтервали, яким приписуються вагові коефіцієнти $w_1$ і $1\text{-}w_1$, де $w_1$ є значенням деякої заданої випадкової величини *W*.

На другому кроці додаються два нових незалежних випадкових значення $w_2$ і $w_3$. Вийде 4 інтервали з ваговими коефіцієнтами

$$w_1w_2,\ w_1(1-w_2),\ (1-w_1)w_3 \text{ та } (1-w_1)(1-w_3).$$

При $n\to\infty$ ми приходимо до граничної міри, що є неоднорідною фрактальною множиною.

## III. Метод мультифрактального детрендованого флуктуаційного аналізу

При дослідженні властивостей мультифрактальних процесів застосовується мультифрактальний флуктуаційний аналіз (МФДФА) [14]. В цьому випадку кумулятивний ряд $y(t)$, розбивається на *N* сегментів довжиною *s*. Для кожного сегменту *y(t)* обчислюється флуктуаційна функція

$$F^2(s) = \frac{1}{s}\sum_{i=1}^{s}\left(y(t)-Y_m(t)\right)^2\ ,$$

де $Y_m(t)$ - *m*-поліноміальний тренд в межах даного сегменту. При проведенні МФДФА досліджується залежність флуктуаційної функції

$$F_q(s) = \left\{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[F^2(s)\right]^{\frac{q}{2}}\right\}^{\frac{1}{q}},$$

отриманої усередненням на усіх сегментах. Якщо досліджуваний ряд має мультифрактальні властивості, то функція $F_q(s)$ представляється ступеневою залежністю

$$F_q(s) \propto s^{h(q)}\ .$$

Оцінка показника Херста може бути представлена інтервалом значень, всередині якого із заданою ймовірністю знаходиться істинне значення

$$H:\ \hat{H}+\Delta-t_\alpha S < H < \hat{H}+\Delta+t_\alpha S\ ,$$

де $\hat{H}$ - оцінка показника Херста у реалізації довжини *N*; $\Delta$ - величина систематичного зсуву оцінки; $S$ - середньоквадратичне відхилення оцінки; $t_\alpha$ - квантиль нормального розподілу для рівня значимості α [15].

## IV. Класифікація методом Random Forest

Одним з найбільш простих і ефективних методів для вирішення задач класифікації, що виникають в різних областях, вважається метод дерев рішень. Він полягає в тому, щоб здійснювати процес розщеплення вихідних даних на групи, поки не будуть отримані однорідні їх підмножини. Сукупність правил, які дають таке розбиття, дозволяє потім робити висновок для нових даних.

Дерева рішень є нестійкими моделями: невелика зміна в навчальній вибірці може привезти до істотних змін в структурі дерева. У цьому випадку доцільно використовувати ансамблі моделей. Одним з найвідоміших видів ансамблів є метод Random Forest [16]. Random Forest - технологія класифікації, де усі елементарні класифікатори є вирішальними деревами, які навчаються і працюють незалежно один від одного. Основна ідея полягає в тому, що вони не виправляють помилки один одного, а компенсують голосуванням або усередненням.

## V. Опис експерименту та результати

Класифікація проводилася для мультифрактальних часових рядів, які отримано генерацією стохастичних біноміальних каскадів на основі симетричного бета-розподілу. В цьому випадку, побудова каскаду дозволяє отримати мультифрактальні часові ряди з показником Херста в діапазоні $H\in(0{,}5;1)$ і ряди можна розбити на класи за значеннями показника Херста.

Кожен клас представляє собою набір згенерованих часових рядів з показником Херста, який лежить в заданому діапазоні значень. Для генерації каскадів всередині кожного класу значення *H* вибиралися за допомогою рівномірного закону розподілу. При формуванні класів значення діапазонів показника Херста

змінювалися в інтервалі від 0.5 до 1 з кроком 0.05. Таким чином навчання моделей проходило на 11 класах. Для проведення класифікації був обраний метод Random Forest з ансамблями регресійних дерев.

У роботі для визначення приналежності часового ряду до одного з 11 класів були використані три різні підходи. У першому підході класифікація проводилася безпосередньо за значеннями часового ряду методом Random Forest, де об'єктом був каскадний часової ряд, а ознаками - значення цього ряду. При використанні регресійних дерев рішень результатом роботи моделі була ймовірність відповідності мультифрактального каскаду заданому класу.

Другий підхід до класифікації мультифрактальних каскадів також базувався на машинному навчанні, але в цьому випадку для класифікації були використані статистичні та мультифрактальні характеристики, отримані за значеннями часового ряду. В цьому випадку об'єктами були часові каскадні ряди, а ознаками - оцінки характеристик, розраховані для кожного каскаду.

Третій спосіб класифікації заснований на прямому оцінюванні показника Херста за часовим рядом та визначенні довірчого інтервалу. Вибір класу визначався як ймовірність знаходження істинного значення показника Херста в рамках довірчого інтервалу за співвідношенням ширини класу.

В роботі для побудови моделей дерев рішень використовувалася мова Python з бібліотеками, що реалізують методи машинного навчання. Навчання моделей для кожного класу проводилося на 500-х прикладах часових рядів навчання і перевірялося на 50 тестових. У разі застосування довірчих інтервалів класифікація також проводилася для тієї ж тестової вибірки. Класифікація проводилася для часових рядів з різною довжиною, проте для порівняння результатів основна увага була приділена рядам розміром 512 і 4096 значень.

В таблиці представлено середні ймовірності визначення класу в залежності від довжини мультифрактальних рядів і методу класифікації.

ТАБЛИЦЯ I. СЕРЕДНЯ ЙМОВІРНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ

| **Метод класифікації** | **Ймовірність** | | **Час навчання** | |
|---|---|---|---|---|
| | 512 | 4096 | 512 | 4096 |
| За значеннями часового ряду | 0,74 | 0,82 | 15 хвилин | 120 хвилин |
| За статистичними і мультифрактальними характеристиками | 0,72 | 0,77 | 1,2 хвилини | 1,8 хвилин |
| Оцінювання показника Херста | 0,18 | 0,25 | | |

Таким чином, отримані результати свідчать про велику перевагу методів машинного навчання перед традиційними методами оцінювання фрактальних характеристик при класифікації часових рядів за фрактальними властивостями. Однак для навчання необхідна достатня кількість часових рядів із заздалегідь відомими властивостями, що в багатьох задачах є проблематичним. Класифікація, яка проведена на основі навчання за значеннями часового ряду показала трохи більш високу точність, ніж на основі навчання за фрактальними і статистичними характеристиками. Однак необхідно відзначити, що в цьому випадку час навчання моделі нелінійно зростає при зростанні довжини часового ряду.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES


[1] Esling P., Agon C. «Time series data mining», in *ACM Computing Surveys* 46(1), (2012).

[2] Ben D. «Feature-based time-series analysis» [Online]. Aveilable: https://arxiv.org/abs/1709.08055, last accessed 2018/01/26.

[3] Bagnall A., Lines J., Bostrom A., Large J., Keogh E. "The great time series classification bake off: a review and experimental evaluation of recent algorithmic advances", in *Data Mining and Knowledge Discovery* 31 (3), 606-660, 2017.

[4] Garima R. "Review on time series databases and recent research trends in Time Series Mining", in *Proceedings of the 5th confluence the next generation information technology summit*, IEEE, 109–115. Noida, India, 2014.

[5] Bagnall A., Bostrom A., Large J., Lines J. "Simulated Data Experiments for Time Series Classification Part 1: Accuracy Comparison with Default Settings" [Onine]. Aveilable: https://arxiv.org/abs/1703.09480v1, last accessed 2018/01/26.

[6] Brambila F. "Fractal Analysis - Applications in Physics, Engineering and Technology" [Online]. Available: https://www.intechopen.com/books/fractal-analysis-applications-in-physics-engineering-and-technology, last accessed 2018/01/26.

[7] Banerjee A., Sanyal S., Guhathakurata T., Sengupta R., Ghosh D. "Categorization of stringed instruments with multifractal detrended fluctuation analysis" [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/1601.07709, last accessed 2018/01/26.

[8] Hippenstiel R., El-Kishky H., Radev P. "On time-series analysis and signal classification - part I: fractal dimensions", *38th Asilomar Conference on Signals Systems and Computers*, 2121-2125, 2004.

[9] Korus L., Piórek M. "Compound method of time series classification", in *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, 20(4), 545–560, 2015.

[10] Andre L., Coelho V., Clodoaldo A., Lima M. "Assessing fractal dimension methods as feature extractors for EMG signal classification", in *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 36, 81–98, 2014.

[11] Symeonidis S. "Sentiment analysis via fractal dimension", in *Proceedings of the 6th Symposium on Future Directions in Information Access*, 48-50, 2015.

[12] S. P. Arjunan, D. K. Kumar, G. R. Naik "A machine learning based method for classification of fractal features of forearm sEMG using Twin Support vector machines", in *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 4821-4824, 2010.

[13] R.H.Riedi. Multifractal processes, in Doukhan P., Oppenheim G., Taqqu M.S. (Eds.), Long Range Dependence "Theory and Applications", in *Birkhuser*, 625–715, 2002.

[14] J. Kantelhardt, S. Zschiegner, E. Koscielny-Bunde, S. Havlin, A. Bunde and H. Stanley, "Multifractal detrended fluctuation analysis of nonstationary time series", in *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 316, no. 1-4, pp. 87-114, 2002

[15] L. Kirichenko, T. Radivilova and V. Bulakh "Generalized approach to Hurst exponent estimating by time series", in *Informatics Control Measurement in Economy and Environment Protection*, vol. 8, no. 1, pp. 28-31, 2018.

[16] Breiman L. "Random Forests", in *Machine Learning*, 45 (1), 5–32, 2001.

# Прогнозування Часових Рядів з Використанням Регуляризованої Суміші Експертів

Віктор Синєглазов
кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
svm@nau.edu.ua

Олена Чумаченко
кафедра технічної кібернетики
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
lobach21@mail.ru

Владислав Горбатюк
кафедра технічної кібернетики
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
vladislav.horbatiuk@gmail.com

# Time Series Forecasting Using Regularized Mixture of Experts

Victor Sineglazov
Department of aviation computer integrated technologies
Institute of information and diagnostic systems
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
svm@nau.edu.ua

Olena Chumachenko
Department of Technical Cybernetics
NTUU «Igor Sikorsky KPI»
Kyiv, Ukraine
lobach21@mail.ru

Vladyslav Gorbatiuk
Department of Technical Cybernetics
NTUU «Igor Sikorsky KPI»
Kyiv, Ukraine
vladislav.horbatiuk@gmail.com

***Анотація*—Запропоновано новий метод прогнозування часових рядів, що базується на використанні регуляризованої суміші експертів, де у якості експертів застосовуються нейронні мережі на основі Sigmoid Piecewise нейрону. Проаналізовано теоретичні переваги нового методу за умови малої кількості спостережень та нестаціонарності часового ряду, що прогнозується.**

***Abstract*—A new time series forecasting method is proposed, which uses regularized mixture of experts, where neural networks based on Sigmoid Piecewise neuron are used as experts. The theoretical advantages of the approach when the observations number is low and the forecasted process is nonstationary are analyzed.**

***Ключові слова—прогнозування часових рядів; нейронні мережі; суміш експертів; нестаціонарні часові ряди***

***Keywords—time series forecasting; neural networks; mixture of experts; nonstationary time series***

## I. Вступ

Задачу прогнозування по праву можна вважати однією з найбільш важливих і цікавих проблем. Вона також є однією з найскладніших задач, так як при її вирішенні доводиться стикатися з такими труднощами:

- неможливо врахувати всі чинники, що впливають на прогнозований процес; більш того, їх вплив може змінюватися з плином часу - фактор, який не був важливий сьогодні, може грати критичну роль завтра,
- зазвичай існує нескінченне число можливих моделей, які добре відповідають наявним даним -

необхідно вирішити, яку модель або множину моделей використовувати,

- часто буває важко (якщо не неможливо) знайти оптимальну складність моделі,
- більшість часових рядів, що зустрічаються на практиці, є нестаціонарними [1] – тобто сумісний розподіл ймовірностей «сусідніх» значень процесу не є постійним у часі; при цьому, переважна кількість теоретично отриманих результатів спираються саме на стаціонарність випадкового процесу.

У роботі запропоновано новий метод побудови прогнозуючої моделі, що використовує підхід суміші експертів [2] з додатковою регуляризацією – таким чином підвищуючи стійкість фінальної моделі до проблеми перенавчання [3] при надто малій кількості спостережень у навчальній вибірці. Крім того, у якості експертів та стробуючої моделі пропонується використання нейронних мереж на основі Sigmoid Piecewise нейрону [4], який показав кращі апроксимуючі властивості ніж ReLU нейрон [5] на більшості вибірок.

## II. Постановка задачі

Нехай задано $n$ значень часового ряду: $\vec{x} = [x_1, \ldots, x_n]$. Тоді задача прогнозування, що розглядається, полягає у побудові деякої моделі прогнозованого об'єкту, яка б залежала від $k$ послідовних значень часового ряду $[x_i, \ldots, x_{i+k}]$ та повертала значення прогнозу для значення $x_{i+k+t}$: $F(x_i, \ldots, x_{i+k}) = \hat{x}_{i+k+t}$.

## III. Огляд існуючих методів

Якщо випадковий процес, що згенерував відповідний часовий ряд, є стаціонарним, то сумісний розподіл ймовірностей $p(x_{i+k+t} | x_i, ..., x_{i+k})$ не залежить від значення $i$, тобто не змінюється з плином часу. Отже, у цьому випадку доцільно шукати єдину модель $F(x_i, \ldots, x_{i+k})$. Для цього можна використовувати відомі і добре досліджені методи – лінійну регресію [6], регресію на основі методу опорних векторів [7], нейронні мережі [8-9] та інші. Однак, переважна кількість випадкових процесів, що зустрічаються на практиці, не є стаціонарними – а отже потенційно можуть мати різний сумісний розподіл для кожного значення $i$. На жаль, шукати окрему модель для кожного $i$ практично неможливо, і крім того залишається питання – яку модель обирати для нових значень $i$.

Певним компромісом між пошуком єдиної моделі та пошуком окремої моделі для кожного прогнозованого значення є пошук деякої відносно невеликої фіксованої кількості моделей, які б були деяким усередненням усіх різноманітних моделей для кожного значення прогнозу. Таким чином, якщо прогнозований процес дійсно нестаціонарний, але при цьому більшість розподілів $p(x_{i+k+t} | x_i, ..., x_{i+k})$ є «близькими» до деяких «еталонних» розподілів – то, за умови правильно обраної кількості моделей, отримані моделі будуть певним чином відповідати «еталонним» розподілам, що дозволить отримати більш точну модель прогнозованного процесу. Крім того, у процесі налаштування відповідних моделей можна певним чином оцінити зв'язок кожної моделі з відповідним розподілом вхідних значень $p(x_i, ..., x_{i+k})$ - і в результаті отримати механізм визначення вагових коефіцієнтів моделей при прогнозуванні нових значень.

Саме цей «компромісний» підхід використовується у так званому методі «суміші експертів»: наперед задається кількість експертів $K$, а також моделі відповідних експертів – зазвичай використовуються нейронні мережі прямого розповсюдження. Крім того, задається «стробуюча» (gating англ.) модель – функція з вектором параметрів, яка для вектору вхідних спостережень $[x_i, ..., x_{i+k}]$ повертає вектор $\vec{p} \in R^K$, $p_i \geq 0$, $\sum p_i = 1$, що задає ваги «приналежності» відповідного вхідного вектору до кожного експерту – чим більше значення $p_i$, тим більш «важливим» вважається прогноз експерту під номером $i$ у порівнянні з іншими експертами. Після цього виконується одночасне налаштування параметрів експертів та стробуючої моделі з використанням наступної функції помилки:

$$E(\vec{x}, \vec{w}_1^{(e)}, ..., \vec{w}_K^{(e)}, \vec{w}^{(g)}) =$$

$$= \sum_{<\vec{x}^{(i)}, x^{(o)}> \in X(\vec{x})} -log \sum_{j=1}^{K} g(\vec{x}^{(i)}, j; \vec{w}^{(g)}) e^{-\frac{1}{2}\left(f_j(\vec{x}^{(i)}; \vec{w}_j^{(e)}) - x^{(o)}\right)^2},$$

де нотація $g(\vec{x}^{(i)}, j; \vec{w}^{(g)})$ позначає елемент з індексом $j$ у вихідному векторі стробуючої моделі для вхідного вектору $\vec{x}^{(i)}$ та вектору параметрів $\vec{w}^{(o)}$; $f_j(\vec{x}^{(i)}; \vec{w}_j^{(e)})$ - вихід експерту під індексом $j$ для вхідного вектору $\vec{x}^{(i)}$ та вектору параметрів $\vec{w}_j^{(e)}$; $X(\vec{x})$ - множина усіх можливих відмінних пар вигляду $<\vec{x}^{(i)} = [x_i, ..., x_{i+k}]^T, x^{(o)} = x_{i+k+t}>$, тобто відмінних пар <вхідний вектор, відповідне спостереження, прогноз якого необхідно отримати>. Фактично, дана функція помилки дозволяє налаштовувати параметри моделей експертів та стробуючої моделі таким чином, щоб кожен експерт «відповідав» за певну підмножину усіх вхідних векторів – таким чином підвищується локальність експертів.

Одним із недоліків методу суміші експертів є помітне збільшення у кількості параметрів, які потрібно налаштовувати – а отже при недостатньо великій кількості спостережень може виникнути проблема перенавчання.

## IV. Огляд методу

Для зменшення впливу проблеми перенавчання при використанні методу суміші експертів на невеликій кількості спостережень пропонується використання регуляризації згідно підходу, описаного в роботі [10]. У такому випадку, модифікований метод суміші експертів буде виглядати наступним чином:

1. Навчання єдиної глобальної моделі $f^{(g)}$ використовуючи звичайну середньоквадратичну функцію

помилки. У результаті цього кроку буде отримано вектор параметрів глобальної моделі $\vec{w}^{(G)}$.

2. Ініціалізуються $K$ моделей експертів, шляхом «копіювання» глобальної моделі $f^{(g)}$ - це означає, що у даній модифікації усі експерти повинні мати однакові математичні моделі.

3. Ініціалізується стробуюча модель $g$.

4. Виконується одночасне налаштування параметрів моделей експертів та стробуючої моделі з використанням наступної функції помилки:

$$RE(\vec{x},\vec{w}_1^{(e)},...,\vec{w}_K^{(e)},\vec{w}^{(g)}) = \\ = E(\vec{x},\vec{w}_1^{(e)},...,\vec{w}_K^{(e)},\vec{w}^{(g)}) + \gamma * \sum_{j=1}^{K} \sum_{w_i \in \vec{w}_j^{(g)}} \left(w_i - w_i^{(G)}\right)^2,$$

$$\gamma \in R^+.$$

Друга складова цієї функції помилки «намагається» залишити параметри кожного локального експерту близькими до параметрів глобальної моделі $f^{(g)}$ - таким чином, навіть при відносно малій кількості наявних спостережень локальні експерти не зможуть «перенавчитися». Відносний вплив другої складової контролюється гіперпараметром $\gamma$.

5. Після зупинки стадії налаштування параметрів та отримання фінальної прогнозуючої моделі, прогнозування для нових вхідних векторів виконується таким чином:

$$f^{(F)}(\vec{x};\vec{w}_1^{(e)},...,\vec{w}_K^{(e)},\vec{w}^{(g)}) = \\ = \sum_{j=1}^{K} g(\vec{x},j;\vec{w}^{(g)}) f_j(\vec{x};\vec{w}_j^{(e)}),$$

тобто виконується усереднення виходів кожного локального експерту $f_j$ з вагами, що задаються стробуючою моделлю $g$.

Також, у якості локальних експертів та стробуючої моделі пропонується використання нейронних мереж прямого розповсюдження з Sigmoid Piecewise нейронами у прихованих шарах. Цей нейрон є певним узагальненням нейронів ReLU, PReLU [11], maxout [12] та має наступну математичну модель:

$$SP(\vec{x};\vec{w}^+,\vec{w}^-,\vec{h};K) = \frac{\vec{w}^+ \cdot \vec{x}}{1+e^{-K\vec{h}\cdot\vec{x}}} + \frac{\vec{w}^- \cdot \vec{x}}{1+e^{K\vec{h}\cdot\vec{x}}}.$$

Дана модель є апроксимацією кусково-лінійної функції, яка складається з роздільної гіперплощини $\vec{h}$, та 2 лінійних функцій: $\vec{w}^+ \cdot \vec{x}, \vec{h}\cdot\vec{x} \geq 0$ та $\vec{w}^- \cdot \vec{x}, \vec{h}\cdot\vec{x} < 0$. При цьому, усі параметри такої моделі можна налаштовувати незалежно – на відміну моделей нейронів ReLU, PReLU та maxout, де параметри роздільної гіперплощини функціонально залежать від векторів параметрів $\vec{w}^+, \vec{w}^-$. Саме ця незалежність параметрів і є основною перевагою нейрону Sigmoid Piecewise, оскільки це дозволяє в деяких випадках апроксимувати задану функцію використовуючи меншу кількість параметрів. Крім того, ефективність нейронних мереж на основі цього нейрону була перевірена на великій кількості тестових вибірок, і на більшості з них показали кращі результати, ніж мережі з нейронами ReLU та maxout.

Отже, запропонований метод має наступні теоретичні переваги по відношенню до класичного методу суміші експертів:

1. Спеціальна регуляризація дозволяє уникати проблеми перенавчання локальних експертів навіть при невеликому розмірі навчальної вибірки.

2. Використання нейронних мереж на основі Sigmoid Piecewise нейрону дозволяє досягати більш точної апроксимації використовуючи меншу кількість параметрів.

## V. Висновки

У цій роботі розглянуто використання методу суміші експертів для прогнозування нестаціонарних часових рядів, та запропоновано вдосконалення цього методу, яке підвищує стійкість методу до проблеми перенавчання при невеликій кількості наявних спостережень та покращує точність нейронних мереж, що використовуються, завдяки застосуванню нової моделі нейрону Sigmoid Piecewise.

## Література References


[1] Dahlhaus, R. "Fitting time series models to nonstationary processes." *The annals of Statistics* 25, no. 1 (1997): 1-37.

[2] Jacobs, R A., Michael I. J., Steven J. N., Geoffrey E. H. "Adaptive mixtures of local experts." *Neural computation* 3, no. 1 (1991): 79-87.

[3] Hawkins, D. M. "The problem of overfitting." *Journal of chemical information and computer sciences* 44.1 (2004): 1-12.

[4] Чумаченко, О. І., Горбатюк, В. С. "Нова модель штучного нейрону для побудови нейронних мереж у задачі апроксимації" *Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання»*, (2018): 296-299.

[5] Krizhevsky, A., Sutskever, I., Geoffrey E. H. "Imagenet classification with deep convolutional neural networks." *Advances in neural information processing systems*, (2012): 1097-1105.

[6] Neter, J., Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Wasserman, W. (1996). *Applied linear statistical models* (Vol. 4, p. 318). Chicago: Irwin.

[7] Drucker, H., Burges, J. C., Kaufman, L., Smola, A. J., Vapnik, V. "Support vector regression machines." *Advances in neural information processing systems*, (1997): 155-161.

[8] Zhang, G. P., Min, Q. "Neural network forecasting for seasonal and trend time series." *European journal of operational research* 160, no. 2 (2005): 501-514.

[9] Connor, J. T., Martin, R. D., Atlas, L. E. "Recurrent neural networks and robust time series prediction." *IEEE transactions on neural networks* 5, no. 2 (1994): 240-254.

[10] Sineglazov, V., Chumachenko, O., Gorbatiuk, V. "A method for building a forecasting model with dynamic weights." *Восточно-Европейский журнал передовых технологий* 2 (4) (2014): 4-8.

[11] He, K, Zhang, X., Ren, S., Sun, J. "Delving deep into rectifiers: Surpassing human-level performance on imagenet classification." *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, (2015): 1026-1034.

[12] Goodfellow, I. J., Warde-Farley, D., Mirza, M., Courville, A., Bengio, Y. "Maxout networks." *arXiv preprint arXiv:1302.4389* (2013).

# Порівняльне Дослідження Класичної та Нечіткої Обмеженої Машини Больцмана

Віктор Михайлович Синєглазов
Доктор технічних наук. Професор
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
svm@nau.edu.ua

Олена Іллівна Чумаченко
Кандидат технічних наук. Доцент
НТУУ «Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського»
Київ, Україна

Олександр Миколайович Марусик
Бакалавр
НТУУ «Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
redcyb@gmail.com

# Comparative Study of the Classic and Fuzzy Restricted Boltzmann Machine

Victor Sineglazov
Professor, Doctor of Engineering Science
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
svm@nau.edu.ua

Olena Chumachenko
Candidate of Science (Engineering). Assosiate Professor
NTUU “Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine

Oleksandr Marusyk
Bachelor
NTUU “Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine
redcyb@gmail.com

***Анотація*—Останнім часом бурхливого розвитку та вжитку набули глибокі нейронні мережі для розв’язання широкого спектру задач, а з ними й різноманітні техніки їх навчання. Обмежена машина Больцмана (ОМБ) є одним із потужних інструментів у навчанні глибоких нейронних мереж [2][3]. Дана робота являє собою порівняльне дослідження двох варіантів ОМБ. Розглянуто класичну (чітку) ОМБ та нечітку (fuzzy) НОМБ її модифікацію, запропоновану C. L. Philip Chen [5]. Проведено оцінки ефективності їх навчання та роботи із застосуванням тренувальних даних із еталонного датасета MNIST [6] та програмного продукту, створеного на мові програмування Python. Наведено порівняльні таблиці, графіки та рисунки, та зроблені висновки.**

***Abstract*—For the last period of time, deep artificial neural networks are rapidly developed and used for solution of wide range of problems and consequently a variety of their training techniques. Restricted Boltzmann Machine (RBM) is one of the powerful tools for fast learning of deep neural networks [2][3]. This work is a comparative study of two variants of RBM. The classical (crisp) RBM and fuzzy RBM (FRBM) modifications proposed by C. L. Philip Chen [5] are considered here. The evaluation of the effectiveness of their training and work with the use of training data from the reference dataset MNIST [6] and a software product created in the programming language Python. Comparative tables, graphs and drawings are presented with conclusions.**

***Ключові слова—штучна нейронна мережа; Обмежена машина Больцмана; машинне навчання; нечіткі числа; нечіткі множини.***

***Keywords—artifical neural networks; Restricted Boltzmann Machine; machine learning; fuzzy numbers; fuzzy sets.***

## I. Вступ

Стохастична штучна нейронна мережа Обмежена Машина Больцмана була винайдена Полем Смоленськи [1] у 1986 році та глибоко досліджена і розвинена Джеффрі Хінтоном та іншими з 2001 року [2][3], після чого набула популярності й широкого вжитку при розв'язанні задач глибокого навчання штучних багатошарових нейронних мереж.

Структура ОМБ наведена на рис. 1. ОМБ являє генеративну стохастичну нейронну мережу у вигляді дводольного графа, що складається із видимого та прихованого шарів нейронів.

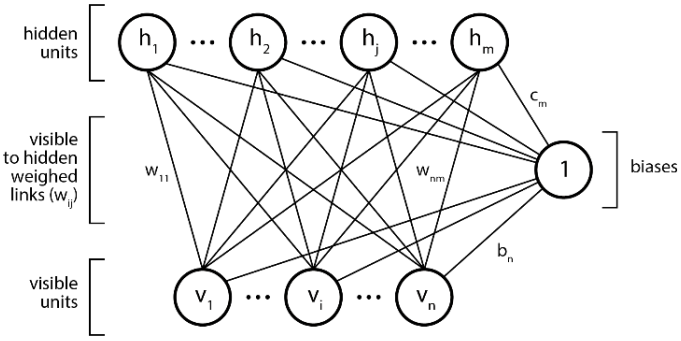



Рис. 1. Структура Обмеженої машини Больцмана.

Нейрони кожного шару є стохастичними і пов'язані зваженими зв'язками із усіма нейронами іншого шару. Зв'язки між нейронами одного шару відсутні і неприпустимі. Вхідний шар «відображає» сигнал, що подається або відтворюється мережею, а прихований шар є детектором прихованих або латентних змінних.

Стан ОМБ описується «енергією» мережі (1), що виражається через стани кожного нейрону та зв'язків між ними, включно із зміщеннями [3].

$$E(v,h,\theta) = -\sum_i b_i v_i - \sum_j c_j h_j - \sum_i \sum_j v_i w_{ij} h_j \quad (1)$$

де $v_i, h_j$ – бінарні стани видимих ($i$) та прихованих нейронів ($j$), $b_i, c_j$ – їх відповідні зміщення, $w_{ij}$ – ваги зв'язків між ними, або у векторній формі:

$$E(v,h,\theta) = -b^T v - c^T h - h^T W v \quad (2)$$

ОМБ виражає ймовірнісний розподіл між усіма станами видимих та прихованих нейронів (2):

$$P(v,h) = \frac{1}{Z} e^{-E(v,h)} \quad (3)$$

$$Z = \sum_{v,h} e^{-E(v,h)} \quad (4)$$

де $v, h$ – вектори станів видимих та прихованих нейронів, $Z$ – нормалізатор, який є сумою над усіма можливими парами видимих та прихованих векторів.

Тоді ймовірність із якою мережа відтворює видимий вектор $v$ є сумою по усіх можливих прихованих векторах.

$$P(v) = \frac{1}{Z} \sum_h e^{-E(v,h)} \quad (5)$$

Отже із виразів (2-4) очевидно, що для найбільш високого значення лівої частини, енергія системи $E$ повинна бути мініальною. Таким чином, головна задача навчання ОМБ є максимізація $P(v)$ через мінімізацію $E(v,h)$.

Обчислення $Z$, а отже і $P(v,h)$ та $P(v)$ дуже ресурсоємне та навіть не можливе вже на відносно невеликих обсягах даних. Тому прямо $P(v)$ не обчислюють, а застосовують різні техніки та алгоритми наближеного обчислення цих ймовірностей.

Найбільшого розповсюдження зазнав алгоритм «незалежної розходимості» ("Contrastive Divergence", CD-k), винайдений Дж. Хінтоном та застосований ним для знаходження параметрів $(w, b, c)$ ОМБ [3]. Він базується на наступному. Найкраща ймовірність $P(v)$ для зразка даних може бути отримана оптимізацією параметрів $w, b$ та $c$ таким чином, щоб мінімізувати енергію системи для цього зразка та перерозподілити енергію для інших зразків.

Цього можливо досягти через отримання похідної логарифма ймовірності:

$$\frac{\partial log P(v)}{\partial w_{ij}} = \langle v_i h_j \rangle_{data} - \langle v_i h_j \rangle_{model}$$
$$\frac{\partial log P(v)}{\partial b_i} = \langle v_i \rangle_{data} - \langle v_i \rangle_{model} \quad (6)$$
$$\frac{\partial log P(v)}{\partial c_j} = \langle h_j \rangle_{data} - \langle h_j \rangle_{model}$$

де $\langle * \rangle$ – математичне очікування, $\langle v_i h_j \rangle_{data}$ – стан нейронів при подачі на ОМБ вхідного зразка даних, $\langle v_i h_j \rangle_{model}$ – стан нейронів після відтворення сигналу шляхом зворотнього розповсюдження від прихованого шару до видимого.

Таким чином, отримується простий спосіб оновлення параметрів мережі.

$$\Delta w_{ij} = \lambda \left( \langle v_i h_j \rangle_{data} - \langle v_i h_j \rangle_{model} \right)$$
$$\Delta b_i = \lambda (\langle v_i \rangle_{data} - \langle v_i \rangle_{model}) \quad (7)$$
$$\Delta c_j = \lambda \left( \langle h_j \rangle_{data} - \langle h_j \rangle_{model} \right)$$

Алгоритм CD-k реалізує цей спосіб навчання ОМБ, застосовуючи модель Марковського ланцюга та Гіббс-семплювання до ОМБ. Схематично алгоритм зображено на рис. 2.

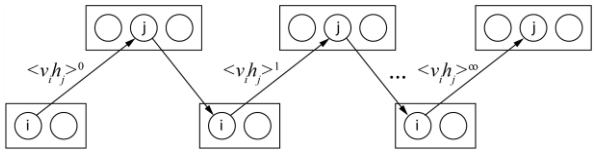



Рис. 2. Алгоритм CD-k при $k \to \infty$

Алгоритм базується на ітеративному отриманні значень умовної ймовірності та отримання проміжних станів нейронів за домопомогою Гіббс-семплювання.

$$p(h_j = 1|v) = \sigma(b_j + \sum_i v_i w_{ij}) \quad (8)$$

$$p(v_i = 1|h) = \sigma(c_i + \sum_j h_j w_{ij}) \quad (9)$$

де $\sigma(x) = \frac{1}{1+\exp(-x)}$ – логістичная сигмоїдна функція.

ТАБЛИЦЯ I. АЛГОРИТМ CD-1 ОНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОМБ

**Input:** $x^{(0)}$ is a training sample from the training dataset;
$\lambda$ is the learning rate for updating the parameters;
$W$ is visible-hidden connection weights matrix;
$b$ is the bias vector for input units;
$c$ is the bias vectors for hidden units;
**Output:** The updated parameters in the RBM:
$W, b, c$.
**for** all hidden units $j$ **do**
compute $P\left(h_j^{(0)} = 1 \middle| x^{(0)}\right)$;
sample $h_j^{(0)} \in \{0,1\}$ from $P\left(h_j^{(0)} = 1 \middle| x^{(0)}\right)$;
**end for**
**for** all visible units $i$ **do**
compute $P\left(v_i^{(1)} = 1 \middle| h^{(0)}\right)$;
sample $v_i^{(1)} \in \{0,1\}$ from $P\left(v_i^{(1)} = 1 \middle| h^{(0)}\right)$;
**end for**
**for** all hidden units $j$ **do**
compute $P\left(h_j^{(1)} = 1 \middle| v^{(1)}\right)$;
sample $h_j^{(1)} \in \{0,1\}$ from $P\left(h_j^{(1)} = 1 \middle| v^{(1)}\right)$;
**end for**
**compute and apply updates**

$$W = W + \lambda\left(x^{(0)} \cdot P\left(h^{(0)} = 1 \middle| x^{(0)}\right) - v^{(1)} \cdot P\left(h^{(1)} = 1 \middle| v^{(1)}\right)\right);$$

$$b = b + \lambda\left(x^{(0)} - v^{(1)}\right);$$

$$c = c + \lambda\left(P\left(h^{(0)} = 1 \middle| x^{(0)}\right) - P\left(h^{(1)} = 1 \middle| v^{(1)}\right)\right);$$

**return** $W, b, c$.

Дж. Хінтон довів, що алгоритм CD-k дає значущий результат вже при значенні k=1 та при застосуванні великої кількості ітерацій. Алгоритм CD-1 (тобто для $k = 1$) навчання ОМБ у псевдокоді наведено нижче.

Таким чином, за допомогою ітеративного застосування цього алгоритму здобуваються параметри ОМБ, що мінімізують вільну енергію системи, та максимізують ймовірність відтворення зразків даних із заданою точністю.

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Хоча теоретично ОМБ гарантовано досягає оптимуму цільової функції (мінімізація енергії системи, або максимізація ймовірності відтворення даних), затрати часу та машинних обчислювальних ресурсів можуть бути дуже значними та навіть неприйнятними. Також ОМБ є відносно чутливою до зашумленості, неточності та викидів у даних [5]. C. L. Philip Chen із співавторами [5] запропонував звернутись до теорії нечітких множин, «м'яких обчислень» та нечіткого моделювання.

Відомо, що ймовірнісні та нечіткі обчислення є ефективними в умовах невизначеності та зашумленості даних [9][10]. Окремо нечіткі обчислення не призводять до кращих результатів, порівняно із ймовірнісним підходом. Проте їх поєднання у одній моделі гіпотетично може привести до синергійного ефекту, зважаючи на те, що нечіткі системи вважаються робастними, а класична ОМБ здатна уникати локальних оптимумів на користь досягнення глобального оптимуму завдяки своїй ймовірнісній природі [3].

Таким чином, постає задача модифікації класичної ОМБ із використанням нечітких чисел у якості параметрів мережі з метою покращення її характеристик, а також проведення порівняльних експериментів та їх аналізу відносно доцільності такої модифікації.

## III. МОДИФІКАЦІЯ ОМБ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЧІТКИХ ЧИСЕЛ

Для модифікації мережі можливо застосовати симетричні трикутні та трапецоїдні нечіткі числа, оскільки вони дозволяють ввести нечіткість у модель, а також є зручними для демонстрації й програмної реалізації та для принципової перевірки гіпотези [5].

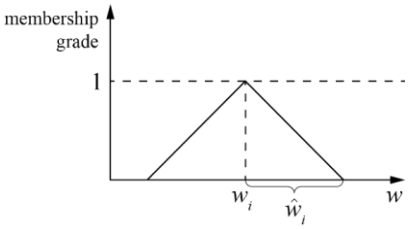



Рис. 3. Симетричне трикутне нечітке число.

Як було зазначено вище, нечіткість у модифікованій ОМБ (Нечітка ОМБ, НОМБ) була введена заміною чітких ваг $w, b, c$ нечіткими $\bar{w}, \bar{b}, \bar{c}$.

Функція належності, що визначає кожну вагу має вигляд:

$$\bar{W}_i(w) = \max\left\{1 - \frac{|w - w_i|}{\hat{w}_i}, 0\right\} \quad (10)$$

де $w_i$ – центр нечіткого числа, $\hat{w}_i$ – «розмах» нечіткого числа (див. рис X), $\bar{W}_i$ – нечітка множина, та $\bar{W}_i(w)$ – функція приналежності, що відображає степінь приналежності $w$ до $\bar{W}_i$.

Тоді НОМБ описується нечіткою функцією енергії:

$$\bar{E}(v,h,\bar{\theta}) = -\bar{b}^T v - \bar{c}^T h - h^T \bar{W} v \quad (11)$$

де $\bar{E}$ – нечітка (фазифікована) функція енергії, $\bar{\theta} = \{\bar{b}, \bar{c}, \bar{W}\}$ – нечіткі параметри мережі.

Нечіткі умовні ймовірності приймають вигляд:

$$\bar{P}(h_j = 1|v) = \sigma\left(\bar{b}_j + \bar{W}_j v\right) \quad (12)$$

$$\bar{P}(v_i = 1|h) = \sigma(\bar{c}_i + \bar{W}_i^T h) \quad (13)$$

Оскільки усі нечіткі числа у створеній моделі НОМБ є симетричними трикутними, а їх дефазифікація досить проста (x), то модифікований алгоритм тренування НОМБ fCD-1 також не дуже ускладнюється порівняно із оригінальним (див. табл. II), оскільки достатньо знати праву $P^R$ та ліву $P^L$ межу такого числа, щоб відтворити його центр, та дефазифікувати [5]:

$$P\left(h_j = 1\middle|v\right) = \frac{P^L\left(h_j = 1\middle|v\right) + P^R\left(h_j = 1\middle|v\right)}{2} \quad (14)$$

Відповідним чином відбувається дефазифікації сигналу видимого та прихованого шарів, відтворених у НОМБ:

$$v_i = \frac{v_i^L + v_i^R}{2} \quad (15)$$

$$h_j = \frac{h_j^L + h_j^R}{2} \quad (16)$$

Оновлення параметрів відповідно відбувається наступним чином:

$$\begin{aligned}
\Delta w_{ij}^L &= \lambda\left(\langle v_i h_j^L\rangle_{data} - \langle v_i^L h_j^L\rangle_{model}\right)\\
\Delta w_{ij}^R &= \lambda\left(\langle v_i h_j^R\rangle_{data} - \langle v_i^R h_j^R\rangle_{model}\right)\\
\Delta b_i^L &= \lambda(\langle v_i\rangle_{data} - \langle v_i^L\rangle_{model})\\
\Delta b_i^R &= \lambda(\langle v_i\rangle_{data} - \langle v_i^R\rangle_{model})\\
\Delta c_j^L &= \lambda\left(\langle h_j^L\rangle_{data} - \langle h_j^L\rangle_{model}\right)\\
\Delta c_j^R &= \lambda\left(\langle h_j^R\rangle_{data} - \langle h_j^R\rangle_{model}\right)
\end{aligned} \quad (17)$$

ТАБЛИЦЯ II. АЛГОРИТМ FCD-1 ОНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НОМБ

**Input:** $x^{(0)}$ is a training sample from the training dataset;
$\lambda$ is the learning rate for updating the parameters;
$W^L, W^R$ are visible-hidden connection weights matrix;
$b^L, b^R$ are the bias vectors for input units;
$c^L, c^R$ are the bias vectors for hidden units;
**Output:**
The updated parameters in the RBM:
$W^L, W^R, b^L, b^R, c^L, c^R$.
**for** all hidden units $j$ **do**
compute $P^L\left(h_j^{L(0)} = 1\middle|x^{(0)}\right)$;
compute $P^R\left(h_j^{R(0)} = 1\middle|x^{(0)}\right)$;
sample $h_j^{L(0)} \in \{0,1\}$ from $P^L\left(h_j^{L(0)} = 1\middle|x^{(0)}\right)$;
sample $h_j^{R(0)} \in \{0,1\}$ from $P^R\left(h_j^{R(0)} = 1\middle|x^{(0)}\right)$;
**end for**
**for** all visible units $i$ **do**
compute $P^L\left(v_i^{L(1)} = 1\middle|h^{L(0)}\right)$;
compute $P^R\left(v_i^{R(1)} = 1\middle|h^{R(0)}\right)$;
sample $v_i^{L(1)} \in \{0,1\}$ from $P^L\left(v_i^{L(1)} = 1\middle|h^{L(0)}\right)$;
sample $v_i^{R(1)} \in \{0,1\}$ from $P^R\left(v_i^{R(1)} = 1\middle|h^{R(0)}\right)$;
**end for**
**for** all hidden units $j$ **do**
compute $P^L\left(h_j^{L(1)} = 1\middle|v^{L(1)}\right)$;
compute $P^R\left(h_j^{R(1)} = 1\middle|v^{R(1)}\right)$;
sample $h_j^{L(1)} \in \{0,1\}$ from $P^L\left(h_j^{L(1)} = 1\middle|v^{L(1)}\right)$;
sample $h_j^{R(1)} \in \{0,1\}$ from $P^R\left(h_j^{R(1)} = 1\middle|v^{R(1)}\right)$;
**end for**
**compute and apply updates**

$$W^L = W^L + \lambda\left(x^{(0)} \cdot P\left(h^{L(0)} = 1\middle|x^{(0)}\right) - v^{L(1)} \cdot P^L\left(h^{L(1)} = 1\middle|v^{L(1)}\right)\right);$$

$$W^R = W^R + \lambda\left(x^{(0)} \cdot P\left(h^{R(0)} = 1\middle|x^{(0)}\right) - v^{R(1)} \cdot P^R\left(h^{R(1)} = 1\middle|v^{R(1)}\right)\right);$$

$$b^L = b^L + \lambda\left(x^{(0)} - v^{L(1)}\right);$$
$$b^R = b^R + \lambda\left(x^{(0)} - v^{R(1)}\right);$$
$$c^L = c^L + \lambda\left(P^L\left(h^{L(0)} = 1\middle|x^{(0)}\right) - P^L\left(h^{L(1)} = 1\middle|v^{L(1)}\right)\right);$$
$$c^R = c^R + \lambda\left(P^R\left(h^{R(0)} = 1\middle|x^{(0)}\right) - P^R\left(h^{R(1)} = 1\middle|v^{R(1)}\right)\right);$$

**return** $W^L, W^R, b^L, b^R, c^L, c^R$.

## IV. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПОРІВНЯННЯ ОМБ ТА НОМБ

Обивдві моделі були програмно реалізовані на мові програмування Python 3.6 із використанням бібліотек numpy, scipy, scikit-learn.

Для відтворення максимально наближених умов експериментів, спочатку біли ініціалізовані параметри ОМБ $W, b, c$ випадковими значеннями із нормальним розподілом на інтервалі із центром $m = 0.0$ та стандартним відхиленням $std = 0.02$. Після ініціалізації параметрів вони були збережені у файл для подальшого використання із відтворенням ідентичного початкового стану.

При ініціалізації програми НОМБ були завантажені параметри $W, b, c$, раніше збережені із програми ОМБ. Після цього було створено дельта-параметри $W_d, b_d, c_d$ та ініціалізовано їх випадковими значеннями із нормальним розподілом на інтервалі із центром $m = 0.05$ та стандартним відхиленням $std = 0.05$ для фазифікації параметрів НОМБ: $W^L, W^R, b^L, b^R, c^L, c^R$:

$$\begin{aligned}
&W^L = W - W_d;\ W^R = W + W_d\\
&b^L = b - b_d;\ b^R = b + b_d\\
&c^L = c - c_d;\ c^R = c + c_d
\end{aligned} \quad (18)$$

Після цього обидві програми були послідовно запущені на тренування із усіма ідентичними гіперпараметрами, які наведено у таблиці III.

ТАБЛИЦЯ III. ГІПЕРПАРАМЕТРИ МОДЕЛЕЙ

| Гіперпараметр | Значення |
|---|---|
| Розмір видимого шару | 784 |
| Розмір прихованого шару | 64 |
| Датасет | MNIST |
| Розмір навчального датасета | 55000 |
| Розмір мінібатча | 10 |
| Крок оновлення параметрів (Learning rate) | 0.01 |

У якості набору даних для експериментів було використано еталонний датасет MNIST [6], широковідомий набір рукописних цифр, який дуже часто використовується для тренування та тестування різноманітних систем, призначених для обробки зображень. Фрагмент MNIST наведено на рис. 4.



Рис. 4. MNIST – один із еталонних широко розповсюджених наборів даних для тренування та перевірки нейронних мереж, що містить близько 70 000 рукописних цифр у різних варіаціях.

У результаті проведення порівняльних експериментів були отримані результати, що дозволяють стверджувати, що НОМБ дозволяє досягти кращих результатів навчання за ту ж кількість навчальних епох, порівняно із класичною ОМБ. Кількісні результати наведено у таб. IV. Із неї також очевидно, що навчання НОМБ займає майже удвічі більше часу, ніж ОМБ. І виникає природнє питання, а чи не краще просто тренувати ОМБ удвічі довше, замість застосування ускладненої нечіткої її модифікації. На рис. 5 наведено порівняльні графіки прогресу навчання обох моделей, із яких очевидно, що якщо навіть тренувати ОМБ удвічі довше ніж НОМБ, це не дасть результату, як НОМБ на такому ж часовому проміжку.

Наприклад, на 50-тій навчальній епосі для ОМБ витрачений час складає $t_{50\,\text{ОМБ}} = 906$ (с), а НОМБ за цей же час досягає лише 25-ї епохи. Проте порівнюючи результат навчання на цей час $Err_{50\,\text{ОМБ}} = 0.0567$ та $Err_{25\,\text{НОМБ}} = 0.0372$, можна зазначити, що НОМБ досягає значно кращих результатів, ніж ОМБ. Того ж висновку можна дійти оцінивши результати навчання ОМБ за 20 навчальних епох та НОМБ за 10 епох (0.0603 та 0.0419 відповідно).

ТАБЛИЦЯ IV. ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАВЧАННЯ ОМБ ТА НОМБ ІЗ 784 ВИДИМИМИ ТА 64 ПРИХОВАНИМИ НЕЙРОНАМИ

| Показник | Модель | |
|---|---|---|
| | *ОМБ* | *НОМБ* |
| Помилка після першої епохи | 0.1079 | **0.0925** |
| Помилка після 10-ї епохи | 0.0651 | **0.0419** |
| Помилка після 20-ї епохи | 0.0603 | **0.0382** |
| Помилка після 25-ї епохи | 0.0591 | **0.0372** |
| Помилка після 50-ї епохи | 0.0567 | **0.0350** |
| Витрати часу на 10 епох, с | **183** | 360 |
| Витрати часу на 50 епох, с | **906** | 1800 |

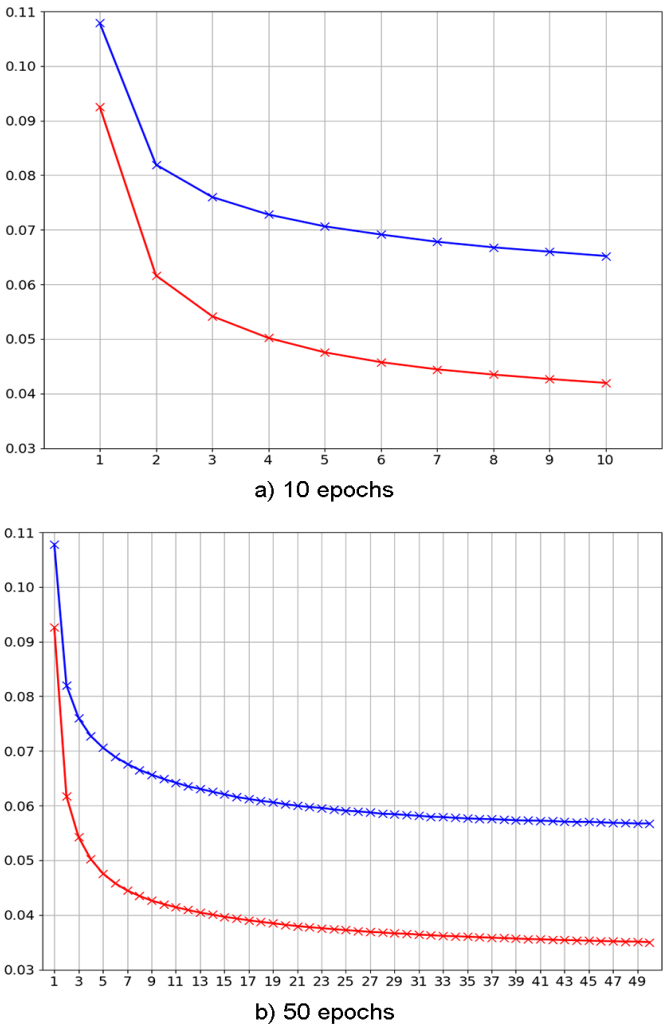



Рис. 5. Графіки помилки навчання ОМБ (блакитна крива) та нечіткої ОМБ (червона крива): a) 10 навчальних епох; b) 50 навчальних епох.

Також якість навчання обох моделей доречно якісно оцінити за допомогою візуалізації їх генеративної роботи. Для цього на вхід мережі було подано різні тестові зразки із датасета, після чого відтворений нею сигнал було відображено у вигляді графічного зображення.

На рис. 6 та 7 наведено приклади відтворення обома моделями двох показових зразків рукописних цифр «7» та «8» із тестового набору.

Вже після 10-ти навчальних епох можна сказати, що порівнюючи із оригінальним зразком цифри «7» (рис. 6a), рисунок відтворений НОМБ (рис. 6b) більше відповідає зразку, більш стабільний та має менше артефактів, ніж рисунок відтворений класичною ОМБ (рис. 6c). Після 50-ти епох результати відтворення контрольного зразка доволі схожі для обох моделей, але рисунок отриманий від ОМБ все ще має більше артефактів (рис. 6e), порівняно із НОМБ (рис. 6d).

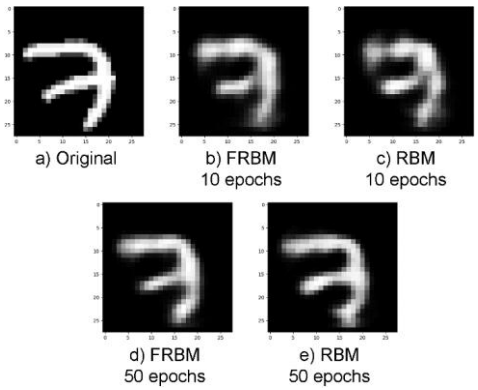



Рис. 6. Результати відтворення зразка цифри «7»: a) оригінальний зразок; b) відтворення нечіткою ОМБ після 10 епох; c) відтворення класичною ОМБ після 10 епох; d) відтворення нечіткою ОМБ після 50 епох; e) відтворення класичною ОМБ після 50 епох.

Також цікаво розглянути рис. 7, де наведено зразок цифри «8» із доволі значним шумовим артефактом та результати відтворення обома моделями. Висновки схожі, оскільки НОМБ відтворила зразок достатньо точно, у той же час рисунок, відтворений ОМБ має розриви на основній фігурі, та шумові артефакти після 10-ти епох.

Після 50-ти епох результати роботи обох моделей значно кращі, проте НОМБ знов показала більшу стійкість до шумів та відтворила зразок більш точно та рівномірно, без розривів. Схожий результат було зафіксовано на більшості контрольних зразків із датасета.

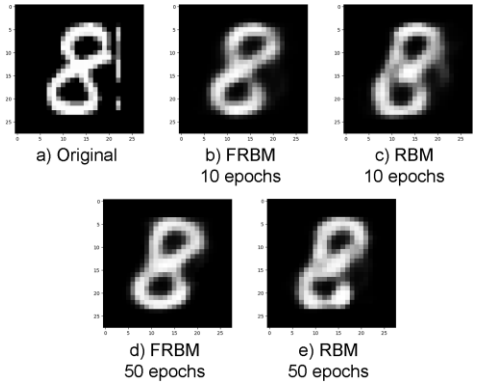



Рис. 7. Результати відтворення зразка «8» із артефактом після усього 10 навчальних епох: a) оригінальний зразок; b) відтворення нечіткою ОМБ після 10 епох; c) відтворення класичною ОМБ після 10 епох; d) відтворення нечіткою ОМБ після 50 епох; e) відтворення класичною ОМБ після 50 епох.

## V. Висновки

Під час виконання цієї роботи було проведено порівняльні експерименти над програмними моделями класичної та нечіткої ОМБ, під час яких було отримано кількісні та якісні результати, що свідчать про доцільність більш глибокого вивчення НОМБ.

Дж. Хінтон, Р. Салахутдінов [7], та інші дослідники також запропонували низку модифікацій ОМБ, серед яких:

- застосування функцій *ReLU* та *Softmax* замість логістичної сигмоїдної у якості функції активації нейронів мережі [8];
- використання неперервних (а не бінарних) даних, функцій семлювання, із модифікацією функції енергії ОМБ [3][11].

Зважаючи на них виникає зацікавленість у застосуванні нечітких модифікацій ОМБ у поєднанні, наприклад, із мережею, що оперує даними, що мають нормальний розподіл, та із функцією активації нейронів *ReLU*. Оскільки ОМБ найчастіше використовується передднавчання глибоких нейронних мереж, а також для створення мереж глибокої довіри, то доцільним є вивчення мо-дифікованих алгоритмів та способів застосування НОМБ для тих же задач, зважаючи на очевидні переваги її перед ОМБ. Відкривається простір для досліджень глибоких нейронних мереж, для яких застосовують ОМБ із введе-нням нечіткості, проведення порівняльних експериментів із розв'язанням задач кластеризації, класифікації та регресії.

## Література References


[1] Smolensky, Paul. "Chapter 6: Information Processing in Dynamical Systems: Foundations of Harmony Theory" (PDF). In *Rumelhart, David E.; McLelland, James L. Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, Volume 1: Foundations. MIT Press. pp. 194–281. ISBN 0-262-68053-X. 1986.

[2] Teh, Y.W. and Hinton, G.E. Rate-coded restricted boltzmann machines for face recognition. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, volume 13, 2001.

[3] G.E. Hinton, "A practical guide to training restricted Boltzmann machines," Tech. Rep. UTML TR 2010-003, Dept. Comput. Sci., Univ. Toronto, 2010.

[4] Salakhutdinov, R., Mnih, A., and Hinton, G. E. Restricted Boltzmann machines for collaborative filtering. In *Proceedings of the International Conference on Machine Learning*, volume 24, pp. 791–798, 2007.

[5] C. L. Philip Chen, C. Zhang, L. Chen, and M. Gan, "Fuzzy restricted boltzmann machine for the enhancement of deep learning," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 23, no. 6, pp. 2163–2173, Dec. 2015.

[6] MNIST data set is available at http://yann.lecun.com/exdb/mnist/index.html

[7] R. Salakhutdinov and G. Hinton, "An efficient learning procedure for deep boltzmann machines," *Neural Computation*, vol. 24, no. 8, pp. 1967–2006, 2012.

[8] V. Nair and G.E. Hinton. Rectified linear units improve restricted boltzmann machines. In *Proc. 27th International Conference on Machine Learning*, 2010.

[9] G.J. Klir and B. Yuan, "Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications". Prentice-Hall, 1995.

[10] T. Takagi, M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control". *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol: SMC-15, Issue: 1, Jan.-Feb. 1985.

[11] N. Wang, J. Melchior, and L. Wiskott, "Gaussian-binary restricted boltzmann machines on modeling natural image statistics," *CoRR*, vol. abs/1401.5900, 2014

# Використання Стеку ELK для Обробки Великих Даних

Ольга Заверуха
кафедра Прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
olha.zaverukha@nure.ua

Володимир Кобзєв
кафедра Прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.kobziev@nure.ua

# Using the ELK-stack for Big Data Processing

Olha Zaverukha
Applied Mathematics Department
Kharkiv National University of Radio Elektronics
Kharkiv, Ukraine
olha.zaverukha@nure.ua

Volodymyr Kobziev
Applied Mathematics Department
Kharkiv National University of Radio Elektronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.kobziev@nure.ua

**Анотація—У даній статті розглядаються можливості ELK-стеку, що утворює систему зчитування, зберігання, швидкої обробки та якісної візуалізації великих даних. Узагальнено наводяться переваги стеку, приклад його використання для обробки та відображення туристичних даних.**

**Abstract—This article examines the capabilities of the ELK-stack, which creates a system for reading, storing, fast processing and high-quality visualization of large data. Generally, the advantages of the stack are given, an example of its use for processing and displaying tourist data**

***Ключові слова—Великі дані, стек, обробка, зберігання, візуалізація.***

***Keywords—Big Data, stack, processing, storage, visualization.***

## I. Вступ.

Величезні обсяги, складність, мінливість, слабка структурованість та різноманітність є характерними рисами даних, що підлягають кількісному та якісному аналізу і сприйнятному відображенню, у різних сферах людської діяльності протягом останніх десятиліть. Збір, зберігання та аналіз даних з вказаними особливостями являють собою доволі складну проблему, впоратися з якою можна тільки завдяки технологіям Big Data.

Однією з найпоширеніших є парадігма розподіленої обробки даних MapReduce, яка розрахована на участь у зберіганні, кількох етапах обробки та відображенні кластерів з багатьох комп'ютерів. Інший підхід базується на використанні ELK-стеку.

## II. Загальна характеристика стеку ELK

Стек ELK створений у 2010 році як потужна система гнучкого пошуку, зберігання та візуалізації даних, що має три складові (Elasticsearch, Logstash та Kibana), наведені на Рис.1.




Рис. 1. Структура стеку ELK

Протягом останніх п'яти років вона стала дуже популярною серед аналітиків Великих даних завдяки своїм можливостям, простоті освоєння і застосування [1, 2]. Ця система здатна збирати та аналізувати десятки мільйонів даних за день, що саме й розуміють під поняттям Big Data.

Підсистема Logstash має можливості передати дані, вилучити їх з бази даних, з файлу, або з встановленого клієнту, що збирає логи, а також може перетворити їх на потрібний формат чи структуру та завантажити у будь-яке сховище даних. На доданок до цього, вона має змогу у будь-який час передати дані до підсистеми Elasticsearch.

За виконуваними функціями Logstash – це доволі простий інструмент, який передає дані з одного чи багатьох входів та виводить їх на один, чи декілька виходів. Входами можуть бути будь-які джерела даних, такі як файли журналів або логи. Після того як вхідні дані будуть зчитані, logstash аналізує їх за допомогою кодеків, таких як JSON [2].

Під час переміщення даних з джерела в сховище, фільтри Logstash аналізують кожну подію, ідентифікують назви полів для побудови структури та перетворюють їх у загальний формат для полегшення та прискорення аналізу. Підсистема Logstash динамічно трансформує та готує дані незалежно від формату або складності: розшифровує географічні координати, створює структуру з неструктурованих даних, анонімізує дані. Простота обробки даних не залежить від джерела, формату чи схеми даних.

Файл конфігурації Logstash має структуру, що наведена на Рис.2.

```
input{
    file {
        path => "/tmp/access_log"
        start_position => "beginning"
#Перша частина config файлу складається з команд, що зчитують інформацію з потрібного джерела даних
    }
}

filter{
    grok {
        match => { "message" => "%{MESSAGE}" }
    }
    date {
        match => [ "timestamp" , "dd/MMM/yyyy:HH:mm:ss.SSS" ]
    }
# Друга частина config файлу включає в себе фільтрування даних.
}

output{
    elasticsearch {
    hosts => ["localhost:9200"]
    }
# Третя частина config файлу складається з виведення даних в необхідне сховище.
}
```

Рис. 2. Приклад файлу конфігурації для Logstash

Крім того, блок Logstash відстежує введені дані, які він обробляє. Таким чином, можна перезапустити його без шкоди дублювання даних. Хоча Logstash створений в Ruby, працює він дуже швидко. Пакетна версія запускається на JRuby, і вона використовує можливості JVM в потоці, даючи десятки потоків для паралельної обробки даних.

Блок Logstash може зберігати дані у блоці ElsaticSearch, який також запущений на машині, де працює Logstash. Підсиситема ElsaticSearch виконує роль сховища даних. Але це не база даних, яка буде сприймати все, що користувач забажає помістити до неї. Блок ElsaticSearch масштабує дані, коли це потрібно.

Стан Elasticsearch [3] наведений на Рис.3.




Рис. 3. Відображення стану Elasticsearch у браузері

Він відображається у один рядок і містить інформацію про статус, очікування інформації, зайнятий обсяг пам'яті, тощо.

За допомогою простої команди (/_cat/indeces) можна побачити наступну інформацію: стан індексу, статус, назву, об'єм, кількість рядків, розмір на диску, тощо (див. Рис. 4).

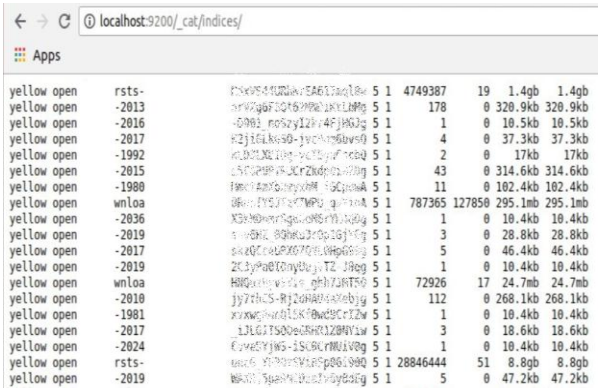



Рис. 4. Відображення індексів ElsaticSearch у браузері та інформації про них

Останнім кроком проведеного аналізу є відображення отриманих результатів, яке виконується підсистемою Kibana. Вона вже пов'язана з ElasticSearch, тому всі індекси вже знаходяться в ній, тож треба лише вибрати той, який у подальшій роботі необхідний для аналізу.

Kibana - єдиний компонент, який не резервується, так як вихід його з ладу не впливає на процеси збору і обробки інформації. Kibana має добрий інтерфейс для візуалізації величезної кількості даних і дозволяє краще зрозуміти дані через аналіз та візуалізацію, що можна створити за лічені хвилини. Незважаючи на простоту даних інструментів, вони дуже потужні. Наявність шаблонів розгортання дозволяє легко вибрати апаратні та архітектурні профілі, які найкраще відповідають потребам користувача.

Підсистема Kibana дозволяє будувати аналіз за такими напрямками, як геолокація, кількість, часові проміжки, тощо [4]. Окрім цього, всі зображення мають гарну графіку. Їх можна об'єднувати у інформаційні панелі dashboards, завдяки чому весь необхідний аналіз може бути зібраний на одній сторінці (див. Рис.5).

Ще однією безсумнівною перевагою стеку ELK є можливість автоматичного опрацювання нових даних без додаткового настроювання.

Стек ELK є системою, що відстежує інформацію у реальному часі. Тому після запуску усіх компонент, якщо джерело входу інформації буде поповнюватися новими даними, то усі компоненти будуть відстежувати їх, додавати у сховище та відображати на візуалізаціях без перезапуску їх самих. Це дуже зручно, якщо дані надходять постійно.




Рис. 5. Приклад панельної візуалізації за допомогою Kibana

## III. Застосування ELK-стеку

Для наглядної демонстрації роботи ELK-стеку обрані дані про країни, які полюбляють відвідувати туристи. Рис. 6 свідчить, що кількість туристів, які прибули за один день до Індії, Таїланду, Австралії та Японії переважає показники інших країн.

Крім відвідуваності, також є статистика запитів в інтернеті про найпривабливіші країни для туристів. Кількість запитів на день переважає у Тайланду, про що свідчать дані наведені на рис. 7. Також важливо враховувати не тільки запити, але і реальні дані про країни та їх міста, які популярні серед туристів, про що гарно свідчить подвійна кругова діаграмма. На рис. 8 країни та міста умовно позначені числами.



Рис. 6. Візуалізація кількості відвідувань країн за один день

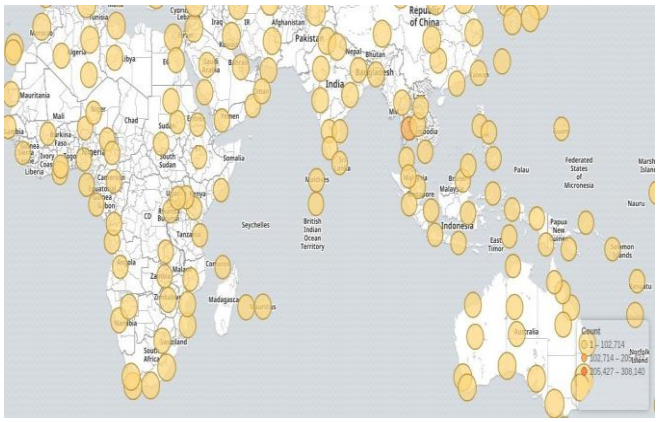



Рис. 7. . Кількість запитів в інтернеті щодо подорожей до країн за один день

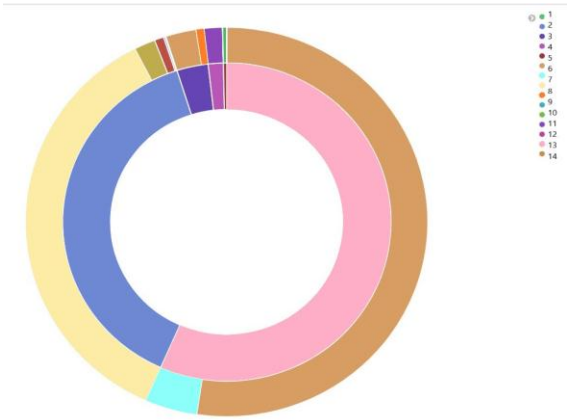


Рис. 8. Кругова діаграма популярності міст та країн

Швидкість роботи та візуалізації за допомогою ELK-стеку дійсно вражає. Аби завантажити дані та побудувати зрозумілі графіки, знадобилося 2 години. Притому, що кількість даних сягала приблизно 30 мільйонів.

ELK-стек дозволяє не тільки будувати кругові або стовпчасті діаграми, але й дає змогу чітко візуалізувати дані з географічними полями на детальній мапі світу.

Окрім яскравої та зрозумілої графіки, Kibana може виводити згруповані та відсортовані дані у таблицях, метриках або строках.

## IV. Висновок

Таким чином, ELK-стек є доступним, високоякісним, надійним і простим у обслуговуванні інструментом, який надає можливість за лічені хвилини доставити, впорядкувати та візуалізувати Великі дані.

Дана система надає можливості, необхідні для створення комерційних звітів (унікальні підрахунки, послідовності переходів тощо).

ELK-стек добре захищений та швидко працює, що дуже важливо для систем обробки Великих даних.

## Література References

[1] The Elastic Stack 6.5 [Online]. Available: https://www.elastic.co/

[2] Big data in minutes with the ELK Stack [Online]. Available: https://brewhouse.io/blog/2014/11/04/big-data-with-elk-stack.html

[3] Saurabh Chhajed “Learning ELK Stack”, 2015, Packt Publishing.

[4] Google Trends Analytics Data [Online]. Available: https://trends.google.ru/trends/?geo=RU

## З М І С Т

### Секція 1. Сучасні інформаційні системи та технології: проблеми, методи, моделі. Управління проектами та програмами


**Section 1. Modern information systems and technologies: problems, methods, models. Projects and program managements** 11

**Валентин Філатов, Валерій Семенець**
МЕТОД СИНТЕЗУ МОДЕЛІ ДАНИХ У ЗАДАЧАХ РЕІНЖИНІРИНГУ РЕЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ 12

**Andrzej Jamróz, Dariusz Sala**
UWARUNKOWANIA KOOPERACJI SEKTOROWEJ W HUTNICTWIE I PRZETWÓRSTWIE ALUMINIUM 15

**Володимир Бредіхін, Денис Бредіхін**
ВИБІР АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЙТИНГОВОЇ ОЦІНКИ ПІДПРИЄМСТВА ПРИ УПРАВЛІННІ ПРОЕКТАМИ 19

**Наталія Васильцова, Ірина Панфьорова**
АНАЛІЗ ДОСВІДУ РОБОТИ КОМАНДИ ІТ-ПРОЕКТУ 22

**Максим Євланов, Ольга Неумивакіна, Євгенія Корнєєва**
МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ІТ-КОМПАНІЇ 26

**Mykola Karpenko, Iryna Havrylenko**
RESOURCE ALLOCATION MODEL IN MULTI-LEVEL MANAGEMENT SYSTEM 30

**Олександр Костенко, Марина Булаєнко, Олександр Зарицький**
ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АРХІВНИХ БАЗ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ У СУЧАСНІЙ КОНЦЕПЦІЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ПРОСТОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ 32

**Віктор Левикін, Оксана Чала**
ВИКОРИСТАННЯ ТЕМПОРАЛЬНИХ ПРАВИЛ В ЗАДАЧАХ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ 35

**Віктор Луценко, Сергій Бондарев, Юрій Пономарьов**
ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРВІСУ ДЛЯ ОБЛІКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В ГАЗОТРАНСПОРТНІЙ СИСТЕМІ 39

**Галина Подгорная**
ИНСТРУМЕНТАЛЬНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОРГАНИЗАЦИИ 42

**Сергій Рудик, Олександр Герцій**
МЕТОДИ ПОБУДОВИ ПРИКЛАДНИХ КІБЕРНЕТИЧНИХ СИСТЕМ 47

**Валерій Семенець, Володимир Кобзєв, Валентин Філатов**
КОМПОНЕНТИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ОСВІТИ У ХАРКІВСЬКОМУ НАЦІОНАЛЬНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ 51

**Александр Скрыль, Игорь Шевченко**
МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА МАРШРУТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ ДОКУМЕНТОВ 55

**Igor Shostko, Mykhaylo Neofitnyi, Andrew Tevyashev, Sergiy Gulak**
OPTICAL INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM FOR POLYGON TESTING OF SMALL-DIMENSIONAL AIRCRAFT 58

**Kyrylo Sazonov, Mohamed Alkilani, Volodymyr Kobziev**
AN STATISTICAL ANALYSIS OF QUERIES RECEIPT FLOWS IN E-GOVERNANCE SYSTEMS 64

**Вадим Яковенко, Юлія Ульяновська**
АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИЯВЛЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ 66

## Секція 2. Математичне та комп'ютерне моделювання у інформаційних системах

## Section 2. Mathematical and computer modelling in information systems

68

**Valery Semenets, Volodymyr Beskorovainyi, Olha Shevchenko**
TECHNOLOGICAL CHAIN MODELING TO CONTROL THE QUALITY OF NEW PRODUCT MANUFACTURING 69

**Volodymyr Beskorovainyi, Oksana Draz, Veronika Yanush**
PARAMETRIC IDENTIFICATION OF UTILITY FUNCTIONS IN MULTICRITERION TASK MODEL MODELS 73

**Виктор Бондаренко**
АНАЛИЗ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ МЕТОДОМ КОМПОЗИЦИИ 77

**Лариса Власенко, Анатолий Руткас**
ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ДЕКОМПОЗИЦИЯ ДЕСКРИПТОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ 81

**Юрій Гунченко, Катерина Любкевич, Надія Казакова, Олексій Фразе-Фразенко, Сергій Шворов**
ЛОКАЛІЗАЦІЯ АВТОНОМНОГО РОБОТА МЕТОДОМ ФІЛЬТРА ЧАСТИНОК 85

**Олексій Антошкін, Олександр Панкратов**
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ДЛЯ ЗАДАЧ ПОКРИТТЯ ОБЛАСТІ РІВНИМИ КРУГАМИ 90

**Володимир Воловецький, Андрій Бугай, Юрій Пономарьов**
КРИТЕРІЇ ПОБУДОВИ ОПТИМАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ 94

**Надія Гибкіна, Максим Сидоров**
ПРО ОДНУ ЗАДАЧУ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ВИМУШЕНИМИ КОЛИВАННЯМИ ОДНОРІДНОЇ ПЛАСТИНКИ 97

**Надія Гибкіна, Максим Сидоров, Ганна Стаднікова**
МЕТОД ЧИСЕЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ В'ЯЗКОЇ СУМІШІ 101

**Юлія Границя, Світлана Колосова, Владислав Юхименко**
ПРО ПОБУДОВУ ПОСЛІДОВНИХ НАБЛИЖЕНЬ ДЛЯ ОДНІЄЇ ЗАДАЧІ ПРО ВИБІР МОДЕЛІ МІГРАЦІЇ В ПОПУЛЯЦІЙНІЙ ГЕНЕТИЦІ 105

**Іріна Гусарова, Дмитро Абрамов**
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗРИВУ ТРУБОПРОВОДУ МЕТОДОМ ХАРАКТЕРИСТИК 110

**Наталя Кравець**
АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ L-СИСТЕМИ, ЩО МОДЕЛЮЄ СТРУКТУРУ ГЕОМЕТРИЧНОГО ФРАКТАЛЬНОГО ОБ'ЄКТА 115

**Анатолій Литвинов**
ЙМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ ПІДСИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ СИСТЕМИ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ 118

**Олег М. Литвин, Олександра Литвин**
МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ РОЗРИВНИХ ФУНКЦІЙ СПЕЦІАЛЬНОГО ВИГЛЯДУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОЕКЦІЙ І СКІНЧЕННИХ СУМ ФУР'Є 120

**Оксана Пічугіна**
НЕПЕРЕРВНІ ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧ КОМБІНАТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ 123

**Назар Притула, Мирослав Притула**
МЕТОДИ АНАЛІЗУ ТА СИНТЕЗУ ПОТОКІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ НА ЗВАЖЕНИХ ГРАФАХ 128

**Кирило Сазонов, Володимир Кобзєв**
МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ РОЗПОДІЛУ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ФІЗИЧНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ 132

**Максим Сидоров**
МЕТОД ДВОБІЧНИХ НАБЛИЖЕНЬ ТА МЕТОД ПРЯМИХ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПЕРШОЇ ПОЧАТКОВО-КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ БАГАТОВИМІРНОГО КВАЗІЛІНІЙНОГО РІВНЯННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ФУНКЦІЇ ГРІНА 135

**Андрей Тевяшев, Светлана Козыренко**
МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ 140

**Игорь Гребенник, Анна Коваленко, Татьяна Романова, Инна Урняева, Сергей Шеховцов**
МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ БАЛАНСНОЙ КОМПОНОВКИ 145

**Сергій Чопоров, Сергій Гоменюк**
УЗАГАЛЬНЕНИЙ ПІДХІД ДО ГЕНЕРАЦІЇ ДИСКРЕТНИХ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦІОНАЛЬНО ПОДАНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ 149

**Александр Шумейко, Анастасия Искандарова-Малая**
О ПОСТРОЕНИИ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ СПЛАЙН-РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ 154

**Секція 3. Інформаційні ресурсорсозберігаючі, екологічно безпечні технології. Геоінформаційні системи та технології**

**Section 3. Information resource-saving, friendly environmental technologies. Geo-information systems and technologies** 159

**Andrew Tevyashev, Olga Matviyenko, Glib Nikitenko**
STOCHASTIC MODEL AND METHOD OF OPTIMIZING THE OPERATING MODES OF A WATER NETWORK WITH HIDDEN LEAKS 160

**Володимир Безкоровайний, Світлана Мальцева, Олександр Колодяжний**
ОПТИМІЗАЦІЯ МЕРЕЖ ЛАНЦЮЖКІВ ПОСТАВОК У СИСТЕМАХ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЛОГІСТИКИ 163

**Марина Булаєнко, Олександр Зарицький, Катерина Бєлєнькова**
КОНВЕРТАЦІЯ МАСИВУ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ОБ`ЄКТІВ ДОРОЖНЬОГО ГОСПОДАРСТВА ТА РОСЛИННОСТІ ДО НОВОГО КЛАСИФІКАТОРА ПРОСТОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ 167

**Марина Булаєнко, Олександр Зарицький, Анна Савченко**
АЛГОРИТМ КОНВЕРТУВАННЯ МАСИВУ ДАНИХ ОБ`ЄКТІВ НОМЕНКЛАТУРИ, ПРОСТОРОВИХ ОБ`ЄКТІВ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ТА РЕЛЬЄФУ ДО СТАНДАРТІВ ОНОВЛЕНИХ КЛАСИФІКАТОРІВ 169

**Сергій Дядюн, Ольга Штельма**
СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ 171

**Світлана Кузніченко, Ірина Бучинська**
ВИКОРИСТАННЯ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ОБРОБКИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ТВЕРДИМИ ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ 174

**Володимир Ткаченко, Михайло Неофітний, Олександр Зелений**
ГЕОІНФОРМАЦІЙНА АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ І УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ОБ'ЄДНАНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД 178

**Руслан Окопний, Віктор Неня**
АПАРАТНІ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ОПАЛЕННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЖИМІВ ЕКОНОМІЇ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ 181

**Сергій Алтухов, Юрій Пономарьов, Андрій Бугай**
ЗАСОБИ ОПЕРАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ЗА ДРЕНУВАННЯМ ПЛАСТОВИХ СИСТЕМ ГАЗОСХОВИЩ 184

**Володимир Ткаченко, Микола Губа, Олександр Попов**
КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ СИТУАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОГО ЦЕНТРУ МІСТА 187

**Секція 4. Розпізнавання образів, цифрова обробка зображень і сигналів**

**Section 4. Pattern recognize, digital processing of images and signals** 189

**Євген Губаренко, Вікторія Вакулекно**
ВИЗНАЧЕННЯ ЕМОЦІЙНОГО ФОНУ ЗОБРАЖЕННЯ 190

**Артем Ізмайлов, Любомир Петришин**
ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСКРЕТНОГО ТРІЙКОВОГО СИМЕТРИЧНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЛЯ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ 194

**Юрій Іляш**
КОДУВАННЯ РІВНІВ КВАНТУВАННЯ ДЛЯ УЩІЛЬНЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ 198

**Игорь Прасол, Ольга Ерошенко**
МЕТОД ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТИМУЛИРУЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В АППАРАТЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЫШЕЧНОЙ СТИМУЛЯЦИИ 203

**Світлана Прохорець, Манап Хажмурадов**
МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ НЕЙТРОНОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ОБ'ЄКТУ 205

**Андрій Тевяшев, Антон Колядін**
МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ВИСОКОТОЧНОГО СУПРОВОДУ ПОВІТРЯНИХ ОБ’ЄКТІВ 209

**Олег Щелконогов**
ОБНАРУЖЕНИЕ КЛОНИРОВАНИЯ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ПОМОЩЬЮ СРАВНИМЫХ ХЕШЕЙ В УСЛОВИЯХ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ 214

**Секція 5. Інформаційні технології в соціумі, освіті, медицині, економіці, управлінні, цивільному захисті та поліграфії**

**Section 5. Information technology in society, education, medicine, economics, management, civil defense and polygraphy** 218

**Boris Bocharov, Maria Voevodina, Nataliia Braterska, Anastasiia Dashkovska**
RETRIEVING MISSED VALUES OF THE TIME SERIES METHODS 219

**Boris Bocharov, Maria Voevodina, Anton Yeryomin**
DETERMINING THE EFFECTIVENESS OF EDUCATIONAL IMPACTS 223

**Aliaksei Danilchanka, Boris Zhalezka, Volha Siniauskaya, Kseniya Yakushenka**
DIGITALIZATION OF THE MASTER EDUCATION IN THE BUSINESS SPHERE 227

**Юрій Гунченко, Анастасія Позднікова, Сергій Шворов, Володимир Лукін**
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ЗБОРУ ТА ПЕРЕРОБКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР У БІОГАЗОВИХ КОМПЛЕКСАХ 233

**Юлия Губницкая, Елизавета Одегова**
АНАЛИЗ ДИЗАЙНА ОФОРМЛЕНИЯ НАСТОЛЬНЫХ КАРТОЧНЫХ ИГР 238

**Юрій Козлов**
ОБРОБКА ДАНИХ ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАВДАНЬ ПЕДАГОГІЧНОЇ КВАЛІМЕТРІЇ 240

**Андрій Литвиненко, Юлія Губницька**
ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ СКЛАДНИМИ ІЄРАРХІЧНО ВПОРЯДКОВАНИМИ НЕЛІНІЙНИМИ СИСТЕМАМИ, ЯКІ ЗНАХОДЯТЬСЯ У СТАНІ КОНФЛІКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ 242

**Тетяна Назірова, Олександр Костенко, Ілля Цуман**
ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНІСТЬ КОМПОНЕНТІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ ЗДОРОВ’Я 244

**Марина Новожилова, Роман Мележик, Ігор Чуб, Ольга Чуб**
РОЗПОДІЛ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ІНЖЕНЕРНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ МЕГАПОЛІСУ 247

**Марина Новожилова, Вадім Попов, Роман Гудак**
ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ СИЛ ТА ЗАСОБІВ В ЗОНІ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ 250

**Валерий Семенец, Андрей Тевяшев, Петр Подпружников, Алина Овченко, Сергей Позняков**
ИНТЕРАКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ИНТЕГРИРОВАНОМ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ 253

**Михайло Петрик, Дмитро Михалик, Оксана Петрик, Іван Мудрик**
АПАРАТНІ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АНОМАЛЬНИХ НЕВРОЛОГІЧНИХ РУХІВ У ПАЦІЄНТІВ З ПРОЯВАМИ ЕСЕНЦІАЛЬНОГО ТРЕМОРУ 256

**Сергій Удовенко, Лариса Чала, Вадим Шергін**
БАЙЄСІВСЬКА КЛАСИФІКАЦІЯ СИТУАЦІЙ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ МЕДИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ 261

**Игорь Чеканов, Александр Григорьев**
РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО ТРЕНАЖЕРА ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПОЛИГРАФИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ 263

**Ігор Чуб, Юлія Михайловська**
МОДЕЛЮВАННЯ ОБСЯГІВ РЕСУРСІВ ЩОДО ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ 267

**Секція 6. Програмна інженерія**

**Section 6. Software engineering** 270

**Nataliia Sharonova, Anastsiia Doroshenko**
TOWARDS THE ONTOLOGY-BASED APPROACH FOR FACTUAL INFORMATION MATCHING 271

**Іван Божко, Григорій Четвериков**
ІНСТРУМЕНТИ КВАНТОВИХ ОБЧИСЛЕНЬ. МОВА ПРОГРАМУВАННЯ Q# 275

**Владимир Бондарев, Юлия Черепанова**
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ КАК ОСНОВА ОБУЧЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ 278

**Борис Бондаренко, Олена Качко**
МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН ЕЛЕКТРОННИХ ВАЛЮТ 281

**Наталя Валенда, Nikita Pavlenko**
АВТОМАТИЧНЕ ФОРМУВАННЯ СЛОВНИКІВ ПЕРЕКЛАДУ 287

**Віра Голян, Наталія Голян**
АЛГЕБРО-ЛОГІЧНІ МОДЕЛІ УЗАГАЛЬНЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ НЕЯВНОГО ВИБОРУ В БІЗНЕС ПРОЦЕСАХ 291

**Тетяна Горбач**
ПОБУДОВА ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ТРАЄКТОРІЇ НАВЧАННЯ У РОЗПОДІЛЕНОМУ НАВЧАЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ 294

**Зоя Дударь, Екатерина Зыбина**
ОБЗОР ТИПОВ НЕЙРОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ 297

**Зоя Дудар, Александр Олейник**
РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ 301

**Олег Золотухін, Олексій Лановий**
МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ В БЕЗКОНТАКНИХ ПЛАТЕЖАХ 305

**Олена Кіріленко, Галина Труш, Станіслав Жигальцев**
ВИКОРИСТАННЯ WEB-СЕРВІСУ TRELLO ДЛЯ УПРАВЛІННЯ НАВЧАЛЬНИМ ГРУПОВИМ ПРОЕКТОМ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ В ГАЛУЗІ ПРОГРАМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ 308

**Ірина Кириченко**
ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ УПРАВЛІННЯ КОНТЕНТОМ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ 313

**Андрій Кочкін, Діана Руденко**
ВИКОРИСТАННЯ ФРЕЙМВОРКУ ANGULAR ДЛЯ РОЗРОБКИ ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ 317

**Оксана Мазурова, Мария Широкопетлева**
ПОДДЕРЖКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ БАЗ ДАННЫХ 319

**Костянтин Онищенко, Ірина Афанасьєва**
АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНОЇ ІДЕЇ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ «SMARTHOUSE» ДЛЯ ЗАБЕЗБЕЧЕННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЯМИ РОЗУМНОГО ДОМУ 323

**Ілона Ревенчук, Анастасія Чуприна**
АЛГОРИТМ ЗНАХОДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО ПОТОКУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ КОМУНІКАЦІЙНИМИ РЕЖИМАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ В СИСТЕМІ «SMART CITY» 327

**Олександр Саманцов**
ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ІСТОРИЧНО-КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ 336

**Леонід Самофалов**
ВИКЛАДАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ СТУДЕНТАМ – НЕСПЕЦІАЛІСТАМ В ГАЛУЗІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 339

**Дмитро Склярук, Зоя Дудар**
ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВІДЕОЗВ'ЯЗКУ 341

**Ігор Сокорчук**
РЕДАКЦІЙНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС З КЛІЄНТ-СЕРВЕРНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ З «ТОВСТИМИ КЛІЄНТАМИ» 344

**Олексій Танянський, Діана Руденко**
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОПУЛЯРНИХ JAVASCRIPT -ФРЕЙМВОРКІВ ТА БІБЛІОТЕК ДЛЯ FRONT-END РОЗРОБКИ 347

**Glib Tereshchenko, Oleksii Nazarov**
BLOCKCHAIN IN PUBLIC ADMINISTRATION 350

**Василь Ткаченко, Ольга Чередніченко**
ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ВИНИКНЕННІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ТРАНСКОРДОННОГО ХАРАКТЕРУ 352

**Олександр Тунік, Олександр Саманцов**
БОРОТЬБА З ОЧІКУВАННЯМИ У MICROSOFT SQL SERVER 356

**Денис Білозьоров, Ігор Шубін**
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МІНІМІЗАЦІЇ АЛГЕБРО-ЛОГІЧНИХ РІВНЯНЬ 360

**Михайло Лазар, Володимир Кобзєв**
ТЕХНОЛОГІЇ BIG DATA У АНАЛІЗІ РИЗИКІВ СТРАХОВОЇ КОМПАНІЇ 364

**Ігор Малицький, Ігор Шубін**
ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСАХ 368

**Секція 7. Комунікаційні, GRID та хмарні технології**

**Section 7. Communication, GRID and cloud technologies** 371

**Владимир Саенко**
АКАДЕМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИЗУЧЕНИЯ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ IBM CLOUD В ХНУРЭ 372

**Володимир Саенко, Дмитро Зьомша**
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ФОРМУВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ З ХМАРНИМИ СЕРВІСАМИ 376

**Володимир Саенко, Діана Кошелєва**
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРОБКИ СЕРВЕРНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ СИСТЕМ INTERNET OF THINGS 379

**Владимир Саенко, Роман Руденко**
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ INTERNET OF THINGS 382

**Володимир Саєнко, Роман Савченко**
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ФОРМУВАННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ 385

**Секція 8. Захист інформації. Інформаційна безпека**

**Section 8. Information protection. Information security** 388

**Oleksandr Sievierinov, Andrey Evheniev**
DNA CRYPTOSYSTEM USING A SIMPLE REPLACEMENT 389

**Дмитро Бабійчук, Марина Турти**
ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ СУДНА НА МЕРЕЖІ ПЕТРІ 392

**Жанна Дейнеко, Диана Драз**
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ PHISHING-АТАК МЕТОДОМ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА 396

**Юрій Касьянов, Юлія Кисельова**
МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ГЕНЕРАТОРІВ РЕАЛЬНИХ МОВОПОДІБНИХ ЗАВАД В ЗАХИСТІ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ 398

**Костянтин Коновалов, Марина Турти**
ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ НА ОСНОВІ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ 402

**Александр Курбатов, Геннадий Халимов**
ГРУППОВАЯ ПОДПИСЬ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ШНОРРА ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ 406

**Володимир Лужецький, Юрій Баришев**
ТАБЛИЧНІ МОДЕЛІ ПСЕВДОНЕДЕТЕРМІНОВАНИХ КРИПТОГРАФІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ 409

**Сергій Нужний**
ОБ'ЄКТИВІЗОВАНА МЕТОДОЛОГІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ СТАНУ ЗАХИСТУ СКЛАДНОЗАШУМЛЕНОЇ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ 412

**Денис Стаканов, Сергій Нужний**
АЛГОРИТМІЧНІ ТА ПРОГРАМНО-АПАРАТНІ ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЗАХИЩЕНОСТІ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ОБ’ЄКТИВІЗОВАНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗБІРЛИВОСТІ МОВИ 416

**Марина Турти**
ОПТИМІЗАЦІЯ НЕЧІТКИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ 420

**Світлана Халімова, Богдан Скрябін**
ОЦІНКА КОНФІДЕНЦІЙНОСТІ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ПЛАТІЖНИХ СИСТЕМ 424

**Геннадий Халимов, Дмитрий Шипилов**
ЭЛЕКТРОННАЯ ЦИФРОВАЯ ПОДПИСЬ НА ОСНОВЕ КРИПТОСИСТЕМЫ MCELIECE 427

**Катерина Шевченко, Сергій Нужний**
ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ЗАХИСТУ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ АКТИВНИХ СИСТЕМ ПРОТИДІЇ ВИТОКУ МОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ЗА МЕЖІ КОНТРОЛЬОВАНОЇ ЗОНИ РОБОТИ ВОДОЛАЗІВ 431

## Секція 9. Інтелектуальний аналіз даних, DataMining і BigData-технології

## Section 9. Intellectual data analyses, Data Mining and Big Data technologies 434


**Анна Бакурова, Ганна Ропало**
МОДЕЛЬ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АПТЕЧНОЇ МЕРЕЖІ 435

**Наталія Білоус, Олексій Комаров**
ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦІЇ ПУХЛИН ГОЛОВНОГО МОЗКУ НА МРТ-ЗОБРАЖЕННЯХ 438

**Олег Дашкевич, Ігор Шубін**
АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ APACHE KAFKA В РАМКАХ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТРИМІНГУ BIG DATA 443

**Євгенія Іванова, Євгеній Бодянський**
НЕЧІТКА ІНКРЕМЕНТНА САМООРГАНІЗОВАНА БАГАТОШАРОВА МАПА ТА ЇЇ ПОСЛІДОВНЕ НАВЧАННЯ 446

**Анна Норцова, Анастасія Дейнеко**
ГЛИБИННА КЛАСТЕРУВАЛЬНА НЕЙРО-ФАЗЗІ СИСТЕМА ТА ЇЇ ПОСЛІДОВНЕ САМОНАВЧАННЯ 450

**Людмила Кіріченко, Юлія Кобицька, Тамара Радівілова**
КЛАСИФІКАЦІЯ ФРАКТАЛЬНИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ МЕТОДАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ 454

**Віктор Синєглазов, Олена Чумаченко, Владислав Горбатюк**
ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕГУЛЯРИЗОВАНОЇ СУМІШІ ЕКСПЕРТІВ 457

**Віктор Синєглазов, Олена Чумаченко, Олександр Марусик**
ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КЛАСИЧНОЇ ТА НЕЧІТКОЇ ОБМЕЖЕНОЇ МАШИНИ БОЛЬЦМАНА 460

**Ольга Заверуха, Володимир Кобзєв**
ВИКОРИСТАННЯ СТЕКУ ELK ДЛЯ ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ДАНИХ 466

Наукове видання

# «Інформаційні системи та технології» ІСТ-2018

## М А Т Е Р І А Л И

**7-ї Міжнародної науково-технічної конференції,**

**присвяченої 55-річчю кафедри Прикладної математики ХНУРЕ,
55-річчю кафедри Програмної інженерії ХНУРЕ
та 40-річчю кафедри Прикладної математики та інформаційних технологій
ХНУМГ імені О.М. Бекетова**

**10-15 вересня 2018
Коблеве-Харків, Україна**

## «INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES» IST-2018

Proceedings
of the 7-th International Scientific and Technical Conference

2018, September, 10th to15th
Kobleve-Kharkiv, Ukraine

Наукові редактори: А.Д. Тевяшев, Л.Б. Петришин, В.Г. Кобзєв
Коректор – Н.Р. Сухина
Комп'ютерна верстка – Т.Є. Сергієнко

Харківський національний університет радіоелектроніки
61166, Харків, пр. Науки, 14,
ХНУРЕ

Підписано до друку 15.09.2018.
Папір 80 г/м$^2$.
Умов.-друк. арк. – 29,88. Обл.-вид. арк. – 27,78.
Наклад 150. Зам. № 683 від 15.09.2018.

Віддруковано в ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД»
61024, м. Харків, вул. Максиміліанівська, 11
Тел.: (057) 756-53-25
www.madrid.in.ua e-mail: info@madrid.in.ua