

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:

проф., д.т.н. Рудь В.Д. (м.Луцьк)

Заступники головного редактора:

доц., к.т.н. Мельник К.В. (м.Луцьк)

доц., к.т.н. Герасимчук О.О. (м.Луцьк)

Відповідальний секретар:

мол.наук.співробітник Свиридюк К.А. (м.Луцьк)

Члени редакційної колегії:

проф, PhD. Milosz Marek (Польща, м.Люблін)

проф, PhD. Alison McMillan (Великобританія)

проф, PhD. Дехтяр Ю.Д. (Литва, м.Рига)

проф., д.т.н. Мазур М.П. (м.Хмельницьк)

проф., д.т.н. Мороз Б.І. (м.Дніпро)

проф., д.т.н. Степанов М.М. (м.Київ)

проф., д.т.н. Тарасенко В.П. (м.Київ)

проф., д.ф-м.н. Пастернак Я.М. (м.Луцьк)

проф., д.т.н. Андрушак І.Є. (м.Луцьк)

проф., д.т.н. Делявський М.В. (м.Луцьк)

проф., д.е.н. Рудь Н.Т. (м.Луцьк)

проф., д.т.н. Пальчевський Б.О. (м.Луцьк)

проф., д.т.н. Мельник А.О. (м.Львів)

доц., к.т.н. Драган О.В. (м.Брест, Білорусія)

доц., к.т.н. Лотиш В.В. (м.Луцьк)

доц., к.т.н. Гуменюк Л.О. (м.Луцьк)

доц., к.т.н. Пех П.А. (м.Луцьк)

доц., к.пед.н. Потапюк Л.М. (м.Луцьк)

доц., к.т.н. Решетило О.М. (м.Луцьк)

доц., к.т.н. Повстяной О.Ю. (м.Луцьк)

Адреса редколегії:

Луцький національний технічний університет,
кафедра комп'ютерної інженерії.

вул.Львівська 75, ауд.141

м.Луцьк, 43018

тел. (0332) 74-61-15

E-mail: cit@lntu.edu.ua,

сайт журналу: ki.lutsk-ntu.com.ua

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ:
ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО

№34 2019р.

Журнал засновано у грудні 2010 р.
Свідоцтво про реєстрацію КВ № 16705–5277 Р.
Засновник: Луцький національний технічний університет

Рекомендовано до друку Вченою радою
Луцького національного технічного університету
(протокол №9 засідання від 23.04.2019)

Журнал рішенням МОН України
наказом №515 від 16.05.2016р,
включено в перелік наукових фахових видань.
Журнал має російський індекс наукового цитування
(РІНЦ)

Індексується в міжнародних базах даних:

Universal Impact Factor,
Open Academic Journals Index.

ISSN 2524-0560 (Online)

ISSN 2524-0552 (Print)

ЗМІСТ

ІНФОРМАТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

Сверстюк А.С. Математичне моделювання кібер-фізичних біосенсорних та імуносенсорних систем. I. Andrushchak, V. Koshelyuk, M. Poteychuk, O. Sivakovskaya, V. Martsenyuk. Peculiarities of ta instrumental barriers of strains technology DATA MINING. [<i>I.С. Андрущак, В.А. Кошелюк, О.М. Сіваковська, М.І. Потейчук, В.П. Марценюк.</i> <i>Особливості та інструментальні засоби застосування технології DATA MINING.</i>]	5
АВТОМАТИКА ТА УПРАВЛІННЯ	
Бабова І.К., Яценко О.В., Азарова І.Б. Методи ініціації проектів. Hubal H. M. Construction and study of the system of differential equations that describes oscillatory chemical reactions based on diffusion. [<i>Губаль Г. М.</i> <i>Побудова та дослідження системи диференціальних рівнянь, яка описує коливальні хімічні реакції з урахуванням дифузії.</i>]	25
Замрій Б.А. Дослідження діапазону чисел ациклічної моделі суматора з логічними елементами OR та XOR в останньому розряді.	32
Карашецький В.П., Яркун В.І. Автоматизована веб-система підбору і відображення оптимальних апроксимант для одновимірних та двовимірних залежностей.	37
Корінчук Н.Ю., Корінчук В.В. Роль оптимальних та прикладних задач з математики у формуванні професійної компетентності молодшого спеціаліста.	47
В.В. Лишук, Й.Р. Селепина, В.Ю. Заблоцький, М.В. Романюк, А.О. Денисюк. Рівняння електромагнітного стану реле постійного струму. Мехедов Є.В. Порівняння методів інтерполяції для побудови мап рельєфу наземної навігації.	52
В. Moroz., A. Shcherbakov. Automated information system for video surveillance to perform special functions. [<i>Мороз Б. І., Щербаков А. Г.</i> <i>Автоматизована інформаційна система відеоспостереження для виконання спеціальних функцій.</i>]	58
В. Moroz., O. Pokotylenko. Analysis of development on creation of delivery organization systems using drones. [<i>Мороз Б.І., Покотиленко О.І.</i> <i>Аналіз розробок по створенню систем організації доставки з використанням дронів.</i>]	63
Недашківський Є.А. Ефективність інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання.	69
Ніколіна І.І., Ніколіна І.І., Януш М.П. Особливості впровадження та перспективи Mobile ID в Україні.	74
Поляченко А. І. Пошук контурів областей із певною патологічною структурою на МРТ знімках.	79
	91
	96

УДК 602.1:519.85:53.082.9:616-07

А.С. Сверстюк

Тернопільський державний медичний університет імені І.Я. Горбачевського

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ КІБЕР-ФІЗИЧНИХ БІОСЕНСОРНИХ ТА ІМУНОСЕНСОРНИХ СИСТЕМ

А.С. Сверстюк. Математичне моделювання кібер-фізичних біосенсорних та імуносенсорних систем. В статті розглянуто математичні моделі кібер-фізичної біосенсорної системи для прогнозування терміну її зберігання, кібер-фізичної електрохімічної біосенсорної системи, кібер-фізичної системи для визначення рівня глюкози. Розроблено математичну модель кібер-фізичної імуносенсорної системи на гексагональній решітці, яка ґрунтується на системі диференціальних рівнянь із запізненням. Описано решітчасту модель взаємодії антиген-антитіло для гексагонального масиву імунопікселів. Представлено математичне моделювання динамічної логіки кібер-фізичної імуносенсорної системи. Проведено комп'ютерне моделювання динамічної логіки кібер-фізичної імуносенсорної системи у вигляді решітчастих зображень ймовірності зв'язків антигенів з антитілами в пікселях системи, зображення флуоресценціюючих пікселів, електричний сигнал з перетворювача, який характеризує кількість флуоресценціюючих пікселів.

Ключові слова: біосенсорна система, імуносенсорна система, кібер-фізичної система, решітчасті диференціальні рівняння, диференціальні рівняння із запізненням, диференціальні рівняння в частинних похідних

А.С. Сверстюк. Математическое моделирование кибер-физических биосенсорных и иммуносенсорных систем. В статье рассмотрены математические модели кибер-физической биосенсорной системы и для прогнозирования срока ее хранения, кибер-физической электрохимической биосенсорной системы, кибер-физической системы для определения уровня глюкозы. Разработана математическая модель кибер-физической иммуносенсорной системы на гексагональной решетке, которая основывается на системе дифференциальных уравнений с запаздыванием. Описаны решетчатую модель взаимодействия антиген-антитело для гексагонального массива иммунопикселей. Представлены математические моделирование динамической логики кибер-физической иммуносенсорной системы. Проведено компьютерное моделирование динамической логики кибер-физической иммуносенсорной системы в виде решетчатых изображений вероятности связей антигенов с антителами в пикселях системы, с отображением флуоресценциюючих пикселей, электрический сигнал с преобразователя, характеризующий количество флуоресцирующих пикселей.

Ключевые слова: биосенсор на система, иммуносенсор на система, кибер-физической систем а решетчатые дифференциальные уравнения, дифференциальные уравнения с опозданием, дифференциальные уравнения в частных производных

A.S Sverstiuk. Mathematical modeling of cyber-physical biosensor and immunosensory systems. In the article the model of mathematical cyber and physical biosensor systems for forecasting period of storage, electrochemical biosensor cyber physical systems, cyber physical system to determine glucose levels. A mathematical model of the cyber-physical immunosensory system on a hexagonal lattice based on a system of delayed differential equations was developed. The lattice model of antigen-antibody interaction for a hexagonal array of immunopixels is described. The mathematical modeling of the dynamic logic of the cyber-physical immunosensory system is presented. It was conducted to simulate the linear modeling of the dynamic logic of the cyber-physical immunosensory system in the form of lattice images of the probability of binding of antigens to antibodies in pixels of the system, with the inversion of fluorescence pixels, is the electronic signal from the converter, which characterizes the number of fluorescing pixels.

Key words: biosensor on system, immunosensor on system, cyber-physical systems, lattice differential equations, delayed differential equations, differential equations in partial derivatives

Вступ.

В останні десятиліття спостерігаємо стрімкий розвиток інформаційних технологій, який потребує появи нових методів детекції. Тому в науці та промисловості зростає інтерес до кіберфізичних систем (КФС), які є фізичними системами з можливістю інтеграції обчислень та фізичних процесів. Функціонування КФС тісно пов'язана з роботизованими та сенсорними системами, які обладнані «розумними» механізмами з достатніми обчислювальними можливостями для ефективного керування. Завдяки постійному науковому прогресу, КФС зазнають періодичних змін, які покращують зв'язок між фізичними та обчислювальними компонентами за допомогою «розумних» механізмів, покращуючи таким чином здатність до адаптації, підвищуючи автономність, ефективність, надійність, безпечність та розширюючи їх функціональність.

У останні роки ефективно використовуються кіберфізичні біосенсорні та імуносенсорні системи (КФБСІСС), які є альтернативою відомим методам вимірювання, що характеризуються поганою вибірковістю, високою вартістю, поганою стабільністю, повільною реакцією і часто можуть бути виконані тільки високо підготовленим персоналом. Це нове покоління давачів, які використовують в конструкції біологічний матеріал, що забезпечує дуже високу селективність та дає змогу швидко і просто проводити вимірювання [1].

Мета дослідження. Провести класифікацію математичних моделей КФБСІСС на основі чутливих елементів та з використанням різних режимів фізико-хімічного перетворення

вимірювальної величини. Навести технічні стратегії, що застосовуються для розробки біосенсорних та імуносенсорних систем, які засновані на виявленні біомаркерів з використанням і без використання міток. Узагальнити КФСІСС, відносно принципів їх роботи та областей застосування.

Аналіз останніх досліджень. Для кількісної оцінки інфікування організму за допомогою певних електрохімічних чи оптичних явищ у КФС використовуються клітинні біосенсори. У роботі [2] описано клітинний біосенсор, в якому використано електрохімічну імпедансну спектроскопію. Цей біосенсор призначений для підрахунку людських клітин CD4+. Область його зондування включає електродні пікселі, кожний з яких дорівнює за розміром клітині CD4+, захопленій пікселями електроду. Ці клітини виявляють шляхом спостереження за інформативними змінами на пікселі. Стан «ввімкнено» або «вимкнено» електродного пікселя вказує на виявлення однієї CD4+ клітини. Отже, щоб підрахувати клітини CD4+, потрібно підсумувати електродні пікселі в стані «ввімкнено».

Цей загальний підхід до кількісного виявлення клітин використано для моделювання імуносенсорної системи, в основі якої лежить явище флуоресценції. Імуносенсори [3] є підгрупою біосенсорів, в яких відбувається імунохімічна реакція, пов'язана з перетворювачем. Принцип роботи усіх імуносенсорів полягає в специфічному молекулярному розпізнаванні антигенів антитілами для утворення стабільних комплексів.

Найчастіше КФС розробляються у вигляді вбудованих систем і мереж для моніторингу та контролю фізичних процесів в системах зі зворотнім зв'язком. У таких системах динаміка фізичних процесів є джерелом інформації досліджуваного явища з можливістю контролю та розрахунку сигналів керування об'єктом [4]. Кібер-фізичні системи ототожнюють з проявом четвертої промислової революції, яка відбувається в сучасному світі [5]. Існує також фізична можливість використання технологій «Internet of Things (Інтернет речей)», коли необхідно використовувати сигнали від давачів і вимірювальних приладів.

Таким чином, з'являється все більше публікацій, які привертають увагу до сучасних концепцій та пропонують нові інноваційні рішення. Наприклад, у роботі [6] А.Платцер запропонував підхід на основі «динамічної логіки», де описано та проаналізовано КФС. У багатьох роботах використано гібридні програми (ГП) простою мовою програмування з простою семантикою, які дають змогу програмісту звертатись безпосередньо до дійсних значень змінних, що є реальними величинами і визначають їх динаміку.

Термін «Кібер-фізична сенсорна система (КФСС)» [6] був введений для промислового застосування давачів. Загальне визначення КФСС передбачає «більш високий ступінь поєднання, розподілення системи, можливість використовувати вбудовані системи в області автоматизації та дотримання діючих стандартів». Розглянутий підхід використано для характеристики КФСІСС, що дає змогу виконати його чисельне моделювання.

У КФСІСС фізично виміряні імунологічні показники перетворюються у цифрову інформацію, яка дає змогу проводити обробку сигналів в часі, використовуючи певні алгоритми.

В імуносенсорних пристроях використовуються чотири основні види детектування: електрохімічний (потенціометричний, амперометричний, ємнісний), оптичний, мікрогравіметричні та термометричні [3]. Усі типи сенсорів можуть використовуватися, як прямі (немарковані) або як непрямі (марковані) імуносенсори. Прямі сенсори здатні виявляти фізичні зміни під час утворення імунного комплексу, в той час як непрямі, використовують різні рівні генерованого сигналу, які дають змогу більш чутливо та універсально проводити детектування у вимірювальних системах.

КФСІСС є високоінтелектуалізованими інформаційними системами. Вони використовують доступний набір інтерфейсів, які дають змогу отримувати швидко та достовірну інформацію про стан та внутрішні дані системи, доступні для інших КФС. Згідно [7] КФСІСС як самоорганізуюча система потребує всебічних знань про власну динамічну структуру та інфраструктуру загальної системи. Для цього необхідно визначити типи імуносенсорних пристроїв, враховуючи їх функціональне застосування. Наприклад, імуносенсори можна використовувати для оцінки критичних станів при серцево-судинних захворюваннях, об'єму інсуліну при вимірюванні вмісту глюкози в крові та виявлення кількісних показників у деяких фармацевтичних сполуках [8—10].

Мобільні КФСІСС є перспективним напрямком досліджень та розробки. В якості прикладів можна навести мобільні електронні пристрої, які можуть переноситися людиною. Зростання популярності смартфонів призвело до підвищення цікавості через можливість застосування їх в КФСІСС у зв'язку із можливістю використання їх надзвичайних

обчислювальних потужностей, різних способів отримання та виведення інформації (сенсорні екрани, камери, GPS-чіпи, світлові датчики, сенсори руху), зручні комунікаційні механізми для виходу в Інтернет (WiFi, 3G), наявність каналів поширення додатків (Google Play Store та Apple App Store).

Для вирішення задач, які потребують більших ресурсів, ніж наділені КФБСІСС, можна використовувати підключення до мобільних систем або хмарних сервісів, що мають достатньо потужностей. Прикладами мобільних КФБСІСС є додатки, які відстежують та аналізують викиди CO_2 , проводять моніторинг біологічних показників людини.

При розробці КФБСІСС використовують технічні підходи [11], які засновані на виявленні біомаркерів з використанням і без використання міток. Детектування з використанням міток засноване переважно на специфічних властивостях мічених з'єднань, що застосовуються для прицільного виявлення. КФБСІСС такого типу надійні, проте часто вимагають комбінації специфічних чутливих елементів, що виготовляються з використанням іммобілізованого білка-мішені. З іншого боку, методи [12, 13], що не використовують міток дають змогу виявляти молекули-мішені, не придатні для маркування. Останні міждисциплінарні підходи в галузі біотехнології та біоінженерії, електротехніки та електроніки зумовили розробку КФБСІСС, які не використовують маркери для різних методів виявлення з широким спектром напрямків застосування в області медицини, моніторингу якості продуктів харчування, оборонної промисловості та охорони навколишнього середовища.

Розглянемо основні технічні характеристики КФБСІСС.

1. Селективність є найважливішою характеристикою КФБСІСС, що вказує на його здатність відрізнити одну речовину від інших. Селективність визначається розпізнавальним елементом сенсора, хоча в ряді випадків на неї впливають і характеристики трансдьюсера.

2. Чутливість – найменша концентрація, що може бути визначена КФБСІСС. Як правило, чутливість КФБСІСС повинна бути нижчою за 1 ммоль, але в деяких випадках вона може досягати декількох фемтомолів (10^{-15} моль).

3. Точність. КФБСІСС повинна забезпечувати точність вимірювань, тобто результат, що одержується, має бути близьким до істинного значення.

4. Відтворюваність – це міра того, як повторюються результати при багаторазовому проведенні вимірювань КФБСІСС одним способом, а точність характеризує правильність отриманих результатів.

5. Природа розчину. Характеристики КФБСІСС можуть змінюватися залежно від рН, температури та іонної сили розчину.

6. Час відгуку – це той час, який потрібен для того, щоб КФБСІСС прийшла до стану рівноваги зі сполукою, що визначається.

7. Час регенерації – це час, необхідний для повернення КФБСІСС у початковий стан, коли його знову можна використовувати для вимірювання.

8. Термін експлуатації КФБСІСС визначається стабільністю розпізнавального елемента. Для КФБСІСС він може становити від декількох днів до місяців.

Зважаючи на широкий спектр досліджень та використання кібер-фізичних моделей біосенсорних та імуносенсорних систем [14-16] розглянемо деякі з них.

2. Математичні моделі кіберфізичних біосенсорних систем на основі звичайних диференціальних рівнянь.

2.1. Динамічна модель кіберфізичної біосенсорної системи для прогнозування терміну її зберігання.

У роботі [17] розглянуто динамічну математичну модель другого порядку для прогнозування зміни ефективної роботи кіберфізичної біосенсорної системи з часом. Модель складається із зворотньої та незворотньої реакції, з коефіцієнтами швидкості, що мають температурні залежності, згідно рівняння Арреніуса. У динамічній моделі другого порядку враховується порівняння двох експериментальних наборів даних, які використовуються для оцінки та для перевірки набору даних. Отримана модель враховує прогнозування терміну придатності, проведення експериментів із прискореним тестуванням та вдосконаленням біосенсорів, а також розробкою рекомендацій, щодо їх зберігання.

Слід зазначити, що біосенсори є чутливими до вологості, підвищеної температури і концентрації кисню [18, 19]. Після складних умов зберігання, зв'язок між сировиною біосенсора та наявністю рівня аналіту, може відхилитися від калібрувальних залежностей, які

використовуються в кіберфізичних системах. Для усунення даного недоліку виконують порівняння із стандартизованими залежностями та внесенням відповідних поправок в покази біосенсорів.

Значний прогрес був досягнутий протягом останніх декількох десятиліть в стабілізації параметрів біосенсорів на основі ферментів, використовуючи відповідні методи іммобілізації [19, 20]. Хоча методи на основі ферментів розширюють термін працездатності біосенсорів, завдяки чому вони є більш комерційно цікавими та стабільними, однак існують можливості для їх покращення [19, 21], оскільки термін зберігання біосенсорів залишається важливою характеристикою при виробництві цих пристроїв.

Схожі проблеми стабільності параметрів в умовах зберігання ставляться при розробці кіберфізичних систем для медичних, фармацевтичних досліджень, вимірювання рН середовищ, вологості, рівнів освітленості та кисню [22]. Щодо термічного впливу у фармацевтичній промисловості використовується метод "середньої кінетичної температури" (СКТ), що передбачає температурну зміну активності продуктів з хімічно активними компонентами [23]. СКТ є еквівалентною додатньою температурою, яка спричиняє певну зміну активності за визначений період часу. Швидкість змін описується рівнянням Арреніуса, яке широко використовується в кінетиці хімічних реакцій:

$$k = A_0 e^{-\frac{E_a}{RT}} = k_{ref} e^{-\frac{E_a}{RT} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right)} \quad (1)$$

Рівняння Арреніуса пов'язує коефіцієнт швидкості реакції k з абсолютною температурою T ; E_a – енергія активації; R – універсальна газова стала; A_0 – доекспоненційний фактор; k_{ref} – значення коефіцієнта швидкості при еталонній температурі T_{ref} (як правило, вибирається, як типова температура в межах важливих експериментальних температур) [24].

Загальноприйнято вважати динаміку першого порядку для оцінювання якості фармацевтичної продукції під час її зберігання. Це припущення використовується для розробки регуляторних стандартів, що стосуються моніторингу термінів зберігання [25], які допомагають забезпечити якість лікарських засобів.

В динамічних моделях першого порядку, які використовують рівняння Арреніуса, залежність зміна температури використовують для оцінки стійкості кіберфізичних систем [26, 27]. У роботі [26] представлено загальну модель динамічного процесу першого порядку для оцінки відповідності параметрів біосенсора при прийнятті його в експлуатацію. Цей підхід може бути наближеним до біосенсорних систем, які містять один термічно чутливий компонент, однак він може бути недостатнім для більш складних кіберфізичних систем. Термічні компоненти можуть складатися з ряду елементів, у тому числі змінні дифузійні властивості полімерних матричних шарів у сенсорі або зміні дії одного або декількох ферментів, присутніх в біосенсорній системі. Комбінація цих типів змін могла виробляти динамічну поведінку вищого порядку для оцінки стійкості КФСІСС, тому моделі першого порядку можуть неадекватно описувати такі системи. У даній роботі наведені дані термостійкості біосенсорів, які використовуються для розробки динамічних моделей для стійкості конкретного біосенсорного пристрою. Використовуючи моделі першого порядку можна стверджувати, що даний метод забезпечує неадекватне прогнозування даних, тому більш доцільним є використання динамічних моделей другого порядку.

Наведені нижче динамічні моделі першого та другого порядку являють собою лінійні моделі звичайного диференціального рівняння для фіксованої температури.

Модель, що описує зміну активності біосенсора з часом використовує динамічну модель першого порядку з врахуванням температури Арреніуса має вигляд:

$$\frac{dI_1}{dt} = -k_1 I_1 \quad (2)$$

де I_1 – реакція датчика на аналіт у контрольному зразку; t – час використання датчика, який залежить від константи швидкості k_1 (коефіцієнт зосередженої швидкості, який має залежити від температури Арреніуса). Інтегруючи рівняння (2), припускаючи температуру постійною протягом інтервалу часу з тривалістю t , отримаємо рівняння (3):

$$I_1 = I_0 e^{-k_1 t} \quad (3)$$

де I_{1_0} – це відповідь біосенсора на еталонний розчин в інтервалі теплового впливу. Рівняння (3) вказує на те, що активність біосенсора, повинна відповідати експоненціальній залежності.

У моделі другого порядку поведінка старіння біосенсора апроксимується, використовуючи двостадійний процес між трьома станами:



На першому етапі термічно чутливі компоненти біосенсора в їх природньому стані переходять реверсивно до неактивного стану, позначені як В. На другому етапі компоненти в стані В здійснюють незворотній перехід до неактивного стану С. У цій схемі передбачається, що компоненти біосенсора в стані А досить ефективні для реагування біосенсора на наявність аналіту. В та С представляють стан, де компоненти біосенсора більше не генерують відповідь на аналіт, який вимірюється, або форма відповіді, сформована біосенсором, так істотно змінилася, що алгоритм для розрахунок концентрації аналіту більше не підходить. Стан В являє собою обернений модифікований стан, тоді як стан С являє собою основу модифікованого стану. Ця проста динамічна схема є наближенням складних взаємодій термічного старіння, що виникають внаслідок зміни параметрів компонентів, таких як кінетика реакції та поведінка масопереносу в біосенсорі. Механізм двоетапного старіння в рівнянні (4) є простим способом обліку складних температурно-залежних процесів, які пов'язані з рівновагою, зміною чутливості та довготривалим зменшенням активності біосенсорів. Подібні моделі кінетичного старіння для використання при прискореному тестуванні були використані для опису змін у оптоволоконних системах.

На практиці, ступінь зміни характеристик біосенсора з віком, визначається шляхом порівняння сигналів. При цьому вимірюється відгук біосенсора на тестуючий сигнал, який порівнюється із середнім значенням відповідного сигналу перед консервацією або початком експлуатації. Припускаючи, що швидкість зміни для кожного переходу в рівнянні (4) відповідає кінетиці першого порядку, динамічна поведінка системи може бути підсумована двома диференціальними рівняннями:

$$\frac{dI_A}{dt} = k_{1,rev} I_B - k_{1,fwd} I_A \quad (5)$$

$$\frac{dI_B}{dt} = k_{1,fwd} I_A - k_{1,rev} I_B - k_{2,fwd} I_B \quad (6)$$

де I_A – це біосенсорна відповідь на аналіт у контрольній вибірці; I_B – гіпотетична відповідь, яка може бути сформована з компоненти В, якщо вона повертається до А; $k_{1,fwd}$, $k_{2,fwd}$ та $k_{1,rev}$ коефіцієнтів швидкості. Використовуючи вирази Арреніуса для опису температурної залежності переходів в рівнянні (4) отримаємо:

$$k_{1,fwd} = k_{1,fwd_ref} \cdot e^{\left(\frac{-E_{k1,fwd}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right)} \quad (7)$$

$$k_{1,rev} = k_{1,rev_ref} \cdot e^{\left(\frac{-E_{k1,rev}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right)} \quad (8)$$

$$k_{2,fwd} = k_{2,fwd_ref} \cdot e^{\left(\frac{-E_{k2,fwd}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}}\right)\right)} \quad (9)$$

де $E_{k1,fwd}$, $E_{k1,rev}$ та $E_{k2,fwd}$ – зосереджені енергії активації, T – абсолютна температура і k_{1,fwd_ref} , k_{1,rev_ref} і k_{2,fwd_ref} – коефіцієнти швидкості при температурі T_{ref} .

2.2. Математичні моделі кіберфізичних біосенсорних систем у вигляді диференціальних рівнянь в частинних похідних.

2.2.1. Модель кіберфізичної електрохімічної біосенсорної системи.

Електрохімічні (ЕХ) кіберфізичні клітинні біосенсорні системи інтегрують клітини, еукаріоти або прокаріоти, як біорозпізнавальні елементи з ЕХ перетворювачем, який перетворює біохімічний сигнал в електричний вимірюваний сигнал. Сигнал генерується у відповідь на концентрацію аналіту, його наявність або функціональність [28]. Ці характеристики використовуються для виявлення, скринінгу і моніторингу аналіту, що представляє інтерес, і

виявлення клітинної активності, потенційної токсичності і різних патологій клітин, що забезпечують цінність інформації для оцінки ризиків. Біосенсори на основі клітин використовуються у різних галузях, включаючи моніторинг навколишнього середовища [29-31], медичну діагностику [32], фармакологію [33-35] і харчову безпеку [36]. Використання клітини як елемента розпізнавання дозволяє зберігати активні білки в їх природному середовищі, сприяючи їхній діяльності і стабільності, самостійному виробництву всіх необхідних ферментів.

В [37] змодельовано електрохімічну клітину, інтегровану з життєздатними бактеріальними клітинами, що експресують внутрішньоклітинний фермент, який реагує на доданий субстрат, а генерований продукт секретується і окислюється на поверхні електроду. Проаналізовано вплив розподілу бактерій при порівнянні двох випадків: суспендовані клітини, що передбачають рівномірний розподіл і гомогенну реакцію та клітини, які іммобілізовані на гранулах, що прикріплені до поверхні електроду, утворюючи неоднорідну генерацію продукту у вузькій області поблизу електроду.

Модель показує, що коли загальна кількість чутливих клітин зберігається постійною, бажано розміщувати їх безпосередньо біля робочих електродів. Хоча модель є наближеною, оскільки гранули утворюють 3D-структуру, де транспорт відбувається через проміжки між кульками, 1D-модель добре пояснює основні експериментальні результати при моделюванні в COMSOL Multiphysics™. Припускаючи, що дифузія продуктів до електроду є домінуючим фактором і реакція бактерій не залежить від його іммобілізації і щільності, досліджено, що в міру того, як загальна популяція наближається до електроду, час відгуку зменшується, а довготривалий електрохімічний струм досягає того самого значення, яке залежить від загальної кількості бактеріальних клітин.

Іммобілізація клітин на поверхні перетворювача ефективно використовується при побудові КФБСІСС, оскільки вважається підвищенням чутливості, спрощенням роботи та зменшенням часу реакції. Схематичне зображення моделі наведено на рис. 1.

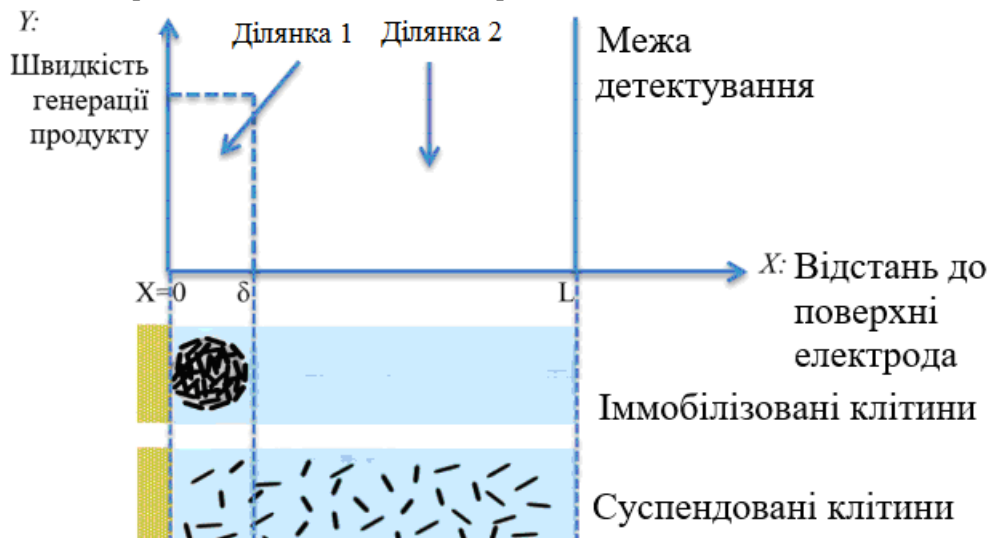


Рис.1. Схематичне зображення моделі біосенсорної системи суспендованих та іммобілізованих клітин.

Електрохімічний струм виникає за рахунок взаємодії реакції окислення на робочому електроді продукту ферментативної реакції.

Ділянка I. (на рис. 1). У разі дифузії задається лише концентрація продукту в розчині P_1 :

$$\frac{\partial P_1}{\partial t} = D_p \cdot \frac{\partial^2 P_1}{\partial x^2} + g'_p, .$$

де $g'_p = g_p \frac{L}{\delta}$, а D_p – коефіцієнт дифузії продукту в електроліті.

Ділянка II. (на рис. 1). У ділянці II продукт не генерується, а переноситься завдяки дифузії з ділянки I в ділянку II і концентрація продукту в розчині задається виразом для P_2 :

$$\frac{\partial P_2}{\partial t} = D_P \cdot \frac{\partial^2 P_1}{\partial x^2}, \quad \delta \leq x \leq L.$$

Розв'язок для ділянок I та II має вигляд:

$$P_1 = \left(\frac{g'_P}{S^2} + \frac{P(0)}{S} \right) + A_1 \cdot e^{ax} + A_2 \cdot e^{-ax}$$

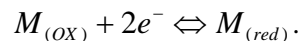
$$P_2 = \frac{P(0)}{S} + B_1 \cdot e^{ax} + B_2 \cdot e^{-ax}$$

В моделі зроблено припущення, що продукт неперервно генерується з сталою швидкістю, внаслідок взаємодії між субстратом і ферментом всередині клітин. Продукт секретується з клітини до розчину і дифузія відбувається в напрямку поверхнього електрода, де він негайно окислюється.

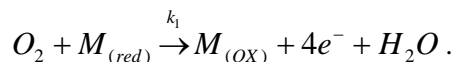
2.2. Математична модель кіберфізичної біосенсорної системи для визначення рівня глюкози.

Кіберфізичні біосенсорні системи для визначення рівня глюкози мають великий потенціал для моніторингу глюкози в процесах ферментації [38], що задовольняють потреби в розробці біотехнологічних штамів. Однак надійність реакції таких систем при неперервному моніторингу залишається обмежувальним фактором для їх подальшої інтеграції в біотехнології.

Головною метою моделі [39] було передбачити циклічні криві вольтамперометрії для зворотньої електрохімічної реакції, яка пов'язаної з окисленням при відсутності субстрату (глюкози) для насиченого повітрям фосфатного буферного розчину, при різних умовах експлуатації. У просторі біосенсор моделюється як одновимірною системою. Нелінійні рівняння в частинних похідних другого порядку поєднують динамічну дифузію та реакцію залучених хімічних речовин у ферментативно-мембранному шарі, а також електрохімічну реакцію на поверхні електрода. Різні області багатшарової системи біосенсорів глюкози (поверхня електродів, шар фермен-мембрана та застійний дифузійний шар) були пов'язані з дифузійними потоками, хімічними та електрохімічними реакціями. Передбачалося, що окислена форма ($M_{(ox)}$) штучної пероксидази була осаджена на поверхні робочого електрода в якості оборотної форми ($M_{(red)}$), яка отримана під час оборотної реакції перенесення двох електронів [40]:



Повне зменшення молекулярного кисню відповідає реакції переносу чотирьох електронів в бік ферментно-мембранного шару:



Вважається, що кінетика електрохімічних реакцій є оборотною, а відновлення кисню слідує кінетиці другого порядку. Враховуючи одновимірну дифузію, сформульовані рівняння для кисню (10), окисленої (11) і редукованої (12) форм медіатора наступним чином:

$$\frac{\partial [O_2]}{\partial t} = D_{O_2,e} \frac{\partial^2 [O_2]}{\partial x^2} - r([O_2], [M_{red}]) \quad (10)$$

$$\frac{\partial [M_{ox}]}{\partial t} = D_{M_{ox},e} \frac{\partial^2 [M_{ox}]}{\partial x^2} + r([O_2], [M_{red}]) \quad (11)$$

$$\frac{\partial [M_{red}]}{\partial t} = D_{M_{red},e} \frac{\partial^2 [M_{red}]}{\partial x^2} - r([O_2], [M_{red}]) \quad (12)$$

Для дифузійного шару $t > 0$ і $d_e < x < d_e + d_d$:

$$\frac{\partial [O_2]}{\partial t} = D_{O_2,d} \frac{\partial^2 [O_2]}{\partial x^2}, \quad (13)$$

де $D_{O_2,e}$ і $D_{O_2,d}$ – коефіцієнти дифузії для кисню всередині фермент-мембранного та дифузійного шарів. Всередині фермент-мембранного шару, $D_{M_{red},e}$ і $D_{M_{ox},e}$ – коефіцієнти дифузії відновленої і окисленої форми медіатора. d_e – товщина ферментно-мембранного шару, d_d – товщина дифузійного шару.

шару. Швидкість (r) гомогенної реакції між відновленою формою медіатора і кисню забезпечується наступною рівністю:

$$r([O_2], [M_{red}]) = k_1 \cdot [O_2] \cdot [M_{red}] \quad (14)$$

де k_1 – кінетична стала для повного окислення заумови наявності кисню для насичених повітрям розчинів.

3. Математична модель кібер-фізичної імуносенсорної системи на гексагональній решітці, яка ґрунтується на системі диференціальних рівнянь із запізненням.

3.1. Решітчаста модель взаємодії антиген-антитіло для гексагонального масиву імунопікселів.

В роботі [41] побудовано математичну модель імуносенсора в класі диференціальних рівнянь із запізненням на гексагональній решітці і отримано умови стійкості її ендемічного стану рівноваги.

Розглянуто модель імуносенсора на основі гексагональної решітки. При цьому для нумерації імунопікселів (i, j, k) , $i, j, k = \overline{-N, N}$, $i + j + k = 0$ використовується кубічна система координат [42].

Нехай $V_{i,j,k}(t)$ – концентрація антигенів, $F_{i,j,k}(t)$ – концентрація антитіл в імунопікселі (i, j, k) ; $i, j, k = \overline{-N, N}$, $i + j + k = 0$.

Модель ґрунтується на таких біологічних припущеннях для довільного імунопікселя (i, j, k) .

1. Маємо деяку константу народжуваності $\beta > 0$ для популяції антигенів.
2. Антигени нейтралізує антитілами з деякою ймовірнісною швидкістю $\gamma > 0$.
3. Популяція антигенів прагне до деякої межі насичення зі швидкістю $\delta_v > 0$.
4. Маємо деяку дифузію антигенів з шести сусідніх пікселів $(i+1, j, k-1)$, $(i+1, j-1, k)$, $(i, j-1, k+1)$, $(i-1, j, k+1)$, $(i-1, j+1, k)$, $(i, j+1, k-1)$, (Рис. 2) із швидкістю дифузії $D\Delta^{-2}$, где $D > 0$ і $\Delta > 0$ є відстанню між пікселями.
5. Маємо деяку постійну смертності антитіл $\mu_f > 0$.
6. В результаті імунної відповіді збільшується щільність антитіл з ймовірнісною швидкістю $\eta\gamma$.

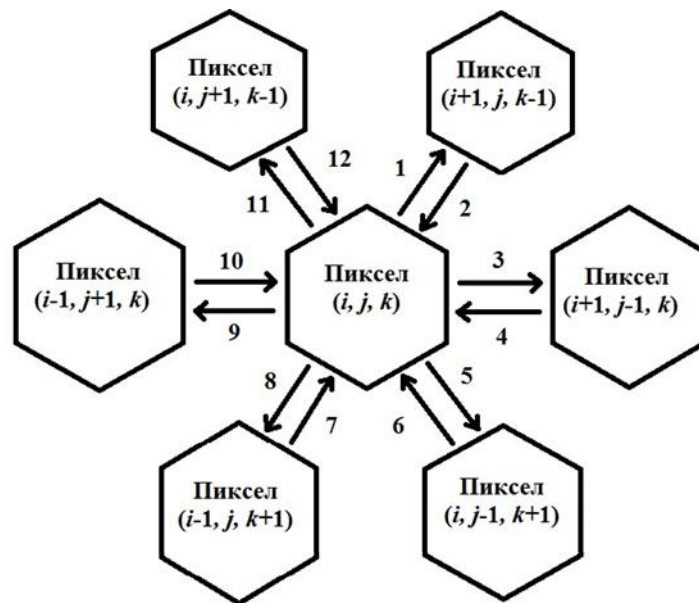


Рис. 2. Гексагональна решітка, яка пов'язує шість сусідніх пікселів в моделі з використанням кубічних координат

$$1, 3, 5, 8, 9, 11 \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i,j,k}(t) \right); 2 \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i+1,j,k-1}(t) \right); 4 \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i+1,j-1,k}(t) \right);$$

$$6 - \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i,j-1,k+1}(t) \right); 7 - \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i-1,j,k+1}(t) \right); 10 - \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i-1,j+1,k}(t) \right); 12 - \left(\frac{D}{\Delta^2} v_{i,j+1,k-1}(t) \right).$$

7. Популяція антитіл прагне до деякого рівня насичення зі швидкістю $\delta_f > 0$.

8. Імунна відповідь настає з деякою постійною затримкою в часі $\tau > 0$.

На основі цього розглянуто дуже просту конструкцію моделі антиген-антитіло із запізненням для гексагонального масиву імунопікселів, яка ґрунтується на добре відомій моделі Марчука [43, 44] і використовує просторовий оператор \hat{S} , запропонований в [45].

$$\begin{aligned} \frac{dV_{i,j,k}(t)}{dt} &= (\beta - \gamma F_{i,j,k}(t - \tau)) - \delta_v V_{i,j,k}(t - \tau) V_{i,j,k}(t) + \hat{S}\{V_{i,j,k}\} \\ \frac{dF_{i,j,k}(t)}{dt} &= (-\mu_f + \eta \gamma V_{i,j,k}(t - \tau) - \delta_f F_{i,j,k}(t)) F_{i,j,k}(t) \end{aligned} \quad (15)$$

Модель (15) задана початковими функціями (16):

$$\begin{aligned} V_{i,j,k}(t) = V_{i,j,k}^0(t) \geq 0, \quad F_{i,j,k}(t) = F_{i,j,k}^0(t) \geq 0, \quad t \in [-\tau, 0), \\ V_{i,j,k}(0), \quad F_{i,j,k}(0) > 0. \end{aligned} \quad (16)$$

Для гексагонального масиву використовується дискретна дифузія для просторового оператора.

$$\hat{S}\{V_{i,j,k}\} = \begin{cases} D\Delta^{-2} [V_{i+1,j,k-1} + V_{i+1,j-1,k} + V_{i,j-1,k+1} + V_{i-1,j,k+1} + V_{i-1,j+1,k} + V_{i,j+1,k-1} - 6nV_{i,j,k}] \\ i, j, k \in \overline{-N+1, N-1}, \quad i + j + k = 0. \end{cases} \quad (17)$$

Кожна колонія піддається впливу антигенів, вироблених в шести сусідніх колоніях, які розділені рівними відстанями Δ .

Використовується гранична умова $V_{i,j,k} = 0$ для пікселів (i, j, k) таких, що $i \in \{-N, N\} \vee j \in \{-N, N\} \vee k \in \{-N, N\}$ і $i + j + k = 0$.

3.2. Математичне моделювання динамічної логіки кібер-фізичної імуносенсорної системи.

Для математичного моделювання динамічної логіки КФІСС використовується синтаксис, який запропонований А. Платцером для загальної КФС [4] у вигляді мови програмування ГП. У випадку КФІСС перший рівень ГП є динамічною програмою, яка визначається наступною граматиною

$$\begin{aligned} a ::= \frac{dV_{i,j,k}(t)}{dt} &= (\beta - \gamma F_{i,j,k}(t - \tau) - \delta_v V_{i,j,k}(t - \tau) V_{i,j,k}(t) + \hat{S}\{V_{i,j,k}\}), \\ \frac{dF_{i,j,k}(t)}{dt} &= (-\mu_f + \eta \gamma V_{i,j,k}(t - \tau) - \delta_f F_{i,j,k}(t)) F_{i,j,k}(t) \& \Phi_t \end{aligned} \quad (18)$$

У формулі (18) Φ_t є еволюційним доменним обмеженням у вигляді формули логіки першого порядку

$$\begin{aligned} \Phi_t &\stackrel{\text{def}}{=} V^{\min} \leq V_{i,j,k}(n) \leq V^{\max} \\ \wedge F^{\min} &\leq F_{i,j,k}(n) \leq F^{\max} \wedge i, j, k = \overline{-N, N} \wedge t > 0, \\ i + j + k &= 0 \end{aligned} \quad (19)$$

В результаті зв'язування антигенів з антитілами в імунопікселі відбувається явище флуоресценції. Функціонування імунопікселя (i, j, k) визначається двома станами. А саме, s_{fl} є станом флуоресценції та s_{nonfl} є одним із нефлуоресцентних станів.

Інтенсивність флуоресценції пропорційна кількості контактів між антигенами та антитілами, тобто $k_{fl}V_{i,j,k}(t)F_{i,j,k}(t)$. Припускається, що піксель (i, j, k) знаходиться у стані флуоресценції, якщо

$$k_{fl}V_{i,j,k}(t)F_{i,j,k}(t) \geq \Theta_{fl},$$

де $\Theta_{fl} > 0$ є деяким пороговим значенням зв'язування, при якому відбувається явище флуоресценції.

Використавши в синтаксисі логіки першого порядку співвідношення задоволення $s| = L$ для формули логіки першого порядку L та стану s , можна визначити для конкретних пікселів (i, j, k) ; $i, j, k = -N, N$, $i + j + k = 0$ стани s_{fl} і s_{nonfl} , як

$$\begin{aligned} s_{fl} &| = k_{fl}V_{i,j,k}(n)F_{i,j,k}(n) \geq \Theta_{fl}, \\ s_{nonfl} &| = k_{fl}V_{i,j,k}(n)F_{i,j,k}(n) < \Theta_{fl} \end{aligned} \quad (20)$$

Дискретні зміни відбуваються в комп'ютерних програмах, коли вони приймають нові значення для змінних. Така ситуація відбувається у випадку виникнення явища флуоресценції в пікселі (i, j, k) , $i, j, k = -N, N$, $i + j + k = 0$. У стані флуоресценції змінній $s_{fl,i,j,k}$ присвоюється значення 1. Це веде до дискретної, стрибкоподібної зміни, оскільки значення $s_{fl,i,j,k}$ змінюється миттєво.

3.3. Комп'ютерне моделювання динамічної логіки кібер-фізичної імуносенсорної системи.

З метою комп'ютерного моделювання КФІСС використано мову програмування R та середовище розробки R Studio. Це пов'язано з тим, що, незважаючи на велике різноманіття мов програмування, які використовуються при розробці КФС (Assembly, C, C++, D, Java, JavaScript, Python, Ada та ін. [14]) мова R широко використовується в даний час у багатьох галузях, що займаються машинним навчанням і з чим будуть пов'язані подальші дослідження. Візуалізація даних в комп'ютерному моделюванні здійснена за допомогою пакету ggplot.

Чисельні експерименти на основі комп'ютерного моделювання проводилися із врахуванням цілого натурального числа N , яке характеризує кількість пікселів в гексагональній решітці.

Розглянемо модель (15) при $N = 4$, $\beta = 2xv^{-1}$, $\gamma = 2 \frac{\text{мл}}{\text{хв} \cdot \text{мкг}}$, $\mu_f = 1xv^{-1}$, $\eta = \frac{0.8}{\gamma}$, $\delta_v = 0.5 \frac{\text{мл}}{\text{хв} \cdot \text{мкг}}$,

$\delta_f = 0.5 \frac{\text{мл}}{\text{хв} \cdot \text{мкг}}$, $n = 0.9$, $D = 0.2$, $\Delta = 0.3$. було реалізовано для різних значень τ .

Результат комп'ютерного моделювання моделі (15) при $\tau = 0.25$ з набором значень параметрів, які представлені вище, наведено на рис. 3.

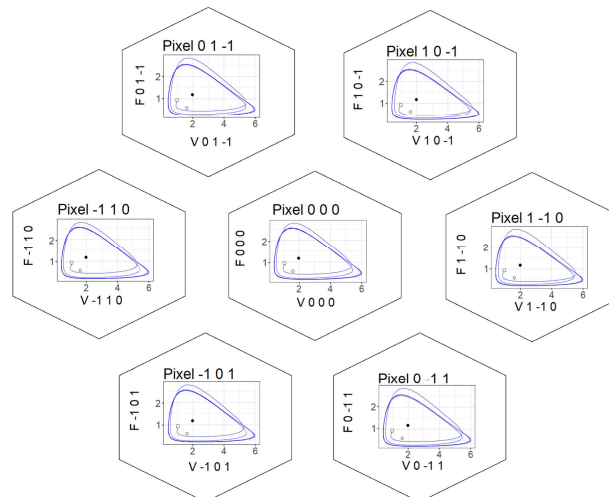


Рисунок 3. Результати чисельного моделювання системи (15) при $\tau = 0.25$. Зображення фазових площин в координатах $(V_{i,j,k}, F_{i,j,k})$ для пікселя $(0,0,0)$ і його шести сусідніх пікселів. Позначення: \square – початковий стан, \circ – ідентичний сталий стан, \bullet – неідентичний сталий стан.

Згідно рис. 3 спостерігаємо якісні зміни поведінки імунопікселів та моделі КФІСС в цілому. Аналізуючи фазові діаграми популяції антигенів щодо антитіл (рис. 3) можна зробити висновок, що при $\tau = 0,25$ виникає бифуркація Хопфа. Для теоретичного обґрунтування виникнення бифуркації Хопфа необхідно обчислити відповідну пару чисто уявних розв'язків характеристичного рівняння лінеаризованої системи (15). Результати чисельного моделювання узгоджені з теоретичними результатами на основі теореми про бифуркацію Хопфа [15]. При цьому розв'язок системи (15) прагне до стійкого граничного циклу з двома локальними екстремумами (один локальний максимум і один локальний мінімум) в циклі.

Для комп'ютерного моделювання кібер-фізичної моделі імуносенсора було використано решітчасті графіки. Спочатку побудовано відповідні графіки, на яких для кожного пікселя представлено ймовірність контакту антигенів з антитілами, як $V_{i,j,k} \times F_{i,j,k}$ при $\tau = 0.25$ (рис. 4).

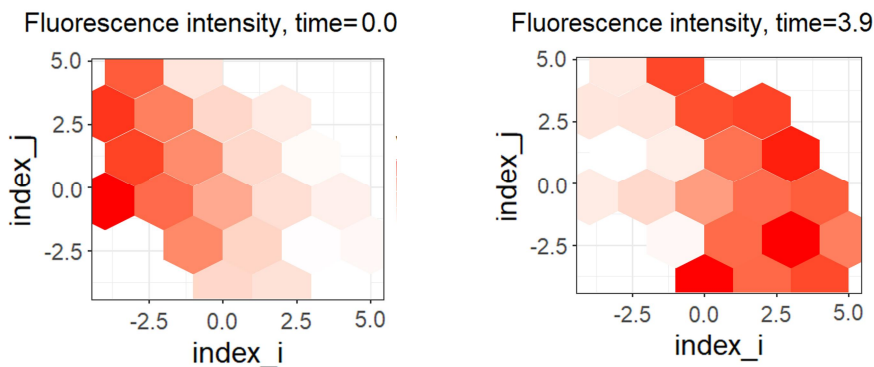


Рисунок 4. Решітчасті зображення ймовірності зв'язків антигенів з антитілами в пікселях системи (15) при $\tau = 0.25$.

На другому етапі комп'ютерного моделювання КФІСС отримано решітчасті графіки флуоресціюючих пікселів на основі виконання умови (20), які наведені на рис. 5.

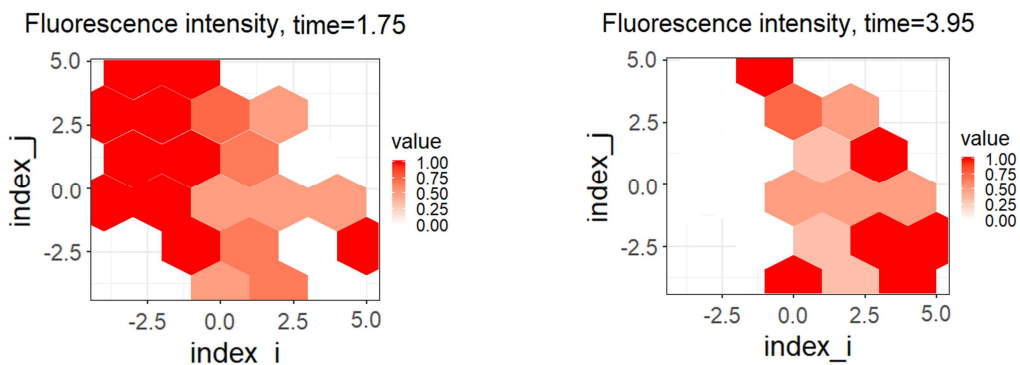


Рисунок 5. Зображення флуоресценціюючих пікселів системи (43) при $\tau = 0.25$.

В якості прикладу завершального етапу комп'ютерного моделювання КФІСС отримано вигляд електричного сигналу перетворювача, який характеризує число флуоресціюючих пікселів в залежності від різного значення запізнення в часі τ (рис. 6). Для чисельного моделювання КФІСС було використано порогове значення для флуоресценції $\Theta_{fl} = 1,5$.

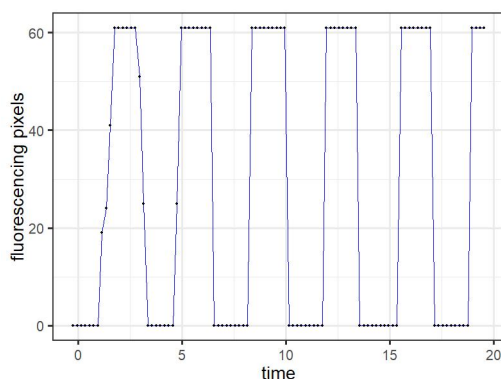


Рисунок 6. Електричний сигнал з перетворювача, який характеризує кількість флуоресціюючих пікселів при $\tau = 0.25$.

Як показали результати чисельного аналізу, флуоресціюючі стани в імунопікселях змінюються відповідно до законів дискретної динаміки.

Висновки та перспективи подальших досліджень

У роботі розглянуто підходи до розробки математичних моделей кібер-фізичних та імуносенсорів у вигляді диференціальних рівнянь в частинних похідних, які б враховували біологічні припущення щодо основних компонент пристрів – симетричну геометрію біосенсорів і однорідний розподіл іммобілізованого ферменту та реакції зв'язування в ферментному шарі, кінетичні властивості бактеріальних ферментативних реакцій, колонії антигенів і антитіл, локалізованих у пікселях, дифузії колонії антигенів між пікселями.

В роботі запропонована модель імуносенсора, яка ґрунтується на системі решітчатих диференціальних рівнянь із запізненням. Побудова моделі ґрунтувалася на ряді біологічних припущень щодо взаємодії колоній антигенів та антитіл, а також дифузії антигенів. Для опису дискретних в просторі колоній, локалізованих у відповідних пікселях, використано апарат решітчатих диференціальних рівнянь.

Запропоновані математичні моделі біосенсорів та імуносенсорів можуть бути використані в інформаційних системах для дистанційного зондування, виявлення ДНК, медичної діагностики, виявлення ферментів, безпеки харчових продуктів та моніторингу навколишнього середовища.

В подальших дослідженнях необхідно провести дослідження стійкості моделей біосенсорів та імуносенсорів на основі частинних похідних та решітчастих диференціальних рівнянь із запізненням.

1. P. Mehrotra "Biosensors and their applications – a review," Journal of Oral Biology and Craniofacial Research, vol. 6, no. 2, pp. 153–159, May 2016.

2. X. Jiang, M. G. Spencer "Electrochemical impedance biosensor with electrode pixels for precise counting of CD4+ cells: A microchip for quantitative diagnosis of HIV infection status of AIDS patients," Biosensors and Bioelectronics, vol. 25, no. 7, pp. 1622–1628, Mar. 2010.

3. P. B. Lippa, L. J. Sokoll, D. W. Chan "Immunosensors principles and applications to clinical chemistry," Clinica Chimica Acta, vol. 314, no. 1, pp. 1–26, 2001.

4. E. A. Lee "Cyber physical systems: Design challenges," Center for Hybrid and Embedded Software Systems, EECS University of California, Berkeley, CA 94720, USA, Tech. Rep. UCB/EECS-2008-8, Jan. 2008. Available at: <https://www2.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2008/EECS-2008-8.pdf>.

5. J. Lee, B. Bagheri, H.-A. Kao "A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems," Manufacturing Letters, vol. 3, pp. 18–23, 2015, ISSN: 2213- 8463. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221384631400025X>.

6. A. Platzer, "Differential dynamic logic for hybrid systems.," J. Autom. Reas., vol. 41, no. 2, pp. 143–189, 2008, ISSN: 0168-7433. DOI: 10.1007/s10817-008-9103-8.

7. Martsenyuk V.P., Klos-Witkowska A., Sverstiuk A.S. Study of classification of immunosensors from viewpoint of medical tasks // Medical informatics and engineering. – 2018.-№ 1(41). – p.13-19.

8. Bihuniak T.V., Sverstiuk A.S., Bihuniak K.O. Deiaki aspekty vykorystannia imunosensoryv u medytsyni // Medychnyi forum. – 2018. – no. 14 (14). – pp. 8-11.

9. Martsenyuk V.P., Klos-Witkowska A., Sverstiuk A.S., Bihuniak T.V. On principles, methods and areas of medical and biological application of optical immunosensors // Medical informatics and engineering. – 2018. – № 2 (42). – p.28-36.

10. H.J. Cruz, C.C. Rosa, A.G. Oliva "Immunosensors for diagnostic applications," Parasitology research, vol. 88, S4–S7, 2002.

11. I.A. Byely`x, M.F. Kleshhev Navchal`ny`j posibny`k „Biologichni ta ximichni sensorni sy`stemy” Xarkiv NTU «XPI», 2011. – 143s.

11. Turner, A. P. (2013). Biosensors: sense and sensibility. *Chem. Soc. Rev.* 42, 3184–3196. doi:10.1039/c3cs35528d.
12. Citartan, M., Gopinath, S. C., Tominaga, J., and Tang, T. H. (2013). Label-free methods of reporting biomolecular interactions by optical biosensors. *Analyst* 138, 3576–3592. doi:10.1039/c3an36828a.
13. Sang, S., Wang, Y., Feng, Q., Wei, Y., Ji, J., and Zhang, W. (2015). Progress of new label-free techniques for biosensors: a review. *Crit. Rev. Biotechnol.* 15, 1–17. doi:10.3109/07388551.2014.991270.
14. Martsenyuk V.P. Podhod k issledovaniyu globalnoy asimptoticheskoy ustoychivosti reshchatyih differentsialnyh uravneniy s zapazdyvaniem dlya modelirovaniya immunosensirov / A.S. Sverstyuk, I.E. Andruschak // *Mezhdunarodnyiy nauchno-tehnicheskii zhurnal "Problemy upravleniya i informatiki"*. – 2019. – № 1. – S. 62–74.
15. Sverstiuk A.S. Kiberfizychni biosensorni ta immunosensorni systemy / A.S. Sverstiuk // *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky.* – Khmelnytskyi, 2019. – № 1. – S. 145–154.
16. Sverstiuk A.S. Research of Global Attractability of Solutions and Stability of the Immunosensor Model Using Difference Equations on the Hexagonal Lattice / A.S. Sverstiuk // *"Innovative biosystems and bioengineering"*. – 2019. – Vol. 3, № 1. – C. 17–26. doi: 10.20535/ibb.2019.3.1.157644.
17. Harris, J. M., Reyes, C., and Lopez, G. P. (2013). Common causes of glucose oxidase instability in in vivo biosensing: a brief review. *J. Diabetes Sci. Technol.* 7, 1030–1038.
18. S.L. Snyder, K.B. McAuleya, P.J. McLellana, E.B. Brouwer, T. McCawb, Modeling the thermal stability of enzyme-based in vitro diagnostics biosensors, *Sensors and Actuators B* 156 (2011) 621–630.
19. T.D. Gibson, J.N. Hulbert, S.M. Parker, J.R. Woodward, I.J. Higgins, Extended shelf life of enzyme-based biosensors using a novel stabilization system, *Biosens. Bioelectron.* 7 (1992) 701–708.
20. N.A. Chaniotakis, Enzyme stabilization strategies based on electrolytes and polyelectrolytes for biosensor applications, *Anal. Bioanal. Chem.* 378 (2004) 89–95.
21. S. Cosnier, Biomolecule immobilization on electrode surfaces by entrapment or attachment to electrochemically polymerized films. A review, *Biosens. Bioelectron.* 14 (1999) 443–456.
22. P. d'Orazio, Biosensors in clinical chemistry, *Clin. Chim. Acta* 334 (2003) 41–69.
23. J.T. Carstensen, M. Franchini, K. Ertel, Statistical approaches to stability protocol design, *J. Pharm. Sci.* 81 (1992) 303–308.
24. U.S. Food and Drug Administration, Guidance for industry: Q1A(R2) Stability testing of new drug substances and products., U.S. Department of Health and Human Services; Food and Drug Administration; Center for Drug Evaluation and Research (CDER); Center for Biologics Evaluation and Research (CBER) (2003).
25. D.G. Watts, Estimating parameters in nonlinear rate equations, *Can. J. Chem. Eng.* 72 (1994) 701–710.
26. B. Kommanaboyina, C.T. Rhodes, Effects of temperature excursions on mean kinetic temperature and shelf life, *Drug Dev. Ind. Pharm.* 25 (1999) 1301–1306.
27. K. McAteer, C.E. Simpson, T.D. Gibson, S. Gueguen, M. Boujita, N. El Murr, Proposed model for shelf-life prediction of stabilized commercial enzyme-based systems and biosensors, *J. Mol. Catal. B: Enzym.* 7 (1999) 47–56.
28. C.-X. Liu, L.-Y. Jiang, H. Wang, Z.-H. Guo, X.-X. Cai, A novel disposable amperometric biosensor based on trienzyme electrode for the determination of total creatine kinase, *Sens. Actuators B* 122 (2007) 295–300.
29. N.J. Ronkainen, H.B. Halsall, W.R. Heineman, Electrochemical biosensors, *Chem. Soc. Rev.* 39 (2010) 1747–1763, <http://dx.doi.org/10.1039/B714449K>.
30. R. Popovtzer, T. Neufeld, D. Biran, E.Z. Ron, J. Rishpon, Y. Shacham-Diamand, Novel integrated electrochemical nano-biochip for toxicity detection in water, *Nano Lett.* 5 (2005) 1023–1027, <http://dx.doi.org/10.1021/nl0503227>.
31. K. Yagi, Applications of whole-cell bacterial sensors in biotechnology and environmental science, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 73 (2007) 1251–1258, <http://dx.doi.org/10.1007/s00253-006-0718-6>.
32. H. Ben-Yoav, A. Biran, R. Pedahzur, S. Belkin, S. Buchinger, G. Reifferscheid, Y. Shacham-Diamand, A whole cell electrochemical biosensor for water genotoxicity bio-detection, *Electrochim. Acta* 54 (2009) 6113–6118, <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2009.01.061>.
33. S. Vernick, A. Freeman, J. Rishpon, Y. Niv, A. Vilkin, Y. Shacham-Diamand, Electrochemical biosensing for direct biopsy slices screening for colorectal cancer detection, *J. Electrochem. Soc.* 158 (2011) P1–P4, <http://dx.doi.org/10.1149/1.3507268>.
34. S. Kumar, S. Kundu, K. Pakshirajan, V.V. Dasu, Cephalosporins determination with a novel microbial biosensor based on permeabilized pseudomonas aeruginosa whole cells, *Appl. Biochem. Biotechnol.* 151 (2008) 653–664, <http://dx.doi.org/10.1007/s12010-008-8280-6>.
35. G.E. Tsotsou, A.E.G. Cass, G. Gilardi, High throughput assay for cytochrome P450 BM3 for screening libraries of substrates and combinatorial mutants, *Biosens. Bioelectron.* 17 (2002) 119–131, [http://dx.doi.org/10.1016/S0956-5663\(01\)00285-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0956-5663(01)00285-8).
36. T. Yoetz-Kopelman, C. Porat-Ophir, Y. Shacham-Diamand, A. Freeman, Whole-cell amperometric biosensor for screening of cytochrome P450 inhibitors, *Sens. Actuators B: Chem.* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2015.09.111>.
37. A.M. Ferrini, V. Mannoni, G. Carpico, G.E. Pellegrini, Detection and identification of b-lactam residues in milk using a hybrid biosensor, *J. Agric. Food Chem.* 56 (2008) 784–788, <http://dx.doi.org/10.1021/jf071479i>.
38. Tal Yoetz-Kopelmana, Richa Pandeya, Amihay Freemanb, Yosi Shacham-Diamand. Modeling of suspended vs. immobilized whole-cell amperometric biosensors. *Sensors and Actuators B* 238 (2017) 1248–1257, <http://dx.doi.org/10.1016/j.snb.2016.09.062>
39. J.M. Montornes, M.S. Vreeke, I. Katakis, Glucose biosensors, bioelectrochemistry, *Fundam. Exp. Tech. Appl* 199–217 (2008) ch5, <http://dx.doi.org/10.1002/9780470753842>; D. Shi, Biosensors in fermentation applications, in: A.F. Jozala (Ed.), *Ferment. Process., InTech*, 2017, p.310, <http://dx.doi.org/10.5772/711>.
40. D. Semenova, A. Zubova, Yu. E. Silinab, L. Michelic, M. Kochb, A. C. Fernandes, K. V. Gernaey, Mechanistic modeling of cyclic voltammetry: A helpful tool for understanding biosensor principles and supporting design optimization, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 259 (2018) 945–955
41. Martsenyuk V. Stability, bifurcation and transition to chaos in a model of immunosensor based on lattice differential equations with delay / A. Klos-Witkowska, A. Sverstiuk // *Electronic Journal of Qualitative Theory of Differential Equations: No. 2018(27)*, p. 1–31. DOI: 10.14232/ejqtde.2018.1.27.

42. Інтернет-ресурс: <https://www.redblobgames.com/grids/hexagons/>.

43. С.С. McCluskey, "Complete global stability for an SIR epidemic model with delay — distributed or discrete," *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, vol. 11, no. 1, pp. 55–59, Feb. 2010. doi: 10.1016/j.nonrwa.2008.10.014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.nonrwa.2008.10.014>.

44. A. Nakonechny and V. Marzeniuk, "Uncertainties in medical processes control," *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 581, pp. 185–192, 2006, cited By 2. doi: 10.1007/3-540-35262-7_11. [Online]. Available: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-53749093113&doi=10.1007%2f3-540-35262-7_11&partnerID=40&md5=03be7ef103cbbc1e94cacbb471daa03f.

45. A. Prindle, P. Samayoa, I. Razinkov, T. Danino, L. S. Tsimring, and J. Hasty, "A sensing array of radically coupled genetic 'biopixels'," *Nature*, vol. 481, no. 7379, pp. 39–44, Dec. 2011. doi: 10.1038/nature10722. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1038/nature10722>.

46. Hale, J. K., Lunel, S. M. V. *Introduction to functional differential equations*. Springer Science & Business Media, 2013, vol. 99

УДК 004.05(075.8)

Луцький національний технічний університет¹

Університет Бельсько-Бяли, Польща²

І.Є. Андрушак¹, В.А. Кошелюк¹, О.М. Сіваковська¹, М.І. Потейчук¹, В.П. Марценюк²

PECULIARITIES OF TA INSTRUMENTAL BARRIERS OF STRAINS TECHNOLOGY DATA MINING.

І.Є. Андрушак, В.А. Кошелюк, О.М. Сіваковська, М.І. Потейчук, В.П. Марценюк. Особливості та інструментальні засоби застосування технології DATA MINING. У цій статті докладно розглядаються методи, інструментальні засоби та застосування Data Mining. Викладаються основні концепції сховищ даних і місця Data Mining в їх архітектурі. Обговорюється процес аналізу даних за допомогою технології Data Mining. Докладно розглядаються етапи цього процесу. Аналізується ринок аналітичного програмного забезпечення, описуються продукти від провідних виробників Data Mining, обговорюються їх можливості.

Ключові слова: Data Mining, комбіновані методи, методи обмеженого перебору, Web-mining.

И.Е. Андрушак, В.А. Кошелюк, М.И. Потейчук, А.Н. Сиваковська, В.П. Марценюк. Особенности и инструментальные средства применения технологии DATA MINING. В данной статье подробно рассматриваются методы, инструментальные средства и применение Data Mining. Излагаются основные концепции хранилищ данных и места Data Mining в их архитектуре. Обсуждается процесс анализа данных с помощью технологии Data Mining. Подробно рассматриваются этапы этого процесса. Анализируется рынок аналитического программного обеспечения, описываются продукты от ведущих производителей Data Mining, обсуждаются их возможности.

Ключевые слова: Data Mining, комбинированные методы, методы ограниченного перебора, Web-mining.

I. Andrushchak, V. Koshelyuk, M. Poteychuk, O. Sivakovskaya, V. Martsenyuk. Peculiarities of ta instrumental barriers of strains technology DATA MINING. This article discusses in detail the methods, tools and application of Data Mining. Outlines the basic concepts of data warehouses and the place of data mining in their architecture. The process of data analysis using Data Mining technology is discussed. Details are considered stages of this process. Analyzed the market for analytical software, describes products from leading manufacturers of Data Mining, discusses their capabilities.

Keywords: Data Mining, combined methods, limited search methods, Web-mining.

Formulation of the problem. Data mining is a powerful new technology with great potential to help companies focus on the most important information in the data they have collected about the behavior of their customers and potential customers. It discovers information within the data that queries and reports can't effectively reveal. Generally, data mining is the process of analyzing data from different perspectives and summarizing it into useful information - information that can be used to increase revenue, cuts costs, or both. Data mining software is one of a number of analytical tools for analyzing data. It allows users to analyze data from many different dimensions or angles, categorize it, and summarize the relationships identified. Technically, data mining is the process of finding correlations or patterns among dozens of fields in large relational databases. Data mining consists of more than collection and managing data; it also includes analysis and prediction. People are often do mistakes while analyzing or, possibly, when trying to establish relationships between multiple features. This makes it difficult for them to find solutions to certain problems. Machine learning can often be successfully applied to these problems, improving the efficiency of systems and the designs of machines. There are several applications for Machine Learning (ML), the most significant of which is data mining.

Setting up tasks. External providers of IT outsourcing services work exclusively in the field of information technology and, due to narrow professional specialization, provide high-quality services, the cost of which is lower than the cost of using their own IT services. The IT outsourcer has a lot of experience in solving various problems that he faced with his clients. That is, there is a base of problem situations and methods for their possible solutions. In addition, the outsourcing company takes on the implementation of processes that divert people and resources from performing the basic functions. Thanks to IT outsourcing, the company can significantly reduce the cost of owning its own information system. Thanks to IT outsourcing, it is possible to optimize the distribution of all company assets. At the same time, the contract concluded with the IT outsourcing company is a reliable guarantee that the computer system will function properly, and all the problems will be eliminated promptly. In addition, all new hardware and software components will be implemented competently and qualitatively. Due to the fact that the world around us is unstable, and the reaction to various business signals should be lightning fast - IT outsourcing has become quite popular. This type of outsourcing is very popular today among quite young companies that are actively developing, and who do not have the desire to expand their own staff of IT specialists [1].

Basic material presentation. Mining information on the World Wide Web is a huge application area. Search engine companies examine the hyperlinks in web pages to come up with a measure of “prestige” for each web page and website. Dictionaries define prestige as “high standing achieved through success or influence.” A metric called PageRank, introduced by the founders of Google and used in various guises by other search engine developers too, attempts to measure the standing of a web page. The more pages that link to your website, the higher its prestige. And prestige is greater if the pages that link in have high prestige themselves. The definition sounds circular, but it can be made to work. Search engines use PageRank (among other things) to sort web pages into order before displaying the result of your search.

Another way in which search engines tackle the problem of how to rank web pages is to use machine learning based on a training set of example queries - documents that contain the terms in the query and human judgments about how relevant the documents are to that query. Then a learning algorithm analyzes this training data and comes up with a way to predict the relevance judgments for any document and query. For each document a set of feature values is calculated that depend on the query term, whether it occurs in the title tag, whether it occurs in the document's URL, how often it occurs in the document itself, and how often it appears in the anchor text of hyperlinks that point to this document. For multiterm queries, features include how often two different terms appear close together in the document, and so on. There are many possible features: typical algorithms for learning ranks use hundreds or thousands of them. Search engines mine the content of the Web. They also mine the content of your queries - the terms you search for - to select advertisement that you might be interested in. They have a strong incentive to do this accurately, because they only get paid by advertisers when users click on their links. Search engine companies mine your very clicks, because knowledge of which results you click on can be used to improve the search next time. Online booksellers mine the purchasing database to come up with recommendations such as “users who bought this book also bought these ones”; again they have a strong incentive to present you with compelling, personalized choices. Movie sites recommend movies based on your previous choices and other people's choices: they win if they make recommendations that keep customers coming back to their website.

Anomaly detection is the process of finding the patterns in a dataset whose behavior is not normal on expected. These unexpected behaviors are also termed as anomalies or outliers. The anomalies cannot always be categorized as an attack but it can be a surprising behavior which is previously not known. It may or may not be harmful. The anomaly detection provides very significant and critical information in various applications, for example Credit card thefts or identity thefts. When data has to be analyzed in order to find relationship or to predict known or unknown data mining techniques are used. These include clustering, classification and machine based learning techniques.

Anomaly detection can be used to solve problems like the following:

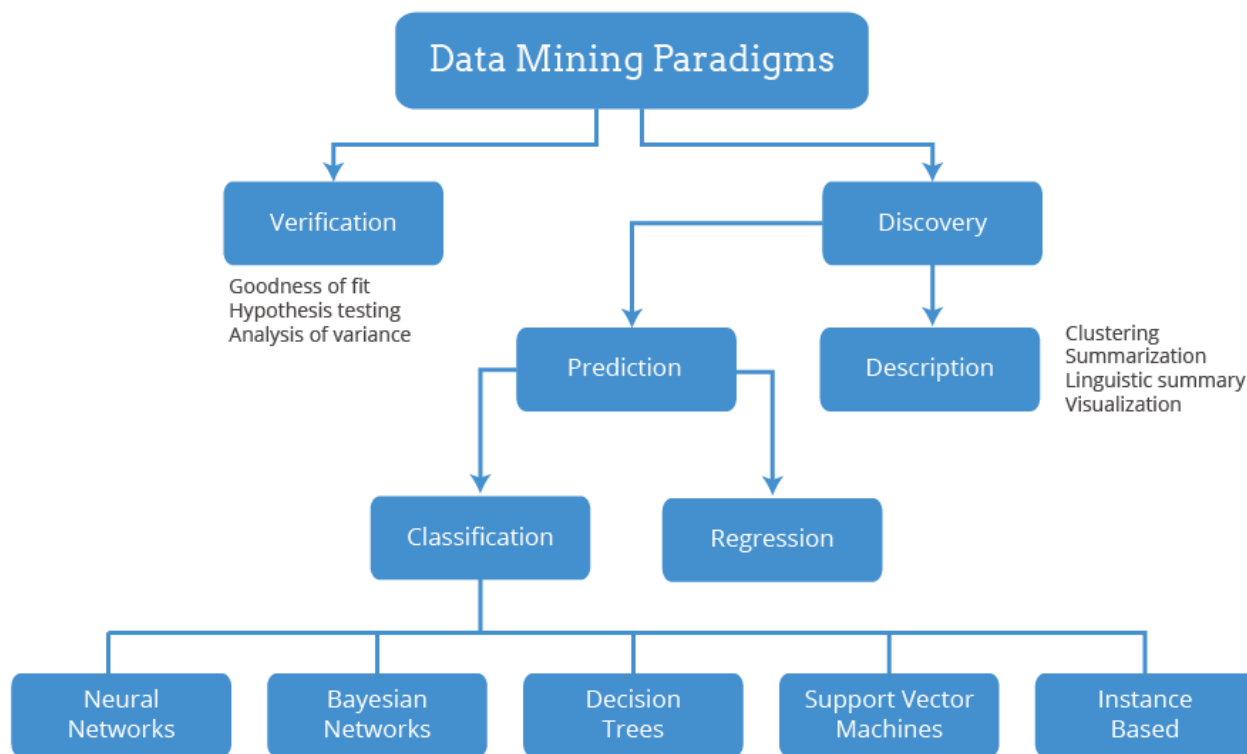
- a law enforcement agency compiles data about illegal activities, but nothing about legitimate activities. How can suspicious activity be flagged? The law enforcement data is all of one class. There are no counter-examples.
- Insurance Risk Modeling — An insurance agency processes millions of insurance claims, knowing that a very small number are fraudulent. How can the fraudulent claims be identified? The claims data contains very few counter-examples. They are outliers. Claims are rare but very costly.
- Targeted Marketing - Given demographic data about a set of customers, identify customer purchasing behaviour that is significantly different from the norm. Response is typically rare but can be profitable.
- Health care fraud, expense report fraud, and tax compliance.
- Web mining (Less than 3 % of all people visiting Amazon.com make a purchase).
- Churn Analysis. Churn is typically rare but quite costly.

- network intrusion detection. Number of intrusions on the network is typically a very small fraction of the total network traffic.
- Credit card fraud detection. Millions of regular transactions are stored, while only a very small percentage corresponds to fraud.
- Medical diagnostics. When classifying the pixels in mammogram images, cancerous pixels represent only a very small fraction of the entire image (Pic 1).

Association rule learning is a method for discovering interesting relations between variables in large databases. It is intended to identify strong rules discovered in databases using some measures of interestingness. Based on the concept of strong rules, Rakesh Agrawal introduced association rules for discovering regularities between products in large-scale transaction data recorded by point-of-sale (POS) systems in supermarkets. For example, the rule {onions, potatoes} {burger} found in the sales data of a supermarket would indicate that if a customer buys onions and potatoes together, they are likely to also buy hamburger meat. Such information can be used as the basis for decisions about marketing activities such as, e.g., promotional pricing or product placements. In addition to the above example from market basket analysis association rules are employed today in many application areas including Web usage mining,

intrusion detection, Continuous production, and bioinformatics. In contrast with sequence mining, association rule learning typically does not consider the order of items either within a transaction or across transactions [2].

Clustering - the task of discovering groups and structures in the data that are in some way or another «similar», without using known structures in the data. Clustering is the grouping of a particular set of objects based on their characteristics, aggregating them according to their similarities. Regarding to data mining, this methodology partitions the data implementing a specific join algorithm, most suitable for the desired information analysis.



Pic.1 Data mining paradigms

This clustering analysis allows an object not to be part of a cluster, or strictly belong to it, calling this type of grouping hard partitioning. In the other hand, soft partitioning states that every object belongs to a cluster in a determined degree. More specific divisions can be possible to create like objects belonging to multiple clusters, to force an object to participate in only one cluster or even construct hierarchical trees on group relationships [3].

Classification models predict categorical class labels; and prediction models predict continuous valued functions. For example, we can build a classification model to categorize bank loan applications as either safe or risky, or a prediction model to predict the expenditures in dollars of potential customers on computer equipment given their income and occupation. Popular classification techniques include decision trees and neural networks. Regression - a data mining (machine learning) technique used to fit an equation to a dataset. The simplest form of regression, linear regression, uses the formula of a straight line ($y = mx + b$) and determines the appropriate values for m and b to predict the value of y based upon a given value of x . Advanced techniques, such as multiple regression, allow the use of more than one input variable and allow for the fitting of more complex models, such as a quadratic equation.

Summarization - providing a more compact representation of the data set, including visualization and report generation. Data visualization is a general term that describes any effort to help people understand the significance of data by placing it in a visual context. Patterns, trends and correlations that might go undetected in text-based data can be exposed and recognized easier with data visualization software. Today's data visualization tools go beyond the standard charts and graphs used in Excel spreadsheets, displaying data in more sophisticated ways such as infographics, dials and gauges, geographic maps, sparklines, heat maps,

and detailed bar, pie and fever charts. The images may include interactive capabilities, enabling users to manipulate them or drill into the data for querying and analysis. Indicators designed to alert users when data has been updated or predefined conditions occur can also be included. Most business intelligence software vendors embed data visualization tools into their products, either developing the visualization technology themselves or sourcing it from companies that specialize in visualization.

There are many tools to solve data mining problems. In this paper, we will consider a few of them:

1. RapidMiner. Written in the Java Programming language, this tool offers advanced analytics through template-based frameworks. Offered as a service, rather than a piece of local software, this tool holds top position on the list of data mining tools. In addition to data mining, RapidMiner also provides functionality like data preprocessing and visualization, predictive analytics and statistical modeling, evaluation, and deployment. What makes it even more powerful is that it provides learning schemes, models and algorithms from WEKA and R scripts.

2. WEKA. The original non-Java version of WEKA primarily was developed for analyzing data from the agricultural domain. With the Java-based version, the tool is very sophisticated and used in many different applications including visualization and algorithms for data analysis and predictive modeling. It's free under the GNU General Public License, which is a big plus compared to RapidMiner, because users can customize it however they please. WEKA supports several standard data mining tasks, including data preprocessing, clustering, classification, regression, visualization and feature selection. WEKA would be more powerful with the addition of sequence modeling, which currently is not included.

3. R-Programming. It's a free software programming language and software environment for statistical computing and graphics. The R language is widely used among data miners for developing statistical software and data analysis. Ease of use and extensibility has raised R's popularity substantially in recent years. Besides data mining, it provides statistical and graphical techniques, including linear and nonlinear modeling, classical statistical tests, time-series analysis, classification, clustering, and others.

4. Orange. Python-based, powerful and open source tool for both novices and experts. It also has components for machine learning, add-ons for bioinformatics and text mining. It's packed with features for data analytics.

5. KNIME. Data preprocessing has three main components: extraction, transformation and loading. KNIME does all three. It gives you a graphical user interface to allow for the assembly of nodes for data processing. It is an open source data analytics, reporting and integration platform. KNIME also integrates various components for machine learning and data mining through its modular data pipelining concept and has caught the eye of business intelligence and financial data analysis. Written in Java and based on Eclipse, KNIME is easy to extend and to add plugins. Additional functionalities can be added on the go. Plenty of data integration modules are already included in the core version [4].

6. Scikit-learn Scikit-learn is a free software machine learning library for the Python programming language. It features various classification, regression and clustering algorithms including support vector machines, random forests, gradient boosting, k-means and DBSCAN, and is designed to interoperate with the Python numerical and scientific libraries NumPy and SciPy.

Another advantage of IT outsourcing is the provision of uninterrupted operation of a whole staff of specialists. That is, regardless of the time of the day, calendar holidays or weather conditions, the customer is guaranteed the provision of a qualified specialist to solve the problems encountered. At the same time, an important advantage is that, according to the contract, the outsourcing company constantly diagnoses the operation of the company's IT infrastructure and eliminates the problem. The specialist already knows all the features of the system, which significantly reduces the time spent troubleshooting and helps to prevent them from appearing in the company. further.

Despite the fact that IT outsourcing can take a variety of forms, there are three main ones:

- resource outsourcing. In our country, this type of IT outsourcing is more common today. With this option, the client uses and manages external IT resources. However, he carries all the risks that are associated with the result of his activities.

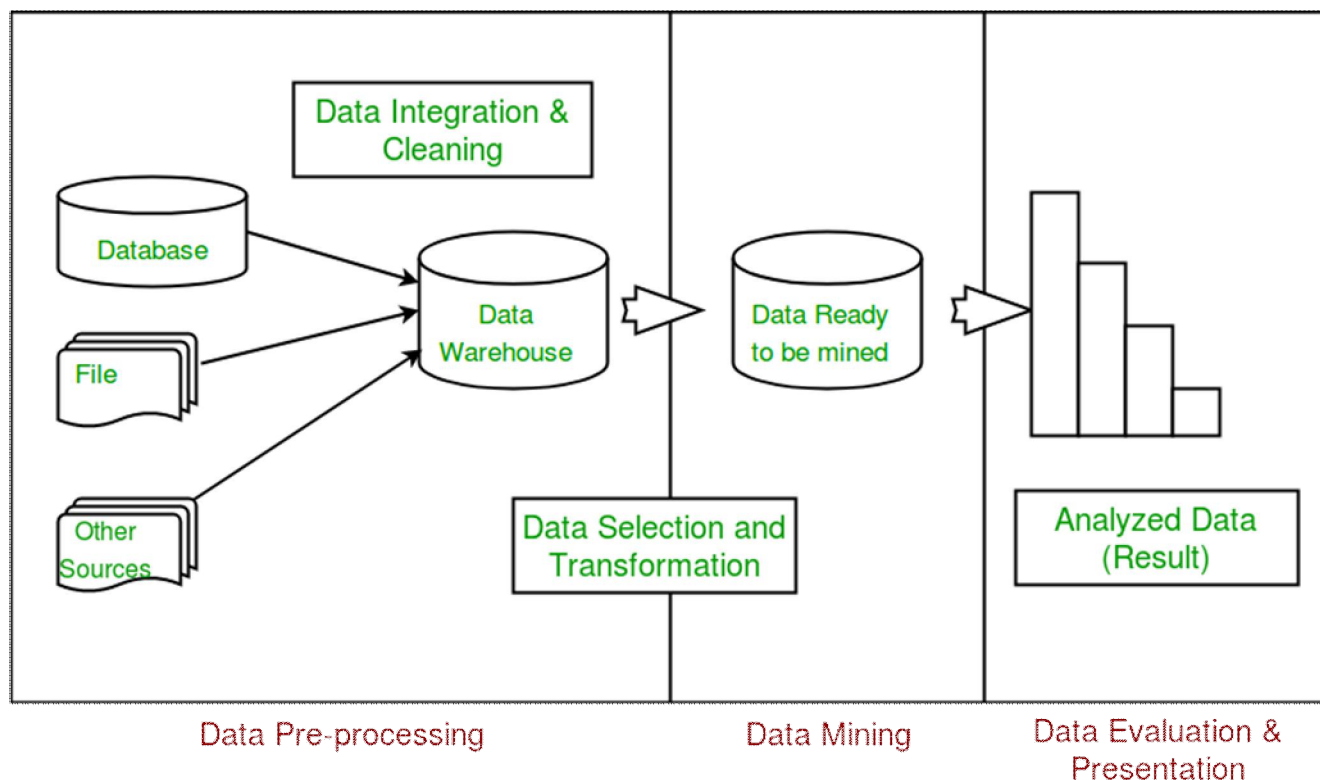
- functional outsourcing. With this option, the outsourcing company transfers the functions. The responsibility of the service provider, as well as the criteria for its operation in this case are stipulated in the agreement. Such criteria may include: the speed of response to various incidents, the frequency of prevention, the recovery time after the failures, etc.

- strategic outsourcing. In this case, a complete transfer to a complex IT outsourcing of the entire IT infrastructure of the enterprise is carried out.

For most enterprises, the main argument for applying to IT outsourcing is budget saving. The hiring of a full-time IT specialist requires a separate workplace, the fulfillment of financial obligations provided for by law and the provision of a social package, which includes both compulsory paid leave and sick leave. This is quite costly for many enterprises. Since problems with the operation of the IT infrastructure can occur at different intervals. Problems can arise or extremely rarely, or require constant support of a specialist, while he may be absent due to leave or illness. While the outsourcing company undertakes to provide competent professionals regardless of external circumstances. Another item of expenditure may be the training of an IT specialist. Computer technologies do not stand still and are in constant development. It is almost impossible to keep track of all innovations to one specialist, while IT outsourcing policy is based on constant improvement. Outsourcing companies are interested in the continuous improvement of the qualifications of their employees in different areas of IT technologies [5,6,7].

Involvement of outside support is most often needed for:

- the development of the infrastructure of the enterprise without distracting the staff from ordinary projects.
- reducing costs for maintenance of office equipment and other tasks in 2-3 times.
- improving the efficiency of performing a number of tasks in the field of support of information technologies in the enterprise.
- increase the level of responsibility of employees for the current state of servers, infrastructure, office equipment.



Pic.2 Data mining stage

Also IT outsourcing helps to reduce the cost of maintaining the infrastructure by 30-50%. For example, it is not profitable for a company to hire a full-time system administrator, because it will often hurt, work long, or vice versa - do it too quickly, and therefore most of the working time will not do anything.

We will admit, in office there are only 5 computers and 20 units of office equipment. To handle at every failure to the masters or to the service centers is also unprofitable - private masters take expensive, service centers repair a long time. The best way is to hire an incoming system administrator from a company that provides IT outsourcing: it will monitor the operation of office equipment remotely, and periodically come for physical service. The firm will pay him less than a full-time employee, while forgetting about expensive repairs.

Applying more and more in the work of information technology companies leads to the fact that firms try to use the labor of the most qualified personnel. At the same time, technology is increasingly dependent on the human factor, and therefore does not require constant intervention in its work. Servicing computers and repairing equipment are increasingly outsourced to almost every company in every country.

Many executives believe that it is undesirable to give out to IT-outsourcing important projects with high expected returns. Some believe that it is better to entrust them to full-time specialists. It is not recommended to outsource the maintenance of rare CRM and profile software developed by another team. To transfer ordinary tasks to outsourcing did not bring additional problems, carefully choose a legal entity. Pay attention to reviews - look for them on the Internet in profile forums, thematic sites, special resources. Pay special attention to official letters of thanks sent from partners - the more of them, the better [8-9].

In general, the benefits of data mining come from the ability to uncover hidden patterns and relationships in data that can be used to make predictions that impact businesses. Specific data mining benefits vary depending on the goal and the industry. Sales and marketing departments can mine customer data to improve lead conversion rates or to create one-to-one marketing campaigns. Data mining information on historical sales patterns and customer behaviors can be used to build prediction models for future sales, new products and services. Companies in the financial industry use data mining tools to build risk models and detect fraud. The manufacturing industry uses data mining tools to improve product safety, identify quality issues, manage the supply chain and improve operations.

Statistics show that at the moment IT outsourcing is at the stage of active development. More and more companies and organizations are turning to IT outsourcing companies. As the transfer of functions of IT infrastructure maintenance to highly focused specialists significantly increases the efficiency of the enterprise as a whole. This makes it possible to concentrate precisely on the directions in which the company specializes. Nevertheless, the market of IT services in our country is gaining momentum every year. More and more entrepreneurs and even large firms prefer external contractors. Today, the dependence of business on IT is extremely high. Modern technologies and solutions allow not only to maintain and accelerate existing business processes, but to change the very model of the company's activity on the market, to open new lines of business. The best option for an actively developing business is cooperation with experienced IT outsourcers [10].

Conclusion

This paper has presented different data mining tasks and tools to solve them. As the amount of data is expanding in all areas, it is easier to find a lot of useful knowledge by using data mining methods. As well as, above-mentioned tools will help us to implement data mining techniques in various areas.

1. Alders, R. IT Outsourcing: A Practical Guide / R. Alders; trans. with English. - M.: Alpina Business Books, 2003. - 300 p.
2. Agapov V., Yakovlev S., Pratushevich V. Review and assessment of the prospects for the development of the world and Russian information technology markets [Electronic resource] // URL: <http://www.moex.com/n8686/?nt=106>.
3. Heywood, J. Bryan Outsourcing: In Search of Competitive Advantages / J. Bryan Heywood; trans. with English. - M.: Publishing house "Williams", 2004. - 176 p.
4. Tyutina M.V. Analysis and prospects for the development of the information technology market [Text] // Innovative economics: materials IV Intern. sci. Conf. (Kazan, October 2017). - Kazan: Beech, 2017. - P. 9-13.
5. Wayle, P. IT governance: the experience of leading companies. How information technology helps to achieve Sunrise results / Peter Weil, Jinn W. Ross; trans. with English. - M.: Alpina Business Books, 2005. - 293 p.
6. Vorobiev K. Yu. Classification of outsourcing from the positions of the managerial approach // Vestnik Kostroma State University. N. A. Nekrasov. Scientific and methodical journal. Volume 19, №4. 2013 - P.53-56.
7. Information technologies of 2017 [Electronic resource] // BIT. Business & Information Technology. - 2017.-No. 01 (64).
8. Extract from the report World Electronic Industries 2012–2017 carried out by DECISION (March 2014), p. 4.
9. Six of the Best Open Source Data Mining Tools // The New Stack. URL: <http://thenewstack.io/six-of-the-best-open-source-data-mining-tools/>.
10. Artykov ME, Kurbanova O. U. A review on data mining tasks and tools // Young Scientist. - 2016 - №9.5. - P. 17-20. - URL <https://moluch.ru/archive/113/29760>.

УДК 008.5

Бабова І.К., д.мед.н., проф., Яценко О.В., к.т.н., доц., Азарова І.Б., к.т.н.

Одеський регіональний інститут державного управління Національної академії державного управління при Президентіві України

МЕТОДИ ІНІЦІАЦІЇ ПРОЕКТІВ

Бабова І.К., Яценко О.В., Азарова І.Б. Методи ініціації проектів. В статті розглянуто методи та моделі ініціації проектів у комерційній та публічній сфері, а також проектів державно-приватного партнерства. Окреслене проблемне поле цих видів проектів, встановлені головні відмінності між проектами в комерційній та публічній сфері, а також визначені основні «входи» процесу їх ініціації.

Ключові слова: управління проектами та програмами, ініціація проектів, проекти в комерційній та публічній сфері, державно-приватне партнерство.

Бабова И.К., Яценко А.В., Азарова И.Б. Методы инициации проектов. В статье рассмотрены методы и модели инициации проектов в коммерческой и публичной сфере, а также проектов государственно-частного партнерства. Очерченное проблемное поле этих видов проектов, установлены главные различия между проектами в коммерческой и публичной сфере, а также определены основные «входы» процесса их инициации.

Ключевые слова: управления проектами и программами, инициация проектов, проекты в коммерческой и публичной сфере, государственно-частное партнерство.

Babova I.K., Yatsenko O.V., Azarova I.B. Project Initiation Methods. The article contains the methods and models of projects initiation in the commercial and public sphere, as well as projects of public-private partnership. The problem area of these types of projects is outlined, the main differences between the projects in the commercial and public sectors are identified, and the main "inputs" of their initiation process are considered.

Keywords: project and program management, project initiation, commercial and public sector projects, public-private partnership.

Постановка проблеми дослідження. Проектний підхід, що відомий ще з часів єгипетських пірамід, на сьогодні виступає універсальною основою забезпечення розвитку різноманітних систем – від приватних домогосподарств до публічного управління та еволюції людської цивілізації в цілому. Напрацьований в проектному менеджменті за роки його існування методичний матеріал, переважним чином, був сфокусований на питаннях управління проектами у комерційній сфері – в будівництві та інформаційних технологіях, в освіті та сфері обслуговування. Саме для комерційних проектів в провідних стандартах з управління проектами визначені можливі причини їхньої появи, охарактеризовані методи оцінки ефективності та моніторингу виконання. Такі проекти розглядаються зазвичай як засіб досягнення стратегічних цілей у бізнесі. Відповідно, ініціація цих проектів спрямовується, так, чи інакше, на збільшення комерційних ефектів для компаній.

Проте, за результатами попередніх досліджень [2], далеко не всі проблеми проектів, що виступають причинами їх ініціації, були методологічно формалізовані. Перш за все, це стосується некомерційних проектів, авторизація яких часто буває пов'язана не тільки з вимогами ринку чи новими технологічними розробками. Важливість дослідження причин ініціації саме цих видів проектів продиктована базовою основою проектного менеджменту, згідно до якої проекти є керованим процесом перетворення потреб у результати, що задовольняють ці потреби та виступають цільовими характеристиками проектів. Отже, відсутність чіткого бачення потреб та причин появи будь-якого проекту призведе до того, що оцінку результатів його виконання зробити буде неможливо. Саме тому причини ініціації проектів, що впливають на відповідні підходи та методи, потребують подальшого методологічного дослідження.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питаннями методологічного забезпечення процесів ініціації проектів були присвячені публікації таких науковців, як О. Гладка [4], К. Колеснікова [5], О. Колосовський [6], К. Хелдман [11], та багатьох інших. В їх дослідженнях висвітлені деякі важливі методологічні аспекти ініціації проектів, однак не було розглянуто повний спектр причин ініціації проектів в некомерційній та публічній сфері, а також проектів державно-приватного партнерства. Не було визначено методи ініціації відповідних проектів.

Тому **метою** даного **дослідження** було обрано аналіз причин ініціації проектів у комерційній та публічній сферах з подальшим формуванням моделей ініціації проектів за відповідними об'єктами проектної діяльності.

Методологічну основу дослідження становить сучасна теорія управління проектами, процесний підхід, методи причинно-наслідкового аналізу та інші загальнонаукові методи досліджень.

Виклад основного матеріалу та обґрунтування результатів дослідження. Провідний стандарт американського Інституту управління проектами Керівництво РМВоК [1] визначає проект як тимчасове підприємство, спрямоване на створення унікального продукту, послуги або результату. Серед основних причин появи проектів в Керівництві вказані вимоги ринку; стратегічні можливості та/або бізнес-потреби організації; соціальні потреби; захист оточуючого середовища; вимоги замовника; технологічний процес; юридичні вимоги.

Однак, задача визначення причин появи проектів значно ускладнюється, коли проект або програма виходить за рамки однієї окремої бізнесової одиниці. Так, наприклад, законодавчо визначеною спрямованістю державних цільових програм є розв'язання найважливіших проблем розвитку держави, окремих галузей економіки або адміністративно-територіальних одиниць, здійснюване з використанням коштів Державного бюджету України та узгоджене за строками виконання, складом виконавців, ресурсним забезпеченням [8]. Проблематику розвитку держави достатньо складно віднести до однієї з категорій причин ініціації проектів за Керівництвом РМВоК [1].

Інші проекти в публічній сфері можуть бути спрямовані на вирішення локальних чи глобальних екологічних проблем, усунення дисбалансу економічного розвитку окремих регіонів, розв'язання найважливіших проблем територіальних громад чи секторів господарської діяльності. Отже, є необхідність визначитись із тим, які проекти слід розуміти в подальшому дослідженні під проектами в публічній сфері.

Для забезпечення єдності термінологічних понять, скористаємось наведеним А. Чемерисом визначенням проекту у публічній сфері як «...комплексу взаємопов'язаних логічно-структурованих завдань і заходів, упорядкованих у масштабі часу, які спрямовані на розв'язання найважливіших проблем розвитку держави, окремих галузей економіки, адміністративно-територіальних одиниць чи територіальних громад, організацій та установ і здійснюються в умовах фінансових та інших ресурсних обмежень у визначені терміни» [12, с.12]. Під проблемою в публічній сфері дослідник розуміє стан, що породжується колективною потребою усунути розрив між реальним і очікуваним становищем, що і виконується за допомогою проекту. У той час, як за Керівництвом РМВоК [1, с.717], проблемою є поточний стан або ситуація (протягом виконання проекту), які можуть вплинути на цілі проекту, та визвати відхилення від проектних цілей.

Ще однією суттєвою характеристикою проектів у публічній сфері є те, що вони завжди спрямовані на розв'язання проблем, визначених у відповідних урядових документах – урядовій програмі, концепціях чи стратегіях у формі стратегічних пріоритетів чи завдань. Тому управління проектами у публічній сфері А. Чемерис визначає як «...процес інституалізації у програмно-цільовий формат способів втручання державних органів влади чи органів місцевого самоврядування у соціальну дійсність з метою розв'язання публічної проблеми. При цьому в умовах обмеженого часу та ресурсів створюються унікальні продукти чи послуги, які не розроблялися раніше та відрізняються від існуючих аналогів» [12, с.12].

Отже, традиційні принципи класифікації причин ініціації проектів, розглянуті у попередніх дослідженнях [1], потребують доповнення загальною метою ініціації проектів в публічній сфері – а саме: необхідністю втручання державних органів влади чи органів місцевого самоврядування для розв'язання публічної проблеми з застосуванням проектного підходу. Доповнена класифікація причин ініціації проектів та програм наведена на рис. 1, розробленому авторами.



Рис. 1. Класифікація причин ініціації проектів та програм

Серед причин ініціації проектів та програм необхідно виділити дві основні групи – це потреби окремих бізнесових структур, включаючи приватних осіб, та потреби державних органів влади чи

органів місцевого самоврядування. Ініціація проектів, викликана віднесеними до першої групи причинами, буде спрямована переважно на отримання економічних ефектів. Друга група причин призводить до ініціації проектів з більш широким спектром проблематики, куди можуть входити отримання соціальних та екологічних ефектів, задоволення містобудівних, оборонних та інших державних інтересів, проголошених в стратегічних програмних документах. Також в останній групі причин ініціації проектів можуть бути і економічні проблеми.

Для такого виду проектної діяльності, як державно-приватне партнерство, необхідним є розгляд обох груп причин ініціації проектів одночасно. Цей вид діяльності регулюється законодавством [9], та здійснюється за принципом узгодження інтересів державних та приватних партнерів з метою отримання взаємної вигоди. Це дозволяє стверджувати, що серед причин ініціації відповідних проектів на засадах державно-приватного партнерства потрібно розглядати з однаковими ваговими коефіцієнтами як потреби держави і місцевої влади, так і стратегічні бізнесові потреби. Нажаль, відсутність методологічної формалізації процесу балансування державних та комерційних інтересів в процесі ініціації такого партнерства призводить до того, що при плануванні відповідних проектів, другій причинній складовій традиційно приділяється значно менше уваги, ніж першій. Як наслідок цього та інших факторів, фахівці відмічають дуже низький рівень державно-приватної партнерської активності в регіонах та у деяких сферах діяльності, таких як, наприклад, розвиток інфраструктурних об'єктів, будівництво доріг, та ін. [3]

Першою системною проблемою використання державно-приватного партнерства на місцевому і регіональному рівні тими ж фахівцями визначена недостатня привабливість для приватних інвесторів значної частини об'єктів, на яких передбачається реалізація проектів на засадах державно-приватного партнерства. Однак, серед переліку дій, необхідних для активізації державно-приватного партнерства як механізму реалізації нової регіональної політики, відповідні методологічні вдосконалення процесів ініціації проектів та їхнього цілепокладання, нажаль, не згадуються. Тому є необхідність розглянути далі процеси ініціації проектів в комерційній та публічній сфері більш детально.

Керівництво РМВоК [1, с.561] визначає ініціацію проекту як запуск процесу, який може завершитися авторизацією нового проекту. До групи процесів ініціації стандарт включає процеси, які виконуються для визначення нового проекту шляхом отримання авторизації на його початок. Метою групи процесів ініціації є приведення у відповідність очікувань зацікавлених сторін з метою проекту, поінформування зацікавлених сторін про зміст проекту та його цілі, а також обговорення з ними, яким чином їх участь в проекті і пов'язаних з ним фазах може допомогти забезпечити задоволення їх очікувань. В рамках процесів ініціації визначається початковий зміст і виділяються початкові фінансові ресурси; здійснюється ідентифікація зацікавлених сторін, які будуть взаємодіяти і впливати на загальний результат проекту; обирається керівник проекту, якщо він ще не призначений. Дана інформація закріплюється в статуті проекту і в реєстрі зацікавлених сторін. Після схвалення статуту проекту проект вважається офіційно авторизованим, і керівник проекту отримує повноваження використовувати ресурси організації для операцій проекту.

«Входами» процесу ініціації проекту, відповідно до стандарту РМВоК, є бізнес-документи, що формуються поза проектом, та зазвичай включають:

- бізнес-кейс, що є документованим аналізом економічної доцільності, який використовується для встановлення обґрунтованості вигод відібраного компонента, ще не визначеного в достатній мірі, а також є основою для авторизації подальших операцій з управління проектом;

- план управління вигодами, що є документованим роз'ясненням, яке визначає процеси для створення, максимізації і підтримки вигод, забезпечуваних проектом або програмою.

Ключові вигоди від даної групи процесів полягають у тому, що авторизуються тільки проекти, які узгоджені із стратегічними цілями організації, а також в тому, що з самого початку проекту враховуються бізнес-кейс, вигоди і зацікавлені сторони.

Наведений в стандарті РМВоК [1] опис процесів ініціації проекту дозволяє формалізувати наступну модель ініціації проектів, представлену на рис. 2, що був розроблений авторами.

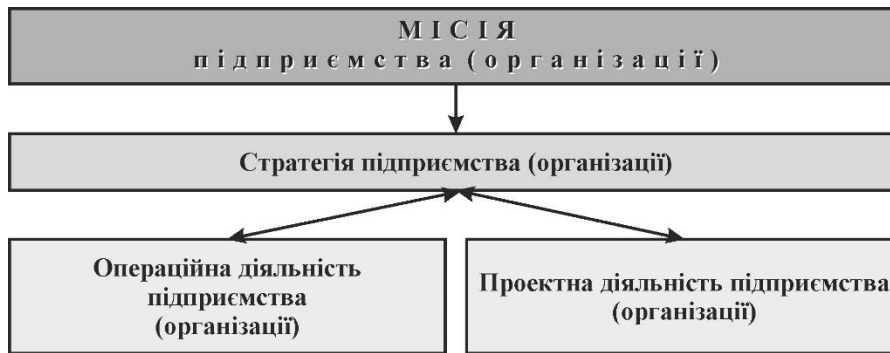


Рис. 2. Модель ініціації проектів в комерційній сфері

Модель відображає зв'язок проектів зі стратегією та визначає проекти і операційну діяльність як засоби досягнення стратегічних цілей підприємств та організацій. Операційна діяльність використовується для досягнення цілей, пов'язаних із основним видом діяльності підприємства чи організації. Проектна діяльність є засобом досягнення цілей у сферах, що виходять за рамки повсякденної діяльності підприємства. Прикладами стратегічних цілей організацій, досягнення яких можливе через реалізацію проектів, можуть виступати розширення ринкового сегменту товару, диверсифікація виробництва, мінімізація виробничих витрат за рахунок впровадження новітніх технологій виробництва, та ін.

Хоча Керівництво РМВоК [1] позиціонується його авторами як набір загальноновизнаних кращих практик широкого діапазону застосування [6, с.2], автори цього дослідження вважають, що наведені у Керівництві «входи» процесу ініціації проектів дещо обмежують придатність до застосування Керівництва при розробці проектів у публічній сфері та проектів державно-приватного партнерства. Через те, що розгляд діяльності в публічній сфері як суто комерційної не є коректним, бізнес-кейс як один з основних «входів» процесу ініціації проектів у відповідній сфері застосовуватись не може.

Тому далі визначимо більш детально засади ініціації проектів в публічній сфері на прикладі проектів розвитку територіальних громад. Наведені фахівцями рекомендації в галузі планування розвитку територіальних громад [7], дозволяють побудувати наступну модель ініціації відповідних проектів розвитку, представлену на рис. 3, розроблену авторами дослідження.



Рис. 3. Модель ініціації проектів в публічній сфері

За розробленою моделлю, основою формування проектів розвитку територіальних громад є загальне стратегічне бачення, яке визначається як спільне, погоджене на основі консенсусу, бачення того, як громада має виглядати в майбутньому в результаті реалізації стратегії. Стратегічне бачення має більш далекі горизонти, ніж сама стратегія і демонструє уявлення громади (чи кількох громад) про стан розвитку території на 15 – 20 років вперед [11, с. 90]. Означене загальне бачення формується на основі побудованого профілю територіальної одиниці, результатів SWOT-аналізу та опитування думки бізнесу, влади та громади щодо їх бачення напрямів розвитку.

Пріоритетними напрямками розвитку є критичні завдання, що потребують вирішення згідно отриманим результатам аналізу розвитку громади. Прикладом формулювання критичних завдань розвитку може слугувати концепція «Одеса 5Т», яка проголошує основними напрямками розвитку міста транспорт, туризм, технології, торгівлю та довіру, (від англ. – transport, tourism, technologies, trade, trust) [10].

Стратегічні цілі є формулюванням того, що треба досягти по кожному критичному питанню. Вони впливають із загального стратегічного бачення та критичних питань і утворюють рамки, в яких прийматимуться рішення щодо конкретних оперативних цілей та завдань. Набір усіх стратегічних цілей плану дій має відповідати конкретному критичному питанню. Стратегічні цілі мають бути реалістичними та досяжними, специфічними, чіткими і стислими, а також мають бути придатними до перетворення на оперативні цілі та проекти. В рамках згадуваної вище концепції «Одеса 5Т», один з пріоритетних напрямків з розвитку туризму реалізується через досягнення стратегічних цілей щодо створення комфортного середовища для туристів у місті, розвитку інформаційної інфраструктури щодо туристичних послуг, просування та позиціонування міста як міжнародного туристичного центру цілорічного відвідування.

Оперативні цілі – це окремі дії, проекти чи програми, які забезпечуватимуть досягнення стратегічних цілей. Вони є ядром планів дій, що визначають стратегічні цілі кількісно та мають терміни виконання. Деякі з оперативних цілей можуть бути короткостроковими, інші – довгостроковими. Проте всі вони мають вкладатися в часові рамки від одного до трьох років і бути розтягнутими (виходячи із часових пріоритетів) на весь період дії стратегії. Людські, фінансові та інституційні ресурси мають бути наявними, доступними чи, принаймні, такими, що піддаються визначенню. Деякі з оперативних цілей можна розглядати в межах поточних робіт громади, або її операційної діяльності. Встановлення інших оперативних цілей може бути здійснене органами державної влади вищого рівня, приватним сектором, міжнародними донорами. Їх реалізація може розглядатись в рамках створення державно-приватних партнерств, міжнародної технічної допомоги, чи в результаті комбінації різних складових.

Прикладом встановлення операційних цілей в рамках концепції «Одеса 5Т» може бути декомпозиція стратегічної цілі зі створення комфортного середовища для туристів у місті, яка реалізується через завдання щодо підвищення рівня професійної підготовки фахівців у галузі туризму, впровадження проекту «Туристична карта гостя м. Одеси», створення музеїв під відкритим небом, етнокультурних комплексів, та ін.

Як бачимо, проектний підхід застосовується саме на рівні операційних цілей та забезпечує досягнення стратегічних цілей розвитку. Для кожної оперативної цілі розробляються проектні завдання. Завдань має бути стільки, скільки необхідно виконати дій для досягнення результату. При цьому загальне стратегічне бачення та пріоритетні напрями розвитку зазвичай не підлягають корегуванню в процесі виконання стратегії. Стратегічні цілі можна змінювати у виключно необхідних ситуаціях. Оперативні цілі та особливо проектні завдання доводиться міняти часто у зв'язку із мінливістю оточення, в якому розвивається громада.

Сформульовані таким чином цільові характеристики формують стратегічний план – документ, яким має керуватися громада (громади) міста (субрегіону чи регіону) для власного розвитку протягом 5-7 років. Саме цей документ слід розглядати як головну основу та «вхід» процесу ініціації проектів в сфері розвитку територіальних громад.

Хоча зовні дві моделі на рис. 2 та рис. 3 є дуже схожими, принциповою відмінністю між ними є об'єкт, щодо якого планується проектна діяльність. У першому випадку таким об'єктом є певна бізнес-одиноця, яка в рамках забезпечення реалізації власної стратегії стикається із новою задачею, що не може бути вирішена у рамках здійснення нею операційної діяльності. В наступному випадку об'єктом проектної діяльності може виступати будь-який територіальний, соціальний, бізнесовий чи природний елемент, що опиняється у фокусі пріоритетного напрямку розвитку. Саме від об'єкту планованої проектної діяльності залежать як вхідні дані процесу ініціації проекту, так і застосована модель цього процесу.

Розглянуті моделі ініціації проектів в комерційній та публічній сфері дозволяють сформулювати модель ініціації проектів державно-приватного партнерства, що наведена на рис. 4, розробленому авторами.

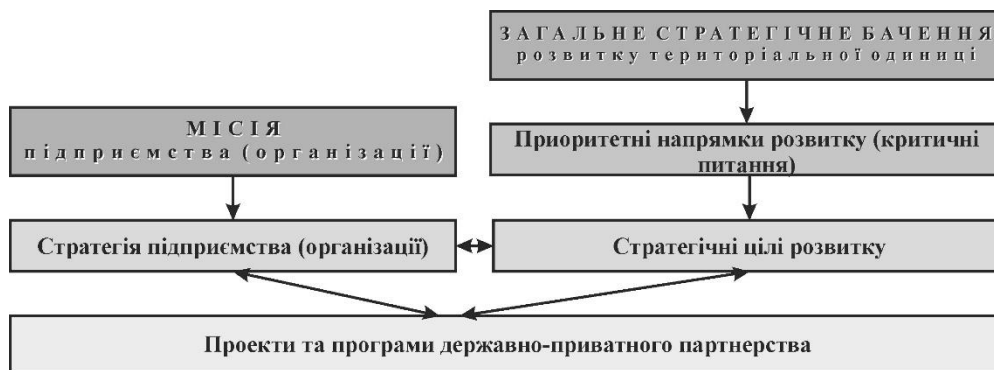


Рис. 4. Модель ініціації проектів державно-приватного партнерства

За розробленою моделлю можлива ініціація проектів та програм державно-приватного партнерства з охорони здоров'я, туризму, відпочинку, рекреації, культури та спорту, управління нерухомістю, надання освітніх та соціальних послуг, а також в інших галузях діяльності, що визначені у законі [9] як сфери застосування державно-приватного партнерства.

Ініціація таких проектів повинна спрямовуватись на забезпечення досягнення як стратегічних цілей розвитку на рівні громади, області або держави (в залежності від масштабу та призначення проекту), так і забезпечувати реалізацію стратегії конкретної бізнесової одиниці, що виступає приватним партнером держави. Узгодження стратегічних цілей розвитку територіальної одиниці із стратегіями окремих підприємств потенційних партнерів держави повинно відбуватись, у тому числі, через залучення громадськості та представників бізнесу до формування та обговорення регіональних стратегій розвитку. При ініціації проектів державно-приватного партнерства, «входами» ініціації відповідних проектів будуть виступати як бізнес-кейси, що встановлюватимуть економічну доцільність реалізації проекту для приватних партнерів, так і стратегічні документи, розроблені та затверджені державою чи місцевою владою для розв'язання публічної проблеми.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Визначені в ході цього дослідження понятійні та методологічні відмінності між проектами у комерційній і публічній сфері дозволили отримати наступні результати:

1. Окреслити відповідне проблемне поле цих видів проектів;
2. Сформулювати моделі їх ініціації, що становлять наукову новизну дослідження;
3. Визначити «вхідні» дані процесу ініціації цих видів проектів.

Було встановлено, що методологічні настанови з управління проектами у комерційній сфері, включаючи їх ініціацію, викладені досить детально в сучасних стандартах з проектного менеджменту, таких як Керівництво РМВоК. Виконання таких проектів спрямоване на задоволення економічних інтересів підприємств та організацій та отримання ними інших вигод, що встановлюються бізнесовою одиницею у внутрішніх стратегічних документах, які і є «вхідними» процесу ініціації відповідних проектів.

Для проектів в публічній сфері значна частина питань з управління ними висвітлюється у законодавчих та нормативних актах. Стратегічні цілі, на реалізацію яких спрямовуються проекти в публічній сфері, закріплюються у стратегічних документах з розвитку відповідних територіальних одиниць і галузей, та можуть торкатися як економічної, так і соціальної або екологічної сфер. Саме ці документи слід розглядати як «входи» процесу ініціації проектів в публічній сфері.

В ході дослідження також було окреслено характерні особливості ініціації проектів в сфері державно-приватного партнерства та розкрито їхню спрямованість на задоволення як комерційних приватних інтересів, так і державних інтересів щодо вирішення публічних проблем.

Напрямок подальших досліджень за обраною темою може бути визначено розроблення методів встановлення балансу між приватними та державними інтересами в процесі ініціації проектів державно-приватного партнерства.

1. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK guide) – 6 Ed. / Project Management Institute, Inc. // Independent Publishers Group. Chicago, IL. – 2017.– 756 с.
2. Азарова І.Б. Методологічні підходи ініціації проектів / І.Б. Азарова // Управління розвитком складних систем. – 2017. –№ 30. – С. 21-25.

3. Баталов О.А., Валюшко І.В. Особливості застосування державно-приватного партнерства як механізму реалізації нової регіональної політики. Аналітична записка / О.А. Баталов, І.В. Валюшко [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.niss.gov.ua/articles/1239>
4. Гладка О.М. Практичні аспекти управління проектами на фазі ініціалізації проекту / О.М. Гладка // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наук. пр. - Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(48). – С. 143 - 147. 2
5. Колеснікова К.В. Розвиток теорії проектного управління: обґрунтування закону ініціації проектів // Управління розвитком складних систем. – 2014. - № 17. – С. 24 - 31.
6. Колосовський О.М. Особливості процесів ініціації в проектах використання відходів для отримання альтернативного пального / О.М. Колосовський // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб. наук. пр. - Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2009. – № 4 (32). – С. 138-147.
7. Планування розвитку територіальних громад. / Г. Васильченко, І. Парасюк, Н. Єременко / Асоціація міст України – К., ТОВ «ПІДПРИЄМСТВО «ВІ ЕН ЕЙ», 2015. – 256 с.
8. Про державні цільові програми: Закон України від 18.03.2004 № 1621-IV [Електронний ресурс]. – Верховна Рада України. Офіц. сайт. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1621-15>
9. Про державно-приватне партнерство: Закон України від 01.07.2010 №2404-VI Верховна Рада України. Офіц. сайт. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2404-17>
10. Про затвердження Стратегії економічного та соціального розвитку міста Одеси до 2022 року (актуалізована): Рішення Одеської міської ради від 07.12.2016 №1321-VII [Електронний ресурс]. – Офіц. сайт міста Одеси. – Режим доступу: <https://omr.gov.ua/ru/acts/council/91050/>
11. Хелдман К. Профессиональное управление проектом / К. Хелдман; Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 517 с.
12. Чемерис А. Розроблення та управління проектами у публічній сфері: європейський вимір для України. / [Чемерис А.]; Швейцарсько-український проект «Підтримка децентралізації в Україні – DESPRO». – К.: ТОВ «Софія-А». – 2012. – 80 с.

UDC 517.938

H.M. Hubal

Lutsk National Technical University

CONSTRUCTION AND STUDY OF THE SYSTEM OF DIFFERENTIAL EQUATIONS THAT DESCRIBES OSCILLATORY CHEMICAL REACTIONS BASED ON DIFFUSION

Губаль Г. М. Побудова та дослідження системи диференціальних рівнянь, яка описує коливальні хімічні реакції з урахуванням дифузії. У статті побудовано та досліджено систему нелінійних диференціальних рівнянь з частинними похідними другого порядку, яка описує коливальні хімічні реакції з урахуванням дифузії.

Ключові слова: дифузія, концентрація, система диференціальних рівнянь, крайові умови.

Губаль Г. Н. Построение и исследование системы дифференциальных уравнений, описывающей колебательные химические реакции с учетом диффузии. В статье построено и исследовано систему нелинейных дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка, описывающей колебательные химические реакции с учетом диффузии.

Ключевые слова: диффузия, концентрация, система дифференциальных уравнений, краевые условия.

Hubal H. M. Construction and study of the system of differential equations that describes oscillatory chemical reactions based on diffusion. In the article, the system of non-linear partial differential equations of the second order describing oscillatory chemical reactions based on diffusion are constructed and investigated.

Keywords: diffusion, concentration, system of differential equations, boundary conditions.

Introduction. When studying oxidation-reduction self-oscillatory reactions in a flask, it is obvious that solution changes its colour simultaneously in the whole flask if there is a sufficient mixing. If the reaction goes without intense mixing, then the eye does not notice periodic changes in the colour of the solution. Even with weak mixing, the colour of the solution changes synchronously throughout the volume.

If there would be no oscillations at each point, and the alignment of the initial heterogeneities in the concentrations resulting in the spread of the phase difference would only occur due to the thermal diffusion of molecules, then establishment of a state with equal concentration of substances in the whole flask would continue to be considerably longer. However, due to convection flows and turbulent diffusion [1], when mixing the equilibrium of concentrations occurs much faster. For example, as a result of turbulent diffusion, the smoke from a cigar in concentrations sufficient to act on a human smell spreads around the room in a few seconds, and the effect of only one molecular diffusion would lead to the same result only in a few days.

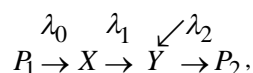
As a result of the mixing, the molecules of the reactants pass from one elemental volume to neighbouring ones, together with the whole larger volumes of the solution, as well as there are differences (larger gradients) of the concentrations that increase the diffusion rate.

The analysis of oscillatory chemical reactions based on diffusion shows that as a result of the redistribution of the molecules of the reactants in space, there is not only the alignment of the initial spatial heterogeneities along the amplitude, but also the phases of oscillations in different elemental volumes become the same, i.e. there is a mutual synchronization of many connected oscillatory systems in space in oscillatory chemical reactions based on diffusion.

Main part. Consider how we can explain the synchronization of small deviations of concentrations from their stationary levels in space.

Let there be the substance P_1 in surplus in some very small elemental volume. The substance P_1 being in surplus, in the process of the reaction the consumption of the substance P_1 is almost invisible. The molecules of the substance P_1 with some constant rate λ_0 turns into the molecules of the substance X (it being the zero-order reaction). The substance X turns into the substance Y (it being the second-order reaction; the greater the concentration of the substance Y , the greater its rate as indicated by the reverse arrow above Y in the scheme given below). The molecules of the substance Y irreversibly decay resulting in the formation of the substance P_2 (it being the first-order reaction).

The kinetic scheme of the periodic oscillatory chemical reaction that goes in a homogeneous environment:



where λ_0 , λ_1 , λ_2 are constant rates.

For simplicity, we denote by P_1 , P_2 , X , Y the concentrations of the corresponding substances.

Since we consider this chemical reaction in a very small elemental volume, then in this case, we can write

$$X = X(t), \quad Y = Y(t).$$

We write the system of differential equations that describes this reaction

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = \lambda_0 - \lambda_1 XY, \\ \frac{dY}{dt} = \lambda_1 XY - \lambda_2 Y, \\ \frac{dP_2}{dt} = \lambda_2 Y. \end{cases} \quad (1)$$

Since the first two differential equations do not depend on P_2 , then they can be considered separately. The first differential equation of this system of differential equations shows that the rate of change of the concentration X is determined by the constant rate of formation of the substance (λ_0) while transforming P_1 to X and by decrease while transforming X to Y . The second differential equation of the system of differential equations takes into account the increase of Y due to X and the decrease while transforming Y to P_2 .

First we find out whether the reaction can go so that the rate of formation P_2 can remain constant. This is the case when the concentrations \bar{X} i \bar{Y} do not change in time, i.e.

$$\frac{d\bar{X}}{dt} = 0, \quad \frac{d\bar{Y}}{dt} = 0.$$

For these conditions, we obtain the following system of algebraic equations that connect equilibrium concentrations \bar{X} and \bar{Y} from system of differential equations (1):

$$\begin{cases} \lambda_0 - \lambda_1 \bar{X}\bar{Y} = 0, \\ \lambda_1 \bar{X}\bar{Y} - \lambda_2 \bar{Y} = 0. \end{cases}$$

The solution of the system has the form

$$\bar{X} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}, \quad \bar{Y} = \frac{\lambda_0}{\lambda_2}. \quad (2)$$

Suppose that this reaction can go not only in very small elemental volume (or at a point) where the change of the concentration of each substance is synchronous but also in a sufficiently large volume. For simplicity, we suppose that this finite large volume is one-dimensional, that is we suppose that the reactor is a very narrow tube which has the length l and the section S (see the scheme of the one-dimensional reactor, Fig. 1). This tube has such a small radius that the going of the reaction can be considered synchronous in its arbitrary cross-section. Suppose also that the substance P_1 is distributed in surplus throughout its length l . Denote by u the only spatial coordinate, the origin combining with the left end of the tube. Then the right end of the tube has the coordinate $u = l$.

Consider the elemental volume $\Delta V(u)$ and calculate the balance of the concentrations X and Y in it. It is obvious that X and Y are functions of the coordinate and time:

$$X = X(u, t), \quad Y = Y(u, t).$$

The rate of change of concentrations in the elemental volume $\Delta V(u)$ is determined by the decrease and increase of the concentrations X and Y as a result of chemical transformations and the running of the molecules X and Y across the boundaries of the elemental volume $\Delta V(u)$. These boundaries have the coordinates u and $u + \Delta u$.

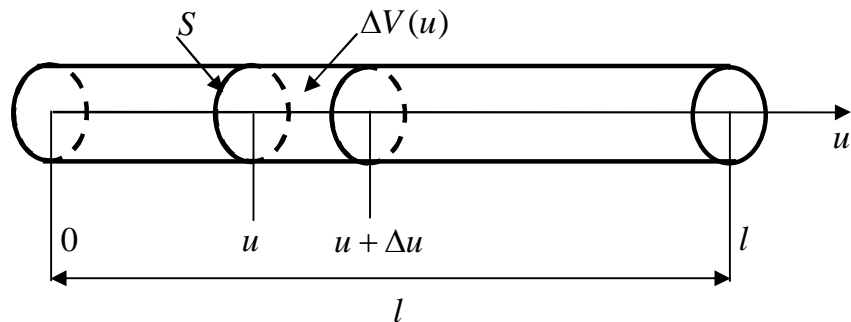


Fig.1

By Nernst's law, the mass of the substance X (or the number of molecules) that penetrates through the section of the tube that is, the reactor with the coordinate $u + \Delta u$ into the elemental volume $\Delta V(u)$ for a small period of time from t to $t + \Delta t$ is proportional to the gradient $\frac{\Delta X(u + \Delta u, t)}{\Delta u}$ of the concentration of the substance X in the direction $-u$ (that is, the increment of the mass $\Delta M_{u+\Delta u}$ of the substance X for time Δt in the elemental volume $\Delta V(u)$ due to diffusion through the tube section with the coordinate $u + \Delta u$):

$$\Delta M_{u+\Delta u} = D \frac{\Delta X(u + \Delta u, t)}{\Delta u} S \Delta t,$$

where D is the coefficient of diffusion. The value D is determined by the properties of the dissolved substance and the solution and does not depend on the concentration in the large boundaries of its change.

The following mass passes through the second boundary of the elemental volume $\Delta V(u)$ with the coordinate u in the direction u (opposite to $-u$ so there is the minus sign in the formula given below) for time from t to $t + \Delta t$ (that is, the increment of the mass ΔM_u of the substance X for time Δt in the elemental volume $\Delta V(u)$ due to diffusion through the tube section with the coordinate u):

$$\Delta M_u = -D \frac{\Delta X(u, t)}{\Delta u} S \Delta t.$$

The total quantity (mass) of the substance X that penetrates the elemental volume $\Delta V(u)$ through its two limits due to diffusion for time Δt (that is, the total increment of the mass ΔM of the substance X for time Δt in the elemental volume $\Delta V(u)$ due to diffusion) is

$$\Delta M = \Delta M_{u+\Delta u} + \Delta M_u.$$

The corresponding increment of the concentration ΔX of the substance X inside the volume $\Delta V(u)$ due to diffusion is

$$\Delta X = \frac{\Delta M}{\Delta V(u)} = \frac{\Delta M}{S \Delta u} = \frac{\frac{\Delta X(u + \Delta u, t)}{\Delta u} - \frac{\Delta X(u, t)}{\Delta u}}{\Delta u} D \Delta t = \frac{\Delta \left(\frac{\Delta X(u, t)}{\Delta u} \right)}{\Delta u} D \Delta t.$$

The rate of change of the concentration of the substance X inside the considerable elemental volume due to running of molecules (diffusion) across the boundaries with coordinates $u, u + \Delta u$ at $\Delta u \rightarrow 0$ ($\Delta V(u) \rightarrow 0$), $\Delta t \rightarrow 0$:

$$v_2 = \lim_{\substack{\Delta u \rightarrow 0 \\ \Delta t \rightarrow 0}} \frac{\Delta X}{\Delta t} = D \frac{\partial}{\partial u} \left(\frac{\partial X(u, t)}{\partial u} \right) = D \frac{\partial^2 X(u, t)}{\partial u^2}.$$

It is necessary to add the rate of change of the concentration due to chemical transformations to this rate (see the first differential equation of system of differential equations (1)):

$$v_1 = \lambda_0 - \lambda_1 XY.$$

Thus, full rate of change of the concentration of the substance X:

$$\frac{\partial X}{\partial t} = v = v_1 + v_2 = \lambda_0 - \lambda_1 XY + D \frac{\partial^2 X(u,t)}{\partial u^2}.$$

Similarly, we calculate full rate of change of the concentration of the substance Y (taking into account the second differential equation of system of differential equations (1)).

Then the system of differential equations for the rates of change of concentrations in the volume $dV(u)$:

$$\begin{cases} \frac{\partial X}{\partial t} = \lambda_0 - \lambda_1 XY + D_1 \frac{\partial^2 X}{\partial u^2}, \\ \frac{\partial Y}{\partial t} = \lambda_1 XY - \lambda_2 Y + D_2 \frac{\partial^2 Y}{\partial u^2}, \end{cases} \quad (3)$$

where D_1 and D_2 are coefficients of diffusion for the substances X and Y.

System of equations (3) is a system of second-order non-linear partial differential equations.

We linearize system of differential equations (3).

Taking into account that small deviations x and y from stationary values of concentrations \bar{X} and \bar{Y} are the functions u and t , we obtain

$$\begin{aligned} X(u,t) &= \bar{X} + x(u,t), \\ Y(u,t) &= \bar{Y} + y(u,t). \end{aligned} \quad (4)$$

Substituting expressions (4) and (2) into system of differential equations (3), we obtain the following system of differential equations for small deviations x and y :

$$\begin{cases} \frac{\partial x}{\partial t} = -\frac{\lambda_1 \lambda_0}{\lambda_2} x - \lambda_2 y - \lambda_1 xy + D_1 \frac{\partial^2 x}{\partial u^2}, \\ \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\lambda_1 \lambda_0}{\lambda_2} x + \lambda_1 xy + D_2 \frac{\partial^2 y}{\partial u^2}. \end{cases}$$

Neglecting the terms containing values of the second order of smallness xy , we obtain the linearized system of differential equations for small deviations of concentrations x and y :

$$\begin{cases} \frac{\partial x}{\partial t} = -2\delta x - \frac{\omega^2}{2\delta} y + D_1 \frac{\partial^2 x}{\partial u^2}, \\ \frac{\partial y}{\partial t} = 2\delta x + D_2 \frac{\partial^2 y}{\partial u^2}, \end{cases} \quad (5)$$

where the coefficients δ and ω are expressed in terms of constant rates λ_0, λ_1 and λ_2 :

$$\frac{\lambda_1 \lambda_0}{\lambda_2} = 2\delta, \quad \lambda_1 \lambda_0 = \omega^2.$$

Note that in system of differential equations (5) unlike system of differential equations (3), variables x and y can change their sign (since they are small deviations of concentrations which are either positive or negative or zero), whereas variables X and Y , which are concentrations, can only be positive.

System of differential equations (5) is solved taking into account the boundary conditions at the ends of the reactor which are impervious to molecules of the substances X and Y:

$$\left. \frac{\partial x}{\partial u} \right|_{u=0} = \left. \frac{\partial x}{\partial u} \right|_{u=l} = 0,$$

$$\left. \frac{\partial y}{\partial u} \right|_{u=0} = \left. \frac{\partial y}{\partial u} \right|_{u=l} = 0.$$

If initial small deviations of concentrations, at $t = 0$ $x(u,0)$ and $y(u,0)$, from equilibrium are defined the same everywhere, then the oscillations will be carried out synchronously throughout the length of the reactor and there will be no diffusion along the u -axis because in any neighbouring pair of points u and $u + du$, the concentration difference at any time is zero. System of differential equations (5) has solutions that describe damped oscillations, that is the small deviations $x(u,t)$ і $y(u,t)$ in this case will vary equally throughout the length of the reactor.

If the initial concentrations at different points of the tube differ from each other, then there is diffusion that will try to align the concentrations at neighbouring points (or at elemental volumes).

To study the dependence of the damping of oscillations on the nature of the initial distribution of small deviations of concentrations $x(u,0)$, $y(u,0)$, it is convenient to define the initial distribution (the initial data) in the form of the cosines:

$$x(u,t)|_{t=0} = x_0 \cos \frac{n\pi}{l} u,$$

$$y(u,t)|_{t=0} = y_0 \cos \frac{n\pi}{l} u,$$

where x_0 and y_0 are constant numbers.

Since the differential equations of oscillatory chemical reactions are non-linear, then conclusions obtained here are true when the deviations of concentrations $x(u,t)$ and $y(u,t)$ are small compared to stationary values of the concentrations \bar{X} and \bar{Y} .

If the least initial heterogeneities increase, then oscillations in different phases appear in separate elemental volumes of the reactor. Then the colour the liquor of does not change synchronously throughout the volume. However, it is enough weak mixing (for example, convection flow rate is 1 cm/s, the reactor radius is 1 cm and $l = 10$ cm), so that only initial zero tone can increase, another heterogeneities quickly damp and, therefore, the reaction goes synchronously in the whole volume.

The oscillations of concentrations inside the cell pass in the entire volume of the cell synchronously at zero tone if the periods of such oscillations are of the order of several hours and $\delta \leq 0,1\omega$. If oscillatory heterogeneities appear in the cell, then they are quickly dissolved under the action of only one molecular diffusion. The oscillations of concentrations in the cell appear, for example, in dark reactions of photosynthesis [3] or in glycolysis [2].

If the space is heterogeneous, for example, it is heated or illuminated unevenly, then with small these heterogeneity the diffusion will also lead to smoothing of heterogeneities and synchronous oscillation modes.

Conclusions. The system of non-linear partial differential equations of the second order describing oscillatory chemical reactions based on diffusion are constructed and investigated.

The boundary conditions at the ends of the reactor are defined.

1. Bakunin O.G. Turbulence and diffusion. From chaos to structures / O.G. Bakunin // Moscow: Fizmatlit, 2010.
2. Bar-Even A., Flamholz A., Noor E., Milo R. Rethinking glycolysis: on the biochemical logic of metabolic pathways / A. Bar-Even, A. Flamholz, E. Noor, R. Milo // Natural Chemical Biology. – Vol. 8. – 2012. – P. 509–517.
3. Tanaka A., Makino A. Photosynthetic research in plant science / A. Tanaka, A. Makino // Plant and sell physiology. – Vol. 50, Issue 4. – 2009. – P. 681–683.

УДК 681.325

Замрій Б.А., старший викладач кафедри обчислювальної техніки,
НУ водного господарства та природокористування

ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАПАЗОНУ ЧИСЕЛ АЦИКЛІЧНОЇ МОДЕЛІ СУМАТОРА З ЛОГІЧНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ OR ТА XOR В ОСТАННЬОМУ РОЗРЯДІ

Замрій Б.А. Дослідження діапазону чисел ациклічної моделі суматора з логічними елементами OR та XOR в останньому розряді. Проведеними дослідженнями встановлена перспектива збільшення продуктивності обчислення сигналів суми і перенесення ациклічних суматорів бінарних кодів з логічними елементами OR в останньому розряді. Зв'язок між числом обчислювальних кроків орієнтованого ациклічного графа і числом перенесень одиниці до старшого розряду однозначно визначає мінімально достатнього числа перенесень для операції додавання бінарних кодів у схемі паралельного суматора з паралельним способом перенесення.

Ключові слова: ациклічний суматор з логічними елементами OR в останньому розряді, ациклічний граф, Kogge-Stone Adder, Han-Carlson Adder

Замрій Б.А. Исследование диапазона чисел ациклической модели сумматора с логическими элементами OR и XOR в последнем разряде. Проведенными исследованиями установлена перспектива увеличения производительности вычислительных сигналов суммы и переноса ациклических сумматоров бинарных кодов с логическими элементами OR в последнем разряде. Связь между числом вычислительных шагов ориентированного ациклического графа и числом переноса единицы к старшему разряду однозначно определяет минимально достаточное число переносов для операции суммирования бинарных кодов в схеме параллельного сумматора с параллельным способом переноса

Ключевые слова: ациклический сумматор с логическими элементами OR в последнем разряде, ациклический граф, Kogge-Stone Adder, Han-Carlson Adder

Zamriy B.A. Investigation of the range of numbers of the acyclic model compiler with logical OR and XOR elements in the last digit. The conducted researches have established the prospect of increasing the productivity of calculating the sum signals and transferring acyclic combiners of binary codes with OR logic elements in the last digit. The relationship between the number of computational steps of an oriented acyclic graph and the number of unit transitions to the senior level uniquely determines the minimum number of transitions for the operation of adding binary codes in the scheme of a parallel adder with a parallel transfer method.

Keywords: acyclic adder with logical elements OR in the last digit, acyclic graph, Kogge-Stone Adder, Han-Carlson Adder

Вступ.

Ефективність додавання бінарних кодів суттєво залежить від дизайну суматора та методології обчислення сигналів суми і перенесення.

Бінарне додавання є головною арифметичною операцією у системах надвеликих інтегральних схем (НВІС). Двійкові суматори є одними з найважливіших елементів у процесорних мікросхемах, ALU, лічильниках, способах адресації пам'яті, є як частина фільтра, наприклад, фільтр DSP-решітки та ін. Структура суматора з послідовним перенесенням є однією з перших та найбільш фундаментальною для виконання операції бінарного додавання. Її швидкодія залежить від числа вхідних операндів, і, отже, затримка сигналу збільшується зі зростанням їхньої кількості. Паралельні префіксні суматори (PPA) [1–4] забезпечують кращу швидкодію, порівняно з суматорами з послідовним способом перенесення. Крім цього, будь-яке зменшення затримки безпосередньо стосується збільшення пропускну здатності [5].

У нанометровому діапазоні актуальним є розробка алгоритму додавання, реалізація якого використовує малу площу чипа, низьку потужність споживання та високу продуктивність його роботи.

Математичний апарат направлено ациклічного графа (рис. 1, 2) дозволяє однозначно отримати значення сигналів суми і перенесення за один етап обробки цифрових сигналів [6], тому останній спроможний з ефектом замінити трьох етапну префіксну модель обчислення.

Методи арифметичних операцій реалізуються вентильними схемами з функціональних елементів у базисах, що складаються з функцій алгебри логіки. Від структури суматора залежить швидкодія цифрового пристрою його надійність та енергозбереження. У зв'язку з цим мінімізація складності та глибини логічних схем є однією з центральних і практично важливих проблем у цій теорії, яка постає під час проектування цифрових пристроїв.

Процесорна еволюція є результатом невпинної оптимізації, тому актуальними залишаються дослідження направлені, зокрема, на вдосконалення таких чинників як:

- технології виготовлення;
- структурної реалізації;

- швидкодії та енергоспоживання;
- вартості цифрових пристроїв.

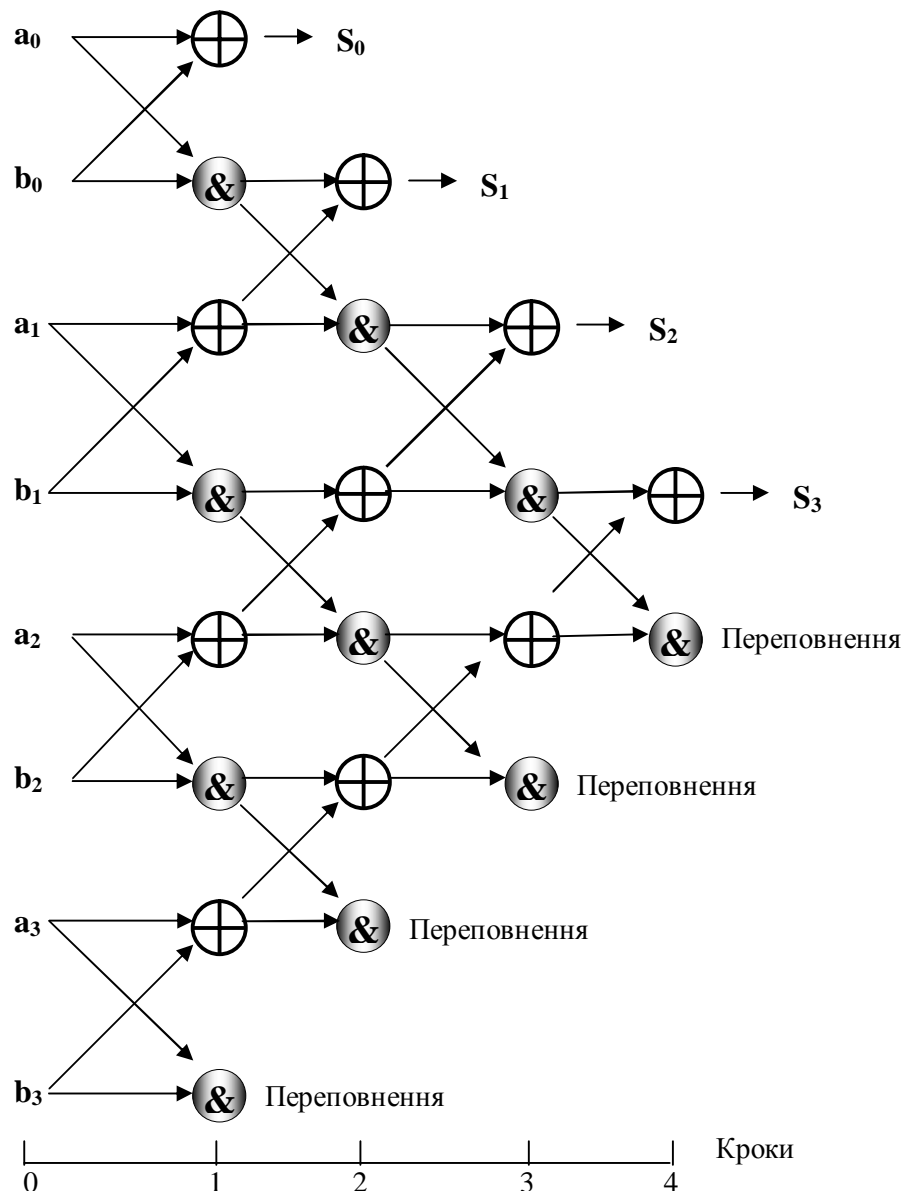


Рис. 1. Орієнтований ациклічний граф – модель обчислювальної схеми паралельного 4-розрядного ациклічного суматора з паралельним способом перенесення

Дослідження існуючих рішень проблеми.

Конфігурування обчислювальної структури у FPGA при якій суматори паралельного префікса мають кращу продуктивність представлено у роботі [7]. Паралельне розширення процесу обчислення є фундаментальною операцією в сучасних цифрових схемах та життєво важливою у великій частині комп'ютеризованих технологій, включаючи блоки ALU, мікрочипи та розробку DSP. У зв'язку з цим у [7] проведено дослідження Kogge-Stone Adder (KSA), а також додаткові дослідження Ripple Carry Adder, Carry Look Adder та Carry Select Adder. Зазначається, що суматор Kogge-Stone є найшвидшим серед паралельно-префіксних суматорів, однак такий суматор має високу складність і величезну кількість з'єднувальних проводів. У роботі [7] продемонстровано ознаки поліпшення процесу обчислення за допомогою оборотних Gates (RLG). Оборотні схеми, які контролюють дані, шляхом розбивання бітів, на відміну від їх відкидання, скоро запропонують основний фізично можливий підхід для продовження збільшення продуктивності виконання обчислень.

Для зменшення складності Kogge-Stone Adder у роботі [8] запропонований так названий майже правильний суматор (суматор змінних затримок). Суматор змінних затримок, який заснований на паралельно-префікській топології Han-Carlson, використовує спекуляцію: точна арифметична функція замінюється на апроксимовані значення, що швидше і дає правильний результат для більшості випадків, але не завжди. Для виявлення помилки використовується мережа виявлення помилок. Апроксимований суматор доповнюється мережею виявлення помилок, яка засвідчує сигнал помилки, коли спекуляція виходить з ладу. Спекулятивні суматори змінних затримок зменшують середню затримку у порівнянні з традиційними архітектурами. За допомогою Xilinx 14.3 синтезовано кілька спекулятивних суматорів змінної латентності для різних довжин операндів, що використовують топологію Han-Carlson та Kogge-Stone. Отримані результати показують, що запропонована змінна затримка Han-Carlson суматора використовується у високошвидкісному застосуванні.

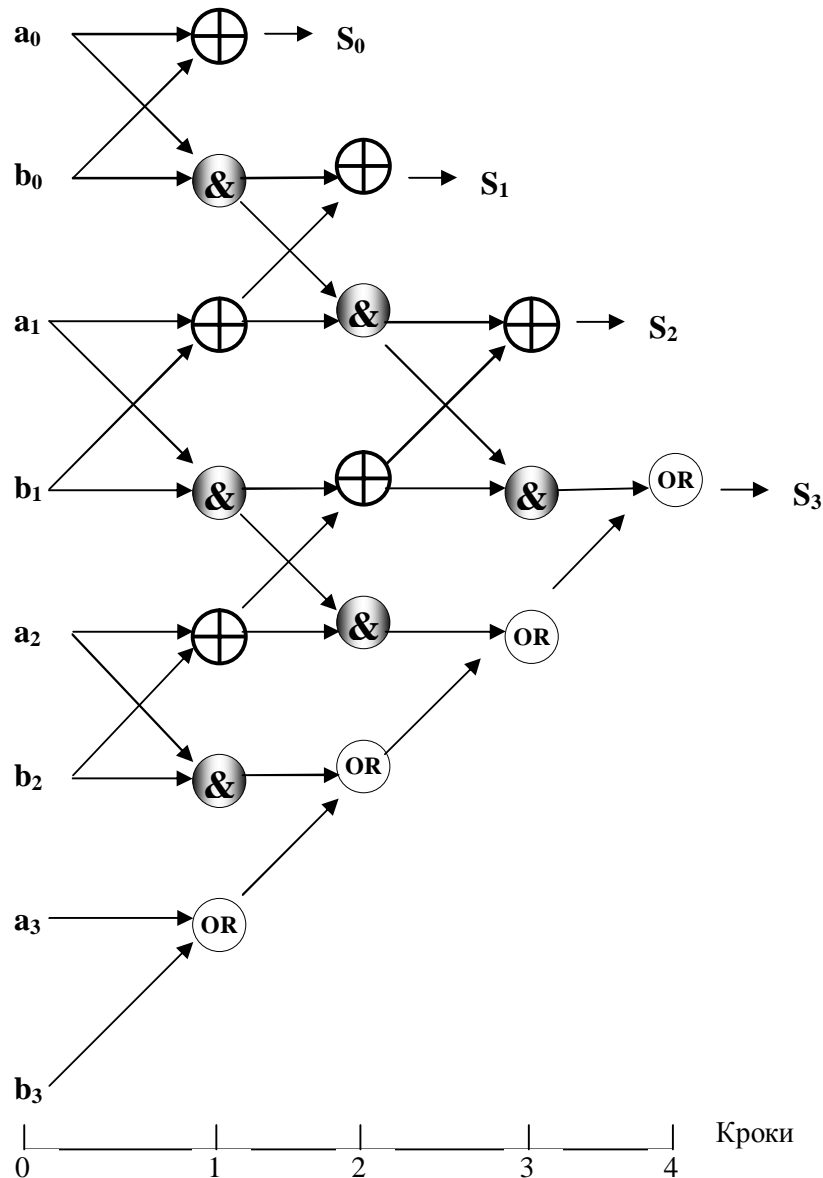


Рис. 2. Орієнтований ациклічний граф – модель обчислювальної схеми паралельного 4-розрядного ациклічного суматора з логічними елементами OR в останньому розряді

Незважаючи на те, що суматор Kogge-Stone і Han-Carlson є ефективними у тій чи іншій мірі, вони не можуть бути використані для входів з більшою кількістю бітів, оскільки вони, як кажуть, споживають більше місця, коли кількість вхідних бітів збільшується. Крім цього, збільшується і споживання енергії. У зв'язку з цим у роботі [9] представлена методика паралельного префікса, що застосовується для розробки ефективних суматорів, результати обчислення в яких визначаються

одним тактом синхронного імпульсу. Це сприяє зменшенню загальної площі чипа та загальної затримки без шкоди для таких параметрів, як продуктивність та енергоспоживання. Суматори, що розробляються використовують техніку QCA (Quantum-dot Cellular Automata - квантові точки клітинних автоматів), яка інтенсивно використовується для подальшого вдосконалення. Для спостереження за роботою суматора використовуються різні схеми синхронізації.

Каскадну схему, як механізм обчислення у складі префіксної моделі суматора, що використовує логічну структуру трьох етапного обчислення сигналів суми і перенесення, представлено у [10]. Зазначимо, що ациклічна модель обчислення сигналів суми і перенесення (рис. 1, 2) розрахована на логічну структуру суматора з послідовно-паралельним способом обчислення префікса та використовує структуру одно етапного обчислення. Таким чином, префіксна і ациклічна моделі є різними об'єктами – мають різні початки (принципи) обчислення, а від так володіють різними можливостями стосовно швидкодії обчислення, площі чипа та енергозбереження.

Конструкція суматорів, реалізованих з мемристорами представлена у роботі [11]. Тут роз'яснюються конструкції на основі мемристорів для стандартних архітектур суматорів (ripple carry adder, carry lookahead adder and parallel prefix adders). Порівнюються площі та затримки. Зазначено, що CLA має схожу складність з паралельними префіксними суматорами. Показано, що конструкція Kogge-Stone має кращу метрику з точки зору затримки і площі між паралельними суматорами префіксів.

Нова методологія проектування нечітких суматорів для прискорювачів обробки зображень розглядається у статті [12]. Запропонована методологія, зокрема, використовує архітектуру паралельного префікса та методи забезпечення низької потужності споживання за рахунок нечітких суматорів. Розглянуто два приклади для оцінки запропонованої методології: 1) фільтр гауссових зображень та 2) оператор Собеля. Результати показані на 45-нм технології де зниження споживання енергії коливається від 7,7% до 73,2% для декількох рівнів якості зображення.

На відміну від розглянутих публікацій (7 – 12), у даній роботі об'єктом аналізу методів збільшення продуктивності обчислень та зменшення складності цифрових компонентів є ациклічна модель обробки цифрових сигналів.

Мета та задачі дослідження

Метою роботи є синтез оптимальних паралельних суматорів бінарних кодів з логічними елементами OR в останньому розряді, що забезпечують діапазон додавання чисел у межах від 0 до $2^n - 1$.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Встановити адекватність математичної моделі на основі орієнтованого ациклічного графа з двома логічними операціями AND та XOR для синтезу суматорів бінарних кодів.
2. Оцінити динаміку збільшення глибини схеми паралельного ациклічного суматора з логічними елементами OR в останньому розряді зі збільшенням розрядної сітки схеми.
3. Встановити діапазон чисел ациклічного суматора з логічними елементами OR та XOR в останньому розряді.

Виклад основного матеріалу та обговорення отриманих результатів дослідження

Ациклічна модель обробки цифрових сигналів

Число обчислювальних кроків орієнтованого ациклічного графа з двома логічними операціями AND і XOR (рис. 1, 2) визначає оптимальне число перенесень у схемі n -bit паралельного суматора бінарних кодів [13]. Наприклад, вісім обчислювальних кроків орієнтованого ациклічного графа визначає вісім перенесень у схемі 8-bit PAA. Зазначене співвідношення виконується тільки для 4- та 8-bit суматорів. Зі збільшенням розрядності ациклічного суматора (16-, 32-, 64-bit ...) число обчислювальних кроків визначається за логарифмічним законом (рис. 3).

Динаміка збільшення глибини схеми PAA визначається логарифмічною залежністю – подвоєння розрядності n суматора збільшує глибину схеми на сталу величину – на два логічних елементи.

У випадку, коли синтезований суматор отримав більше число перенесень порівняно з числом обчислювальних кроків відповідного орієнтованого ациклічного графа, то такий суматор буде неоптимальним стосовно числа обчислювальних операцій.

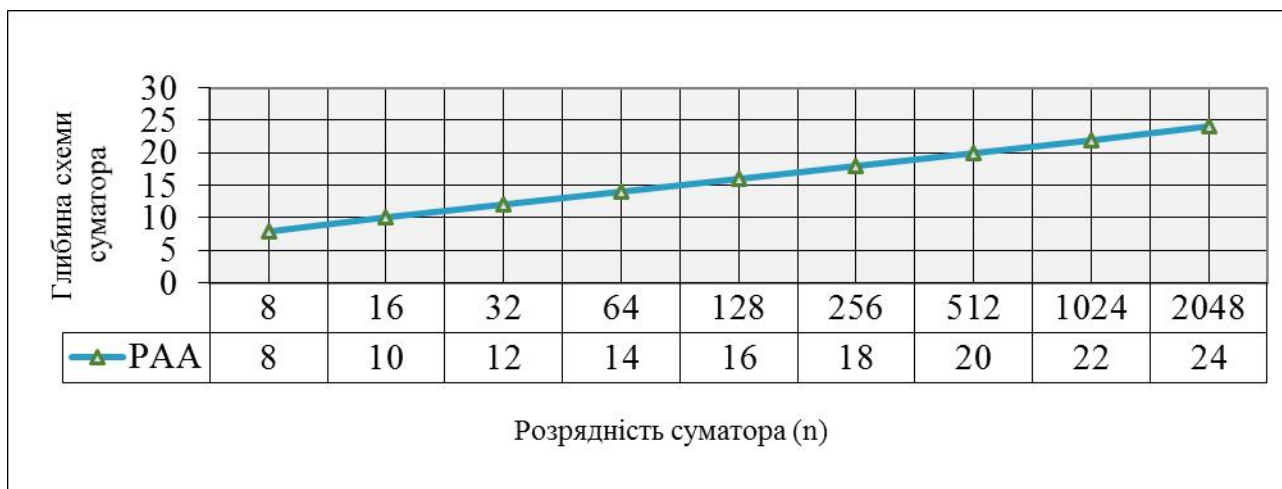


Рис. 3. Динаміка збільшення глибини схеми паралельного ациклічного суматора (РАА)

Основними недоліками префіксної моделі обчислення сигналів суми і перенесення є:

- організація процесу паралельного обчислення префікса передбачає початок обчислення з першого розряду схеми суматора (це й є власне шлях (метод) префікса), що приводить, у підсумку, до надлишкового нагромадження та ускладнення апаратної частини пристрою [14];

- принцип три етапного вироблення сигналу суми і перенесення, що задає певну складність такого обчислення, зокрема ускладнює дидактику методу;

У свою чергу застосування ациклічної моделі розраховано на:

- процес послідовного (для молодших розрядів схеми суматора) та паралельного (для решти розрядів) обчислення сигналів суми і перенесення, що, у підсумку, дає зменшення складності апаратної частини пристрою та не збільшує глибину схеми;

- встановлення оптимального числа обчислювальних кроків.

Отже, використання ациклічної моделі, порівняно з префіксною моделлю, для синтезу схем суматорів бінарних кодів, дозволяє збільшити продуктивність обчислень та зменшити енерговитрати цифровими компонентами.

Діапазон чисел ациклічної моделі

Результат виконання операції додавання над бітами a_i і b_i у i -му розряді бінарного коду виражається двома параметрами: c_i – результатом операції додавання бітів поточного розряду бінарного коду та цифрою p_{i+1} – перенесенням одиниці до старшого розряду. Результати порозрядного виконання операцій c_i та перенесення p_{i+1} формуються за правилами (1).

Для ациклічної моделі на рис. 1 (з логічними елементами XOR в останньому розряді) правила (1) будуть виконуватись. Це забезпечить діапазон чисел у бінарному коді для n -розрядної сітки у межах від 0 до $2^n - 1$. Наприклад для 8-розрядної сітки діапазон чисел у бінарному коді ациклічної моделі на рис. 1 складе від 0 до 255.

$$c_i = \begin{cases} a_i + b_i, & \text{при } a_i + b_i < q; \\ a_i + b_i - q, & \text{при } a_i + b_i > q. \end{cases} \quad (1)$$

$$p_{i+1} = \begin{cases} 0, & \text{при } a_i + b_i < q; \\ 1, & \text{при } a_i + b_i > q. \end{cases}$$

Значимо, що число всіх пар n -bit аргументів N , які можуть прийняти участь в операції додавання становить

$$N = 2^n \times 2^n = 2^{2n}.$$

Наприклад, для 4-bit аргументів число пар $N = 256$. З них 136 пар забезпечують діапазон додавання чисел у бінарному коді для 4-розрядної сітки у межах від 0 до $2^4 - 1$. Решта пар дадуть переповнення розрядної сітки схеми суматора (рис. 4).

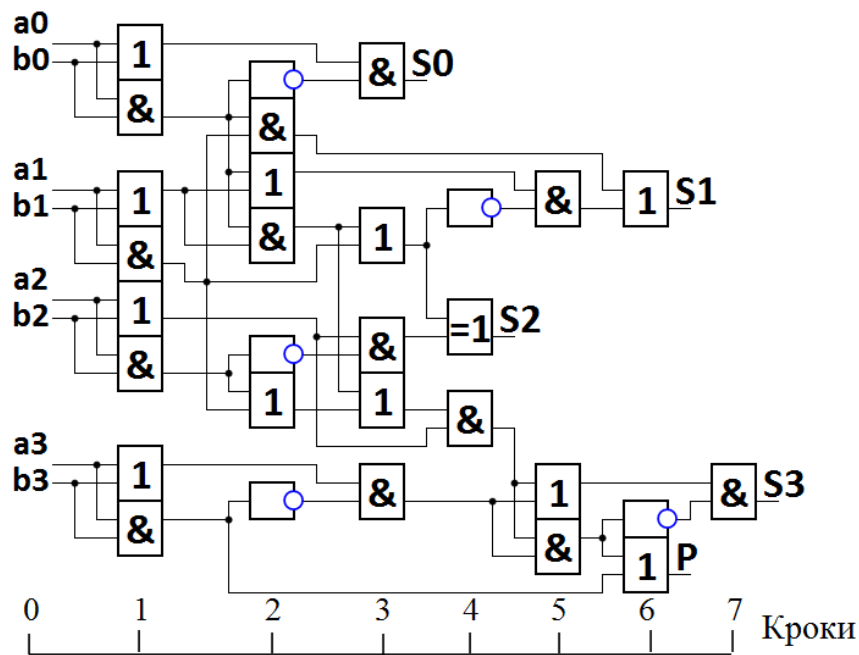


Рис. 4. 4-bit ациклічний суматор з елементами XOR в останньому розряді
 Логічні рівняння 4-bit ациклічного суматора на рис. 4 є такі:

$$\begin{aligned}
 S_0 &= a_0 \bar{b}_0 + a_0 b_0; \\
 S_1 &= a_0 b_0 \bar{a}_1 \bar{b}_1 + \bar{a}_0 a_1 \bar{b}_1 + \bar{a}_0 \bar{a}_1 b_1 + a_0 b_0 a_1 b_1 + \bar{b}_0 a_1 \bar{b}_1 + \bar{b}_0 a_1 b_1; \\
 S_2 &= \bar{a}_0 \bar{b}_1 a_2 \bar{b}_2 + \bar{a}_0 a_1 a_2 \bar{b}_2 + \bar{a}_0 b_1 a_2 b_2 + \bar{a}_0 \bar{a}_1 a_2 b_2 + \bar{b}_0 \bar{b}_1 a_2 \bar{b}_2 + \\
 &\quad + \bar{b}_0 a_1 a_2 \bar{b}_2 + \bar{b}_0 b_1 a_2 b_2 + \bar{b}_0 \bar{a}_1 a_2 b_2 + a_0 b_0 \bar{b}_1 a_2 \bar{b}_2 + \\
 &\quad + a_0 b_0 a_1 a_2 \bar{b}_2 + a_0 b_0 b_1 a_2 b_2 + a_0 b_0 a_1 a_2 b_2 + \bar{a}_1 \bar{b}_1 a_2 \bar{b}_2 + \\
 &\quad + \bar{a}_1 \bar{b}_1 a_2 b_2 + \bar{a}_1 b_1 a_2 \bar{b}_2 + \bar{a}_1 b_1 a_2 b_2; \\
 S_3 &= \bar{a}_0 \bar{b}_1 \bar{b}_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{a}_0 a_1 \bar{b}_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{a}_0 \bar{b}_1 a_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{a}_0 a_1 a_2 a_3 \bar{b}_3 + \\
 &\quad + \bar{a}_0 \bar{b}_1 \bar{b}_2 a_3 b_3 + \bar{a}_0 a_1 \bar{b}_2 a_3 b_3 + \bar{a}_0 \bar{b}_1 a_2 a_3 b_3 + \bar{a}_0 a_1 a_2 a_3 b_3 + \\
 &\quad + \bar{b}_0 \bar{b}_1 \bar{b}_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{b}_0 a_1 \bar{b}_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{b}_0 \bar{b}_1 a_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{b}_0 a_1 a_2 a_3 \bar{b}_3 + \\
 &\quad + \bar{b}_0 \bar{b}_1 \bar{b}_2 a_3 b_3 + \bar{b}_0 a_1 \bar{b}_2 a_3 b_3 + \bar{b}_0 \bar{b}_1 a_2 a_3 b_3 + \bar{b}_0 a_1 a_2 a_3 b_3 + \\
 &\quad + \bar{a}_1 \bar{b}_1 \bar{b}_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{a}_1 \bar{b}_1 a_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{a}_1 b_1 \bar{b}_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{a}_1 b_1 a_2 a_3 \bar{b}_3 + \\
 &\quad + a_0 b_0 \bar{b}_1 \bar{b}_2 a_3 \bar{b}_3 + a_0 b_0 a_1 \bar{b}_2 a_3 \bar{b}_3 + a_0 b_0 \bar{b}_1 a_2 a_3 \bar{b}_3 + \\
 &\quad + a_0 b_0 a_1 a_2 a_3 \bar{b}_3 + a_0 b_0 \bar{b}_1 \bar{b}_2 a_3 b_3 + a_0 b_0 a_1 \bar{b}_2 a_3 b_3 + \\
 &\quad + a_0 b_0 \bar{b}_1 a_2 a_3 b_3 + a_0 b_0 a_1 a_2 a_3 b_3 + \bar{a}_1 \bar{b}_1 \bar{b}_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{a}_1 \bar{b}_1 a_2 a_3 \bar{b}_3 + \\
 &\quad + \bar{a}_1 b_1 \bar{b}_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{a}_1 b_1 a_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{a}_2 \bar{b}_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{a}_2 \bar{b}_2 a_3 b_3 + \\
 &\quad + \bar{a}_2 b_2 a_3 \bar{b}_3 + \bar{a}_2 b_2 a_3 b_3;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P = & a_0 b_0 b_1 b_2 b_3 + a_0 b_0 a_1 b_2 b_3 + a_0 b_0 b_1 a_2 b_3 + a_0 b_0 a_1 a_2 b_3 + \\
 & + a_0 b_0 b_1 b_2 a_3 + a_0 b_0 a_1 b_2 a_3 + a_0 b_0 b_1 a_2 a_3 + a_0 b_0 a_1 a_2 a_3 + \\
 & + a_1 b_1 b_2 b_3 + a_1 b_1 a_2 b_3 + a_1 b_1 b_2 a_3 + a_1 b_1 a_2 a_3 + a_2 b_2 b_3 + \\
 & + a_2 b_2 a_3 + a_3 b_3.
 \end{aligned}$$

Для ациклічної моделі на рис. 2 (з логічними елементами OR в останньому розряді) правила (1) не виконуються в останньому розряді додавання бінарних кодів. Однак логіка ациклічної моделі на рис. 2 при не виконанні правила (1) в останньому розряді забезпечує переповнення розрядної сітки схеми суматора (рис. 5).

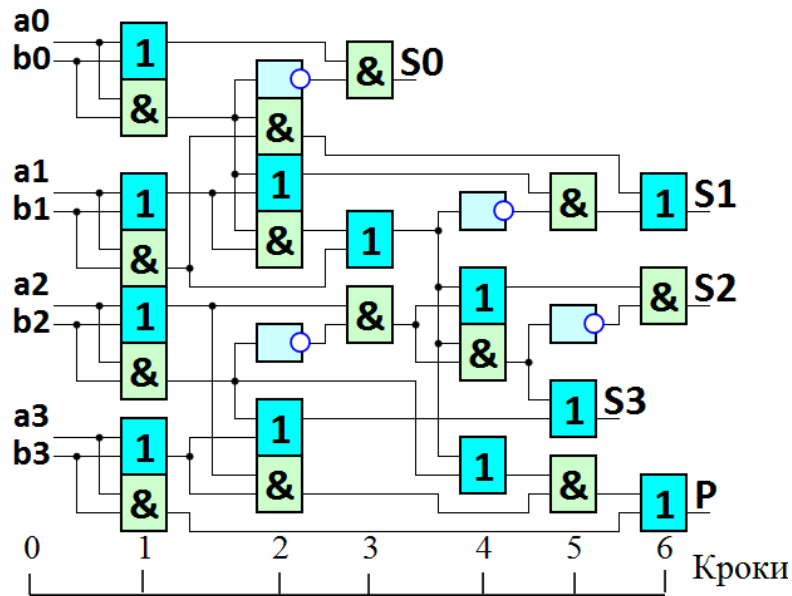


Рис. 5. 4-bit ациклічний суматор з елементами OR в останньому розряді

Таким чином, не виконання правила (1) в останньому розряді ациклічної моделі суматора фіксується сигналом переповнення розрядної сітки. При цьому 136 пар 4-bit аргументів забезпечують діапазон додавання чисел ациклічного суматора з логічними елементами OR в останньому розряді у межах від 0 до $2^4 - 1$. У загальному випадку у межах від 0 до $2^n - 1$. Решта пар дадуть переповнення у бінарному коді для n -розрядної сітки схеми суматора.

Логічні рівняння 4-bit ациклічного суматора на рис. 5 є такі:

$$\begin{aligned}
 S_0 &= a_0 \bar{b}_0 + \bar{a}_0 b_0; \\
 S_1 &= a_0 b_0 \bar{a}_1 \bar{b}_1 + \bar{a}_0 a_1 \bar{b}_1 + \bar{a}_0 \bar{a}_1 b_1 + b_0 a_1 \bar{b}_1 + \bar{b}_0 \bar{a}_1 b_1 + a_0 b_0 a_1 b_1; \\
 S_2 &= \bar{a}_0 \bar{b}_1 a_2 \bar{b}_2 + \bar{a}_0 a_1 a_2 \bar{b}_2 + \bar{a}_0 \bar{b}_1 a_2 b_2 + \bar{a}_0 a_1 a_2 b_2 + \bar{b}_0 \bar{b}_1 a_2 \bar{b}_2 + \\
 &+ \bar{b}_0 a_1 a_2 \bar{b}_2 + \bar{b}_0 \bar{b}_1 a_2 b_2 + \bar{b}_0 a_1 a_2 b_2 + a_0 b_0 b_1 a_2 \bar{b}_2 + \\
 &+ a_0 b_0 a_1 a_2 \bar{b}_2 + a_0 b_0 b_1 a_2 b_2 + a_0 b_0 a_1 a_2 b_2 + \\
 &+ a_1 b_1 a_2 \bar{b}_2 + a_1 b_1 a_2 b_2; \\
 S_3 &= +a_0 b_0 b_1 b_2 + a_0 b_0 a_1 b_2 + a_0 b_0 b_1 a_2 + a_0 b_0 a_1 a_2 + a_1 b_1 b_2 + \\
 &+ a_1 b_1 a_2 + a_2 b_2 + a_3 + b_3;
 \end{aligned}$$

$$P = a_0b_0b_1b_2b_3 + a_0b_0a_1b_2b_3 + a_0b_0b_1a_2b_3 + a_0b_0a_1a_2b_3 + \\
 + a_0b_0b_1b_2a_3 + a_0b_0a_1b_2a_3 + a_0b_0b_1a_2a_3 + a_0b_0a_1a_2a_3 + \\
 + a_1b_1b_2b_3 + a_1b_1a_2b_3 + a_1b_1b_2a_3 + a_1b_1a_2a_3 + a_2b_2b_3 + \\
 + a_2b_2a_3 + a_3b_3.$$

Таблиця 1

Порівняльна таблиця параметрів
 4-bit ациклічних суматорів з елементами OR та XOR в останньому розряді

Параметри	4-bit суматор з логічними елементами OR в останньому розряді	4-bit суматор з логічними елементами XOR в останньому розряді
Складність схеми	29	33
Глибина схеми	6	7
Діапазон додавання чисел	$2^4 - 1$	$2^4 - 1$
Число всіх пар 4-bit аргументів, які можуть приймати участь в операції додавання	256	256
Число пар 4-bit аргументів, що забезпечують роботу суматора без переповнення	136	136
Відсоток пар 4-bit аргументів, що забезпечують роботу суматора без переповнення	53,13%	53,13%

Споглядаючи табл. 1 бачимо, що обидва суматори, з логічними елементами OR та XOR, забезпечують однаковий діапазон додавання чисел, у межах від 0 до $2^4 - 1$. Однак суматор з логічними елементами OR в останньому розряді є швидшим (глибина схеми 6 елементів) та має простішу структуру (складність схеми 29 елементів), порівняно зі схемою суматора з логічними елементами XOR в останньому розряді.

Обговорення результатів застосування ациклічної моделі для синтезу суматорів бінарних кодів з логічними елементами OR в останньому розряді

Застосування ациклічної моделі розраховано на:

- процес послідовного (для молодших розрядів схеми суматора) та паралельного (для решти розрядів) обчислення сигналів суми і перенесення, що, у підсумку, дає зменшення складності апаратної частини пристрою та не збільшує глибину схеми;
- встановлення оптимального числа обчислювальних кроків.

Це вказує на те, що обчислювальні кроки орієнтованого ациклічного графа і перенесення одиниці до старшого розряду суматора являють собою один об'єкт. Наприклад, вісім обчислювальних кроків орієнтованого ациклічного графа визначає вісім перенесень у схемі 8-bit РАА. Зазначене співвідношення виконується тільки для 4- та 8-bit суматорів. Зі збільшенням розрядності ациклічного суматора (16-, 32-, 64-bit ...) число обчислювальних кроків визначається за логарифмічним законом.

Ациклічні суматори, з логічними елементами OR та XOR, забезпечують однаковий діапазон додавання чисел, у межах від 0 до $2^n - 1$. Однак суматор з логічними елементами OR в останньому розряді є швидшим (глибина схеми 6 елементів) та має простішу структуру (складність схеми 29 елементів), порівняно зі схемою суматора з логічними елементами XOR в останньому розряді.

Отже, використання ациклічної моделі для синтезу паралельних суматорів з логічними елементами OR в останньому розряді, дозволяє збільшити продуктивність обчислень та зменшити енерговитрати цифровими компонентами.

Використання ациклічної моделі вигідніше у порівнянні з аналогами за такими чинниками:

– меншою вартістю розробки та впровадження, оскільки ациклічна модель визначає порівняно простішу структуру суматора;

– наявністю критерію оптимізації – число обчислювальних кроків ациклічного графа вказує на мінімально достатнє число перенесень одиниці до старшого розряду.

Оскільки ациклічна модель демонструє 4-bit PAA з глибиною схеми 6 типових 2-входових елементів при використанні логічних елементів OR в останньому розряді (рис. 5) і 4-bit PAA з глибиною схеми 7 типових 2-входових елементів при використанні логічних елементів XOR в останньому розряді (рис. 7), перспективою подальших досліджень цифрових схем може бути переоцінка методу паралельного розширення процесу обчислення в сучасних цифрових пристроях, переоцінка алгоритмів додавання у нанометровому діапазоні, переоцінка конструкції суматорів, реалізованих з мемристорами та ін.

Висновки

1. Встановлено, що обчислення сигналу суми і перенесення у схемі паралельного ациклічного суматора здійснюється за алгоритмом логарифмічного додавання. Число обчислювальних кроків ациклічного графа визначає оптимальне число перенесень у схемі паралельного суматора з паралельним способом перенесення.

2. Оцінка динаміки збільшення глибини схеми ациклічного суматора з логічними елементами OR в останньому розряді складає $O(n)$ і є лінійною для $n \leq 8$. Зі збільшенням розрядності схеми від $n > 8$ оцінка динаміки збільшення глибини схеми ациклічного суматора складає $O(\log n)$ і є логарифмічною.

3. Суматори, з логічними елементами OR та XOR, забезпечують однаковий діапазон додавання чисел, у межах від 0 до $2^n - 1$. Однак суматор з логічними елементами OR в останньому розряді є швидшим (глибина схеми 6 елементів) (рис. 5) та має простішу структуру (складність схеми 29 елементів), порівняно зі схемою суматора з логічними елементами XOR в останньому розряді (рис. 4).

З огляду на зазначене порівняння ациклічних суматорів з елементами OR та XOR в останньому розряді, структура суматора з логічними елементами OR в останньому розряді дає підставу для доцільності її застосування у процесах синтезу арифметичних пристроїв обробки цифрових даних, оскільки зазначена схема суматора спроможна:

– збільшити швидкодію;

– зменшити енергоспоживання та тепловиділення цифрового пристрою, інтегральної схеми.

1. Brent R. P., Kung H. T. A regular layout for parallel adders // IEEE Tr. Comp., C-31(3): Mar. 1982, pp. 260–264.

2. Han T., Carlson D. A. Fast area-efficient VLSI adders // In 8th Symp. on Comp. Arithmetic, May 1987.

3. Kogge P., Stone H. A parallel algorithm for the efficient solution of a general class of recurrence equations // IEEE Tr. Comp., C-22(8): Aug. 1973, pp. 786–793.

4. Ladner R. E., Fischer M. J. Parallel prefix computation // Journal of the ACM, 27(4): Oct. 1980. pp. 831–838.

5. Choi, Y. Parallel Prefix Adder Design with Matrix Representation // Proc. 17th IEEE Symposium on Computer Arithmetic, 27th. June 2005, pp 90-98.

6. Solomko M., Olshansky P. The Parallel Acyclic Adder // 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), Lviv, 2017, pp. 125-129.

7. Srinivasarao B.N., Prathyusha Ch. Power Efficient Parallel Prefix Adders // International Journal of Research, 2018, February. pp. 472-477. URL:

http://scholar.google.com.ua/scholar_url?url=https://pen2print.org/index.php/jjr/article/download/12158/11483&hl=uk&sa=X&d=7093867988941575373&scisig=AAGBfm2PGwrG0bBN99RZuzx6QcF2cRUpnA&nossl=1&oi=scholarart

8. Karthik K., Rajeshwar B. A New Design for Variable Latency Speculative EC & D Han-Carlson Adder // International Journal of Research, Volume 04, Issue 13. October 2017. pp. 975-980. URL:

http://scholar.google.com.ua/scholar_url?url=https://pen2print.org/index.php/jjr/article/download/9332/8980&hl=uk&sa=X&d=5289417270700682252&scisig=AAGBfm2SRr4V6L-sliX7AvD4DsUamxYCSA&nossl=1&oi=scholarart

9. Hima Bindu Challa, Srujana Gollapalli, Dr. Varaprasada Rao . M. Design-of-a-novel-BCD-adder-using-parallel-prefix technique // INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH IN ELECTRONICS AND COMPUTER ENGINEERING, VOL. 6, ISSUE 2. APR.-JUNE 2018. pp. 2213-2219. URL: https://www.researchgate.net/profile/Srujana_Gollapalli/publication/329425015_Design_of_a_novel_BCD_adder_using_parallel_prefix_technique/links/5c07f505299bf139c741adb5/Design-of-a-novel-BCD-adder-using-parallel-prefix-technique.pdf

10. Balasubramanian P., Jacob Prathap Raj C., Anandi S. Mathematical Modeling of Timing Attributes of Self-Timed Carry Select Adders // Recent Advances in Circuits, Systems, Telecommunications and Control. 2013. pp. 228-243. URL: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2013/Paris/CCTC/CCTC-34.pdf>

11. Nagaraja Revanna, Earl E. Swartzlander Memristor Adder Design // IEEE 61st International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS). 5-8 Aug. 2018. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8623864>

12. Soares L.B., Azevedo da Rosa M.M. Design Methodology to Explore Hybrid Approximate Adders for Energy-Efficient Image and Video Processing Accelerators // IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers (Early Access). 31 January 2019. pp. 1-14. URL:

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8630652>

13. Solomko M., Krulikovskiy B. Study of carry optimization while adding binary numbers in the rademacher number-theoretic basis // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Mathematics and Cybernetics – applied aspects, Volume 3, № 4(81). 2016. pp: 56-63. URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/70355>

14. Solomko M. Optimization of the acyclic adders of binary codes // Technology audit and production reserves, Vol 3/2 (41). 2018. pp 55 - 65. URL:

<http://journals.uran.ua/tarp/article/view/133694>

УДК 536.21

Карашецький В.П. к.т.н., Яркун В.І.

Національний лісотехнічний університет України

АВТОМАТИЗОВАНА ВЕБ-СИСТЕМА ПІДБОРУ І ВІДОБРАЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ АПРОКСИМАНТ ДЛЯ ОДНОВИМІРНИХ ТА ДВОВИМІРНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ

Карашецький В.П., Яркун В.І. Автоматизована веб-система підбору і відображення оптимальних апроксимант для одновимірних та двовимірних залежностей. Розроблено методику і програмне забезпечення автоматизованої веб-системи підбору, відображення оптимальних апроксимант для таблично заданих одновимірних та двовимірних залежностей. Розроблене програмне забезпечення представляє веб-сайт. Дану веб-систему можна застосовувати для математичного опису досліджуваних процесів у різних предметних областях. Для отримання розв'язку задачі апроксимації застосовано метод найменших квадратів. В якості апроксимант використано повні поліноми першого, другого, третього степенів та найбільш типові одновимірні залежності.

Ключові слова: апроксимація, метод найменших квадратів, оптимальна апроксиманта, повний поліном, Java, Jzy3d, Hibernate, PrimeFaces.

Карашецький В.П., Яркун В.І. Автоматизированная веб-система подбора и отображения оптимальных аппроксимант для одномерных и двумерных зависимостей. Разработана методика и программное обеспечение автоматизированной веб-системы подбора, отображения оптимальных аппроксимант для таблично заданных одномерных и двумерных зависимостей. Разработанное программное обеспечение представляет веб-сайт. Данную веб-систему можно применять для математического описания исследуемых процессов в различных предметных областях. Для получения решения задачи аппроксимации применен метод наименьших квадратов. В качестве аппроксимант использовано полные полиномы первого, второго, третьего степеней и наиболее типичные одномерные зависимости.

Ключевые слова: аппроксимация, метод наименьших квадратов, оптимальная аппроксимант, полный полином, Java, Jzy3d, Hibernate, PrimeFaces.

Karashetsky V.P., Yarkun V.I. Automated web-based system for selecting and displaying optimal approximants for one-dimensional and two-dimensional dependencies. The technique and software of the automated web-system of selection and display of optimal approximants for tabulated one-dimensional and two-dimensional dependencies. To obtain a solution of the approximation problem, the classic method of least squares is applied. To obtain a unified solution of the approximation problem, we use a complete polynomials of the first, second, third orders and the most typical one-dimensional dependencies.

Keywords: approximation, least squares method, optimal approximant, full polynomial, Java, Jzy3d, Hibernate, PrimeFaces.

Постановка проблеми. Результати експериментальних досліджень часто отримують у вигляді таблично заданої функції. Враховуючи те, що кожна з точок, які входять у таблицю експериментальних даних, не є абсолютно достовірною внаслідок впливу ряду випадкових факторів, виникає завдання представити досліджуваний процес у вигляді математичної залежності.

Аналіз досліджень. В ході дослідження розглянуто існуючі системи отримання апроксимант. У роботі [3] описано пакет програм апроксимації функцій за різними способами наближення, розроблений в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова. Надається опис програмного комплексу найкращої рівномірної апроксимації як складової пакета. Наводиться огляд та порівняльні характеристики аналогічних програмних засобів[3].

Пропонується веб-система підбору, відображення оптимальних апроксимант для таблично заданих одновимірних та двовимірних залежностей. В якості апроксимант використано повні поліноми першого, другого, третього степенів та найбільш типові одновимірні залежності.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Часто для побудови функціональних залежностей використовують метод апроксимації, суть якого полягає в тому щоб замінити деяку залежність, наприклад, у двовимірному випадку $z = f(x, y)$, яка відома лише для деякої кількості значень x та y на іншу залежність $z = g(x, y)$ так, щоб відхилення $f(x, y)$ від $g(x, y)$ на множині значень X та Y було найменшим. Функція $g(x, y)$ при цьому називається апроксимантою. Для побудови функціональних залежностей досліджуваних процесів використовується метод найменших квадратів. Апроксимувати таблично задану функцію методом найменших квадратів означає серед всіх апроксимант даного класу вибрати ту, для якої сума S квадратів відхилень δ_i значень апроксиманти у вузлах x_i та y_i від табличних значень z_i буде найменшою

$$S = \sum_{i=1}^m (g(x_i, y_i) - z_i)^2 = \sum_{i=1}^m \delta_i^2 \rightarrow \min . \quad (1)$$

Однак при такій постановці задача апроксимації експериментальних даних має багато розв'язків. Для отримання єдиного розв'язку цієї задачі потрібно надати $g(x, y)$ певного вигляду, наприклад, повного поліному n -го степеня

$$g(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 + \dots + a_{w-1}x^n + a_wy^n, \quad (2)$$

де $w = \frac{(2+n)!}{2!n!}$.

З урахуванням (2) запишемо вираз (1) у вигляді

$$S = \sum_{i=1}^m (a_0 + a_1x_i + a_2y_i + a_3x_iy_i + a_4x_i^2 + a_5y_i^2 + \dots + a_{w-1}x_i^n + a_wy_i^n - z_i)^2 = \sum_{i=1}^m \delta_i^2 \rightarrow \min . \quad (3)$$

Очевидно, що величина S – це багатопараметрична функція на множині $a_i, (i = 0, \dots, w)$.

Мінімум такої функції знаходиться при виконанні умов вигляду:

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = 0; \frac{\partial S}{\partial a_1} = 0; \frac{\partial S}{\partial a_2} = 0; \frac{\partial S}{\partial a_3} = 0; \frac{\partial S}{\partial a_4} = 0; \frac{\partial S}{\partial a_5} = 0; \dots \frac{\partial S}{\partial a_{w-1}} = 0; \frac{\partial S}{\partial a_w} = 0. \quad (4)$$

Розв'яжемо систему рівнянь виду (4) відносно коефіцієнтів $a_0, a_1, a_2, \dots, a_w$ для кожного з повних поліномів першого, другого, та третього степенів одним із відомих чисельних методів, наприклад, методом Гауса. В результаті отримаємо шукані коефіцієнти апроксимант для кожного з цих поліномів.

Якість апроксимації оцінюватимемо на підставі коефіцієнта детермінації R^2 , який визначається [1] наступним чином:

$$R^2 = 1 - \frac{S}{S_{tot}}, \quad (5)$$

де

$$S_{tot} = \sum_{i=1}^m (z_i - \bar{z})^2; \quad (6)$$

$$\bar{z} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m z_i. \quad (7)$$

Оптимальною вважатимемо ту з отриманих апроксимант, у якій значення коефіцієнта детермінації є найбільшим.

Для одновимірного випадку в якості апроксимант окрім повних поліномів першого, другого, та третього степенів використаємо також найбільш типові одновимірні залежності: $y = ax + b$;

$$y = be^{ax}; y = be^{a/x}; y = b10^{ax}; y = a \ln x + b; y = bx^a; y = ax^{-1} + b; y = a/e^x + b;$$

$$y = a/(1/x + b); y = ax^2 + bx + c; y = a \ln x + bx + c; y = ax^3 + bx^2 + cx + d .$$

Розроблене програмне забезпечення представляє веб-сайт, у головному вікні якого (рис. 1) натисненням на кнопку "Login" здійснюється перехід на реєстрацію.

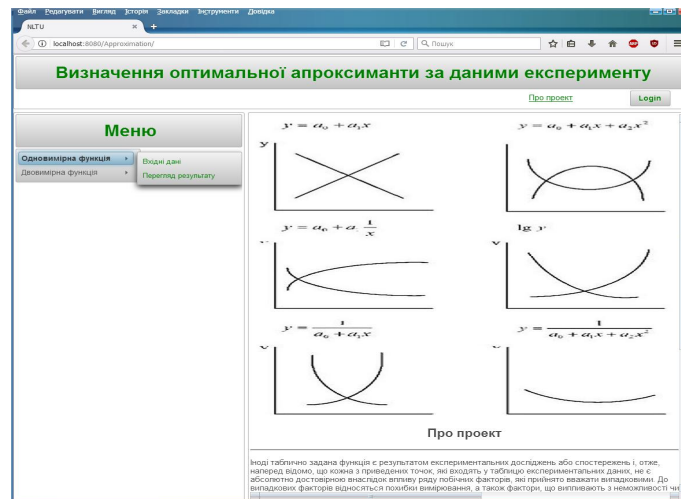


Рис. 1. Головне вікно сайту

Після успішного виконання реєстрації, для підбору і відображення оптимальної апроксиманти для одновимірної залежності користувач вибирає елемент меню “Одновимірна функція” і підпункт “Вхідні дані”. З’являється вікно графічного інтерфейсу системи (рис. 2). Спочатку користувачу необхідно порядково заповнити таблицю вхідних величин. Для цього потрібно вводити у відповідні поля значення величин x_i, y_i по кожному i -ому вузлу і натискати кнопку “Ввести значення”.

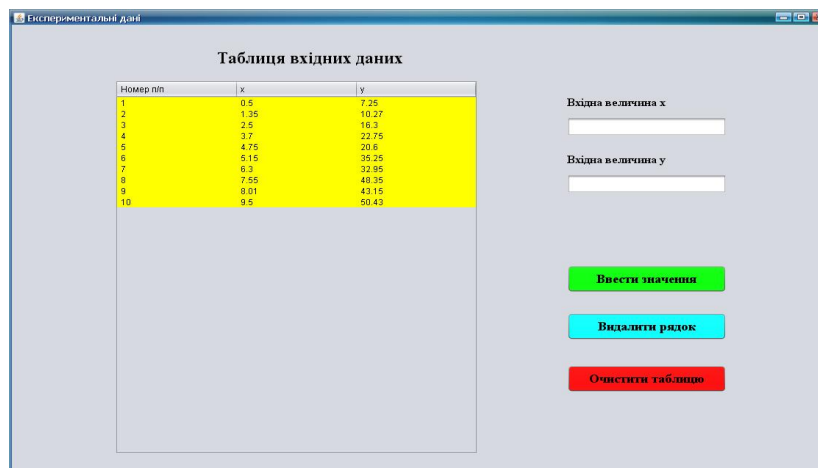


Рис. 2. Вікно графічного інтерфейсу системи для одновимірної залежності

Після натискання кнопки “Ввести значення” з’являється діалогове вікно з повідомленням про введення вказаних значень (рис. 3) або нагадуванням про необхідність заповнення полів (рис 4).

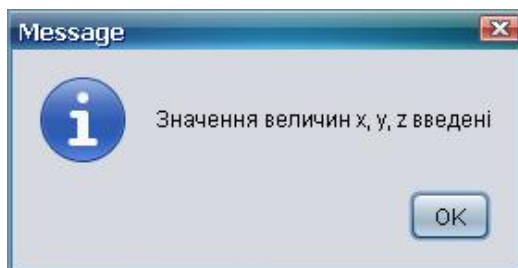


Рис. 3. Діалогове вікно з повідомленням про введення вказаних значень

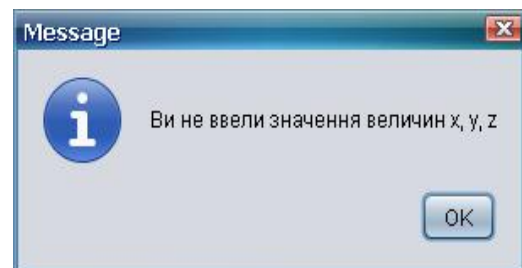


Рис. 4. Діалогове вікно з нагадуванням про необхідність заповнення полів

Кнопки “Видалити рядок” та “Очистити таблицю” призначені відповідно для видалення останнього введеного рядка таблиці та очищення вмісту усієї таблиці. При натисканні на кнопку “Видалити рядок” чи “Очистити таблицю” на екрані відображається діалогове вікно відповідно для

видалення останнього введеного рядка таблиці (рис. 5), чи очищення таблиці (рис. 6), яке вимагає підтвердження або відміни вказаних дій.

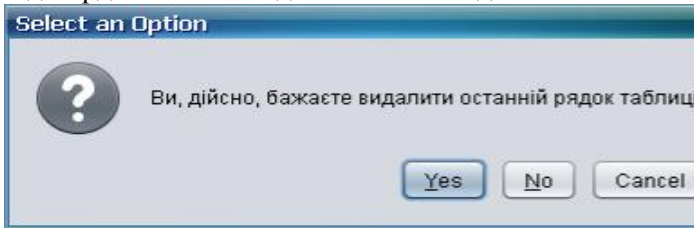


Рис. 5. Діалогове вікно підтвердження або відміни видалення останнього введеного рядка таблиці

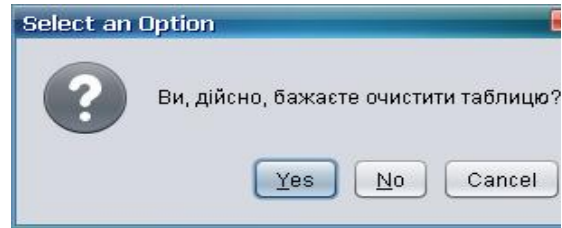


Рис. 6. Діалогове вікно підтвердження або відміни очищення вмісту усієї таблиці

Після заповнення таблиці вхідних величин для підбору оптимальної апроксиманти потрібно вибрати підпункт "Перегляд результату". В результаті у вікні браузера відображається графік одновимірної залежності та оптимальної апроксиманти з аналітичним виразом цієї апроксиманти (рис. 7) або діалогове вікно з повідомленням про неможливість її отримати (рис. 8), якщо система рівнянь (6) не має розв'язку.

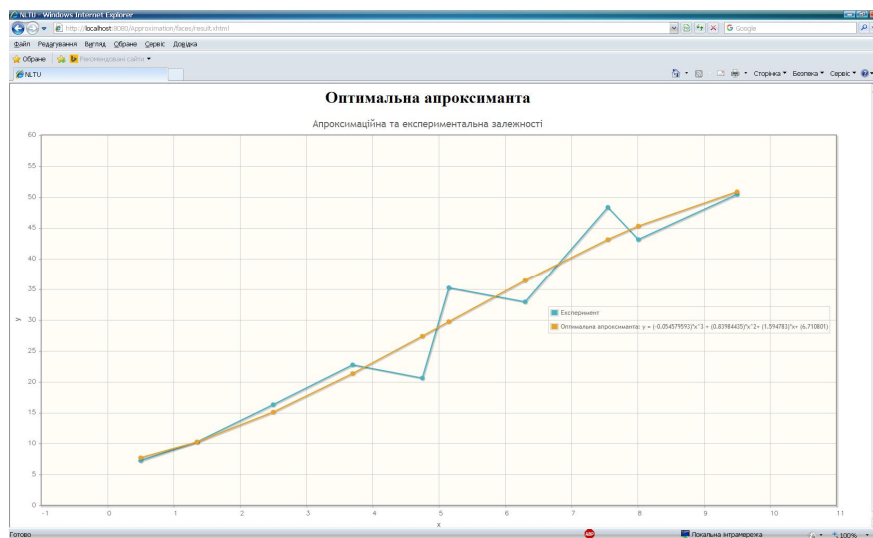


Рис. 7. Графік одновимірної залежності та оптимальної апроксиманти з аналітичним виразом цієї апроксиманти

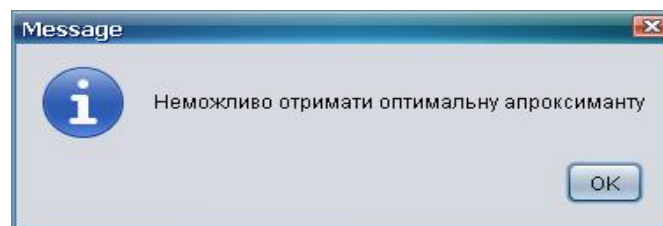


Рис. 8. Діалогове вікно з повідомленням про неможливість отримання оптимальної апроксиманти

Щоб підібрати і відобразити оптимальну апроксиманту для двовимірної залежності користувач вибирає елемент меню "Двовимірна функція" і підпункт "Вхідні дані та перегляд результату". З'являється вікно графічного інтерфейсу системи (рис. 9). Спочатку йому необхідно порядково заповнити таблицю вхідних величин. Для цього потрібно вводити у відповідні поля значення величин x_i, y_i, z_i по кожному i -ому вузлу і натискати кнопку "Ввести значення".

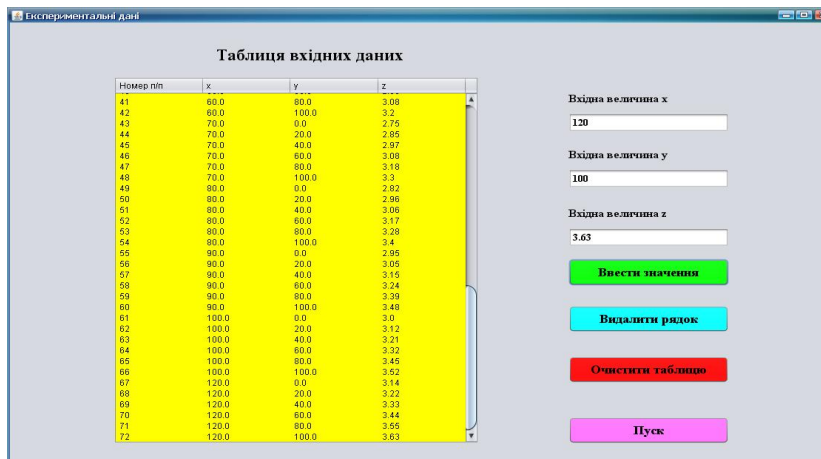


Рис. 9. Вікно графічного інтерфейсу системи для двовимірної залежності

Після заповнення таблиці вхідних величин для підбору оптимальної апроксиманти потрібно натиснути кнопку “Пуск”. В результаті спочатку з’являється діалогове вікно з аналітичним виразом оптимальної апроксиманти (рис. 10) або з повідомленням про неможливість її отримати (рис. 8). Після закриття цього вікна відображається графік оптимальної апроксиманти (рис. 11), який можна повертати, масштабувати, переміщати по осі Z, анімувати і зберегти у вигляді скріншоту, з цією метою застосовано фреймворк Hibernate та бібліотеку Jzy3d [2] на мові Java.



Рис. 10. Діалогове вікно з виразом оптимальної апроксиманти

Висновки та практичне застосування. Розроблено програмне забезпечення з використанням об’єктно-орієнтованого підходу для автоматизованої веб-системи, що здійснює підбір і відображення оптимальних апроксимант для таблично заданих одновимірних та двовимірних залежностей. Система надає можливість математичного аналізу досліджуваних процесів у різних предметних областях.

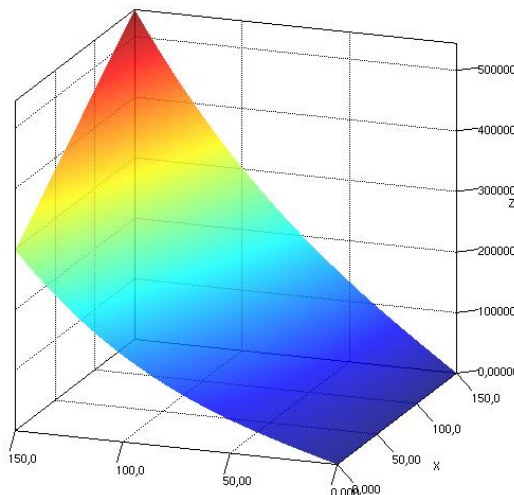


Рис. 11. Графік оптимальної апроксиманти для двовимірної залежності
 (Щільність деревини як функція відносної щільності та відносної вологості)

1. Coefficient of determination [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Coefficient_of_determination (дата звернення 17.01.2019). – Назва з екрана.
2. JZY3D [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступу: <http://www.jzy3d.org/> (дата звернення 17.01.2019). – Назва з екрана.
3. Пакет програм апроксимации функций / А. А. Каленчук-Порханова, Л. П. Вакал // Комп'ют. засоби, мережі та системи. - 2008. - № 7. - С. 32-38. - Библиогр.: 19 назв. - рус.

УДК 510

¹Корінчук Н.Ю., ²Корінчук В.В.

¹Луцький педагогічний коледж

²Луцьке вище професійне училище будівництва та архітектури

РОЛЬ ОПТИМАЛЬНИХ ТА ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ З МАТЕМАТИКИ У ФОРМУВАННІ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МОЛОДШОГО СПЕЦІАЛІСТА

Корінчук Н.Ю., Корінчук В.В. Роль оптимальних та прикладних задач з математики у формуванні професійної компетентності молодшого спеціаліста. У статті обґрунтовано необхідність забезпечення прикладної та професійної спрямованості викладання математики і вищої математики та їх роль у формуванні професійної компетентності майбутніх молодших спеціалістів, яких готують заклади вищої освіти I-II рівня акредитації та у закладах професійно-технічної освіти, розглянуто деякі шляхи її реалізації у вищому навчальному закладі при читанні лекцій, проведенні практичних занять, виконанні студентами розрахунково-графічних, курсових і дипломних робіт, їх участі у науково-дослідній та винахідницькій роботі.

Ключові слова: найбільше та найменше значення функції, критичні точки функції, професійна спрямованість, методи оптимізації, професійна компетентність, прикладні задачі.

Коринчук Н.Ю., Коринчук В.В. Роль оптимальных и прикладных задач по математике при формировании профессиональной компетентности младшего специалиста. В статье обоснована необходимость обеспечения прикладной и профессиональной направленности преподавания математики и высшей математики, их роль при формировании профессиональной компетентности будущих младших специалистов, которых готовят высшие учебные заведения I-II уровня аккредитации и в учреждениях профессионально-технического образования, рассмотрены некоторые пути ее реализации в высшем учебном заведении при чтении лекций, проведении практических занятий, выполнении студентами расчетно-графических, курсовых, дипломных работ, их участие в научно-исследовательской и в изобретательной работе.

Ключевые слова: наибольшее и наименьшее значения функции, критические точки функции, профессиональная направленность, методы оптимизации, профессиональная компетентность, прикладные задачи.

Korinchuk N.U., Korinchuk V.V. The role of optimal and applied problems in mathematics in the formation of professional competence of a junior specialist. The article substantiates the need to ensure the applied and professional orientation of teaching mathematics and higher mathematics, their role in shaping the professional competence of future junior specialists trained by higher education institutions of I-II accreditation levels and in institutions of vocational education, considered some ways to implement it in higher education educational institution when giving lectures, conducting practical classes, performing by students of settlement and graphic, course, degree works And their participation in research and inventive work.

Key words: the largest and smallest values of the function, critical points of the function, professional orientation, optimization methods, professional competence, applied tasks.

Постановка проблеми. Проблема професійної підготовки молодших спеціалістів різних спеціальностей закладів вищої освіти I-II рівня акредитації та закладів професійно-технічної освіти завжди була в центрі уваги й залишається актуальною на сьогоднішній день. Професіоналізм, різнобічна якісна кваліфікована підготовка майбутнього фахівця – провідні напрямки у підготовці випускника будь-якого навчального закладу, що розглядаються в єдності його духовної та психологічної складових [4-7]. Якість підготовки молодших спеціалістів залежить як від орієнтації студентів на майбутню професію, так і від їх наближення до сучасних вимог професійної діяльності. У сучасних наукових дослідженнях однією з тенденцій розвитку професійного становлення є перехід від оволодіння майбутніми спеціалістами знаннями, уміннями й навичками до формування в них професійної компетентності.

Нова українська школа передбачає високий рівень професійної компетентності майбутнього фахівця, а саме – його здатність до здійснення професійної діяльності та рівень розвитку особистості. У цих умовах важливу роль відіграє посилення професійної спрямованості математики та вищої математики, що доцільно проводити за допомогою розвитку міжпредметних зв'язків.

«Для того, щоб молодший спеціаліст міг з найменшими труднощами адаптуватись у своєму подальшому житті, самостійно здобувати конкретні актуальні знання, необхідні для успішної професійної діяльності, йому треба для набуття таких здатностей створити відповідні умови в процесі навчання у закладі вищої освіти I-II рівня акредитації. Такі здатності студент може набути тільки в стані активної інтелектуальної та соціальної дії, які зумовлені її самоактуалізацією, коли він виступає в ролі не отримувача та споживача чогось уже готового і кимось даного, а є здобувачем нового як результату внутрішнього особистісного та власного осмислення, визначення власної точки зору й життєвої позиції»[11]. Навчальний заклад, зокрема, професійно-технічного профілю, об'єктивно зорієнтований на таке навчання студента, яке б дало йому змогу оволодіти передусім

фундаментальними основами знань за певною спеціальністю і здатністю до самостійного пошуку інформації, максимально адаптованої до реальної професійної діяльності [2].

«Вища математика» як одна з базових навчальних дисциплін, що викладається на початкових курсах закладів вищої освіти I-II рівня акредитації та закладів професійно-технічної освіти, відіграє важливу роль у підготовці молодших спеціалістів, оскільки вивчення багатьох споріднених і фахових дисциплін вимагає використання тих чи інших математичних методів. Курсове і дипломне проектування, як правило, пов'язане з проведенням пошуку оптимального варіанта запропонованого технічного рішення чи технології та розрахунком економічної ефективності, що може бути досягнута внаслідок їх запровадження на виробництві. Жодна з цих задач не може бути ефективно розв'язана без застосування математики, і саме ці орієнтири мають перебувати в полі зору викладача при викладанні цього предмета.

Тому необхідною умовою математичної підготовки майбутнього молодшого спеціаліста повинно стати формування його професійної математичної компетентності.

Аналіз досліджень і публікацій. Серед сучасних досліджень, присвячених проблемам професійної спрямованості студентів закладів вищої освіти I-II рівня акредитації та закладів професійно-технічної освіти, формуванню математичної культури студентів шляхом реалізації міжпредметних зв'язків та організації процесу вивчення курсу «Вища математика», доцільно виокремити праці А.Алексюка, П. Атаманчука, М. Берулава, Д. Богоявленської, Г. Булдик, Н.Бурмістрова, В.Далінгер, М.Данілова, Г.Дудки, Л. Занкова, В.Келбакіані, А.Коротченкова, Т.Крилова, Л.Кудрявцева, А.Мишкіна, М.Скаткіна, Ю.Чабанського та ін.

На сьогоднішній день у науці накопичено певний потенціал для вирішення теоретико-практичних завдань, пов'язаних із проблемою формування професійно-математичної компетентності молодших спеціалістів. Особливе значення для обґрунтування теоретичних аспектів сучасної професійної математичної підготовки мають праці Г.Бевза, М.Бурди, М.Ігнатенко, Ю.Колягіна, З.Слепкань, А.Столяра, І.Тесленко. У дослідженнях О.Авереної, Р.Блохіної, Г.Жукової, Г.Ларіонової розглянуто проблему формування професійно-математичної компетентності молодших спеціалістів різного профілю у ВНЗ.

Мета дослідження. Розглянути один із шляхів удосконалення методики вивчення похідної та її застосування у закладах вищої освіти I-II рівня акредитації та закладів професійно-технічної освіти, а саме посилення прикладної та професійної спрямованості навчання за допомогою використання у навчальному процесі прикладних та професійних задач. Підготувати добірку професійних задач та показати їх прикладне значення.

Виклад основного матеріалу. Значну роль прикладних задач у навчанні математики та вищої математики розкрито в працях Л.Соколенко [8], О.Сухорукової [9], В.Швеця [8] та ін. Розглядаючи питання використання прикладних та професійних задач, не можна не згадати про дослідження з методики навчання математики (зокрема [6]), у яких висвітлено питання необхідності включення до курсу математики понять «модель» та «моделювання»; доведено необхідність навчання студентів математичному моделюванню; розроблено загальну методичну схему навчання побудові математичних моделей; зазначено, що відображення в курсі математики елементів математичного моделювання сприяє розв'язуванню низки важливих педагогічних завдань: посиленню прикладної та професійної спрямованості; формуванню елементів математичної і загальної культури; засвоєнню міжпредметних зв'язків, професійної компетентності та ін. У цих дослідженнях серед іншого обґрунтовано, що навчати студентів побудові математичних моделей доцільно під час розв'язування прикладних та професійних задач. Однак, питання посилення прикладної спрямованості навчання у процесі вивчення похідної та її застосування у закладах вищої освіти I-II рівня акредитації та закладах професійно-технічної освіти потребує додаткового дослідження.

Прикладні задачі та задачі професійної спрямованості, під час розв'язування яких використовується похідна та її застосування, можна знайти у підручниках і посібниках з економіки, біофізики, біохімії, та деяких інших спеціальних дисциплін ([5; 7]).

У процесі розв'язування прикладних та професійних задач здійснюється навчання студентів елементам математичного моделювання, адже найбільш відповідальним і складним етапом розв'язування прикладної задачі є побудова її математичної моделі. Реалізація цього етапу вимагає від студентів багатьох умінь: виділяти істотні фактори, що визначають досліджуване явище (процес); вибирати математичний апарат для побудови моделі; з'ясувати фактори, що викликають похибку

під час побудови моделі. Прикладні задачі можна умовно поділити на такі, у яких математична модель міститься в умові задачі та такі, розв'язання яких передбачає побудову математичної моделі.

Розв'язування прикладних задач складається з наступних етапів: 1) постановка задачі; 2) переклад умов задачі на мову математики; 3) складання математичної моделі задачі; 4) пошук плану розв'язування задачі всередині моделі; 5) здійснення плану, перевірка і дослідження знайденого розв'язку в середині моделі; 6) інтерпретація отриманого результату; 7) обговорення (аналіз) знайденого способу розв'язування з метою з'ясування його раціональності, можливості розв'язування задачі іншим методом чи способом.

Дидактичні цілі, що досягаються в процесі розв'язку прикладних задач під час вивчення похідної та її застосування – це: 1) підготовка до вивчення похідної, зокрема, шляхом забезпечення мотивації навчання; створення проблемної ситуації; 2) закріплення набутих теоретичних знань та формування у студентів відповідних математичних компетентностей; 3) аналіз набуття студентами математичних компетентностей з розділу «Похідна та її застосування». Окрім того, прикладні та професійні задачі повинні давати можливість студентам поряд із набуттям математичних компетентностей засвоювати факти суміжних предметів, тобто бути засобом здійснення міжпредметних зв'язків, формування ключових компетентностей.

Через прикладні задачі можна привести студентів до самостійного формування поняття похідної та її застосування. Наприклад, студентам доцільно запропонувати відповісти на наступні питання. У якому напрямі зміняться доходи держави за умови збільшення податків або введення імпорتنих мит? Збільшиться або зменшиться прибуток фірми за умови підвищення ціни на її продукцію? У якій пропорції додаткове обладнання може замінити скорочених працівників? Для розв'язування подібних завдань використовуються методи диференціального числення.

Розглянемо задачу про продуктивність праці. Нехай функція $z = z(t)$ відображає кількість виробленої продукції z за час t . Потрібно знайти продуктивність праці в момент t_0 . За період часу від t_0 до $t_0 + \Delta t$ кількість виробленої продукції зміниться від значення $z_0 = z(t_0)$ до значення $z_0 + \Delta z = z(t_0 + \Delta t)$, тоді середня продуктивність праці за цей період часу буде $u_{\text{сеп}} = \frac{\Delta z}{\Delta t}$. Зрозуміло, що продуктивність праці в момент часу t_0 можна визначити як граничне значення середньої продуктивності за період часу від t_0 до $t_0 + \Delta t$ при $\Delta t \rightarrow 0$, тобто $u = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} u_{\text{сеп}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta z}{\Delta t}$.

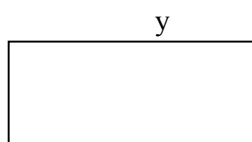
Таким чином, студентів можна підвести до поняття похідної, використовуючи задачу про продуктивність праці. Наведемо добірку прикладних та професійних задач, розв'язування яких сприятиме усвідомленню студентами ролі похідної функції у процесі математичного моделювання певних реальних явищ і процесів. Ці задачі умовно поділимо за такими напрямками профілізації (природничо-математичним, будівельним і суспільно-гуманітарним), студентів яких обрали для себе в майбутньому ті напрями діяльності, в котрих математика або є основою майбутньої професійної діяльності, або відіграє роль апарату, специфічного засобу для вивчення й аналізу закономірностей у певній сфері діяльності. Залежно від дидактичних цілей, що ставляться викладачем і часу, що відводиться на вивчення похідної, прикладні задачі можна використовувати на різних етапах занять, наприклад, під час введення нових понять і самостійної роботи студентів.

Наведемо декілька прикладів задач професійної спрямованості. Природничо-математичний та будівельний напрями.

Викладач: Даваймо пригадаємо алгоритм заходження найбільшого і найменшого значення функції на заданому відрізку. Для цього потрібно:

1. Визначення похідної заданої функції.
2. Знаходимо критичні точки, в яких похідна функції дорівнює 0 або не існує.
3. Обчислюємо значення функції, в усіх критичних точках, що належать заданому відрізку та на кінцях проміжку.
4. Із здобутих значень визначаємо найбільше та найменше значення.

Викладач: Розглянемо наступну задачу-проблему. «Столяру потрібно виготовити віконний блок прямокутної форми периметром 6м. Якими мають бути розміри вікна, щоб воно пропускало найбільше світла?».



Дано: прямокутник;
 $P = 6\text{м.}$
Знайти: $S_{\text{max}} = ?$, $y = ?$, $x = ?$.

Розв'язання:

1. Нехай x та y – шукані розміри вікна, Тоді за умовою задачі маємо: $P=2x+2y$;
 Запишемо формулу площі прямокутника: $S = x \cdot y$

Об'єднаємо дані рівняння у систему:

$$\begin{cases} 2x + 2y = P \\ S = x \cdot y \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2x + 2y = 6 \\ S = xy \end{cases}$$

$$\begin{cases} x + y = 3 \\ S = x \cdot y \end{cases}$$

$$\begin{cases} y = 3 - x \\ S = x \cdot y \end{cases}$$

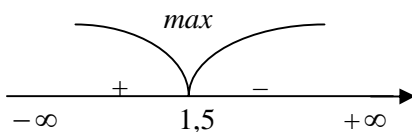
$$S = x \cdot (3 - x) = 3x - x^2$$

2. Знаходимо похідну: $S' = (3x - x^2)' = 3(x)' - (x^2)' = 3 - 2x$:

3. Знаходимо критичні точки: $S' = 0$; $3 - 2x = 0$; $2x = 3$;

$$x = \frac{3}{2} = 1,5.$$

4. Знаходимо проміжки монотонності:



а) $x \in (-\infty; 1,5)$: $x = 1$; $S'(1) = 3 - 2 \cdot 1 = 1 > 0$

б) $x \in (1,5; +\infty)$; $x = 2$; $S'(2) = 3 - 2 \cdot 2 = -1 < 0$

Отже, точка $x = 1,5$ є точкою максимуму. Тоді:

$$y = 3 - 1,5 = 1,5$$

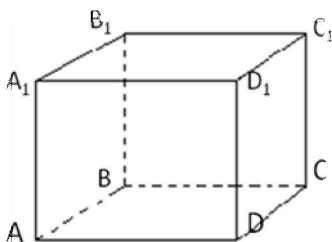
$$S_{max} = 1,5 \cdot 1,5 = 2,25$$

Відповідь: $S_{max} = 2,25 \text{ м}^2$; $x = 1,5 \text{ м}$; $y = 1,5 \text{ м}$.

Висновок. Вікно виготовлене у формі квадрата буде пропускати найбільше світла.

Викладач: При розв'язуванні даної задачі ми використали формули площі та периметра із геометрії та способи розв'язування системи двох лінійних рівнянь із алгебри і застосували елементи математичного аналізу – похідну.

Викладач: Задача. «Треба побудувати відкритий басейн з квадратним дном об'ємом 32 м^3 . Знайти його розміри з таким розрахунком, щоб на облицювання його стін і дна була витрачена найменша кількість матеріалу».



Дано: $ABCD A_1 B_1 C_1 D_1$ – прямокутний паралелепіпед.

$ABCD$ – квадрат.

$$V = 32 \text{ м}^3.$$

Знайти: $AB = ?$, $AA_1 = ?$, $S_{min} = ?$

Розв'язання:

1. Нехай $AB = AD = x$, а $AA_1 = y$. Тоді маємо: $V = AB \cdot AD \cdot AA_1 = x \cdot x \cdot y = x^2 y$:

Знайдемо площу стіни та дна, які треба облицювати:

$$S = S_{\text{дн.}} + S_{\text{стін}} \quad S_{\text{стін}} = P \cdot H, \text{ де } P - \text{периметр; } H - \text{висота.}$$

$$P = 4AB = 4x; \quad H = AA_1 = y$$

$$S_{\text{біч.}} = 4x \cdot y$$

$$S_{ABCD} = x^2$$

$$S = 4xy + x^2$$

Складаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} S = 4xy + x^2 \\ V = x^2 y \end{cases}$$

$$y = \frac{V}{x^2}$$

$$S = 4x \cdot \frac{V}{x^2} + x^2 = \frac{4V}{x} + x^2$$

2. Знаходимо похідну

$$S' = \left(\frac{4V}{x} + x^2\right)' = 4V\left(\frac{1}{x}\right)' + (x^2)' = -\frac{4V}{x^2} + 2x$$

3. Знаходимо критичні точки

$$S' = 0$$

$$-\frac{4V}{x^2} + 2x = 0$$

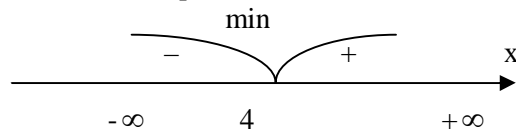
$$\frac{-4V + 2x^3}{x^2} = 0 \quad \text{і} \quad x^2 \neq 0; \quad x \neq 0$$

$$2x^3 = 4V$$

$$x^3 = 2V$$

$$x^3 = 2 \cdot 32 = 64; \quad x = 4$$

4. Знаходимо проміжки монотонності:



$$\text{а) } x \in (0; 4): x = 1; S' = -\frac{4V}{1^2} + 2 \cdot 1 = -4 \cdot 32 + 2 = -126 < 0$$

$$\text{б) } x \in (4; +\infty); x = 8; S' = -\frac{4 \cdot 32}{8^2} + 2 \cdot 8 = -2 + 16 = 14 > 0$$

Точка $x = 4$ – є точкою мінімуму.

$$\text{Тоді } y = \frac{32}{4^2} = \frac{32}{16} = 2; \quad S = S_{\text{біч.}} + S_{ABCD};$$

$$S_{\text{min}} = 4xy + x^2 = 4 \cdot 4 \cdot 2 + 4^2 = 32 + 16 = 48 \text{ м}^2$$

$$\text{Відповідь: } S_{\text{min}} = 48 \text{ м}^2; \quad x = 4 \text{ м}; \quad y = 2 \text{ м}.$$

Висновки. Результати експериментального навчання показали, що використання прикладних та професійних задач на різних етапах занять під час організації самостійної роботи сприяє підвищенню мотивації студентів, розвитку логічного мислення, активізації їх навчальної діяльності, формуванню у них вміння застосовувати отримані знання у практичній діяльності, наближеній до життєвої ситуації, будувати та досліджувати математичні моделі задач, професійній орієнтації та формуванню професійної компетенції студентів.

Перспективи подальших пошуків у напрямку дослідження.

Нагальною і важливою проблемою є розробка методичних рекомендацій щодо посилення прикладної та професійної спрямованості навчання у процесі вивчення інших змістових ліній курсу математики та вищої математики в закладах вищої освіти I-II рівня акредитації та закладах професійно-технічної освіти.

1. Арнольд В. И. Математика и математическое образование в современном мире / В. И. Арнольд // Математическое образование. – 1997. – № 2. – С. 7–12.
2. Даллинг В. А. Методика реализации внутрипредметных связей при обучении математике : кн. для учителя / В. А. Даллинг. – М. : Просвещение, 1991. – 80 с.
3. Іванюк І. В. Міжнародна програма PISA як інструмент зовнішнього оцінювання учнів / І. В. Іванюк // Шлях освіти. – 2004. – № 3. – С. 16–22.
4. Колягин Ю. М. О прикладной и практической направленности обучения математике / Ю. М. Колягин, В. В. Пикан // Математика в школе. – 1985. – № 6. – С. 27–32.
5. Кучеренко М. Є. Біохімія : підручник для студ. вищ. навч. закладів / М. Є. Кучеренко, Ю. Д. Бабенюк, О. М. Васильєв та ін. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2002. – 480 с.
6. Полякова С. Ю. Обучение математическому моделированию общественных процессов как средство гуманитаризации математического образования : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 / Полякова Светлана Юрьевна. – Омск, 1999. – 173 с.
7. Посудін Ю. І. Біофізика рослин : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Ю. І. Посудін. – Вінниця : Нова книга, 2004. – 256 с.
8. Соколенко Л.О. Прикладні задачі природничого характеру в курсі алгебри та початків аналізу: практикум. Навчальний посібник / Л.О. Соколенко, Л.Г. Філон, В.О. Швець. – К.: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2010. – 128 с.
9. Сухорукова Е. В. Прикладные задачи как средство формирования математического мышления учащихся : дис. ... кан. пед. наук : 13.00.02 /
10. Сухорукова Елена Владимировна. – М. : МПГУ, 1997. – 192 с.

УДК 519.876.5; 621.31.33

В.В. Лишук, Й.Р.Селепина, В.Ю. Заблоцький, М.В. Романюк, А.О. Денисюк
Луцький національний технічний університет

РІВНЯННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО СТАНУ РЕЛЕ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

В.В. Лишук, Й.Р. Селепина, В.Ю. Заблоцький, М.В. Романюк, А.О. Денисюк. Рівняння електромагнітного стану реле постійного струму. У статті запропоновано методику побудови диференціальних рівнянь електромагнітного стану реле постійного струму, що базується на їх розв'язанні числовими методами. Побудовано часові залежності електромеханічних величин. Для опису та аналізу фізичних процесів застосовано мову програмування FORTRAN з графічним редактором GRAPHER.

Ключові слова: реле, алгебраїчні та диференціальні рівняння, інтегрування рівнянь.

В.В. Лышук, И.Р. Селепина, В.Ю. Заблоцкий, М.В. Романюк, А.О. Денисюк. Уравнения электромагнитного состояния реле постоянного тока. В статье предложена методика построения дифференциальных уравнений электромагнитного состояния реле постоянного тока, которая основана на решение численными методами. Построено временные зависимости электромеханических величин. Для описания и анализа физических процессов применен язык программирования FORTRAN с графическим редактором GRAPHER.

Ключевые слова: реле, алгебраические и дифференциальные уравнения, интегрирование уравнений.

V.V. Lyshuk, Y.R. Selepyna, V.Yu. Zablotskyj, M.V. Romaniuk, A.O. Denysiuk. Equation of the electromagnetic state of the DC relay. The article proposes a method for the formation of differential equations of the electromagnetic state of a DC relay based on the solution of numerical methods. The time dependence of electromechanical quantities is constructed. For the description and analysis of physical processes, the FORTRAN programming language with GRAPHER graphics editor has been applied.

Keywords: relay, algebraic and differential equations, integration of equations.

Постановка проблеми. Основними процесами систем автоматики, електротехніки, силової електроніки є процеси комутації. Пристрої, що забезпечують таку комутацію називаються електромагнітними реле. Незважаючи на прогрес напівпровідникових пристроїв, електромагнітні не втратили своєї актуальності та застосування. Вони характеризуються такими перевагами, як стійкість до короткочасних перевантажень по струму і напрузі, стабільність характеристик, висока радіаційна стійкість, механічна міцність, можливість керування електричними колами з високим ККД, забезпечують гальванічну розв'язку комутуваних електричних кіл від кіл керування тощо.

В системах автоматики зазначені апарати виконують найрізноманітніші функції. Вони використовуються в якості чутливих давачів, які керують виконавчими елементами, перетворюючи, наприклад, електричні сигнали в механічні. Основні електромеханічні параметри і характеристика «вхід-вихід» цих елементів можуть бути отримані на основі тягових і механічних характеристик електромагніту або реле.

Дія будь-якого реле полягає в утворенні електромагнітних сил в замкненому сердечнику при протіканні струму через обмотку реле. Тому фізичні процеси, що відбуваються в них становлять неабиякий інтерес [2, 3].

Фізичні процеси в електротехнічних пристроях мусять описуватись системою диференціальних рівнянь, розв'язком якої є певні функції. У нашому випадку це часові залежності швидкості руху якоря при замиканні контактів, тобто при раптовій подачі напруги на реле, переміщення якоря, струму в обмотці та електромагнітної сили, що діє на якір. Щоб розв'язати таку систему необхідно рівняння магнітно-електричного стану проінтегрувати числовими методами з використанням персональних комп'ютерів.

Системи диференціальних рівнянь, отримані для конкретних типів електричних апаратів, містять вичерпну інформацію про всі режими їх роботи. Основними методами розв'язку таких рівнянь є: аналітичний, чисельний і графо-аналітичний. Аналітичний розв'язок рівнянь електромеханічного перетворення здійснюють класичним і операторним методами. Класичний метод полягає в отриманні точних рішень, виражених через елементарні функції, шляхом інтегрування. При знаходженні рішень потрібно спочатку знайти спільний розв'язок рівняння, а потім визначити всі сталі інтегрування за початковими умовами.

Операторний метод в деяких випадках виявляється більш кращим, тому що дає змогу відразу знайти розв'язок рівняння, що відповідає заданим початковим умовам. Його переваги головним чином проявляються в міру ускладнення рівнянь. Аналітичні методи вирішення застосовуються в тих випадках, коли диференціальні рівняння лінійні і містять постійні коефіцієнти. Однак моделювання процесів у часовій області пов'язане з необхідністю вирішення нелінійних диференціальних рівнянь високих порядків, що може бути реалізовано лише чисельним методом з використанням ЕОМ. Таким

чином, розв'язок рівнянь електромеханічного перетворення класичним методом вимагає виконання трудомісткої роботи, пов'язаної з необхідністю проведення ряду перетворень над математичною моделлю. Отже, на сьогоднішні числові методи є потужним інструментом для дослідження та аналізу пристроїв і систем різного роду [4].

Аналіз досліджень. За останні десятиріччя дослідження в області електротехніки, електроніки та інших технічних напрямках суттєво посилилися. Це пов'язано з широким розмаїттям програмних продуктів, що використовують при аналізі різноманітних процесів. Це суттєво полегшує роботу науковцям, які можуть для цього залучити математичний апарат з використанням обчислювального експерименту.

Відзначимо деякі переваги обчислювального експерименту в порівнянні з фізичним. Обчислювальний експеримент, як правило, дешевший за натурний. Його можна проводити багатократно і, якщо це необхідно перервати в будь-який момент. В ході такого експерименту можна змоделювати процеси, які не можна дослідити в лабораторії [2]. З його допомогою можна моделювати складні фізичні процеси, зокрема й аварійні режими.

У той же час слід відмітити, що обчислювальний експеримент поставлений з певною ідеалізацією та допущеннями. Ще однією зручністю обчислювального експерименту є те, що він дає змогу накопичувати отримувані результати і легко здійснювати порівняння у вигляді графічних залежностей [3].

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. Аналіз будь-якого електротехнічного пристрою пов'язаний із знаходженням основних електричних та магнітних величин, що характеризують його роботу в перехідних і усталених процесах. Інтегральними характеристиками електромагнітного поля є відповідно електричні напруги і струми та магнітні потоки і напруги. Розрахунок фізичних процесів в електротехнічних пристроях проводять з використанням математичного апарату. Він мусить бути максимально адаптованим до числових методів. Слід зауважити, що диференціальні рівняння складаються у нормальній формі Коші, де у рівняннях фігурують одночасно і функція і її похідна. Така форма суттєво спрощує обчислювальний процес [1, 2].

Сформуємо рівняння електромагнітного стану електромагнітного реле, спираючись на класичну теорію електротехніки з використанням математичної моделі.

Використаємо відоме рівняння рівноваги напруг [3]

$$\frac{d\Psi}{dt} = u - ri, \quad (1)$$

де Ψ – повне потокозчеплення, $B\phi$, u – прикладена напруга до обмотки, B , r – електричний опір обмотки, Om , i – струм обмотки, A .

Повні потокозчеплення подамо у вигляді суми основного $w\Phi$ та потокозчеплення розсіяння (дисипації) Li

$$\Psi = w\Phi + Li, \quad (2)$$

де w – кількість витків обмотки, Φ – магнітний потік, $B\phi$, L – індуктивність розсіяння котушки, Gn .

Потокозчеплення розсіяння частково або повністю замикаються через повітря, тому індуктивність розсіяння $L = const$.

Розв'язавши (2) відносно струму, отримаємо

$$i = \alpha(\Psi - w\Phi), \quad (3)$$

де $\alpha = 1/L$ – обернена індуктивність розсіяння, Gn^{-1} .

Запишемо рівняння (3) в нормальній формі Коші у диференціальній формі, врахувавши (1)

$$\frac{di}{dt} = \alpha \left(u - ri - w \frac{d\Phi}{dt} \right), \quad (4)$$

Похідну магнітного потоку знаходимо згідно [3]. При цьому враховуємо припущення, що робочий проміжок утворений двома паралельними площинами, а магнітне поле в повітряному зазорі рівномірне

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\frac{V\Phi}{\mu_0 S_2} + w\alpha(u - ri)}{\sum_{k=1}^2 \frac{l_i}{\mu_a S} + \frac{\delta}{\mu_0 S} + \rho + w^2\alpha}. \quad (5)$$

Тут V – швидкість переміщення якоря, м/с, μ_a – абсолютна магнітна проникність заліза, Гн/м, що є добутком відносної магнітної проникності на магнітну проникність вакууму, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м, S_1, S_2 – площі поперечних перерізів, ρ – питомий магнітний опір повітряного проміжку, l_1, l_2 – довжини середніх магнітних ліній ярма і якоря відповідно, δ – ширина повітряного проміжку.

Диференціальне рівняння руху якоря представимо у вигляді [3]

$$\frac{dV}{dt} = \frac{F_E - F(\delta)}{m}. \quad (6)$$

де F_E – електромагнітна сила реле, Н, $F = f(\delta)$ – механічна характеристика реле, м – приведена маса якоря реле, кг.

Згідно закону збереження енергії тягове зусилля (електромагнітна сила) – це похідна магнітної енергії W в повітряному проміжку і визначається з [3]

$$F_E = -\frac{dW_M}{d\delta}. \quad (7)$$

З іншого боку це зусилля можна визначити з [3] як

$$F_E = \frac{(wI)^2}{2R_\delta^2} \cdot \frac{dR_\delta}{d\delta}. \quad (8)$$

Тут wI – намагнічуюча сила котушки, А, $R_\delta = \delta / \mu_0 S$ – магнітний опір повітряного проміжку, Гн⁻¹. Магнітним опором заліза (магнітопроводу) нехтуємо.

Підставляючи (8) у (7) знаходимо

$$F_E = \frac{(wI)^2}{\delta^2} \cdot \frac{\mu_0 S}{2}. \quad (9)$$

Враховуючи (8), (9), отримуємо формулу Максвелла [3]

$$F_E = \frac{\Phi^2}{2\mu_0 S} = \frac{B^2 S}{2\mu_0}. \quad (10)$$

Похідна переміщення якоря є швидкістю руху якоря, взята зі знаком «-». Це означає те, що магнітна енергія перетворюється на переміщення якоря.

$$\frac{d\delta}{dt} = -V. \quad (11)$$

На рис.1, 2 зображено конструктивну та розрахункові схеми реле. Тут позначено: 1 – сердечник, закріплений на ярмі 9; 2 – котушка з мідного проводу з числом витків w ; 3 – виводи котушки; 4 – ярмі, на якому закріплений рухомий контакт 5 з виводом 6; 7 – упор, що обмежує опускання якоря; 8 – зворотня пружина; 10 – нерухомий контакт з виводом 11; 12 – штифт, що забезпечує надійне повернення якоря у вихідне положення після зняття напруги з котушки.

Таблиця 1. Характеристика намагнічування сталі $B = f(H)$.

B , Тл	0	0,5	0,9	1,1	1,15	1,2	1,4	1,55
H , А/м	0	200	400	600	800	1000	2000	4000

Сумісному чисельному інтегруванню підлягає система нелінійних рівнянь (1), (4), (5), (6), (11). Умовою кінця інтегрування можна вибрати досягнення мінімального зазору або отримання першого від'ємного значення швидкості V .

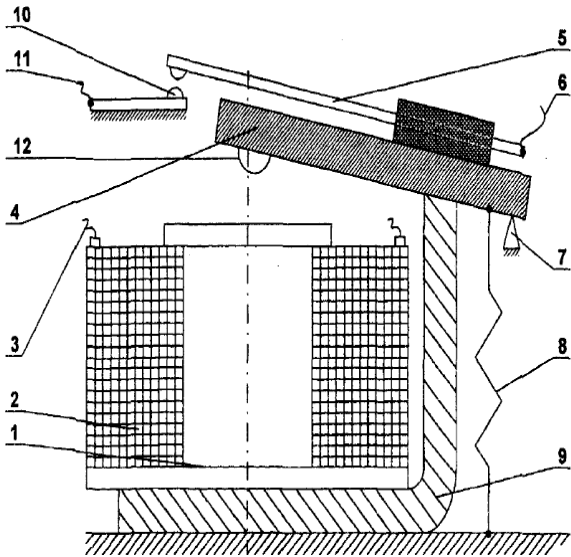


Рис.1. Конструктивна схема електромагнітного реле

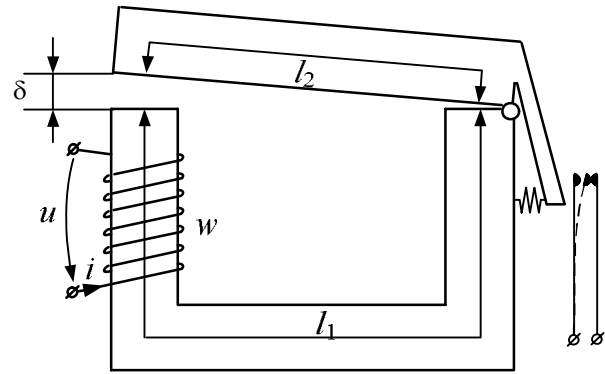


Рис. 2. Розрахункова схема реле

Перевагами представлення рівнянь електромагнітного і електромеханічного стану реле саме в такій формі є те, що диференціальні рівняння є безпараметричними і записані в нормальній формі Коші, що суттєво спрощує обчислювальний процес.

Для практичного користування моделлю необхідно знати конструктивні параметри реле, питомий магнітний опір повітряного проміжку ρ , електричний опір обмотки R , кількість витків обмотки w , обернену індуктивність обмотки α , приведену масу рухомих частин m , значення постійної напруги u , механічну характеристику реле $F(\delta)$, криву намагнічування сталі. Опором протидіючої пружини, тертям та інерцією якоря нехтуємо.

Інтегрування системи нелінійних диференціальних рівнянь здійснено явним методом Ейлера. Крок часової дискретизації $dt = 0,0001$ с. Для розрахунку перехідних процесів використано мову програмування *Visual FORTRAN* з графічним пакетом *GRAPHER*.

Для розрахунку візьмемо такі конструктивні параметри електромагнітного реле: довжини середніх магнітних ліній ярма і якоря відповідно $l_1 = 0,16$ м, $l_2 = 0,06$ м, площі поперечних перерізів $S = S_1 = S_2 = 0,00015$ м², питомий магнітний опір повітряного проміжку $\rho = 3,4 \cdot 10^6$ Гн⁻¹, електричний опір обмотки $R = 30$ Ом, кількість витків обмотки $w = 2000$, обернена індуктивність обмотки $\alpha = 3370$ Гн⁻¹, приведена маса рухомих частин $m = 0,07$ кг, постійна напруга $u = 24$ В, механічна характеристика реле $F(\delta) = 18 - 2340 \delta$.

Магнітопровід виготовлений зі сталі марки Э4А. Крива намагнічування задана в табл.1. Початкові умови нульові: $x(t_0) = 0$, $x = V$, δ , i , Φ .

Розглянемо фізику процесів у реле при живленні обмотки постійним струмом. При подачі постійної напруги u в обмотці з числом витків w виникає струм i , що створює магнітний потік Φ , що замикається через сердечник. При часі зрушення $t_{зр} = 0,02$ с, коли струм досягає значення $i_p = 0,42$ А, починається рух якоря. З цього моменту проміжок між якорем і сердечником магнітопроводу зменшується. При цьому швидкість наростає до максимального значення $V = 0,18$ м/с. Струм в котушці поступово зменшується з 0,61 А до 0,48 А. У цій точці якір повністю притягується до сердечника, його рух припиняється, швидкість стає нульовою.

Час руху якоря складає $t_{пху} = 0,0245$ с. З цього моменту ($t_{сnp} = 0,045$ с) струм експоненційно збільшується до усталеного значення 0,8 А, що визначається напругою $u = 24$ В і електричним опором обмотки $R = 30$ Ом. Такий струм необхідний для отримання необхідної сили, що забезпечує надійне замикання контактів з найменшим перехідним опором. Електромагнітне зусилля в усталеному процесі становить $F_E = 965$ Н. Отже, судячи з наведеного вище, реле є швидкодіючим ($t < 50$ мс).

На рис.3, 4 показано розроблену програму у середовищі *FORTRAN* та після компіляції програми біжучий файл результатів *.exe* на основі якого формується масив змінних, що записується і зберігається у файл з розширенням *.dat*.

Перехідні процеси, а саме залежності $V = f(t)$, $\delta = f(t)$, $F = f(t)$, $i = f(t)$ при подачі напруги на обмотку реле і його замиканні показано на рис.5.

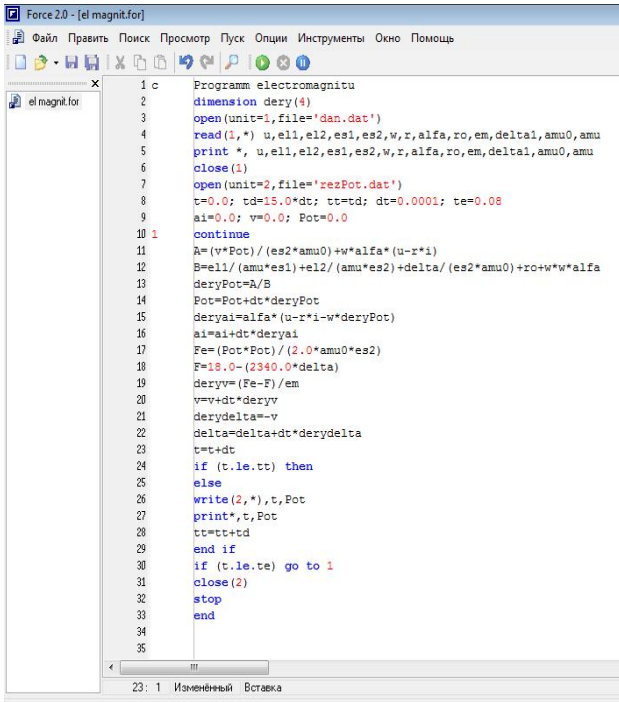


Рис.3. Вікно розробленої програми у середовищі *FORTRAN FORCE 2.0*

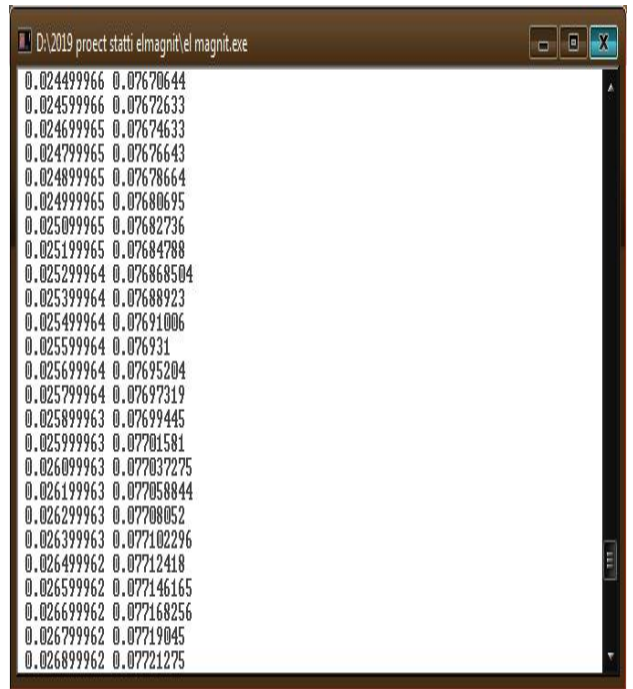


Рис.4. Вікно файлу результатів *.exe*

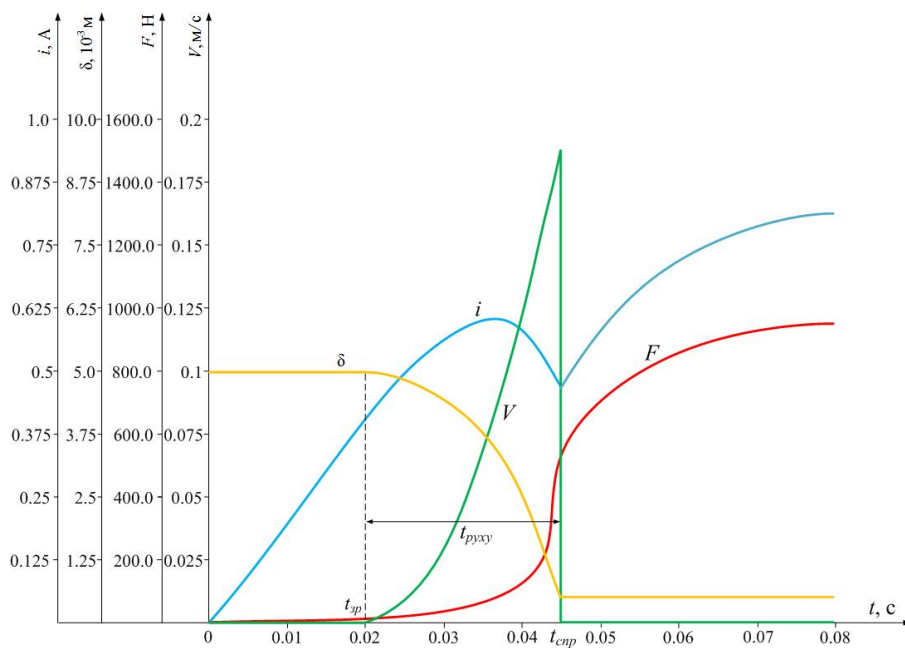


Рис.5. Перехідні процеси в реле при замиканні

Висновки. Комп'ютерна програма, виконана на основі розробленої методики та за об'ємом пам'яті і обчислень проста, вигідно відрізняється можливістю здійснювати розрахунки з наперед заданою точністю. Розроблені рівняння і модель реле дає можливість легко змінювати параметри досліджуваного об'єкту і тим самим аналізувати різні перехідні процеси, виявляти характерні точки та робити висновки про працездатність моделі або самого пристрою.

1. Рыжиков Ю.И. Программирование на Фортране POWERSTATION для инженеров / Ю.И. Рыжиков. Практическое руководство. Санкт Петербург: КОРОНА, 2000, 161 с.
2. Чабан В. Чисельні методи / В. Чабан. Львів: В-во Нац. у-ту „Львівська політехніка”, 2001. – 186 с.
3. Чабан В. Електромагнітні процеси / В. Чабан. Львів: Видавництво «Простір М», 2017. – 412 с.
4. Хвищун І. О. Програмування і математичне моделювання: Підручник / І. О. Хвищун. – К. : Видавничий Дім “Ін Юре”, 2007. – 544 с.

УДК 004.021

Мехедов Є.В.

Національний технічний університет України «Київський Політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ДЛЯ ПОБУДОВИ МАП РЕЛЬЄФУ НАЗЕМНОЇ НАВІГАЦІЇ

Мехедов Є.В. Порівняння методів інтерполяції для побудови мап рельєфу наземної навігації. У статті розглянуто основні методи інтерполяції, які можна застосовувати для побудови мап рельєфу наземної навігації. Розглянуто детерміновані методи інтерполяції, геостатистичні методи інтерполяції.

Ключові слова: інтерполяція, геостатичні методи, лінійна інтерполяція, поліном, детерміновані методи інтерполяції.

Мехедов Е.В. Сравнение методов интерполяции для построения карт рельефа наземной навигации. В статье рассмотрены основные методы интерполяции, которые можно применять для построения карт рельефа наземной навигации. Рассмотрены детерминированные методы интерполяции, геостатистические методы интерполяции.

Ключевые слова: интерполяция, геостатические методы, линейная интерполяция, полином, детерминированные методы интерполяции.

Mekhedov Y.V. Comparison of interpolation methods for plotting maps of land navigation relief. The article describes the basic methods of interpolation, which can be used to build maps of land navigation. Consider deterministic interpolation methods, geostatistical interpolation methods.

Keywords: interpolation, geostatic methods, linear interpolation, polynomial, deterministic interpolation methods.

Постановка наукової проблеми. В нинішній час моделювання рельєфу, його аналіз і вивчення за побудованими моделями поступово стають невід'ємною частиною досліджень в науках про Землю (геологія, тектоніка, гідрологія, океанологія, кліматологія тощо), в екології та різноманітних інженерних проектах. Комп'ютерна обробка просторових даних знаходить широке застосування при аналізі поширення ділянок забруднень, у моделюванні родовищ. Головна проблема, з якою стикаються фахівці, що займаються моделюванням в ГІС - побудова найбільш точної з можливих поверхонь на основі існуючих опорних точок, поряд з оцінкою помилок інтерполяції і відхилень в значеннях поверхні. Тому вивчення методів інтерполяції для побудови карт рельєфу наземної навігації є дійсно актуальним напрямком досліджень.

Аналіз досліджень. Проблемам оцінки придатності різних моделей інтерполяції для побудови мап рельєфу для наземної навігації присвячений цілий ряд досліджень російських [1, 2] і українських [3,4] вчених. Зокрема, в роботі [1], присвяченій огляду сучасних підходів до побудови карт рельєфу, вказується на наступний ряд методів геостатистичного моделювання за спаданням точності: РК (регресійний кригінг), СОК (кокригінг), (ординарний кригінг) ОК, (байєсівський кригінг) ВК (блоковий кригінг), IDW (метод зворотних зважених відстаней). Однак у науковій літературі є недостатньо відомостей про розробку даного напрямку досліджень на території України.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. Майже завжди вибірки випадкових чисел (отримані в результаті експерименту або згенеровані в рамках деяких методів, зберігаються на комп'ютерах у вигляді масивів, тобто дискретних даних $y_i(x_i)$). Розв'язуючи різного роду задач виникає необхідність оперувати неперервною випадковою функцією $u(x)$ однієї або декількох змінних, що відповідає неперервному випадковому процесу. Для отримання $u(x)$ необхідно побудувати інтерполяційну залежність в проміжках між точками.

Наприклад, інтерполяція, екстраполяція являють собою об'єднання точок вибірки даних (x_i, y_i) кривої тієї або іншої ступені гладкості [5].

По визначенню, інтерполяція означає побудову функції $f(x)$, яка апроксимує залежність $u(x)$ в проміжних точках (між x_i).

В точках x_i значення інтерполяційної функції повинні співпадати із вхідними даними, тобто $f(x_i) = y_i$.

Методи інтерполяції дозволяють обчислити поверхню по точковим вимірюванням і отримати (передбачити) значення змінної для кожної точки ландшафту. У спільному вигляді розглядається дві групи методів інтерполяції: детерміновані і геостатистичні.

Всі методи при побудові поверхні ґрунтуються на припущенні про подібність прилеглих точок випробування (елементів вибірки).

Детерміновані методи інтерполяції використовують математичні функції (залежності).

Геостатистичні методи базуються і на математичних, і на статистичних функціях, які можуть бути використані для побудови поверхонь і оцінки точності (невизначеності) прогнозів.

Методи детермінованої інтерполяції будують поверхні по точковим вимірюванням з урахуванням або протяжності подібності (наприклад, метод зворотної зваженої відстані), або ступеня згладжуваності (наприклад, методи радіальних функцій).

Методи геостатистичної інтерполяції (такі, як кригінг) враховують статистичні властивості точок вимірювань. Геостатистичні методи кількісно визначають просторові автокореляції між точками вимірювань і беруть до уваги просторове розташування точок випробування.

Найпростіший вид інтерполяції – це кусково-постійна. Суть її полягає в тому, що на кожному проміжку між експериментальними точками $f(x)$ являє собою константу, яка дорівнює значенню випадкової величини на лівій (рис.1) або рідше правій границі.

Мінус такого підходу заключається в тому, що ні отримана інтерполяція, ні її похідна не являються неперервними функціями. Трохи складніше виглядає кусково-лінійна інтерполяція, яка представляє шукану залежність у вигляді ламаної лінії. Інтерполяційна функція $f(x)$ складається із відрізків прямих, які з'єднують дані «від точки до точки».

Формула кусково-лінійної інтерполяції, яка, в свою чергу, є многочленом Лагранжа і виглядає наступним чином:

$$f(x) = y_i \frac{x-x_{i+1}}{x_i-x_{i+1}} + y_{i+1} \frac{x-x_i}{x_{i+1}-x_i} \quad (1.1)$$

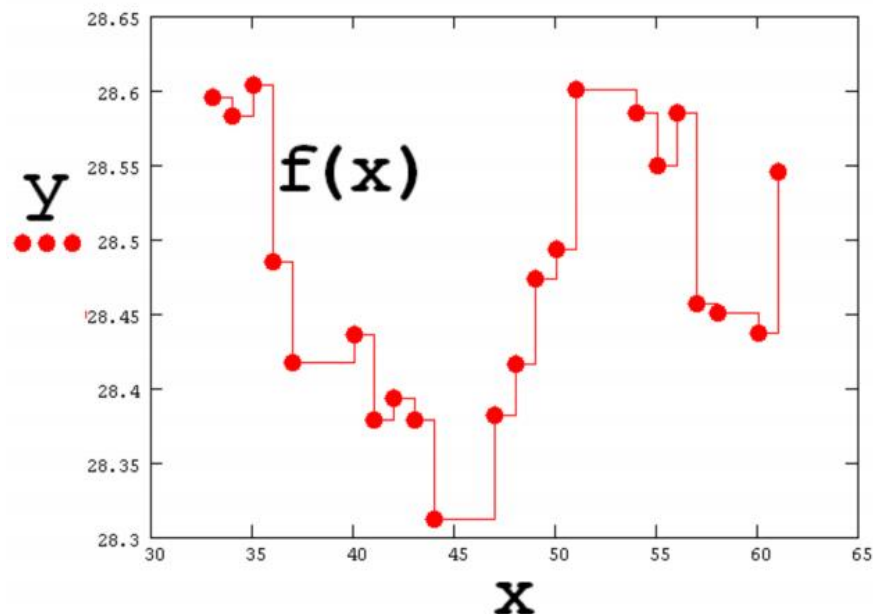


Рис.1. Кусково-лінійна інтерполяція

Сплайн інтерполяція. У більшості практичних застосуваннях бажано з'єднати експериментальні точки не ламаною лінією, а гладкою кривою. Краще за все для цих цілей підходить інтерполяція сплайнами, тобто фрагментами поліномів.

Сенс сплайнінтерполяції полягає в тому, що в кожному проміжку між вузловими точками(на кожному кроці інтерполяції) здійснюється апроксимація у вигляді певної поліноміальної залежності $f(x)$ [6,7].

При цьому для кожного кроку виходить свій поліном, причому його коефіцієнти підбираються такими, щоб на границях кроку виконувались умови зшивки. А саме, якщо застосовуються сплайни у вигляді поліномів ступеня m , то нескладно показати, що їх коефіцієнти можна вибрати так, щоб забезпечити неперервність похідних порядку до $(m - 1)$ -й включно [8].

Найчастіше застосовуються кубічні сплайни, тобто поліноми третього степеню (кубічні параболи):

$$f(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (1.2)$$

На рис.2 представлений приклад кубічної сплайн інтерполяції.

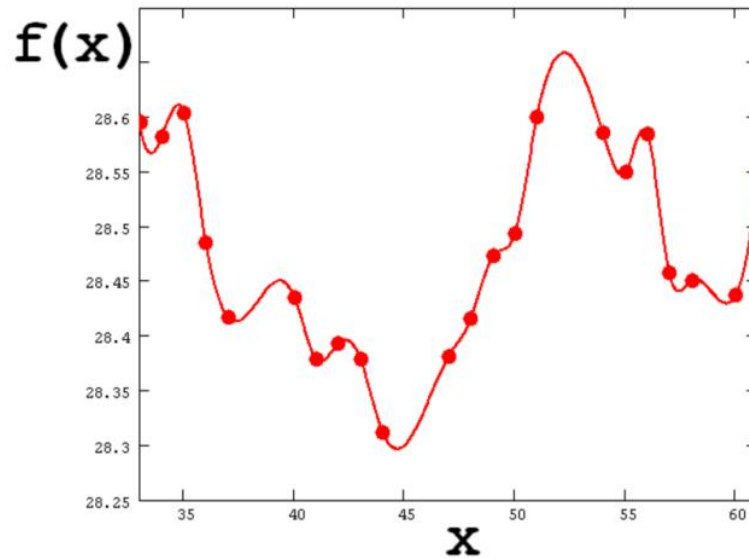


Рис.2. Кубічна сплайн-інтерполяція

Багатовимірна інтерполяція означає побудова функції, яка проходить через точки, що задані не на площині, а в просторі (трьох-, чотирьохвимірному і т.д.).

Таким чином, замість залежності $y_i = y(x_i)$, яку ми апроксимуємо функцією $f(x)$, потрібно побудувати інтерполяції по заданих $\omega(x_i, y_i \dots)$, тобто знайти функцію декількох координат $f(x, y \dots)$.

В двовимірному випадку аргументів всього два (наприклад, x та y). Якщо вузли розташовані в формі правильної сітки, наприклад, у двовимірному випадку, у вигляді прямокутної сітки, то із побудовою багатовимірної інтерполяції принципіальних проблем не виникає [8].

Найпростіші типи інтерполяції – це кусково-постійна (проілюстровано на рис. 3) і кусково-планарна (принцип її побудови проілюстрований на рис. 4, на якому зображений графік функції, що інтерполюється на елементарному фрагменті сітки).

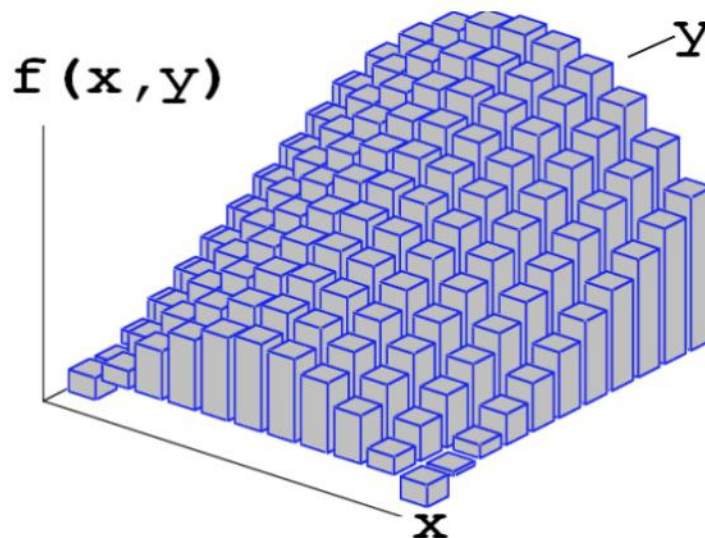


Рис.3. Кусково-постійна двовимірна інтерполяція

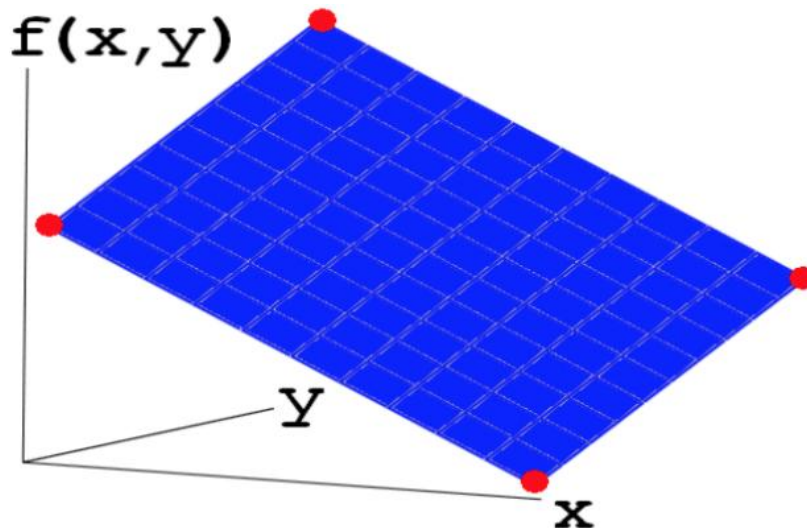


Рис.4. Кусково-планарна інтерполяція

Розглянемо детерміновані і геостатистичні методи інтерполяції.

Серед детермінованих методів інтерполяції використовуються такі методи, як метод зважених відстаней (Inverse Distance Weighting, IDW); локальна поліноміальна інтерполяція (Local Polynomial Interpolation, LPI) і метод радіальних базисних функцій (Radial Basis Functions, RBF), а серед геостатистичних – простий кригінг (Simple Kriging, SK), ординарний кригінг (Ordinary Kriging, OK), універсальний кригінг (Universal Kriging, UK) і емпіричний байєсовський кригінг (Empirical Bayesian Kriging, EBK).

IDW є одним з найбільш часто застосовуваних детермінованих методів інтерполяції при побудові мап рельєфу. Його зручно використовувати, щоб фіксувати ступінь локальної зміни поверхні, необхідну для аналізу. IDW визначає значення комірки за допомогою лінійно-зваженого набору комбінацій точок вибірки. Призначена вага є функцією відстані від вхідної точки до місця розташування вихідних комірок.

Чим більше відстань, тим менший вплив на інтерпольовану клітинку надає вихідне значення. Так як IDW не передбачає обчислення стандартних помилок інтерполяції, обґрунтування використання цієї моделі є проблематичним. Інтерпольоване значення при застосуванні методу IDW визначається за формулою:

$$z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (1.3)$$

де $z(x_0)$ - інтерпольоване значення;

n -загальна кількість значень даних вибірки;

x_i -і-значення даних;

h_{ij} -відстань між інтерпольованим значенням і значенням даних вибірки;

β – вагове значення.

Інтерполяція за методом локальних поліномів генерує безліч поліномів, кожен з яких підбирається до певної околиці. Околиця пошуку може бути визначена розміром і формою, числом сусідів відомих значень і конфігурацією сектора пошуку. Інтерполяція за методом локальних поліномів чутлива до розміру околиці пошуку, аневеликі околиці пошуку можуть створювати на інтерпольованій поверхні порожні області.

Дуже часто даний метод інтерполяції використовують при інтерполяції значень для поверхні з мінливою формою рельєфу.

Радіальні базисні функції (RBF) являють собою жорсткі інтерполятори, які створюють згладжені поверхні. Вони дають хороші результати для плавно мінливих значень.

Оскільки інтерполятори є жорсткими, радіальні базисні функції можуть бути локально чутливі до випаданих значень (тобто поверхня буде містити локально високі або низькі значення). Метод RBF являє собою сімейство з п'яти методів детермінованої точної інтерполяції: тонкоплівковий сплайн (TPS), сплайн з напругою (SPT), повністю регуляризований сплайн (CRS), багатоквадратична функція (MQ) і зворотня багато квадратична функція (IMQ).

Ординарний кригінг (ОК) припускає, що принаймні частину просторових варіацій, спостережуваних в природних явищах, можна змоделювати за допомогою випадкових процесів з використанням просторової автокореляції. Прийоми роботи кригінга можуть бути використані для опису та моделювання просторових структурних закономірностей, пророкування значень в невимірних місцеположеннях, оцінки похибки, пов'язаної з прогнозованим значенням в невимірних місцеположеннях.

Для даного типу інтерполяції справедливі наступні рівняння:

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i), \quad (1.4)$$

$$\sigma_k^2 = \mu + \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(x_0 - x_i), \quad (1.5)$$

де λ_i -ваги; μ -постійна Лагранжа; $\gamma(x_0 - x_i)$ - значення варіограми, відповідне відстані між x_0 і x_i .

Універсальний кригінг (УК) використовується тоді, коли передбачається, що в даних є якась домінуюча тенденція (тренд), яку можна змоделювати за допомогою детерміністичної поліноміальної функції. Він може використовувати або варіограми, або коваріації (математичні форми, використовувані для вираження автокореляції), застосовувати перетворення враховувати похибку вимірювання. Інтерпольоване значення при застосуванні універсального кригінга визначається за формулою (1.6):

$$z(S) = \mu(S) + \varepsilon(S), \quad (1.6)$$

де $\mu(s)$ - це деяка детермінована функція, описувана поліномом другого порядку;

$\varepsilon(s)$ - випадкова помилка, яка обчислюється шляхом віднімання полінома другого порядку з оригінальних даних.

Перевагою кригінгу є те, що він дає не тільки інтерпольовані значення, але і оцінку можливої помилки цих значень [9].

Простий кригінг (СК) передбачає використання для інтерполювання значень тієї ж моделі, що і кригінг універсальний, проте в його випадку показник $M(s)$ є відомою константою.

Емпіричний байєсівський кригінг (ЕВК) відрізняється від інших методів кригінга використанням внутрішньої випадкової функції в якості моделі кригінга. У ЕВК можна аналізувати емпіричний розподіл оцінок параметрів, оскільки в кожному місці розташування розраховується безліч варіограм. Процес ЕВК неявно припускає, що оціночна напівваріантність є істинною варіограмою для інтерполяційної області і лінійним пророкуванням, яке включає в себе змінне просторове загасання.

У результаті виходить надійний нестационарний алгоритм просторових інтерполяційних геофізичних поправок. Для кожного розташування інтерполяція розраховується з використанням нової варіограми розподілу [10].

Порівняльна характеристика методів інтерполяції представлена у табл. 1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика методів інтерполяції для побудови мап рельєфу наземної навігації

	Назва методу	Відмінні особливості
1	Метод зворотних відстаней	Є досить швидким, але має тенденцію генерувати структури навколо точок спостережень з високими значеннями функції.
2	Метод Кригінга	Найбільш гнучкий і часто використовуваний, задається за замовчуванням. На множинах великого розміру він працює досить повільно.
3	Метод мінімуму кривизни	Генерує гладкі поверхні і для більшості множин експериментальних даних працює досить швидко.
4	Метод поліноміальної регресії	Використовується для виділення великих трендів і структур. Працює дуже швидко для множин будь-якого розміру, але не є точним інтерполяційним методом, оскільки згенерована поверхня не проходить через експериментальні точки.
5	Метод радіальних базисних функцій	Так само, як і метод Кригінга, є дуже гнучким і генерує гладку поверхню, що проходить через експериментальні точки.
6	Метод Шепарда	Подібний до методу зворотних відстаней, але як правило, не генерує структури типу "бичаче око", особливо коли заданий згладжуючий параметр.
7	Метод триангуляції з лінійною інтерполяцією	Генерує явні трикутні грані на графіку поверхні. Працює швидко якщо кількість значень задана від 250 до 1000.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Таким чином, в результаті написання статті були розглянуті основні методи інтерполяції, які можна застосувати для побудови мап рельєфу для наземної навігації. Кожен із розглянутих методів має свої переваги і недоліки і може бути використаний для різного типу задач побудови. Перспективи подальшого дослідження – визначення оптимального методу інтерполяції для кожного виду задач побудови мап рельєфу для наземної навігації.

1. В.П.Боровиков. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов (2-е издание) [Текст], СПб.: Питер, 2003. – 688 с.: ил
2. Дж. Форсайт, М.Мальком, К. Моулер. Машинные методы математических вычислений. [Текст] Изд-во "Мир". Москва. 1980.
3. Литвин О.М., Першина Ю.И. Reconstruction of 3-Objects with use of interpolation of function [Текст] / Conf. on Automation, Control, and Information Technology // Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів, Новосибірськ. – 2005 р. – 274-276 с.
4. Литвин О.М. Інтерлінація та інтерфлетация функцій і структурний метод В.Л.Рвачова // Математичні методи і фізико-механічні поля – 2007. –50, №4 – С. 25-35.
5. Ancillary information improves kriging on soil organic carbon data for a typical karst peak cluster depression landscape / W. Zhang, K. L. Wang, H. S. Chen [and all] // J. Sci. Food Agric. – 2012. – Vol. 92. – P. 1094–1102.
6. Екстраполяція [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Екстраполяція>
7. Інтерполяція сплайнами [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://statistica.ru/branches-maths/interpolyatsiya-splaynami-teor-osnovy/>.
8. Fedorov, V. V. Kriging and other estimators of spatial field characteristics (with special reference to environmental studies) / V. V. Fedorov // Atmospheric Environment. – 1986. – Vol. 23. – P. 175–184
9. Gouri, S. B. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC) / S. B. Gouri, P. K. Shit, R. Maiti // Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. – 2016. – Vol. 2. – P. 1–13.
10. Одномерная табличная интерполяция [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://old.exponenta.ru/soft/matlab/potemkin/book2/chapter8/interp1.asp>

UDC 621.391

B. Moroz, doctor of technical science, professor., A. Shcherbakov, graduate student;
Ukraine, Dnipro, University of Technology

AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR VIDEO SURVEILLANCE TO PERFORM SPECIAL FUNCTIONS

Мороз Б. І., Щербаків А. Г. Автоматизована інформаційна система відеоспостереження для виконання спеціальних функцій. Представлений комплексний алгоритм створення автоматизованої системи реєстрації та відображення інформації з літальних апаратів спостереження в режимі інтерактивного управління оператором. Запропонована архітектура для шифрованої передачі потокового відео з декількох камер з літального апарату зі стабілізацією відео в польоті і проектуванням на шолом віртуальної реальності в перспективі огляду 360 градусів.

Ключові слова: FPV-система, відео реєстрація, потокове відео, алгоритм, відеокамера, алгоритм Діффі-Хеллмана, алгоритм YOLO, нейронна мережа.

Мороз Б. И., Щербаків А. Г. Автоматизированная информационная система видеонаблюдения для выполнения специальных функций. Представлен комплексный алгоритм создания автоматизированной системы регистрации и отображения информации с летательных аппаратов и наблюдения в режиме интерактивного управления оператором. Предложена архитектура для шифрованной передачи потокового видео с нескольких камер с летательного аппарата со стабилизацией видео в полете и проецированием на шлем виртуальной реальности в перспективе обзора 360 градусов.

Ключевые слова: FPV-система, видео регистрация, потоковое видео, алгоритм, видеокамера, алгоритм Диффи-Хеллмана, алгоритм YOLO, нейронная сеть.

B. Moroz., A. Shcherbakov. Automated information system for video surveillance to perform special functions. A complex algorithm for creating an automated system for recording and displaying information from aircraft and observation in interactive operator control mode was presented. An architecture for encrypted transmission of video streaming from several cameras from an aircraft with in-flight video stabilization and projection of a virtual reality helmet on a 360-degree perspective was proposed.

Keywords: FPV-system, video registration, streaming video, algorithm, video camera, Diffie-Hellman algorithm, YOLO algorithm, neural network.

Introduction and statement of the research problem. The history of the development of drones dates back to the 21st century, when the FPV-system became widespread and video recording from quadcopters became possible. Now drones are used to collect various information in large areas, aerial survey and photography, monitoring of facilities, etc. Since the technical characteristics allow the use of drones out of line of sight, improvement of the interactive system is required for comfortable control of drones.

As one of the ways to ensure comfortable interaction with the drone, an FPV system can be used. The FPV helmet will be used as the output interface, and the FPV-joystick as the input device. Compared to traditional output devices, the FPV system will change the general idea of how to control the drone. The new visual presentation will allow to control the drone from the first person with a radius of 360 degrees. Thus, the operator can fully control the environment by turning the head, without changing the position of the drone. The drone is controlled by a special joystick, and the flight path is selected by turning the head.

Purpose. To propose a complex algorithm for creating an automated system for recording and displaying information from observation aircraft in the interactive operator control mode. To describe the architecture for transmitting encrypted video stream from several cameras with video stabilization in flight from an aircraft and projecting on a helmet of a virtual reality in perspective of the review of 360 degrees.

Analysis of recent research and publications. To date, the number of scientific developments regarding the topic of research is sufficient.

K. Ratakonda [1] proposed a video stabilization technology which allows to eliminate the effects of unwanted camera movements without affecting the true image.

J. Redmon [2] revealed in the pages of his work a new way to recognize facilities with a simple neural network.

S. Gabreith [3] conducted a comparative analysis of the Diffie-Hoffman algorithm for data encryption and the possibility of improving this algorithm.

A. Protogerellis [4] considered the fundamental opportunities of an FPV system for controlling aircraft. Besides, the author covers topics such as control channel, video communication, component placement, ground station design, troubleshooting and interference. He also provided his own configuration for setting up an FPV system.

Nevertheless, despite the scale of scientific research, the issue of creating a single automated information system for performing special functions remains open and requires detailed study.

The presentation of the main material.

To create an automated video surveillance system, it is necessary to create an appropriate aircraft that will capture streaming video from several cameras and which will provide the ability to encrypt and transmit data to the operator in real time. For vision in the night spectrum, cameras must operate in the infrared. The aircraft must be able to stabilize the video in motion, because the image without stabilization may deteriorate significantly in contrast to the video, which is shot by the camera on a tripod. Other difficulties for creating an automated video surveillance system are that the aircraft must be able to recognize facilities in real time in order to follow them. In the reviewed papers there is no solution to the problem of an automated video surveillance system that would unite all the technologies of the reviewed papers. The algorithm for implementing an automated information system for video surveillance to perform special functions, which is proposed as part of this study, is shown in Figure 1.

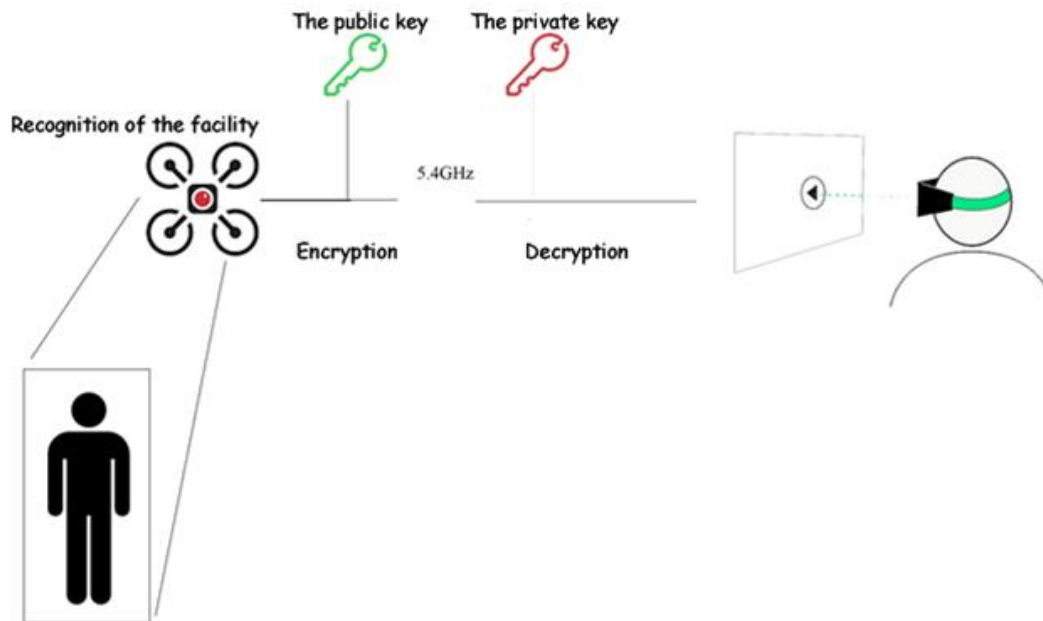


Fig. 1. Scheme of the complex algorithm of the automated system for video surveillance from aircraft

We will consider the software image stabilization principles on an aircraft. The principle of the software stabilizer, on the one hand, resembles a digital stabilizer in the camera, but there are a number of significant differences. If there is no motion at the edges of the frame, this filling of the edges works very well: it is possible to shoot a distant stationary facility with a shake even half a frame – the process of stabilization “sticks together” from this set of frames a single “panorama” and will slowly move the focus along it. Of course, this technique does not always work well, but ideally, it allows you not to reduce the frame size at all and not to lose in the resolution, minus the inevitable re-interpolation of the picture during the shift, and in the viewing angle, which is also important. Motion detection methods, as a rule, work similarly to the methods used in MPEG-like compression. That is, the frame is divided into blocks. For each of them, the most similar block in the previous frame and offset relative to it are selected. The average characteristics for the entire frame are determined from the constructed displacement map. As a rule, these are two-four values: horizontal and vertical displacement and often rotation and change of scale. In this case, it is possible to discard those blocks that move in apparent disagreement with the general direction, since they most likely correspond to the movement of individual facilities in the frame relative to the background, or are simply incorrectly identified in the previous frame. There are other ways, for example, the Fourier analysis applied in the DePan filter, but the output usually yields the same values [5]. Next, the stabilization module directly enters, which builds the optimal trajectory of the camera by smoothing the existing “chaotic” one, performs frame shifting, rotation and scaling to the corresponding values, fills edges, etc. The selection of the optimal smoothed trajectory is similar to applying a low-pass filter to the “signal” formed by displacement vectors, i.e., in fact, oscillations with frequencies higher than the cut-off frequency set by the

user are removed. Thus, the operator can watch the smooth streaming video transmitted from the aircraft in real time.

At the first stage, the aircraft recognizes the facility by using the toolkit, which represents a new way to localize facilities in the image – YOLO (You Only Look Once) [6]. The localization problem is formulated as a single-stage regression problem: a single neural network accepts the entire image as input and gives the coordinates of the bounding rectangles and the probabilities of belonging to classes for them. YOLO divides the image into an $S \times S$ grid. Responsible for the detection of a facility is that grid cell, which gets its center. Each cell searches for bounding rectangles of the same class. A rectangle is characterized by five numbers - 4 coordinates and confidence in it of the neural network. Then, the confidence estimate for each detection zone is multiplied by the class probability to get the final estimate $S \times S \times (B * 5 + C)$ [7]. YOLO imposes strong restrictions on the spatial location of facilities. Because of its lattice structure, the system copes well with large facilities located at a considerable distance from each other. And also, thanks to the high speed image processing, it is suitable for use in real-time systems.

To encrypt data transmitted from the aircraft to the operator, it was proposed to use the asymmetric Diffie-Hellman cipher. In an asymmetric cipher, there are two keys, k_1 and k_2 , connected by a non-trivial relation [8]. If a message is encrypted on the key k_1 , it can be decrypted on the key k_2 . The implementation of this encryption is made due to the existence of unidirectional functions, it means such functions that can be easily calculated in one direction, but without knowing the private key, it is impossible to decrypt them. In any case, effective methods for decrypting a private key do not exist yet.

We will consider the example presented in the scheme of the complex algorithm presented in Fig. 2 between the aircraft and the operator.

Let they have common knowledge about the numbers P and G . This is the base of the field and the generator. The aircraft generates a large random number, and calculates the generator in degree a modulo R . It sends the result A to the operator. The operator takes some random number B , calculates the same generator in degree B modulo R . The generator and module G and P are open data. If we look at the real cryptographic protocols, G and P are properties of a particular group.

Then the operator calculates B and sends it to the aircraft. The drone takes B and raises to its degree, and the operator takes the number obtained from the aircraft, and raises to the degree b . The equality $B^a = A^b$ is obtained. Thus, two parties to the connection can exchange data in an encrypted communication channel.

Diffie-Hellman

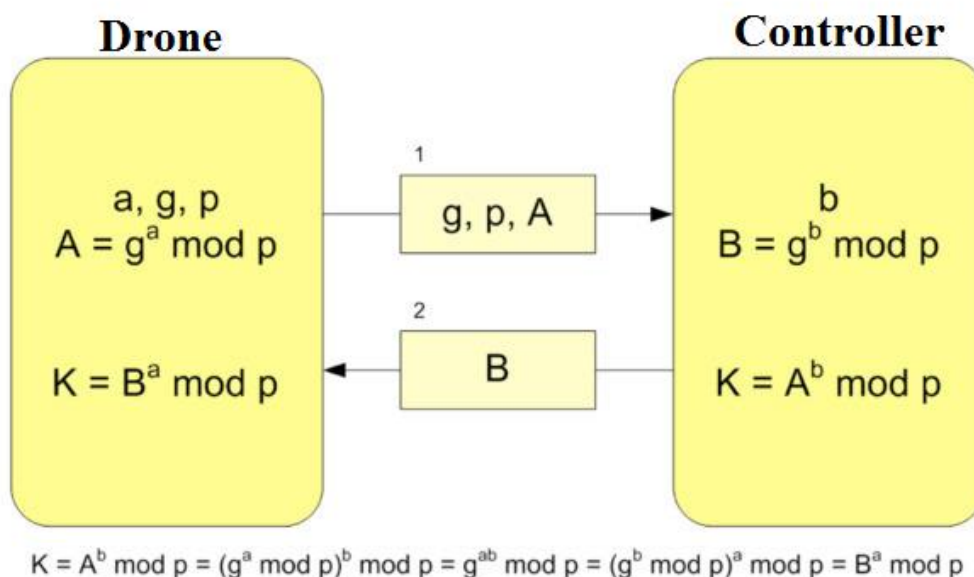


Fig. 2. The Diffie-Hellman algorithm on the example of an aircraft and an operator

The ability to control the aircraft with the ability to view the panorama of the adjacent territory through special VR-glasses appeared thanks to the FPV system. The abbreviation FPV used for flying drones appeared relatively recently. It describes the technology, the full name of which sounds like the First Person View. It appeared due to the use of cameras installed on board aircrafts. Its essence is to provide the user of the technology, in particular the operator, with the ability to view a real-time image captured by the camera. Thus, this technology allows to control the drone from the first person.

The application of this technology is almost unlimited. It can be used both for entertainment and in the professional field. Therefore, drones, in particular multi-copters and quadrocopters, with the FPV function are used in various sectors of the economy. They are used by farmers for fertilizing and tracking cattle, law enforcement agencies and rescue services associated with them also use them, but they use them in places where a person's appearance is associated with a risk to life, and not just convenience. With their help, rescuers can inspect the facility before taking measures to eliminate the accident or apprehend armed criminals.

FPV function is not possible without an FPV system. It is multicomponent and implemented through several technologies. One of them means capturing an image, the second one - processing the received data, if necessary, complementing it with information read from sensors for implementing the OSD interface technology, the third one - by wireless transmission and reception of a signal to deliver the picture to the end user – the operator. All technologies are connected inextricably and are created from several modules. Some of them are installed on a flying drone, a quadrocopter, and some are located at the end user. At the same time, modules installed on an aircraft can be both built-in and removable. Modules that the user has, depending on the data transfer technology used, can be installed in the control equipment or they may be part of a paired mobile device, provided it is used [9].

The principle of video transmission is as follows: a camera on an aircraft – a video transmitter – a receiver in an FPV helmet – video on the helmet / glasses screen (Fig. 3). The signal is television that eliminates any delay in the transmission of the signal to the equipment. The signal is transmitted at a frequency of 5.4GHz, to prevent interference from surrounding devices and the possibility of transmitting large amounts of data over long distances. The range of stable operation of the signal using the FPV system usually does not exceed 1 km, but if we set the power to 600 mW, the aircraft will transmit video up to 3 km in line of sight [10]. The power must simultaneously increase both on the transmitter device and on the receiver device in order for the connection to remain stable throughout the entire flight of the aircraft.

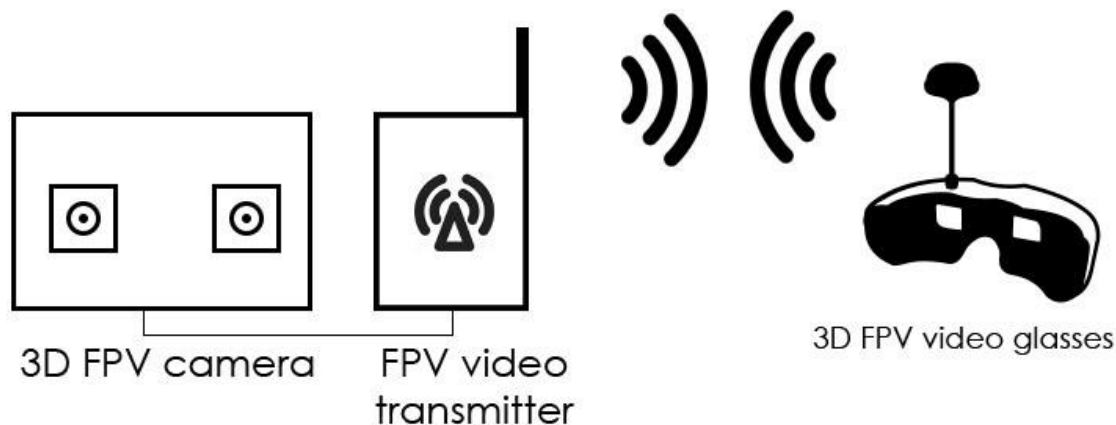


Fig. 3. Video transmission scheme in the FPV system between the camera and FPV glasses

Conclusion and prospects for further development. A new integrated algorithm for creating an automated system for recording and displaying information from observation aircraft in the interactive operator control mode is presented. An architectural solution has been proposed for encrypting the transmission of streaming video from several cameras from an aircraft with video stabilization in flight and projection on a helmet of a virtual reality in perspective of the review of 360 degrees.

It is proposed to use the YOLO algorithm for recognition of the facility in real time with the possibility of its capture and following the drone behind it.

The algorithm works on the basis of an analog FPV system for streaming video from an aircraft to FPV glasses, a Diffie-Hellman algorithm for encrypting streaming data.

1. Ratakonda K. Real-time digital video stabilization for multi-media applications // ISCAS '98. Proceedings of the 1998

- IEEE International Symposium on Circuits and Systems (Cat. No.98CH36187). – Monterey, CA: IEEE Computer Society, 1998. –P. 26-30.
2. Redmon J., Ehsani K., Bagherinezhad H., Mottaghi R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – Salt Lake City, UT: IEEE Computer Society, 2018. –P. 4051-4060.
 3. Gabreith. S. The Diffie-Hellman Problem and Cryptographic Applications. // Key Exchange. – ACM Press, NY: IEEE Transactions on Information Theory, 2005. –P. 470-504.
 4. Protogerellis A. The beginner's guide to FPV; trans. with English. – M.: McGraw-Hill Education TAB, 2016. –177 p.
 5. Marius T. Digital Image Stabilization; trans. with English. – M.: InTech, 2009. - 544 p.
 6. Norman Di Palo. How to add Person Tracking to a Drone using Deep Learning and NanoNets. [Electronic resource] // URL: <https://medium.com/nanonets/how-i-built-a-self-flying-drone-to-track-people-in-under-50-lines-of-code-7485de7f828e>.
 7. Jonathan Hui. Real-time Object Detection with YOLO, YOLOv2 and now YOLOv3. [Electronic resource] // URL: https://medium.com/@jonathan_hui/real-time-object-detection-with-yolo-yolov2-28b1b93e2088.
 8. Steven D. Galbraith, Florian Hess, Frederik Vercauteren: Aspects of Pairing Inversion. IEEE Trans. Information Theory, 2008. –P. 5719-5728.
 9. Glover J. Drone University; trans. with English. – M.: Amazon Digital Services LLC, 2014. - 134 p.
 10. Yang J., Xu Y., Chen C. Gesture Interface: Modeling and Learning // IEEE International Conference on Robotics and Automation (San Diego, CA, 1994). – IEEE Computer Society, 1994. –V. 2. –P. 1747-1752.

Reviewer: Volodymyr Gnatushenko, doctor of technical science, professor, Head of the Department of computer science and IT education Oles Honchar Dnipro National University.

UDC 621.391

¹B. Moroz, doctor of technical science, professor; ²O. Pokotylenko, graduate student.^{1,2}Ukraine, Dnipro, University of Technology

ANALYSIS OF DEVELOPMENT ON CREATION OF DELIVERY ORGANIZATION SYSTEMS USING DRONES

Мороз Б.І., Покотиленко О.І. Аналіз розробок по створенню систем організації доставки з використанням дронів. В рамках даної статті розглянуті досягнення в сфері розробок, концепції та ідей по створенню систем доставки з використанням безпілотних літальних апаратів, що передбачає максимальну автоматизацію з мінімальною участю людини в процесі доставки товару або продукту до кінцевого споживача. Аналізується можливість поліпшення логістичної складової системи доставки з метою, поліпшити якість наданої послуги, також виключити втрати заявок та іншої інформації в роботі системи.

Ключові слова: дрон, система доставки, автоматизація, обробка інформації

Мороз Б.И., Покотиленко А.И. Анализ разработок по созданию систем организации доставки с использованием дронов. В рамках данной статьи рассмотрены достижения в сфере разработок, концепции и идей по созданию систем доставки с использованием беспилотных летательных аппаратов, предусматривающие максимальную автоматизацию с минимальным участием человека в процессе доставки товара или продукта до конечного потребителя. Анализируется возможность улучшения логистической составляющей системы доставки с целью, улучшить качество предоставляемой услуги, также исключить потери заявок и иной информации в работе системы.

Ключевые слова: дрон, система доставки, автоматизация, обработка информации

B. Moroz., O. Pokotylenko Analysis of development on creation of delivery organization systems using drones. Within this article we consider achievements in the field of development, concepts and ideas for creation of delivery systems using unmanned aerial vehicles (UAV), which provide for maximum automation with minimal human participation in the delivery of goods or products to the final consumer. We also analyze the possibility of improving of the delivery system logistics component in order to improve the quality of the service provided, as well as to eliminate the loss of applications and other information in the system operation.

Keywords: drone, delivery system, automation, information processing

Introduction and statement of the research problem. Technological progress does not stand still, more and more tabloid headlines describe new advances in science and technology, new concepts appear and existing technologies are improved. The idea, which even five years ago seemed practically useless because of the high cost of its implementation, now may well be realized with acceptable expenditure of resources. Electric vehicles [1] are a vivid example of this technology. Having appeared as an opposition to transport with combustible fuel, at first they were expensive and had an insufficient power reserve. With the development of energy storage technology, it got possible to reduce the cost of production and produce not a limited series available only to a few, but create a product designed for a wide consumer. For example, Tesla Model 3 [2] has a power reserve of 500 km, which is enough to get from Kiev to Odessa.

The same applies to drones. Now there are devices capable of expanding speed up to 17 m / s, which, combined with the ability to be in the air for 26 minutes, gives a flight range of more than 26 km.

Naturally, it was only a matter of time when someone should like to use drones to deliver goods. In addition to many independent companies and enthusiasts such corporations as Amazon, Google and DHL [3, 4, 5] got interested in such an application.

Despite the fact that the above-mentioned corporations have enough resources, they cannot boast of serious achievements yet. So, Amazon made only two deliveries [6], and Google froze its project after only one demonstration [7, 8], at DHL had better results, during a three-month experiment in the Alps in 2016, having delivered about 130 parcels [9].

Enthusiasts have things a little better. Zipline [10] delivers medicine and blood samples to Rwanda [11], and Matternet [12] performs a similar task in the Republic of Malawi [13]. Various projects for products delivery can be mentioned about only in passing, since many were only a PR move. However, subsequently, it's massive use of drones in delivery that is the ultimate goal and outcome of such research; and then it will be necessary to create a system that will effectively allocate the available resources for goods or products delivery.

Naturally, the construction of such a system is a complex task and one of its elements is the processing of incoming applications. One of the concepts for solving this problem is considered in this article.

Goal. It's to offer the concept creating of an automated subsystem for applications registering and processing for a product delivery system by drones to the end user.

Analysis of recent research and publications. Today, information about such researches is practical-ly non-existent since most of the projects aimed at creating and developing of the concept of cargo transportation using drones are in a state of controlled experiment and are not available to a wide circle of consumers.

Presentation of the main material. As mentioned above, cargo transportation by drones is not massive today, and therefore does not require specialized means and tools to manage the logistics of the delivery system using drones.

As an example, consider how Amazon sees the implementation of its Amazon Prime Air project [6]. First of all, it should be noted that the highlight of the project from Amazon is the use of airships as logistics centers for storing cargo and launching UAVs. According to Amazon, such application fulfillment centers will be able to respond to demand spikes even before they occur, but so far this development is only at the patent stage [14]. Figure 1 shows a diagram of how such a system can work. At the same time, it is proposed to use smaller airships to replenish stocks on such airships. And to reduce the cost of returning drones to flying logistics centers, airships are provided that will collect drones that have already completed their deliveries.

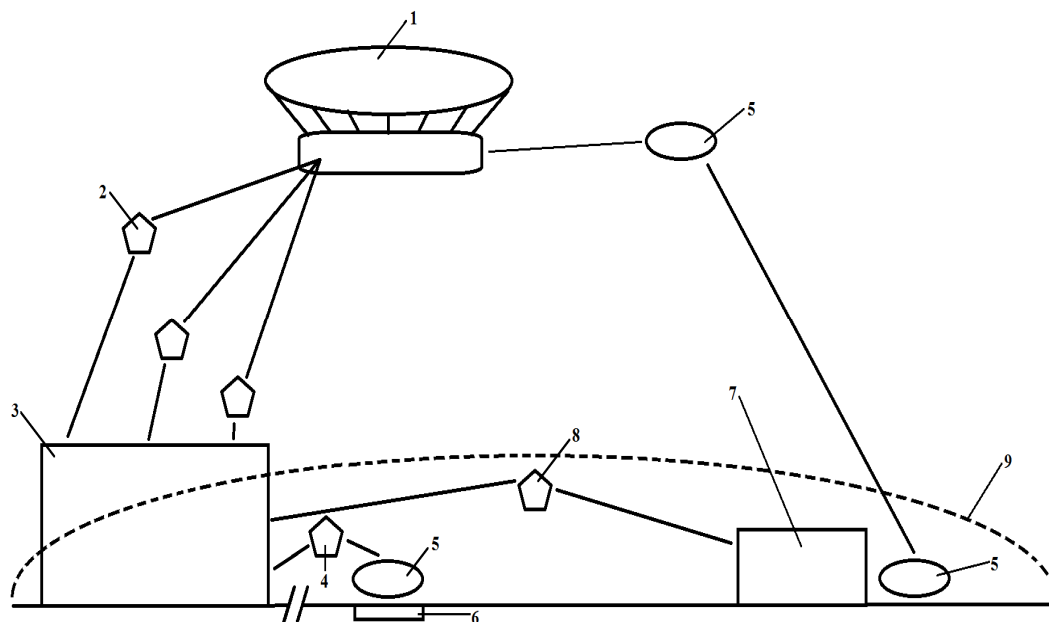


Fig. 1. Diagram of flying logistics centers from Amazon

As mentioned above, this diagram rearranges only a patent, but its implementation as shown in Figure 1 is worth considering. The diagram at figure 1 shows the so-called flying warehouse, which according to the project, acts as a mobile logistics center, the object at figure 2 displays the drone which delivers the goods from the flying warehouse to the consumer in region 3, while part of the descent is carried out by planning so that to save energy. Based on these considerations, the drone 4 does not rise back, but It is planned to use such small airships represented by figure 5, to replenish stocks of drones and goods at the flying warehouse. Such a supplying airship can be located not only at the special waiting area 6, but also near the ground logistic center 7, from which it also replenishes the stock new and goods before shipment to the flying warehouse. In the absence of a supplying airship at the waiting area, drone 8 performing the delivery can go to the ground logistics center 7; this approach will also save more energy than a simple return to the flying warehouse. The figure 9 schematically indicates the coverage area of the system using the flying warehouse.

It is also worth noting that this scheme was not described in the literature, calculations of its energy efficiency were also not presented, but exist at the concept stage and were adopted as such.

The system described above is still in the state of a patent and time and refinement are still required before a concrete implementation. At the moment, the actual implementation of the delivery system using drones by Amazon is as shown in Figure 2.

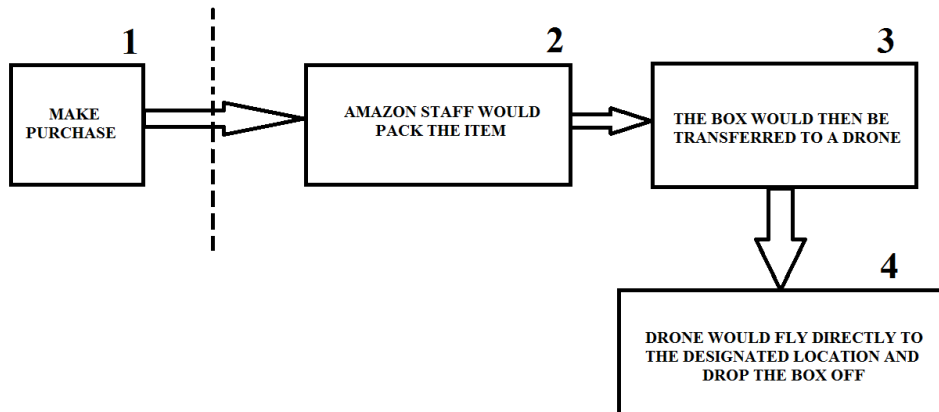


Fig. 2. The scheme of delivery by drones from Amazon

As it was mentioned, according to this scheme only two trial deliveries were made, therefore, when such a system enters the real market for mass service, it is inevitable that there will be a need for more detailed application processing and organization of the delivery of goods to the final consumer, which is indicated by the dotted line between items 1 and 2. The creation of such a subsystem is considered in this article.

At this stage, it is advisable to mention introduction of the user ability to choose two delivery options: as soon as possible or specify the exact date and time. Thus, the delivery system will have an additional effectiveness criterion.

Such a system must meet certain criteria:

- applications must be processed without loss (i.e. all must be delivered);
- must be met within the time constraints;
- must be met with minimal use of resources so that capital and operating costs are minimal.

Disciplines that are built on the basis of queuing theory are traditionally used to organize the service of requests, but the use of models allows organizing services according to criteria like service probability, average service time, etc. In this case, this is poorly applicable since it is necessary to provide service for each application within specific time limits (and not for the average time), and probabilistic criteria generally allow for the loss of a certain number of applications during maintenance.

The authors aim to develop such a system for organizing the service of requests that were not built on probabilistic and average service characteristics, but would allow determining these characteristics accurately. For this purpose, it is advisable to take advantage of the discipline named organization of information processing [15].

This discipline allows you to take into account the characteristics of aging and the value of information in the process of its transmission and processing, allows you to significantly increase the effectiveness of methods and means of data processing, their management and information services. The discipline allows us to take into account that during the operation of the system we will deal not with the average queue of requests, but with a specific queue at the current moment while taking into account the change of individual requests in time. In contrast to the statistical and dynamic disciplines used to solve such problems, the proposed discipline does not rely on such assessment criteria as:

- the maximum and average delay in the result issuance relative to the moments of their receipt;
- probability of the timing violation of the result issuance;

- allowable percentage of information loss during processing.

This is undoubtedly an advantage for the task.

Using such qualitative-quantitative characteristics as both aging and value of information, the proposed discipline allows organizing rational processing of information for two main cases:

- I. input streams are strictly regular or quasi-regular with varying degrees of intensity in different parts of the system;
- II. input message flows are random and are described by the Poisson law with different characteristics on individual sections of the system.

Using this discipline, you can create a system for processing of applications so that it should allow you to adjust the order of their processing depending on their intensity and characteristics.

For the case of strictly regular or quasi-regular input information flows processing process is as follows.

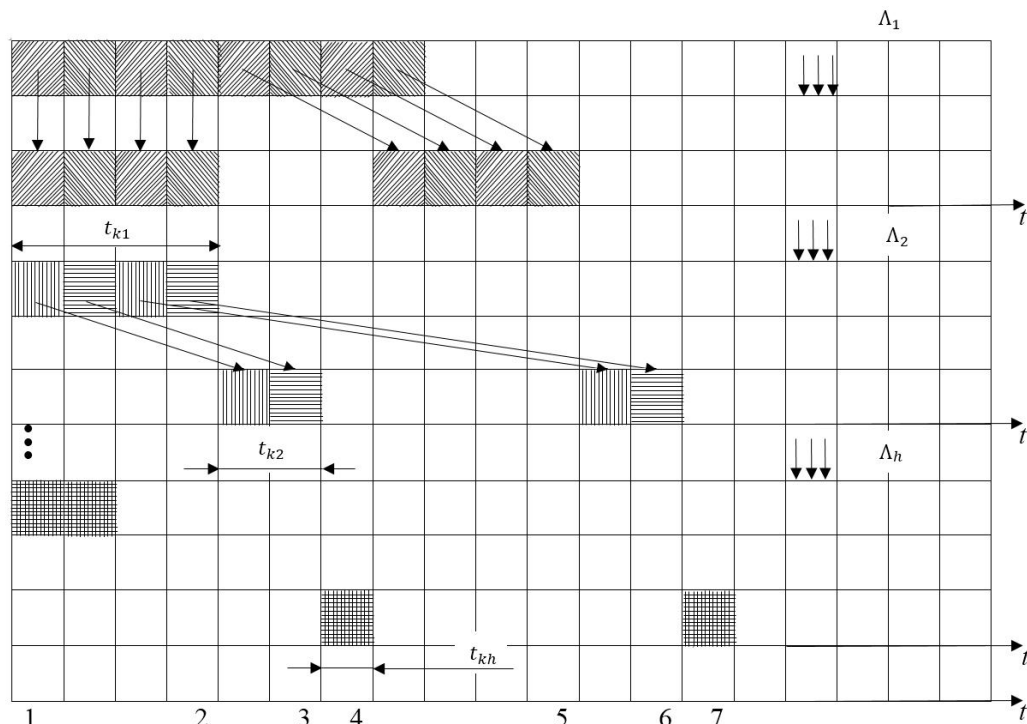


Fig. 3. Scheme of processing of regular input flows of applications in accordance with the managed discipline of maintenance

Flows of applications enter the system and get to the queue, depending on a certain threshold time for maintenance $T_{threshold, i}$, where i is an index of a membership of an application of an i -th type to $T_{threshold, i}$.

$$T_{threshold, i}(t) \geq W_i(t) + b_i, \quad (1)$$

where $W_i(t)$ is a function of waiting time for processing of an application of an i -th type, received at time t ; b_i is a time of processing of an application of an i -th type.

$$b_i = \int_0^{\infty} t d B_i(t), \quad (2)$$

where $B_i(t)$ is the function of distribution of processing time of an application of an i -th type.

The application is processed as follows (Fig. 3).

The system processes applications of each queue in turn, giving each i -th type of applications a time slice t_{ki} , during which 1, 2, 3 ... etc. applications i -th queue can be processed.

$$\frac{t_{ki}}{b_i} = 1, 2, 3 \dots \text{и т.д.} \quad (3)$$

Thus, the processing of applications can be made adjustable depending on changes in the intensity of application flows $\Lambda_i(t)$.

Vector T_k is used as the control vector

$$T_k = \{t_{k1}, t_{k2}, \dots, t_{ki}, \dots, t_{kn}\} \quad (4)$$

Conclusion. The information presented in the article allows to determine the direction of creation of delivery systems using drones, aimed at the mass consumer as a promising direction for research in the areas of robotics and the creation of software products and software. The proposed discipline of organization of applications processing process seems promising in terms of using to manage such a delivery system.

1. Electric car. [Electronic resource] // URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_car.
2. Tesla Model 3. [Electronic resource] // URL: <https://www.tesla.com/model3>.
3. Amazon.com. [Electronic resource] // URL: https://www.aboutamazon.com/?utm_source=gateway&utm_medium=footer.
4. Google. [Electronic resource] // URL: <https://about.google/intl/en/>.
5. DHL. [Electronic resource] // URL: <https://www.dhl.com>.
6. Amazon Prime Air. [Electronic resource] // URL: <https://www.amazon.com/b?node=8037720011>.
7. Project Wing. [Electronic resource] // URL: <https://x.company/projects/wing/>.
8. Mark Bergen. Project Wing, born inside the Google X research lab, is the latest Alphabet project to be target of financial restraint. [Electronic resource] // URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-11-08/alphabet-taps-brakes-on-drone-project-nixing-starbucks-partnership>.
9. Successful trial integration of DHL Parcelcopter into logistics chain. [Electronic resource] // URL: <https://www.dpdhl.com/en/media-relations/press-releases/2016/successful-trial-integration-dhl-parcelcopter-logistics-chain.html>.
10. Zipline. [Electronic resource] // URL: <https://flyzipline.com/about/>.
11. Alena Sukharevskaya. Dr. Dron: How Zipline Rescues Rwandans Using Drones. [Electronic resource] // URL: <https://www.rbc.ru/magazine/2017/01/584eafe69a7947118dc9e7de>.
12. Matternet. [Electronic resource] // URL: <http://mtr.net/>.
13. Karen Allen. Using drones to save lives in Malawi. [Electronic resource] // URL: <https://www.bbc.com/news/world-africa-35810153>.
14. Airborne fulfillment center utilizing unmanned aerial vehicles for item delivery. [Electronic resource] // URL: <http://patft1.uspto.gov/netacgi/nph-Parser?Sect1=PTO1&Sect2=HTOFF&d=PALL&p=1&u=%2Fnetahtml%2FPTO%2Fsrchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=9305280.PN.&OS=PN/9305280&RS=PN/9305280>.
15. Свиридов В.В., Мороз Б.І. Организация процессов обработки информации по критериям ценности и старения в АСУ. // Харьков: Основа. – 1992. – 112 с.;

Reviewer: Volodymyr Gnatushenko, doctor of technical science, professor, Head of the Department of computer science and IT education Oles Honchar Dnipropetrovsk National University.

УДК 519.766.4:004.942

Недашківський Є.А.

Національний технічний університет України Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ З ФРАКТАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ НА ОСНОВІ ЛІНГВІСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Недашківський Є.А. Ефективність інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання. У роботі визначено ефективність інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання. Проведена перевірка працездатності інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями і програмних реалізацій на реальних даних підтвердила можливість забезпечення об'єктивності під час проведення прогнозування. Використання інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями дозволить забезпечити високий рівень прогнозування з максимально повною реалізацією аналітичної системи.

Ключові слова: інформаційна технологія, аналіз, прогнозування, фінансові часові ряди, лінгвістичне моделювання, фрактальні властивості.

Недашковский Е. А. Эффективность информационной технологии для анализа и прогнозирования временных рядов с фрактальными свойствами на основе лингвистического моделирования. В работе определена эффективность информационной технологии для анализа и прогнозирования временных рядов с фрактальными свойствами на основе лингвистического моделирования. Проведенная проверка работоспособности информационной технологии для анализа и прогнозирования временных рядов с фрактальными свойствами и программных реализаций на реальных данных подтвердила возможность обеспечения объективности при проведении прогнозирования. Использование информационной технологии для анализа и прогнозирования временных рядов с фрактальными свойствами позволит обеспечить высокий уровень прогнозирования с максимально полной реализацией аналитической системы.

Ключевые слова: информационная технология, анализ, прогнозирование, финансовые временные ряды, лингвистическое моделирование, фрактальные свойства.

Nedashkivskiy Y. A. Effectiveness of information technology for analyzing and predicting time series with fractal properties based on linguistic modeling. The paper defines the effectiveness of information technology for analyzing and predicting time series with fractal properties based on linguistic modeling. A test of the performance of information technology for analyzing and predicting time series with fractal properties and software implementations on real data confirmed the possibility of ensuring objectivity in conducting forecasting. The use of information technology for analyzing and forecasting time series with fractal properties will provide a high level of forecasting with the most complete implementation of the analytical system. The study of the three adaptive type methods showed that the Brown model works only with a small forecast horizon, that is, the trend and seasonal changes are not taken into account. Information technology for analyzing and forecasting time series with fractal properties is universal and allows you to adapt the planning process of forecasting financial time series to the level of formation of the initial series.

Keywords: information technology, analysis, forecasting, financial time series, linguistic modeling, fractal properties.

Постановка наукової проблеми. Більшість підходів до аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями засновано на статистичних методах і моделях [1]. Однак, не дивлячись на актуальність і масштабність даного підходу, він не є досить точним, в силу відсутності розуміння природи мінливості ринків капіталу і механізму передбачення коливання цін. У більшості випадків, результат виникнення зовнішніх факторів здійснює вплив на динаміку часових рядів з фрактальними властивостями, а саме відбувається порушення структури, при цьому попередні дані залишаються незмінними. Це є особливістю практично будь-якого фінансового часового ряду. Тому в умовах сучасної ринкової економіки актуальним питанням є розробка теоретико-методологічних аспектів прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання.

Аналіз досліджень. Сучасна теорія економічних систем пропонує спиратися на теорію динамічних систем [2], або теорію хаосу [3, 4]. Даний підхід, порівняно молодий, проте спираючись на дослідження [5,6] є можливість стверджувати про злиття методів нелінійної динаміки з існуючими економічними дослідженнями, що в комплексі призведе до створення нових моделей ринків капіталу. Аналіз часових рядів [7, 8], в умовах нинішньої економічної науки, відноситься до розділу математичної фізики, який активно розвивається і поглинає як методи теорії динамічних систем так і методи фрактального аналізу [9]. Як окрема структурна одиниця, даний механізм аналізу активно застосовується в економіці для аналізу інформації у вигляді часових рядів котирувань акцій компаній. Алгоритм підходу базується на нестабільності ринку цінних паперів, що призводить до значних коливань і як наслідок, до виникнення хаотичних динамічних систем. Хаос в динамічних

системах, це ніщо інше, як експонентний розкид близьких траєкторій для класу хаотичних атракторів. Рівень експоненціального розкиду характеризується старшим показником Ляпунова, а рівень «безладу» – ентропією. Наслідок знаходження будь-який з цих величин, є значенням горизонту прогнозу для аналізованого часового ряду. Так само знаходження розмірності вкладення, тобто мінімальне число динамічних змінних, які однозначно описують спостережуваний процес, можна знайти використовуючи фундаментальні аспекти теорії динамічних систем. На сьогодні, формування та побудова моделей спрямованих на відображення динаміки фінансових часових рядів [10] є однією з головних проблем при аналізі та прогнозуванні часових рядів з фрактальними властивостями. Проблемам автоматизації системи аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями присвячено роботи як вітчизняних так і зарубіжних учених, до їх числа варто віднести: П.І. Бідюка, О.І. Савенкова, І.В. Баклана [10], А.К. Лопатина [11, 12], О.Ю. Берзлеву [13], А.С. Нечипоренка [14], І.А. Ликова, С.А. Мисливціва [15], А.В. Матвійчука [16], І.Г. Лук'яненко, В.М. Жука [17], G. Коор, D. Korobilis [18], Vercellis Carlo [19], Pandit S.M., Wu, S.-M [20] та ін. Автоматизований підхід розкривають такі відомі вчені як Є.О. Глотов, О.М. Попова [21] та І.І. Чайковська [22]. Саме Е. Найман [23] відокремив основні напрямки розрахунку показника Херста з метою виявлення персенстенції. Такі автори як В.Ю. Дубницький [24] та К.І. Крицун [25] надають вичерпну інформацію по складанню інформаційних матриць та методології системного аналізу в рамках досліджуваної системи. Проведений аналіз сучасних наукових робіт у галузі автоматизації процесів аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями, розробки спеціалізованих програмних додатків інформаційної підтримки процесів аналізу та прогнозування фінансових часових рядів показує, що на сьогоднішній день основні напрямки дослідження науковців направлені на розробку комплексних інтеграційних рішень, які могли б враховувати вплив людського фактору на всіх етапах життєвого циклу виробу.

Однак, варто зазначити, що досліджені розробки та досягнення не враховують існуючий і дуже важливий взаємозв'язок між аналізом часових рядів та їх подальшим прогнозуванням з урахуванням фрактальних особливостей.

Тому, існує нагальна потреба в подальшому дослідженні методів, принципів та механізмів реалізації, формалізації та алгоритмізації процесу аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями в системі управління інформаційними технологіями економічного спектру.

Мета роботи. У даній статті необхідно визначити ефективність інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. Автоматизована система аналізу та прогнозування фінансового часового ряду (АС ПФЧР) за допомогою лінгвістичного моделювання спрямована на рішення завдань прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями. Здійснено оцінку ефективності інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями за допомогою лінгвістичного моделювання.

Об'єктом дослідження є часовий ряд типу:

$$\{\tilde{X}(x)\}(x = 1 \div t), \quad (1)$$

в якому $\tilde{X}(x)$ є часовим рядом з фрактальними властивостями, що характеризується кортежем [29]:

$$\left\{ \frac{k_j^x}{\mu(k_j^x)} \right\}, \mu(k_j^x) \rightarrow [0,1], j = 1 \div J, \quad (2)$$

Початкові дані приведемо в табл. 1 та на рис. 1. Загальна кількість даних складає 53208 позицій.

Таблиця 1. Часовий ряд з фрактальними властивостями

№	Дата/Час	Вартість
1	01.09.2012 0:00	275,22
2	01.09.2012 1:00	0,00
3	01.09.2012 2:00	0,00
4	01.09.2012 3:00	0,00
5	01.09.2012 4:00	0,00
6	01.09.2012 5:00	29,96
7	01.09.2012 6:00	343,73
7	01.09.2012 7:00	440,01
8	01.09.2012 8:00	462,64
...
53206	25.09.2018 21:00	1 240,26
53207	25.09.2018 22:00	1 183,48
53208	25.09.2018 23:00	1 129,49

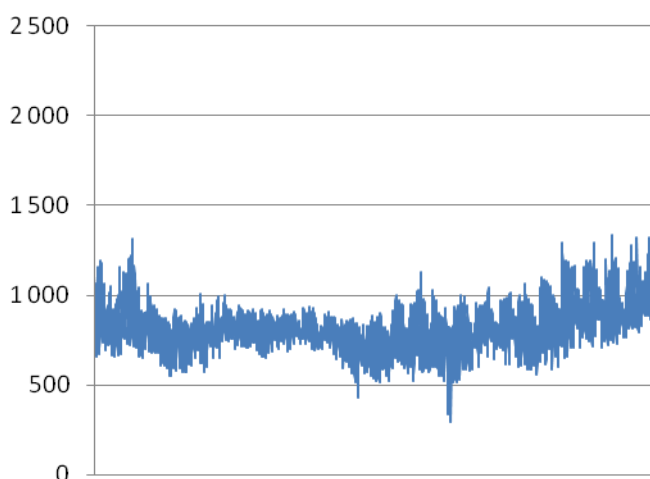
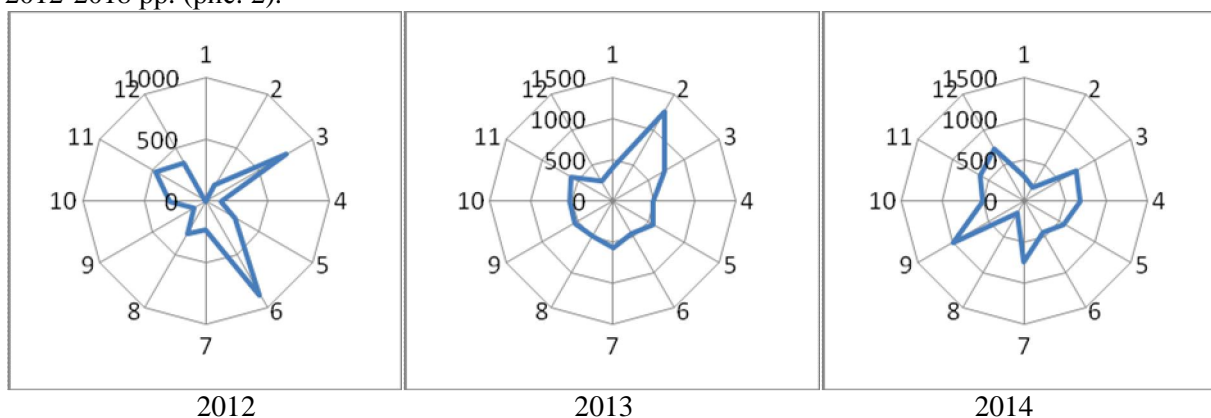


Рис. 1. Діаграма розподілу часового ряду з фрактальними властивостями

Запропонований ряд є слабо структурованим в силу ряду об'єктивних та суб'єктивних причин достовірності даних. Проаналізуємо вагові приналежності за відповідними позиціями $q_0 - q_6$, тобто за 2012-2018 рр. (рис. 2).



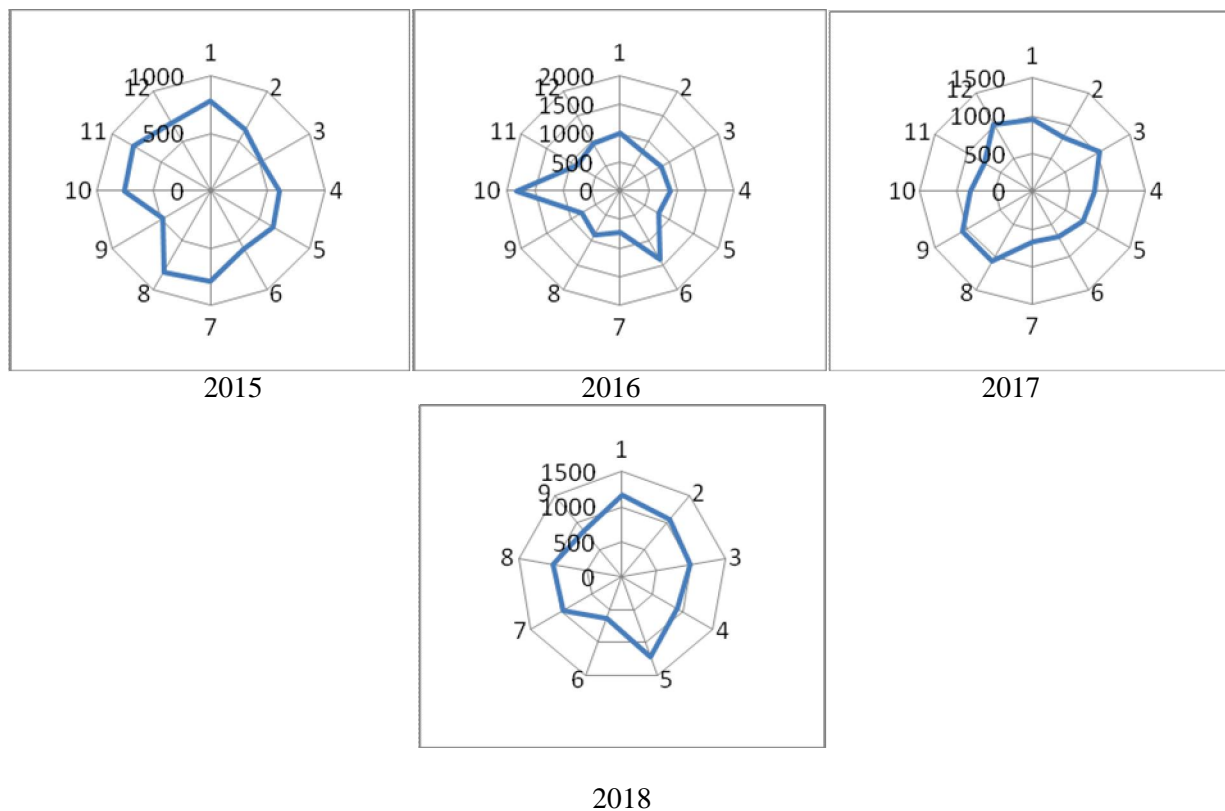


Рис. 2. Діаграми вагових приналежностей часового ряду з фрактальними властивостями у межах часового розподілу

Задамо значення лінгвістичної змінної (терми) відповідно до множини:

$$U = \{0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1\};$$

таким чином:

$$V - \text{високе, тоді: } \mu_v(u) = u, u \in U;$$

$$BV - \text{більш високе, тоді: } \mu_{bv}(u) = \sqrt{u}, u \in U;$$

$$DV - \text{дуже високе, тоді: } \mu_{dv}(u) = u^2, u \in U;$$

$$ZV - \text{занадто високе, тоді: } \mu_{zv}(u) = \begin{cases} 1, & u = 1, \\ 0, & u < 1, \end{cases} u \in U;$$

$$N - \text{низьке, тоді: } \mu_n(u) = 1 - u, u \in U;$$

$$BN - \text{більш низьке, тоді: } \mu_{bn}(u) = \sqrt{1 - u}, u \in U;$$

$$DN - \text{дуже низьке, тоді: } \mu_{dn}(u) = (1 - u)^2, u \in U;$$

$$ZN - \text{занадто низьке, тоді: } \mu_{zn}(u) = \begin{cases} 0, & u = 1, \\ 1, & u < 1, \end{cases} u \in U.$$

На основі формування консолідованих множин, щодо вагових приналежностей часового ряду з фрактальними властивостями у межах часового розподілу відповідно висловлювань $e_k (k = 1 - 7)$, таблиця відповідності прийме наступний вигляд (рис. 3). Таким чином, в прийнятих позначеннях наведені висловлювання запишемо у вигляді наступних правил:

$$e_1: \text{«Якщо } x_t = M_1, \text{ тоді } y = ZN\text{»};$$

$$e_2: \text{«Якщо } x_t = M_2, \text{ тоді } y = DN\text{»};$$

$$e_3: \text{«Якщо } x_t = M_3, \text{ тоді } y = BN\text{»};$$

$$e_4: \text{«Якщо } x_t = M_4, \text{ тоді } y = N\text{»};$$

$$e_5: \text{«Якщо } x_t = M_5, \text{ тоді } y = V\text{»};$$

$$e_6: \text{«Якщо } x_t = M_6, \text{ тоді } y = BV\text{»};$$

$$e_7: \text{«Якщо } x_t = M_7, \text{ тоді } y = DV\text{»};$$

$$e_8: \text{«Якщо } x_t = M_8, \text{ тоді } y = ZV\text{»}.$$

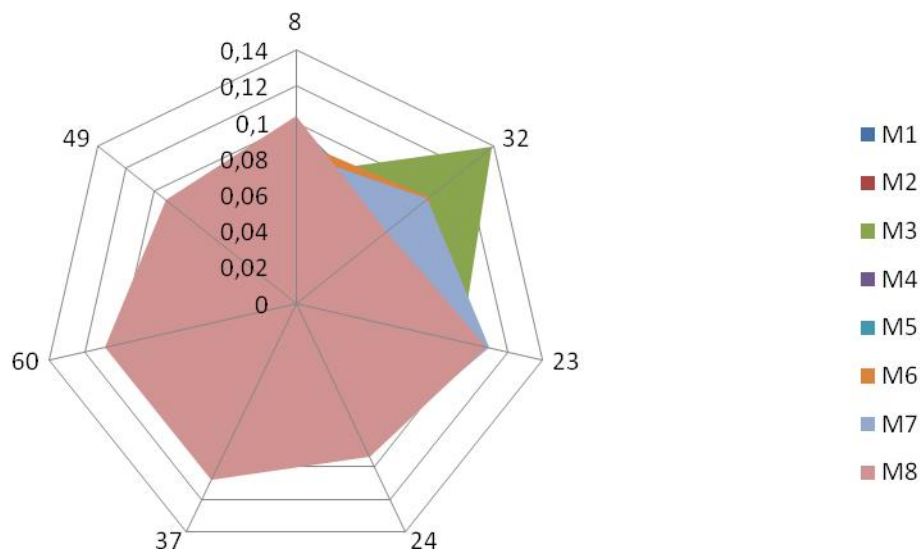


Рис. 3. Діаграма розподілу консолідованих множин, щодо вагових приналежностей часового ряду з фрактальними властивостями

Для перетворення цих правил скористаємося виразом [30]:

$$\mu_H(x, y) = \min\{1, 1 - \mu_X(x) + \mu_Y(y)\}. \quad (3)$$

Тоді для кожної пари $(x, y) \in X \times Y$ можна отримати відносини $X \times Y$. У результаті перетину відношень R_1, R_2, \dots, R_n отримаємо наступне загальне функціональне рішення, що відбиває причинно-наслідковий зв'язок між складовими часового ряду з фрактальними властивостями і, власне, їх величиною (табл. 2)

Таблиця 2. Результат розрахунку загального функціонального рішення

U	R						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	0,013369	0,061549	0,066053	0,061975	0,059117	0,024904	0,098565
0,1	0,029431	0,07104	0,133324	0,080333	0,082092	0,105393	0,098384
0,2	0,04637	0,062628	0,067762	0,070033	0,096879	0,112077	0,103676
0,3	0,042242	0,0382	0,003884	0,038814	0,086801	0,080374	0,094901
0,4	0,062403	0,062025	0,072275	0,072662	0,083784	0,10092	0,100677
0,5	0,075847	0,04944	0,058099	0,057285	0,077536	0,089205	0,129648
0,6	0,047098	0,065366	0,061504	0,059594	0,093588	0,106625	0,12987
0,7	0,058531	0,059274	0,066297	0,07139	0,090458	0,107698	0,058973
0,8	0,032173	0,052489	0,084419	0,069729	0,059117	0,085409	0,062097
0,9	0,029052	0,04812	0,054456	0,060714	0,113579	0,092587	0,063081
1,0	0,061288	0,118713	0,070552	0,048538	0,104238	0,108931	0,100849

Значення k часової даної $A_k (k_{2012-2018} = 1 + 7)$ може бути знайдено по засобом наступного правила композиційного виведення:

$$A_k = G_k \circ R (k_{2012-2018} = 1 - 7), \quad (4)$$

де G_k є відображенням розкладання у вигляді нечіткої підмножини.

A_k є нечіткою інтерпретацією k -ої даної часового ряду з фрактальними властивостями відповідно до вектора $(0; 0.1; 0.2; \dots; 1)$, тобто:

$$A_1 = A_{2012} = 0,013369/_{0} + 0,029431/_{0,1} + 0,04637/_{0,2} + 0,042242/_{0,3} + 0,062403/_{0,4} + 0,075847/_{0,5} + 0,047098/_{0,6} + 0,058531/_{0,7} + 0,032173/_{0,8} + 0,029052/_{0,9} + 0,061288/_{1,0}$$

Таким чином, в результаті аналізу часового ряду з фрактальними властивостями, отримано аналог розглянутого часового ряду, який представлений в табл. 3.

Таблиця 3. Модель часового ряду з фрактальними властивостями

Значення функції приналежності	Рік дослідження						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0	0,013369	0,061549	0,066053	0,061975	0,059117	0,024904	0,098565
0,1	0,029431	0,07104	0,133324	0,080333	0,082092	0,105393	0,098384
0,2	0,04637	0,062628	0,067762	0,070033	0,096879	0,112077	0,103676
0,3	0,042242	0,0382	0,003884	0,038814	0,086801	0,080374	0,094901
0,4	0,062403	0,062025	0,072275	0,072662	0,083784	0,10092	0,100677
0,5	0,075847	0,04944	0,058099	0,057285	0,077536	0,089205	0,129648
0,6	0,047098	0,065366	0,061504	0,059594	0,093588	0,106625	0,12987
0,7	0,058531	0,059274	0,066297	0,07139	0,090458	0,107698	0,058973
0,8	0,032173	0,052489	0,084419	0,069729	0,059117	0,085409	0,062097
0,9	0,029052	0,04812	0,054456	0,060714	0,113579	0,092587	0,063081
1,0	0,061288	0,118713	0,070552	0,048538	0,104238	0,108931	0,100849
Аналог A_k	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
Оцінка	0,452549	0,626222	0,071477	0,482427	0,086108	0,92193	0,04611

Наступним кроком є визначення множини кожного окремого рівня:

$$A_\alpha = \{u | \mu_A(u) \geq \alpha, u \in U\}, \quad (5)$$

та середнього числа елементів у складі часового ряду з фрактальними властивостями:

$$M(A_\alpha) = 1/n \sum_{k=1}^n u_k, u_k \in A_\alpha.$$

Динаміка розподілу оціночних складових фінансового ряду з фрактальними властивостями наведена на рис. 4. Прогнозні значення у вигляді діаграми розподілу часового ряду з фрактальними властивостями наведені на рис. 5.

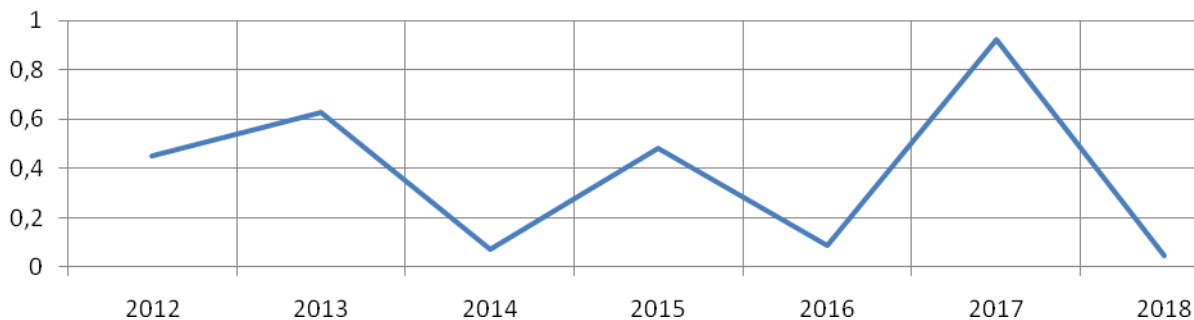


Рис. 4. Динаміка розподілу оціночних складових фінансового ряду з фрактальними властивостями

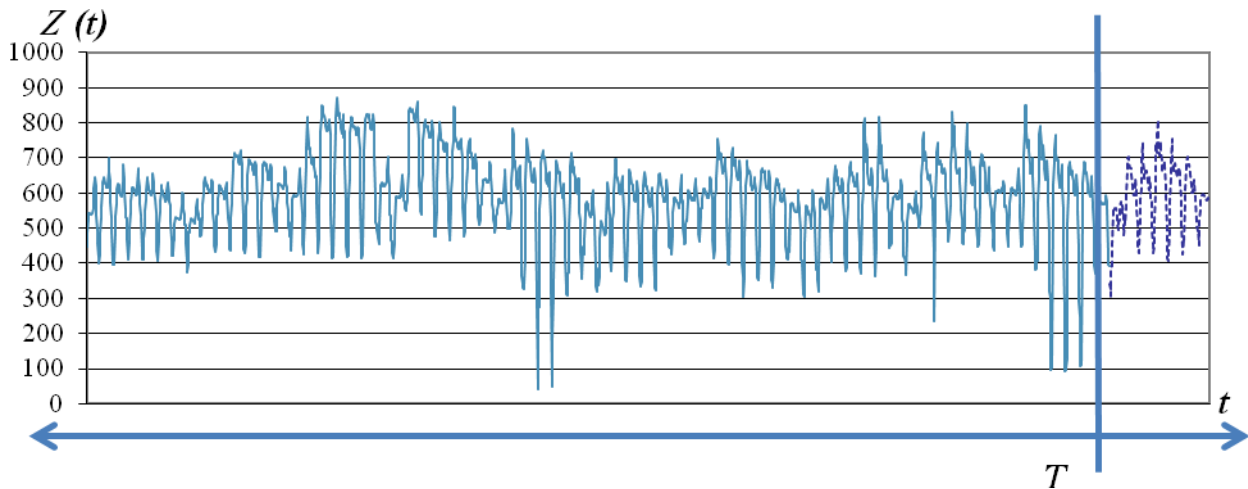


Рис. 5. Діаграма розподілу часового ряду з фрактальними властивостями. Прогнозні значення

Проведемо аналіз отриманих результатів, тобто отримані результати відповідно до інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів порівняємо з методами прогнозування часових рядів, що на сьогодні є найбільш затребувані [31, 32] на предмет ефективності роботи системи (рис. 6).

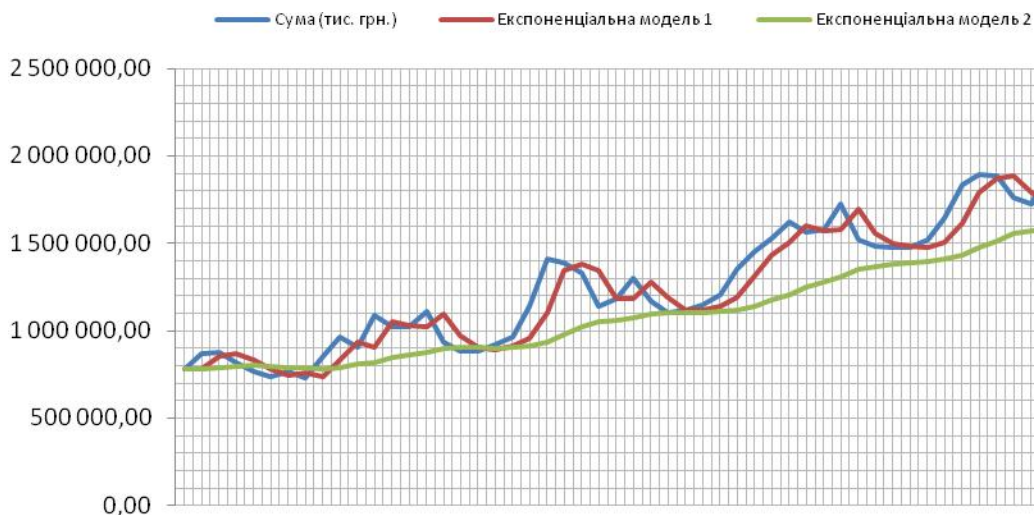


Рис. 6. Графік прогнозування

Далі виконаємо оцінку точності моделі Хольта і підберемо оптимальні коефіцієнти згладжування ряду і тренда. Метод Хольта використовується для прогнозування часових рядів, коли є тенденція до зростання або падіння значень часового ряду (рис. 7).

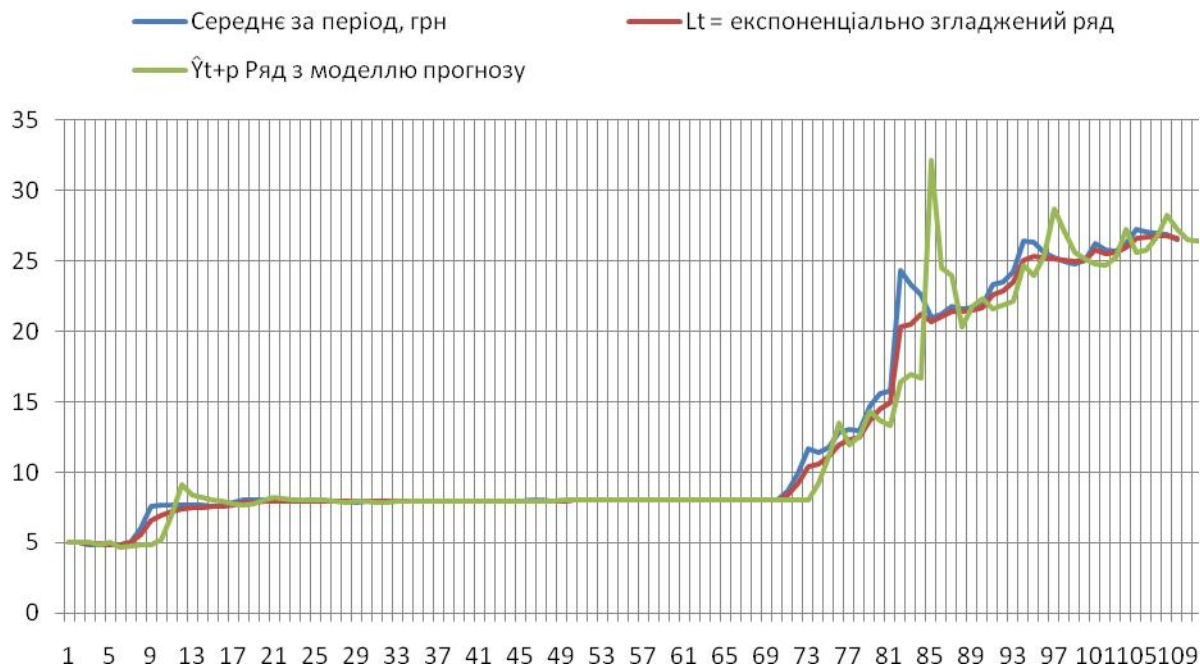


Рис. 7. Графік прогнозування

Інформаційна технологія для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями є універсальною та дозволяє адаптувати процес планування прогнозу фінансових часових рядів до рівня сформованості початкового ряду, на відміну від досліджених методів.

У якості параметрів досліджуються оцінки експертів щодо ефективності та параметри наведені у табл. 4. Далі на основі отриманих даних проводиться математичний аналіз та здійснюється побудова діаграм та графіків для детального розуміння ефективності розробки.

У табл. 4 показано параметри звернень, що надходять до системи аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями, їх опис та можливі значення.

Таблиця 4. Параметри звернень

Параметр	Опис	Можливі значення
E_{ϕ}	ефективність	5-надвисока, ..., 0-низька
I_{Π}	інноваційність	1- інновація, 0-стандарт
O_{δ}	обсяги даних на прогнозування	10-макс, ..., 0-мінім.
K_{δ}	категорії даних	1,2,3...n - категорія
Π_{δ}	пріоритет	1,2,3...n - пріоритет
$R_{\text{кін}}$	кінцевий рівень вирішення	1,2,3,4 - рівні
$C_{\text{звер}}$	стан	0-відкритий, 1-закритий
K	коефіцієнт якості прогнозу	5-надвисокий, ..., 0-низький
$O_{\text{клієн}}$	оцінка клієнта	0,1,2,3,4,5

Далі складемо таблицю значень отриманих при дослідженні розробленої системи та аналогів, що прийняті до розгляду (табл. 5) та здійснюємо аналіз отриманих даних.

Метод Вінтерса використовується для прогнозування часових рядів, коли в структурі даних є сформований тренд і сезонність (рис. 8).

На основі проведеного математичного аналізу ефективності роботи інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями за допомогою лінгвістичного моделювання та без урахування останнього, системи прогнозування часових рядів на основі методів Вінтерса, Хольта та Брауна та, використовуючи шкалу Чеддока, можна зробити висновок, що найбільший вплив на ефективність мають наступні чинники.

Таблиця 5. Результати математичного аналізу

Показник	АС ПФЧР лінгвістичне моделювання		СП ЧР метод Брауна		СП ЧР метод Хольта		СП ЧР метод Вінтерса		АС ПФЧР	
	Середнє відхилення	Дисперсія	Середнє відхилення	Дисперсія	Середнє відхилення	Дисперсія	Середнє відхилення	Дисперсія	Середнє відхилення	Дисперсія
E_{ϕ}	0,84	0,81	0,48	0,24	0,48	0,24	0,54	0,49	0,36	0,29
Π_n	0,42	0,21	0,48	0,24	0,48	0,24	0,48	0,24	0,42	0,21
O_b	0,84	0,96	1,4	3,6	1,12	2,09	1,2	2,4	1,44	2,61
K_d	0,84	0,96	0,54	0,49	0,4	0,4	0,9	1,05	0,76	0,81
Π_n	2,1	5,69	1,04	1,64	1,44	2,81	1,28	2,09	1,5	2,69
$P_{кин}$	0,84	0,96	0,6	0,6	0,4	0,4	0,82	1,01	0,84	0,96
$C_{звер}$	0,42	0,21	0,48	0,24	0,42	0,21	0,5	0,25	0,42	0,21
K	0,56	0,44	0,7	0,65	0,6	0,6	0,54	0,49	0,6	0,44
$O_{клиен}$	0,32	0,16	0,72	0,64	0,9	0,89	0,72	0,64	0,32	0,16

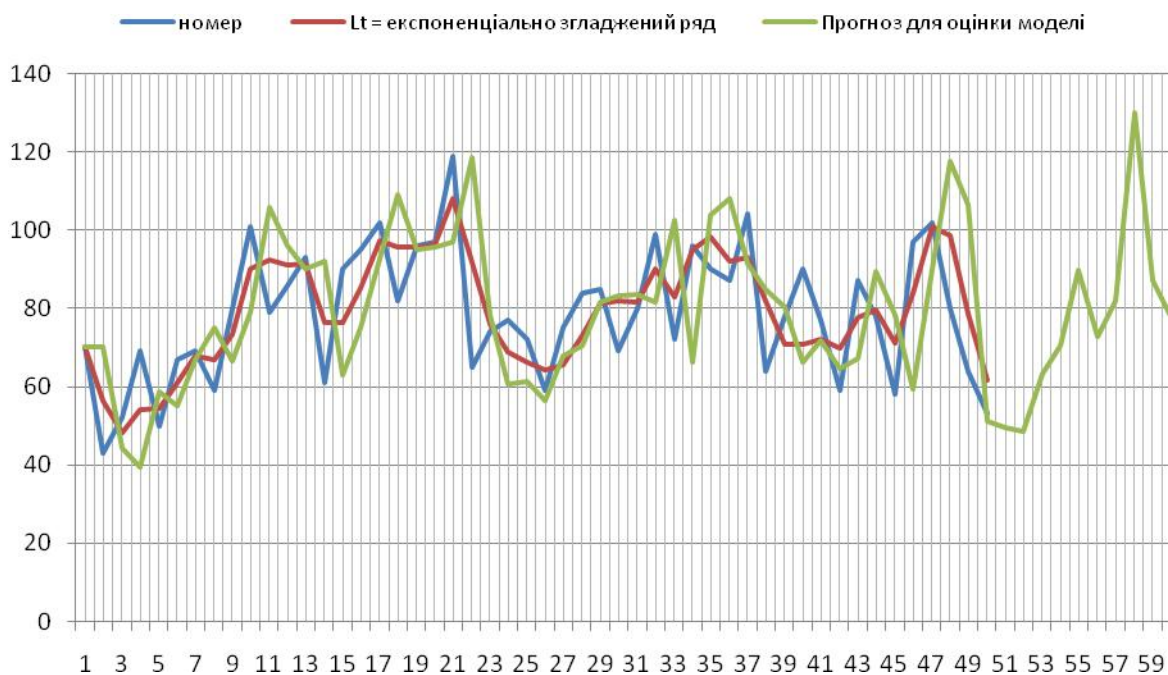


Рис. 8. Графік прогнозування

Для системи інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями за допомогою лінгвістичного моделювання:

- ефективність (E_{ϕ});
- пріоритет (Π_n);
- категорія даних (K_d);
- коефіцієнт якості прогнозування (K);
- оцінка клієнта ($O_{клиен}$).

Для системи прогнозування часових рядів на основі методу Брауна:

- ефективність (E_{ϕ});
- обсяги даних (O_{ϕ});
- категорія даних (K_{ϕ});
- кінцевий рівень вирішення ($P_{\text{кін}}$).

Для системи прогнозування часових рядів на основі методу Хольта:

- обсяги даних (O_{ϕ});
- категорія даних (K_{ϕ});
- кінцевий рівень вирішення ($P_{\text{кін}}$).

Для системи прогнозування часових рядів на основі методу Вінтерса:

- категорія даних (K_{ϕ}).

Для системи інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями:

- інноваційність (IH);
- пріоритет (PI);
- категорія даних (K_{ϕ});
- обсяги даних (O_{ϕ});
- кінцевий рівень вирішення ($P_{\text{кін}}$);
- стан ($C_{\text{звер}}$);
- коефіцієнт якості прогнозування (K);
- оцінка клієнта ($O_{\text{клієн}}$).

Далі до розгляду приймаємо дві системи, розроблену у рамках даної роботи інформаційну технологію для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями за допомогою лінгвістичного моделювання та найбільшого конкурента інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями, оскільки інші програми виявилися не конкурентоспроможними за результатами попереднього аналізу.

Проведемо графічне порівняння двох систем за основними показниками для виявлення найбільш ефективної та досконалої системи аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями (рис. 9-11).



Рис. 9. Графік ефективності систем для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями

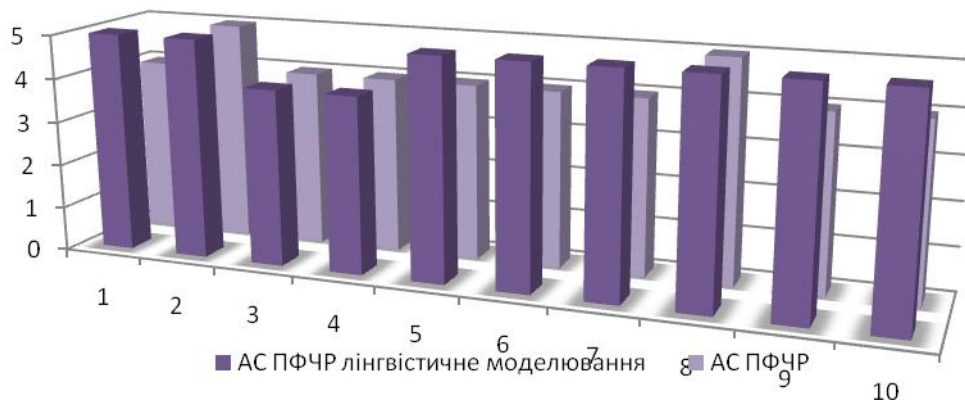


Рис. 10. Оцінка систем для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями

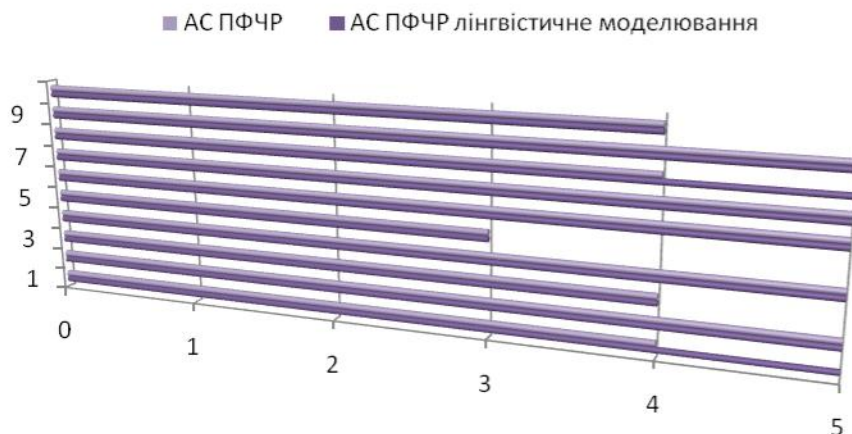


Рис. 11. Коефіцієнт якості прогнозування систем для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями

Згідно до проведеного дослідження варто відзначити, що розроблена інформаційна технологія для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями за допомогою лінгвістичного моделювання за всіма показниками перевершує своїх конкурентів/аналогів, що говорить про високу якість розробки та можливість впровадження системи в реальну роботу за потребою.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У роботі визначено ефективність інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями на основі лінгвістичного моделювання. Проведена перевірка працездатності інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями і програмних реалізацій на реальних даних підтвердила можливість забезпечення об'єктивності під час проведення прогнозування. Використання інформаційної технології для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями дозволить забезпечити високий рівень прогнозування з максимально повною реалізацією аналітичної системи. Дослідження трьох методів адаптивного типу показало, що модель Брауна працює тільки при невеликому горизонті прогнозування, тобто не враховується тренд і сезонні зміни. Інформаційна технологія для аналізу та прогнозування часових рядів з фрактальними властивостями є універсальною та дозволяє адаптувати процес планування прогнозу фінансових часових рядів до рівня сформованості початкового ряду.

1. Видмант О.С. Прогнозирование финансовых временных рядов с использованием рекуррентных нейронных сетей LSTM // Общество: политика, экономика, право, 2018. – № 5. – С.63-66.
2. Кілочичка Т.В. Генезис деяких понять нелінійної динаміки в працях вітчизняних вчених (початок ХХ ст.) // Збірник наукових праць "Вісник НТУ "ХПІ": Історія науки і техніки №10. – Вестник НТУ "ХПІ", 2013. – ISBN 2079-0074
3. Коротун С.І., Каропа Г.М. Основні поняття і категорії математичної теорії хаоса // Вісник НУВГП. Економічні науки: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП, 2012. – Вип. 3(59). – С. 99-107.
4. Ляшенко О.І., Крицун К.І. Дослідження динаміки фондового індексу ПФТС на фінансовому ринку України на різних часових вікнах з 2001 по 2016 роки // Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем. – 2016. – Вип. 21. – С. 21-34.
5. Рогоза М.Є., Рамазанов С.К., Мусаєва Е.К. Нелінійні моделі та аналіз складних систем: навч. посібник в 2 ч. – Полтава: РВВ ПУЕТ, 2011. – Ч. 1. – 300 с.
6. Мочерний С.В. Економічна теорія: навч. посіб. – К.: ВЦ «Академія», 2009. – 640 с.
7. Шапошнікова І.О. Аналіз часових рядів первинного ринку житлової нерухомості м. Києва // Економічний вісник університету, 2018. – Випуск № 36/1. – С. 140-147.
8. Трофименко І.В. Модель прогнозування показника надійності суднових агрегатів // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2018. – № 1(55). – С. 140-145.
9. Гардер С.Є., Корніль Т.Л. Фрактальний аналіз та прогнозування тенденції фінансового часового ряду // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях, 2018. – № 3 (1279). – С. 37-40.
10. Бідюк П.І., Савенков О.І., Баклан І.В. Часові ряди: моделювання і прогнозування: монографія. – К.: ЕКМО, 2003. – 144 с
11. Лопатин А.К., Черненко О.Б. Системный анализ экономических циклов Украины, России, Германии, США на фоне мирового финансового кризиса 2007 – 2009 г.г. (статистические аспекты) // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 494-500.

12. Лопатин А.К., Черненко О.Б. Статистические свойства финансового рынка Украины // Актуальные проблемы экономики. – 2006. – № 10 (64). – С. 136-149.
13. Берзлев О.Ю. Сучасний стан інформаційних систем прогнозування часових рядів // Управління розвитком складних систем. – 2013. – №1. – С. 78-82.
14. Нечипоренко А.С. Моделі, методи та інформаційні технології раннього виявлення розладнань в нестационарних квазіперіодичних процесах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 "Інформаційні технології", Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2018. – 39 с.
15. Лыков И.А., Охотников С.А. Влияние изменения функции Херста на возможности экономического прогнозирования // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10. – С. 1539–1544.
16. Матвійчук А.В. Штучний інтелект в економіці: нейронні мережі, нечітка логіка: монографія. – К.: КНЕУ, 2011. – 439 с.
17. Лук'яненко І.Г., Жук В.М. Аналіз часових рядів. Побудова Var і Vecm моделей з використанням пакета E.Views 6.0. – К.: НУКМА, 2013. – 176 с.
18. Koop G., Korobilis D. Bayesian Multivariate Time Series Methods for Empirical Macroeconomics. – Now Publishers Inc, 2010. – 94 p.
19. Vercellis Carlo. Business intelligence: data mining and optimization for decision making. – John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2009. – 417 p.
20. Pandit S.M., Wu, S.-M. Time series and system analysis with applications. – New York: Wiley, 1983. – 586 p.
21. Глотов Є.О., Попова О.М. Динаміка виробництва електроенергії в Україні та її прогнозування // Бізнес Інформ. – 2018. – №1. – С. 152–160.
22. Чайковська І.І. Застосування сучасних інформаційних технологій для моделювання економічних процесів на основі фрактального аналізу // Університетські наукові записки. – 2014. – № 1. – С. 378–387.
23. Найман Э. Расчет показателя Херста с целью выявления трендовости (персистентности) финансовых рынков и макроэкономических индикаторов // Економіст. – 2009. – № 10. – С. 25–29.
24. Дубницький В.Ю. Вибір методу прогнозування вартості цінних паперів з урахуванням фрактальної вимірності ряду спостережень // Бізнес Інформ: наук. журнал. – Харків: ХНЕУ, 2011. – № 7(1). – С. 120–121.
25. Крицун К.І. Мультифрактальний аналіз динаміки фондових індексів України: ПФТС ТА UX // Ефективна економіка. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/2_2016/38.pdf
26. Imanov K.J., Fuzzy Models of Quality Assessment of Social Systems, Lambert Academic Publishing, 2013.
27. Мандельброт Б. Фракталы, случай и финансы. – М.: Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004.
28. Ashford, Oliver M., Charnock, H., Drazin, P. G., Hunt, J. C. R. Fractals // The Collected Papers of Lewis Fry Richardson / под ред. Ashford, Oliver M. – Cambridge University Press, 1993. – Vol. 1, «Meteorology and numerical analysis». – P. 45-46. – 1016 p.
29. Старченко Н.В. Индекс фрактальности и локальный анализ хаотических временных рядов: дис. канд. физ.-мат. наук: 01.01.03: защищена 15.02.2006.
30. Atkins P.W., Beran J.A. General Chemistry, N.Y.: Scientific American Books, 1992, 922 p.
31. Кокс Д. Ф., Браун Р. В. Информация и риск в маркетинге. – М.: Финстатистформ, 1993. ISBN 5-03-003320-3
32. Сторожилова Г.І., Демчик Я.М. Вплив параметрів моделі на точність прогнозування електроспоживання на об'єктах енергоринок // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – № 3. – С. 15-21.

УДК 004.5(477)

¹Ніколіна І.І. к. н. держ. упр., ²Ніколіна І.І. к. іст. н., доцент, ³Януш М.П.

¹Вінницький торговельно-економічний інституту КНТЕУ,

²Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського

³Вінницький торговельно-економічний інституту КНТЕУ

ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ MOBILE ID В УКРАЇНІ

Ніколіна І.І., Ніколіна І.І., Януш М.П. Особливості впровадження та перспективи Mobile ID в Україні. Статтю присвячено дослідженню впровадження Mobile ID в Україні. Обґрунтовано, що Україні особливу увагу в контексті розвитку електронного врядування необхідно звернути на впровадження онлайн-сервісів та розвиток телекомунікаційної інфраструктури, що передбачає запровадження нових схем і засобів електронної ідентифікації та встановлення рівнів довіри до них. Досліджено, що технологія Mobile ID надає можливість підписувати е-документи за допомогою мобільного телефону, чим обумовлює розширення доступу до прозорих та некорупційних електронних послуг. Окреслено етапи впровадження Mobile ID в Україні. Висвітлено сучасний стан та систематизовано потенційні можливості й переваги сервісу Mobile ID.

Ключові слова: цифрові технології, Mobile ID, електронна послуга, електронний підпис, ідентифікація.

Николина И.И., Николина И.И., Януш М.П. Особенности внедрения и перспективы Mobile ID в Украине. Статья посвящена исследованию внедрения Mobile ID в Украине. Обосновано, что в Украине особое внимание в контексте развития электронного управления необходимо обратить на внедрение онлайн-сервисов и развитие телекоммуникационной инфраструктуры, предусматривающий введение новых схем и средств электронной идентификации и установления уровней доверия к ним. Доказано, что технология Mobile ID позволяет подписывать электронные документы с помощью мобильного телефона, чем обуславливает расширение доступа к прозрачным и не коррупционным электронным услугам. Определены этапы внедрения Mobile ID в Украине. Освещено современное состояние и систематизированы потенциальные возможности и преимущества сервиса Mobile ID.

Ключевые слова: цифровые технологии, Mobile ID, электронная услуга, электронная подпись, идентификация.

I.Nikolina, I.Nikolina, M.Yanush. Peculiarities of implementation and perspectives of Mobile ID in Ukraine. The article investigates the implementation of Mobile ID in Ukraine. It is substantiated that in the context of e-government being developed Ukraine should pay special attention to the implementation of online services and the development of telecommunication infrastructure which involves the introduction of new schemes and means of electronic identification and establishing levels of trust to them. It is investigated that the Mobile ID technology provides the ability to sign e-documents using a mobile phone which results in an expanded access to transparent and non-corrupt electronic services. The stages of Mobile ID implementation in Ukraine are specified. The current state is highlighted and potential opportunities and advantages of the Mobile ID service are systematized.

Key words: digital technologies, Mobile ID, electronic service, electronic signature, identification.

Постановка наукової проблеми. Сучасний світ стрімко розвивається під впливом тотальної цифровізації. Концепція розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 передбачає здійснення заходів щодо впровадження відповідних стимулів для цифровізації суспільної сфери [3].

Активне впровадження цифрових технологій в систему суспільно-політичних відносин розширили можливості громадян щодо їх громадської участі, створили умови для формування якісно нового рівня активності та соціально-політичної інклюзії, електронної партисипації.

Одним із інструментів оцінки розвитку електронного врядування країни є індекс EGDI (E-Government Development Index), що розраховується Департаментом ООН з економічних і соціальних питань (UNDESA) починаючи з 2003 р. щодо 193 країн світу [9]. Аналіз даних таблиці 1 свідчить, що Україна у 2018 р. опустилась в рейтингу на 14 позицій порівняно з 2012 р.

Порівнюючи дані країн-лідерів та країн-сусідів України в рейтингу розвитку електронного урядування [6], наголосимо, що особливу увагу нашій державі необхідно звернути на впровадження онлайн-сервісів та розвиток телекомунікаційної інфраструктури, що передбачає введення нових схем і засобів електронної ідентифікації та встановлення довіри до них.

Аналіз досліджень. Окремим аспектам електронного урядування присвячено наукові праці таких авторів, як Ч. Армстронга, Е. Войнової, Н. Грицяк, Н. Дніпренко, П. Клімушина, С. Чукут та інші, які в своїх роботах, також, зупинялися на обґрунтуванні ролі, проблем впровадження та перспектив Mobile ID в Україні.

Дослідження усіх аспектів впровадження Mobile ID, як засобу електронної ідентифікації, є перспективними, оскільки цифрові технології уможливають зростання швидкості розвитку електронного врядування, соціально-політичної інклюзії, електронної партисипації факторіально.

Таблиця 1. Рейтинг країн за значенням індексу EGDI за 2012-2018 рр.

Країна	Місце в рейтингу				Зміна позиції в 2018 р. відносно 2012 р.
	2012 р.	2014 р.	2016 р.	2018 р.	
Данія	4	16	9	1	
Австралія	12	2	2	2	
Республіка Корея	1	1	3	3	
Великобританія	3	7	1	4	
Швеція	7	14	6	5	
Туніс	103	75	72	80	
Узбекистан	91	100	80	81	
Україна	68	87	62	82	-
Сейшельські острова	84	81	86	83	

Джерело: розроблено авторами за даними [9]

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Нещодавно відбулися суттєві зрушення щодо впровадження Mobile ID в Україні, розробка засад якого розпочалася у 2015 р. під час створення документів сфери електронного урядування стратегічного рівня. Зокрема, 7 листопада 2018 р. вступив в дію закон України «Про електронні довірчі послуги», який спрямований на реформування національної нормативної бази у сфері кваліфікованого електронного цифрового підпису шляхом імплементації законодавства Європейського Союзу та реалізує право на сервіси Mobile ID [8]. В свою чергу, державне підприємство «Національні інформаційні системи» забезпечило технологічну перебудову базової інфраструктури електронного підпису країни із переведенням її на міжнародні стандарти.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є аналіз процесу впровадження Mobile ID в Україні та дослідження його перспектив у світлі останніх зрушень в цьому напрямку.

Виклад основного матеріалу. Результатом планомірної та багатосторонньої праці фахівців права, телекомунікацій, суб'єктів надання адміністративних послуг та ліцензіатів у галузі захисту інформації стало реальне функціонування системи автентифікації та електронного цифрового підпису з використанням телефона.

Система Mobile ID дозволяє за допомогою мобільного телефону провести ідентифікацію особи для доступу до електронних послуг та використовувати кваліфікований електронний підпис в системах електронного документообігу.

Mobile ID надається як послуга мобільними операторами. На SIM-карту записується цифровий підпис абонента і таким чином людина може використовувати його замість паспорта та ідентифікаційного коду. Хоча саме оформлення Mobile ID відбувається на підставі цих документів.

Впродовж 2017-2018 рр. у рамках пілотного проекту державного підприємства «Національні інформаційні системи» і компанії «Київстар» відпрацьовувано організаційні та технічні питання щодо надання послуг електронного підпису на основі платформи Mobile ID та Акредитованого центру сертифікації ключів органів юстиції України, а також інтеграції мобільного електронного

підпису із прикладними системами. В результаті співпраці було модернізовано системи захисту інформації та отримано атестати відповідності вимогам законодавства в галузі захисту інформації. При цьому було створено дієву систему, підтверджено її працездатність і безпеку обробки інформації за умови управління її складовими різними суб'єктами.

20 грудня 2018 р. компанія Київстар оголосила про офіційний запуск інструменту мобільної цифрової ідентифікації та електронного цифрового підпису. Станом на сьогодні вже відкрито 22 точки видачі сертифікатів від АЦСК органів юстиції та SIM-карт Mobile ID у містах України.

Відзначимо, що компанія «Vodafone Україна» запустила лінійку послуг на базі технології Mobile ID в серпня 2018 р., але тільки для своїх бізнес-клієнтів, відповідні SIM-картки можна отримати тільки в Київському офісі Vodafone. Мобільний оператор «Lifecell» з осені 2018 р. тестує технологію Mobile ID всередині компанії.

Саме технологія Mobile ID та можливість підписувати е-документи за допомогою мобільного телефону надають доступ до прозорих та некорупційних електронних послуг. Потенційні можливості та переваги сервісу Mobile ID систематизовано на рис. 1, за допомогою цієї технології можна навіть голосувати в майбутньому на виборах.

Значною перевагою Mobile ID є те, що процес активації послуги справді дуже простий та швидкий. Для підключення сервісу абонент повинен замінити SIM-картку на нову, яка додатково забезпечує підтримку функції підвищеного захисту інформації при електронній ідентифікації користувача.

Кожен оператор самостійно визначатиме підхід і модель монетизації цієї послуги. У всьому світі поширені два підходи. Перший, коли оператор вводить додаткову щомісячну абонплату за використання Mobile ID. Другий, коли плата стягується за кожну транзакцію, тобто підпис одного документа коштує певну дуже незначну суму.

На жаль, процес впровадження Mobile ID в державних та інших структурах не є простим, адже кожна організація має свої власні інтерфейси до цифрових систем ідентифікації. Наприклад, Державна податкова служба вже адаптувала свої системи фіскальної звітності до електронного цифрового підпису, а от Mobile ID вони зараз ще не підтримують. Тобто, абоненти з Mobile ID не можуть застосовувати цей засіб для тих самих цифрових послуг, що й власники електронного цифрового підпису.

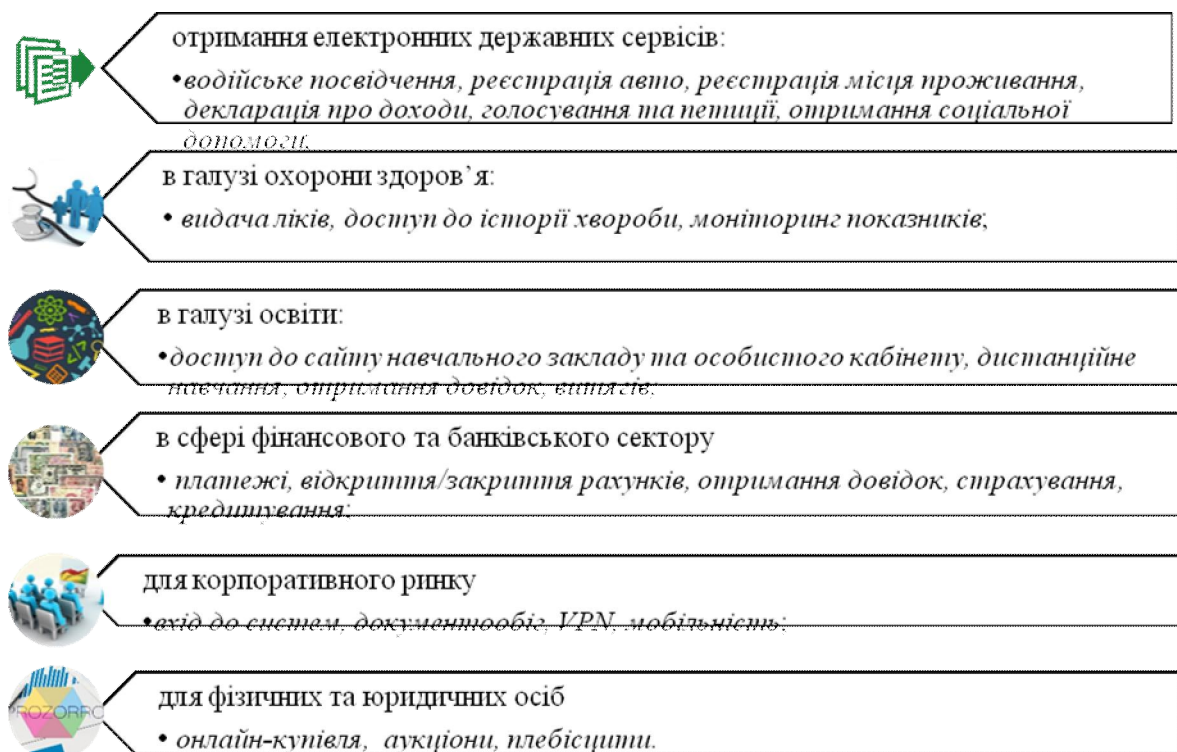


Рис. 1. Потенційні можливості та переваги сервісу Mobile ID

Джерело: розроблено авторами

Ключовий аспект впровадження Mobile ID – безпека особистих даних. Незважаючи на те, що частина експертів обережно оцінюють новачку, міжнародний досвід свідчить на користь сервісу. Він успішно функціонує в більшості країн Європейського Союзу, а також в Молдові, Азербайджані та Казахстані.

Технології «мобільного уряду» мають широку сферу застосування. Так, наприклад, за допомогою мобільного телефону у Норвегії можна сплачувати податки, в Бахреїні, ОАЄ, Філіппінах – здійснювати платежі за надання послуг, в Естонії, Китаї, Марокко та Кенії – спостерігати за ходом виборів та голосувати. У США, Туреччині та Франції мобільні технології використовуються для координації діяльності екстрених служб. В Малайзії, Уганді, Індії, Китаї створено мобільний сервіс для фермерів для інформування про події на ринку та попередження про несприятливі погодні умови [1].

У низці країн світу технології «мобільного уряду» успішно застосовуються у сфері цивільного захисту і охорони правопорядку. Наприклад, в Японії мобільні сервіси використовують для попередження громадян про надзвичайні ситуації природного характеру та надання інструкцій, як діяти у такому випадку. У Великій Британії при загрозі повені населення повідомляють не лише через ЗМІ та розсилку електронною поштою, але й через СМС [10].

Мешканці Лондона отримують СМС повідомлення від поліції у разі виникнення загрози терористичних актів. У Німеччині поліція розсилає СМС повідомлення водіям такси та громадського транспорту із даними осіб, які знаходяться в розшуку. В Манілі поліція повідомляє громадян через СМС про зростання рівня злочинності в тому чи іншому районі міста. Мешканці міста також мають можливість за допомогою СМС повідомити поліцію про підозрілих осіб [10].

Значний потенціал має використання мобільних сервісів у галузі охорони здоров'я, освіти, при реалізації різного роду соціальних ініціатив. В Швеції медичний персонал лікарень отримує інформацію про пацієнта через мобільні телефони. Уряди низки країн світу запровадили та успішно реалізують ініціативи з надання мобільних сервісів громадянам у галузі охорони здоров'я матері і дитини. Так, наприклад, в Гані вагітні жінки отримують необхідну інформацію за допомогою СМС повідомлень [5].

Мобільний зв'язок використовується для надання послуг людям із обмеженими можливостями. Наприклад, влада Сінгапуру запровадила СМС сервіс для людей з вадами слуху та мовлення, щоб вони могли скористатись послугами екстрених та аварійних служб. Подібний сервіс для людей з вадами слуху також запроваджений у Великій Британії та Нідерландах [6].

Технології «мобільного уряду» широко застосовуються й для налагодження зворотного зв'язку із громадянами. Так, місцева влада Амману з метою покращення комунікації із мешканцями міста та підвищення якості та ефективності надання їм послуг, запровадила портал СМС послуг, який згодом став найчастіше використовуваним засобом комунікації між громадянами та владою [10]. Комунікація через портал відбувається в обох напрямках: органи влади інформують громадян за допомогою СМС повідомлень (наприклад, розсилають повідомлення в рамках інформаційно-просвітницьких кампаній, або нагадують про щось); громадяни надсилають СМС повідомлення-запити в органи влади, на які, в свою чергу, отримують відповідь від відомств, до сфери компетенції яких належить предмет запиту. Зазначимо, що технології мобільного зв'язку також можуть бути використані для здійснення електронної ідентифікації при наданні електронних послуг.

Технологія мобільної ідентифікації користувача Mobile ID дозволяє абоненту використовувати свій мобільний телефон як засіб електронної ідентифікації, отримувати доступ до захищених електронних документів і ставити на них свій електронний підпис. Така технологія впроваджена і успішно працює у 20 країнах світу, більшість з яких становлять країни ЄС. У багатьох з них мобільна ідентифікація використовується як додатковий спосіб електронної ідентифікації при наданні електронних послуг [4].

Технологія мобільної ідентифікації робить процедуру електронної ідентифікації гнучкою, простішою та зручнішою для користувача, надаючи значні можливості для розвитку та покращення якості надання державних електронних послуг, а також стимулюючи попит на користування електронними сервісами з боку населення та бізнесу.

Проте, на сьогоднішній день потенціал «мобільного уряду» в Україні використовується не достатньо. Моніторинг більшості офіційних веб-сайтів органів виконавчої влади показав відсутність мобільної версії їх веб-сайтів. Мобільні додатки наявні лише на веб-сайтах Міністерства внутрішніх справ України, Міністерства екології та природних ресурсів України, Дніпропетровської обласної державної адміністрації та Київської міської державної адміністрації.

Згідно результатів громадського моніторингу, мобільна версія веб-сайту наявна лише на 3 % веб-сайтів органів місцевого самоврядування, СМС повідомлення при наданні послуг використовується ними вкрай рідко [7]. Останнім часом на місцевому рівні було реалізовано низку пілотних проектів із розвитку електронних адміністративних послуг, в рамках яких було запроваджено мобільні сервіси для споживачів адміністративних послуг. Так, наприклад, в рамках реалізації пілотного проекту «Регіональний віртуальний офіс надання електронних адміністративних послуг» Дніпропетровської області було запроваджено послугу інформування заявників про результати розгляду справи через СМС повідомлення.

Висновки і пропозиції. Результати дослідження доводять, що в Україні особливу увагу в контексті розвитку електронного врядування необхідно звернути на впровадження онлайн-сервісів та розвиток телекомунікаційної інфраструктури. Оскільки технологія Mobile ID надає можливість підписувати е-документи за допомогою мобільного телефону, то це сприяє розширенню доступу до прозорих та некорупційних електронних послуг. Систематизовані потенційні можливості й переваги сервісу Mobile ID засвідчують перспективність даної цифрової технології, яка уможливує зростання швидкості розвитку електронного врядування, соціально-політичної інклюзії, електронної партисипації.

Враховуючи європейський та світовий досвід, ми маємо пройти досить тривалий шлях запровадження всіх елементів державних електронних сервісів. Але альтернативного шляху у держави, яка не хоче відстати у розвитку назавжди – немає.

Перспективним напрямом дослідження цієї проблеми стане розробка методології оцінювання впровадження розвитку онлайн-сервісів з використанням Mobile ID.

1. Від електронного уряду до мобільного: старт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.cnews.ru/reviews/new/mobilnye_prilozheniya_dlya_biznesa_2013/articles/ot_elektronnogo_pravitelstva_k_mobilnomu_start_dan. – Назва з екрана.
2. Досвід взаємодії державних органів країн світу з інститутами громадського суспільства, залучення громадськості до формування та реалізації державної політики, протидії корупції, забезпечення електронного урядування. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ogp.gov.ua/sites/default/files/library/Dosvid_OGP-MFA.pdf. – Назва з екрана.
3. Концепція розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-%D1%80>. – Назва з екрана.
4. Національна стратегія електронної ідентифікації України. Біла книга з електронного урядування. Проект. 10.03.2015. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dknii.gov.ua/sites/default/files/wb_eid_20_03_0.pdf. – Назва з екрана.
5. Недбай В.В. Технології електронного (E-government) мобільного (M-government) уряду у взаємодії держави та суспільства / В.В. Недбай // Держава і право. – 2009. – Вип. 44. – С. 673-678. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/10399/114-Nedbay.pdf?sequence=1>. – Назва з екрана.
6. Ніколіна І.І. Оцінювання розвитку електронного урядування в Україні / І.І.Ніколіна, Л.В. Капніна // Naukowy i innowacyjny potencjał prezentacji: kolekcja prac naukowych «ЛЮГОІ» z materiałami Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, Opole, 18 listopada 2018 r. Równe : «Volynsky Oberegi» Publishing House, 2018. Tom 6. S. 118-122.
7. Панацея от всех бед: что такое e-government и что оно нам всем даст. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://gadget.com/17024-panatseya-ot-vseh-bed-cto-takoe-e-government-i-cto-ono-nam-vsem-dast/>. – Назва з екрана.
8. Про електронні довірчі послуги: Закон України від 05.10.2017. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2155-19>. – Назва з екрана.
9. United Nations E-Government Survey. URL : <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us> (дата звернення: 01.03.2018).
10. United Nations E-government Survey 2014 E-Government for the Future We Want, United Nations, New York, 2014, United Nations Public Administration Country Studies United Nations [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://unpan3.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2014-Survey/E-Gov_Complete_Survey-2014.pdf. – Назва з екрана.

УДК 004.932

Поляченко Артур Ігорович,
аспірант Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ПОШУК КОНТУРІВ ОБЛАСТЕЙ ІЗ ПЕВНОЮ ПАТОЛОГІЧНОЮ СТРУКТУРОЮ НА МРТ ЗНІМКАХ

Поляченко А. І. Пошук контурів областей із певною патологічною структурою на МРТ знімках. У статті розглянуто та запропоновано методи та моделі пошуку контурів областей із певною патологічною структурою на МРТ знімках. Для розв'язку проблеми локалізації аномальних тканинних утворень на МРТ знімках можуть бути використані коефіцієнти просторової автокореляції на базі локального та глобального індексів Морана. Для пошуку контурів областей із певною патологічною структурою на МРТ знімках запропоновано використання згорткових нейронних мереж.

Ключові слова: пошук, локалізація, МРТ, автокореляція, згорткові нейронні мережі, патологічна структура.

Поляченко А. И. Поиск контуров областей с определенной патологической структурой на МРТ снимках. В статье рассмотрены и предложены методы и модели поиска контуров областей с определенной патологической структурой на МРТ снимках. Для решения проблемы локализации аномальных тканевых образований на МРТ снимках могут быть использованы коэффициенты пространственной автокорреляции на базе локального и глобального индексов Морана. Для поиска контуров областей с определенной патологической структурой на МРТ снимках предложено использование сверточных нейронных сетей.

Ключевые слова: поиск, локализация, МРТ, автокорреляция, сверточные нейронные сети, патологическая структура.

Poliachenko A. I. Search for the contours of areas with a specific pathological structure on MRI images. The article reviews and suggests methods and models for searching the outlines of areas with a specific pathological structure on MRI images. To solve the problem of the localization of abnormal tissue formations on MRI images, spatial autocorrelation coefficients based on local and global Moran indices can be used. The use of convolutional neural networks has been proposed to search for contours of areas with a specific pathological structure on MRI images.

Keywords: search, localization, MRI, autocorrelation, convolutional neural networks, pathological structure.

Постановка наукової проблеми. Успіхи сучасної медицини суттєво залежать від досягнень у сфері медичного приладобудування та розвитку медичного програмного забезпечення. Однією з найважливіших задач, що постає перед лікарями, є визначення точних меж пухлин та інших аномальних утворень у тканинах організму людини. Для обстеження пацієнта, як правило, використовуються методи комп'ютерної та магнітно-резонансної томографії (КТ та МРТ відповідно). Обидва методи дозволяють проводити пошарове вивчення внутрішньої будови органічних структур без їх фізичного пошкодження (якщо не розглядати можливі побічні ефекти у результаті опромінення чи тривалого знаходження у потужному магнітному полі).

У світі сьогодні існує значна кількість алгоритмів для кластеризації медичних зображень, які можна розділити на структурні та статистичні. Структурні методи базуються на просторових властивостях зображень і є чутливими до артефактів та шуму, що негативно відображається на їх застосовності. Також вони є залежними від чіткості границь між областями на зображенні та обраного початкового наближення. З іншого боку, статистичні методи розглядають зображення як деякий розподіл випадкової величини інтенсивності кольору пікселів. Проблема полягає у тому, що основною характеристикою ураженої тканини є її внутрішня структура. Іншими словами, густина ураженої та неуразеної тканини може бути дуже схожою. Як наслідок, відповідні області на КТ чи МРТ знімку будуть досить подібними і аналіз значень інтенсивності не зможе надати потрібної інформації. Існуючі алгоритми концентруються на виявленні контрастних переходів у зображенні як основний засіб кластеризації.

Застосування методів просторової статистики вперше відбулося в 40-х роках ХХ століття такими вченими як П. Моран [1, 16] і Р. Джири [1, 9]. Практично до 70-х років ХХ століття дані методи просторової статистики не мали розвитку.

Ученими А. Кліффом і Дж. Ордом у 1973 році була опублікована робота [6], яка присвячена просторовій залежності (автокореляції) в просторових даних. Поряд з тим, Ж. Палінк вперше вводить термін «просторова економетрика» [17], як новий напрямок науки про просторову автокореляцію та асиметрію в просторових зв'язках. Подальший розвиток методів просторової статистики супроводжується розробками статистичних тестів для оцінки просторових регресивних моделей.

Потужним поштовхом на початку 1990-х років для застосування і розвитку методів просторової статистики стала поява комп'ютерних технологій і мережі Інтернет, а також загальний розвиток

прикладних наук. У зв'язку з цим з'являються нові області для застосування методів просторової статистики. Книга [3] була однією з перших фундаментальних робіт того часу. Автор даної книги [3] визначає просторову економетрику як набір методів для роботи з особливостями просторових даних в статистичному аналізі та робить введення поняття просторових ефектів, що мають безпосереднє відношення до просторової залежності (автокореляції) і гетерогенності (неоднорідності) даних. Як правило, на практиці побачити просторову автокореляцію і неоднорідність не так вже й просто. Потрібно відзначити, що сучасна література про методи просторової статистики присвячена в основному різним тестам на просторову автокореляцію. На даний момент розроблено безліч тестів для виявлення просторової автокореляції, такі як статистики Морана, Джири, Вальда, тест Гетіса і Орда тощо.

Для пошуку контурів областей із певною патологічною структурою на МРТ знімках необхідно проаналізувати методи і моделі аналізу просторових даних і запропонувати нове рішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У даний час просторовий статистичний аналіз спирається на наявність просторових взаємозв'язків між досліджуваними об'єктами (зображеннями). Для визначення таких зв'язків задаються матриці просторових ваг, що формалізують допущення, що даний об'єкт (зображення) має зв'язок з найближчими сусідніми об'єктами (зображеннями) [21].

Надалі в роботі буде використовуватися слово зображення, позначаючи при цьому також і окрему частину цього зображення. Через відсутність жорстких правил визначення не тільки просторових ваг, а й кола сусідніх об'єктів (зображень), існує безліч різних метрик в просторі. При цьому, як вибір сусідніх об'єктів (зображень) так і визначення просторових ваг не обмежується тільки граничним розташуванням. Широкого застосування знайшла зміна інтенсивності зображень сусідніх об'єктів (зображень).

Для отримання гарних асимптотичних властивостей оцінок, матриця просторових ваг повинна при цьому відповідати умовам постійності, тобто мати обмеження на просторові ваги і їх суму.

Існують наступні види матриць просторових ваг [3, 8]:

- матриця граничних сусідів;
- матриця найближчих сусідів;
- матриця відстаней;
- матриця відстаней, з урахуванням розміру зображення.

Матриці просторових ваг повинні бути квадратними. При цьому головна діагональ матриці складається з нулів. Таким чином, виключається вплив об'єкта (зображення чи його частини) самого на себе. Рядки матриці містять ваги, з якими сусідні об'єкти впливають на даний об'єкт. Найчастіше, вагова матриця нормалізується за рядками (сума ваг за кожним рядком матриці дорівнює одиниці). Така нормалізація дозволяє звертати матриці в статистичних пакетах і враховувати відносні, а не абсолютні відстані між об'єктами (зображеннями або їх частинами) в разі використання матриці відстаней.

Бінарна матриця граничних сусідів (contiguity matrix) [2, 4] є одним з найбільш простих способів обліку просторових взаємозв'язків:

$$W_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } i = j, \\ 1, & \text{якщо } j \text{ межує з } i, \\ 0, & \text{не межує,} \end{cases} \quad (1)$$

в якій вказується, що на об'єкт (зображення) впливають тільки ті сусіди, які межують з ним.

Необхідно відзначити, що через бінарність матриці при нормалізації за рядками можна прийти до того, що для досліджуваної частини зображення вплив сусідніх частин зображень враховується з одними і тими ж вагами. У зв'язку з цим таку матрицю краще використовувати, коли розглядаються частини зображень, які є однорідними за площею. У цьому випадку площа зображення буде мати рівномірне розподілення для частин зображення. Тоді використання таких ваг може бути обгрунтованим.

Більш повно розташування сусідніх зображень може бути описано за допомогою бінарної матриці найближчих сусідів, в якій близькість між об'єктами врахована в такий спосіб:

$$W_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } i = j, \\ 1, & \text{якщо } d_{ij} \leq d_i(k), \\ 0, & \text{якщо } d_{ij} > d_i(k), \end{cases} \quad (2)$$

де d_{ij} – відстані між об'єктами (центрами зображень);

$d_i(k)$ – мінімальна відстань k -го порядку між об'єктами i та j .

У цьому випадку число сусідів для кожного об'єкта дорівнюватиме k . Основна ідея цього методу полягає в тому, щоб розрахувати відстані від досліджуваного об'єкта до всіх інших частин. Потім необхідно взяти k мінімальних відстаней і якраз k -а відстань для досліджуваного об'єкта буде тією межею, за якою взаємодія не враховується.

Ще точніше близькість об'єктів можна врахувати за допомогою стандартної матриці відстаней (distance matrix), просторові ваги якої розраховуються наступним чином:

$$W_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } i = j, \\ 1/d_{ij}^\gamma, & \text{якщо } d_{ij} \leq D(q), \\ 0, & \text{якщо } d_{ij} > D(q), \end{cases} \quad (3)$$

де $D(q)$ – квантілі відстаней, $q = 1..4$. У більшості випадків, показник ступеня γ в (3) береться рівним двом. Тоді можна отримати аналог гравітаційної моделі: тяжіння об'єктів обернено пропорційно квадрату відстані між ними. Відповідно, чим далі розташовуються частини зображень одна від одного, тим менше вони взаємодіють. Коли q :

$$W_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } i = j, \\ A_j/d_{ij}^\gamma, & \text{якщо } d_{ij} \leq D(q), \\ 0, & \text{якщо } d_{ij} > D(q), \end{cases} \quad (4)$$

де A_j – показник, що відображає вагомість або інтенсивність (або яскравість) сусідньої частини зображення j . Даний підхід дозволяє врахувати додатковий параметр, що характеризує кожну частину зображень.

У дослідженнях [9-12] були виявлені просторові викиди (області, у яких є значні відмінності в значеннях щодо їхніх сусідів). Для обчислення такої неоднорідності використовувалася локальна просторова статистична середня:

$$G_i = \sum_{j=1}^n \omega_{ij} \xi_{ij} \quad (5)$$

де G_i – мірою розташування частини зображення i , що визначена за ваговою матрицею з елементами ω_{ij} і ξ_{ij} , що показує взаємодію між значеннями атрибутів в їх місцях розташування i і j .

Ця статистична величина буде вимірювати ступінь просторових взаємодій різних показників в межах вказаної відстані даного місця розташування частини зображення. Таким чином, локальна просторова середня є корисним аналітичним інструментом для того, щоб ідентифікувати просторові тенденції певних зображень.

Підсумовуючи, необхідно відзначити, що матриця просторових ваг є формалізацією припущення про взаємні зв'язки частин зображення. При цьому сусідні частини зображення, як правило, більше пов'язані одна з одною, ніж розташовані на значній відстані. В усіх методах просторової статистики, основою яких є просторова авторегресія, закладено обчислення залежностей для відповідного дослідження зображення від усіх інших його частин. Для обчислення таких залежностей між частинами зображення необхідна побудова просторової матриці ваг.

Просторова автокореляція схожа на коефіцієнт автокореляції, що використовується при аналізі часових рядів [18-21]. На відміну від часових рядів, де спостерігаються показники впорядковані в часі, просторова автокореляція проводить оцінку ступеня взаємозв'язку між досліджуваними показниками, які впорядковані в просторі. При цьому позитивній просторовій автокореляції відповідає утворення кластерів в просторі спостережень з близькими показниками. У разі негативної просторової автокореляції поруч будуть групуватися об'єкти, що володіють несхожими характеристиками. Існує безліч тестів для перевірки просторової автокореляції. Однак більшість з них не надає повноти інформації про характер структурованості деякої ознаки, а лише служать для перевірки гіпотези, що близько розташовані частини зображення більш схожі за певною ознакою, а більш віддалені – менш схожі. У разі складної структури, коли переходи між сусідніми ділянками зображення мають «нелінійний» характер (знов утворена пухлина), більш точну картину можна отримати, використовуючи показники просторової автокореляції (Spatial autocorrelation), такі як, коефіцієнт I – Морана або C – Джири.

Показник I загальної просторової автокореляції (статистика Морана) [3, 15] розраховується наступним чином:

$$I = \frac{n \sum_i^n \sum_j^n \omega_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{S_0 \sum_i^n (X_i - \bar{X})^2}, \quad (6)$$

де X – досліджувана ознака;

$S_0 = \sum_i^n \sum_j^n \omega_{ij}$ – сума ваг просторової матриці W .

Якщо позначити відхилення ознаки від середнього значення \bar{X} як $Z = X - \bar{X}$, то останній вираз можна записати в наступній матричній формі:

$$I = \frac{n Z' W Z}{S_0 Z' Z}. \quad (7)$$

Коефіцієнт просторової автокореляції Морана I являє собою ступінь лінійного зв'язку між вектором Z нормованих значень показника X і вектором WZ просторово зважених середнього показника \bar{X} сусідніх частин зображення, який називається просторовим лагом (Spatially lagged vector). Статистика I , більшого математичного очікування відповідає позитивній $E(I) = -1/(n-1)$ просторовій автокореляції (кластеризація). Таким чином, великим значенням зважених середнього показника \bar{X} сусідніх частин зображення відповідають великі значення X кожної з частин зображення. Відповідно, статистика I , меншого математичного очікування, характеризується присутністю негативної просторової автокореляції. При цьому індекс Морана знаходиться в межах $-1 \leq I \leq 1$:

- якщо ж $I = 0$, то просторова кореляція відсутня;
- при $-1 \leq I < 0$ – присутня негативна просторова кореляція;
- при $0 < I \leq 1$ – присутня позитивна просторова кореляція.

Результати аналізу інтерпретуються в контексті нульової гіпотези, яка містить те, що досліджувані показники розподілені випадково між частинами зображень, іншими словами просторові процеси, які створили спостережувану структуру значень, носять випадковий характер. Для визначення можливості відхилення нульової гіпотези обчислюються p -значення і Z -оцінка. P -значення є імовірністю того, що досліджувані просторові закономірності були створені випадковим процесом. Чим менше p -значення, тим менше імовірність випадкового характеру розподілу явища. Z -оцінка є стандартним відхиленням. Значення Z -оцінки, що знаходяться в межах $-1,96 \dots +1,96$, являють собою очікуваний результат і свідчать про випадковий характер поширення явища.

Для зображення можна використати двовимірний простір значень інтенсивності з евклідовою відстанню в якості просторової ваги (рис. 1), з глобальним індексом Морана $I = -1$.

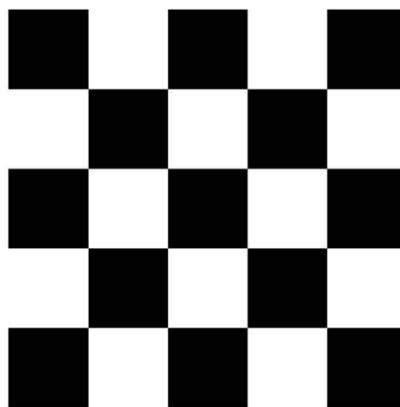


Рис. 1. Двовимірний простір значень інтенсивності з евклідовою відстанню в якості просторової ваги (Global Moran's $I = -1$)

Міра просторової автокореляції (статистика Джири C) вводиться наступним чином:

$$C = \frac{(n-1) \sum_i^n \sum_j^n \omega_{ij} (X_i - X_j)^2}{2S_0 \sum_i^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (8)$$

де X – досліджувана ознака;

$S_0 = \sum_i^n \sum_j^n \omega_{ij}$ – сума ваг просторової матриці W .

Індекс Джири лежить в межах $0 \leq C \leq 2$:

- якщо $C = 1$, то просторова кореляція відсутня;
- при $1 < C \leq 2$, то присутня негативна просторова кореляція;
- при $0 \leq C < 1$, то присутня позитивна просторова кореляція.

Статистики Джири і Морана пов'язані, але не є ідентичними. Індекс Морана I є показником глобальної просторової автокореляції, в той час як міра Джири C є більш чутливою до локальної просторової автокореляції [2, 9].

Важливим етапом аналізу отриманих даних є побудова просторової діаграми розсіювання Морана. По осі абсцис відкладаються стандартизовані z -значення досліджуваного показника, а по осі ординат – значення просторового фактора Wz . На діаграмі відображається лінія регресії Wz на z , нахил якої дорівнює коефіцієнту загальної просторової автокореляції I при стандартизованій матриці ваг [20].

Коефіцієнт просторової автокореляції показує ступінь лінійного взаємозв'язку між вектором z зосереджених значень досліджуваного показника і вектором Wz просторово зважених зосереджених значень досліджуваного показника в сусідніх частинах зображення, який називається просторовим лагом (Spatially lagged vector) [20].

Просторова діаграма розсіювання (Moran Scatter Plot) дозволяє наочно візуалізувати розкид значень досліджуваного показника щодо просторового лага.

Для прикладу, на рис. 2 показано, що на осі абсцис відкладаються значення вектора z , а на осі ординат – значення вектора Wz . Також на діаграмі наноситься лінія регресії Wz на z , кут нахилу якої відповідає індексу Морана I [14]. Діаграма розсіювання ділиться на чотири квадранта: High-High (HH), High-Low (HL), Low-High (LH), Low-Low (LL) (рис. 2).

Квадранти відповідають певним видам розташування:

- лівий верхній квадрант діаграми (LH) характеризується угрупованням частин зображень з низьким значенням досліджуваного показника в оточенні частин зображень з високим значенням показника;
- правий верхній (HH) – частини зображень з високим значенням досліджуваного показника знаходяться в оточенні частин зображень з високими значеннями досліджуваного показника;
- лівий нижній (LL) – частини зображень з низьким значенням досліджуваного показника оточені частинами зображень з низькими значеннями показника;
- правий нижній (HL) – частини зображень з високим значенням досліджуваного показника, оточені частинами зображень з низьким значенням показника.

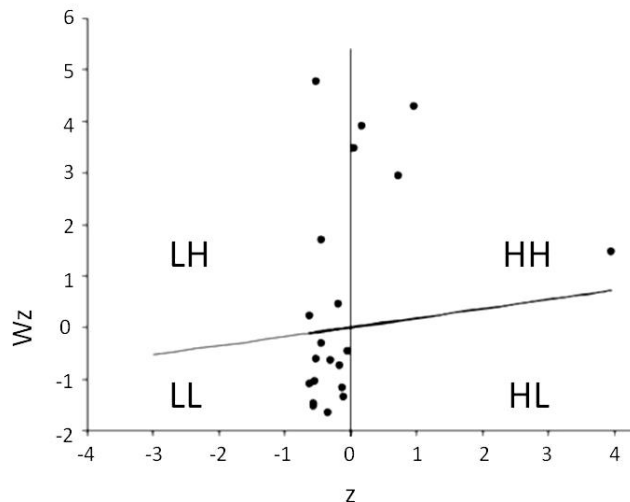


Рис. 2. Приклад просторової діаграми розсіювання (Global Moran's $I = 0,179$)

Квадранту LH і HL відповідає негативна просторова автокореляція, що свідчить про кластеризацію розрізаних значень досліджуваного показника.

Квадрантам LL і HH відповідає позитивна просторова автокореляція, яка свідчить про угруповання частин зображень з близькими значеннями досліджуваного показника. По суті, просторова діаграма розсіювання дозволяє визначити нетипові частини зображення, що відносяться до квадрантів LH і HL.

Для перевірки гіпотези про існування просторової кореляції може бути розрахована статистика Морана I або статистика Джири C .

Визначення просторової кореляції, що включає підрахунок коефіцієнта загальної просторової автокореляції і побудова діаграми розсіювання, є першим кроком в аналізі просторових даних. Індекс Морана I вказує на те, що значення досліджуваної змінної X просторово кластеризовані більшою мірою, на відміну від випадкового розподілу, але не пояснює які причини такого явища. Тому наступним етапом аналізу є перевірка гіпотез про характер просторових взаємодій.

Локальний індекс Морана (LISA – Local Index Spatial Autocorrelation) розраховується за формулою [5, 13]:

$$I_{Li} = n \frac{(X_i - \bar{X}) \sum_j \omega_{ij} (X_j - \bar{X})}{\sum_j (X_j - \bar{X})^2}, \quad (9)$$

При $I_{Li} < 0$ присутня негативна автокореляція для частин зображення i , тобто дана частина зображення за даним значенням істотно відрізняється від сусідніх частин зображення (outlier).

При $I_{Li} > 0$ присутня позитивна автокореляція, тобто досліджувана частина зображення за даним значенням подібна сусіднім частинам зображення (cluster).

При $|I_{Li}| > |I_{Lj}|$ – подібність або відмінність частини зображення i з оточуючими її сусідніми частинами зображення є великою, ніж в порівнянні з сусідніми частинами зображення j .

Матричні методи розрахунку складових локального індексу Морана. У процесі дослідження характеристик взаємовпливу досліджуваної частини зображення і всіх ближніх або далеких її частин можливо вести пошук для:

- будь-якої частини зображення окремо;
- сукупності частин зображення, що об'єднані за одним критерієм;
- сукупності частин зображення, що об'єднані відразу за кількома критеріями.

Вихідною посилкою такого твердження є аналіз математичних дій, виконуваних при визначенні локального індексу Морана. Результатом одного з дій є матриця складових локального індексу Морана по кожній частині зображення. При цьому важливо, що в ній вже враховано ефект автокореляції. Можна вважати, що зазначені складові виступають не тільки в якості проміжних результатів, але можуть бути рівноцінно використані з метою поглибленого аналізу взаємозв'язків за кожною частиною зображення.

Отже, крім глобального і локального індексів Морана, можливо виявити складові локального індексу за кожною частиною зображення, тобто охарактеризувати силу взаємовпливу частини зображення по відношенню до інших частин зображення.

Окрім того, слід зазначити, що сума складових по кожній частині зображення є не що інше, як сам локальний індекс Морана, а сума всіх локальних індексів Морана становить глобальний індекс Морана. Таким чином, локальний індекс Морана можна визначити двома способами:

- за формулою (9);
- у якості проміжної дії при розрахунку глобального індексу I Морана:

$$I_{Li} = z_i \sum_j W_{ij} z_j, \quad (10)$$

де I_{Li} – локальний індекс Морана для конкретної частини зображення i .

Через локальний індекс Морана I_{Li} досліджуваних частин зображення можна визначити глобальний індекс I Морана за наступною формулою:

$$I = \sum_i I_{Li}. \quad (11)$$

Просторові регресивні моделі є потужним інструментом, що дозволяє при обліку фактора розташування зображення оцінювати різні характеристики його частин, наприклад, віддаленість від локального чи досліджуваного центру відповідної частини зображення, інтенсивність чи яскравість тощо.

При побудові просторових регресійних моделей доводиться стикатися з проблемою наявності просторових залежностей серед збурюючих факторів. У зв'язку з цим класичний МНК стає неефективним, оскільки призводить до зміщення оцінок дисперсії залишків, завищеною величиною R^2 і, як наслідок, неспроможними статистичними висновками. Також присутність просторової кореляції в залишках спотворює властивості тестів при перевірці значимості включених у модель змінних і діагностики залишків. Щоб уникнути таких особливостей просторових моделей, при їх побудові необхідно застосовувати ефективні тести перевірки на наявність просторової автокореляції в залишках. Якщо останнє підтверджується, то необхідно застосовувати відповідні методи оцінювання та специфікації моделі, які дозволять нейтралізувати негативний ефект від просторових кореляцій. Як правило, при аналізі просторових даних розглядаються три види моделей: модель просторового лага, модель лага тільки на екзогенні змінні і модель просторової помилки. Розглянемо кожну із запропонованих моделей більш докладно.

У матричній формі модель просторового лага (змішана просторова авторегресійна модель) записується у вигляді [1, 8]:

$$Y = \alpha + \beta x + \rho WY + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I), \quad (12)$$

де Y – $(n \times 1)$ значення ендогенної (що пояснюється) змінної;

X – $(n \times k)$ екзогенні (що пояснюються) змінні;

β – $(k \times 1)$ коефіцієнти;

WY – просторовий лаг на ендогенну змінну;

ρ – коефіцієнт просторової авторегресії.

Далі розглянемо модель конвергенції з просторовим лагом на ендогенну змінну, що має такий вигляд:

$$g_T = \alpha + \beta y_0 + \rho W g_T + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I). \quad (13)$$

По суті, у даній моделі перевіряється гіпотеза, про те, що частини зображення, що знаходяться в оточенні інших частин, будуть мати таку ж саму тенденцію до зміни. Модель (2.13) являє собою мінімальну модель умовної конвергенції.

Альтернативний спосіб моделювання взаємовпливу частин зображення – включення в модель просторового лага на екзогенні змінні:

$$Y = \alpha + X\beta + WX\gamma + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I), \quad (14)$$

де γ – $(k \times 1)$ просторові коефіцієнти. Якщо в якості єдиного екзогенного фактора взяти початкове значення змінної, отримаємо окремий випадок моделі (2.14):

$$g_T = \alpha + \beta y_0 + \rho W y_0 + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I). \quad (15)$$

Модель (2.15) є мінімальною моделлю умовної конвергенції з просторовим лагом на початкове значення. Фізична інтерпретація даної моделі полягає в тому, що темпи зростання досліджуваного зображення (частини зображення – наприклад, пухлини) залежать, як від його значення в початкового зображенні, так і початкових значень показника сусідніх частин.

Модель просторової помилки (SAR-модель) передбачає, що випадкова компонента проходить просторовий авторегресійний процес першого порядку [5, 7, 14]:

$$Y = \alpha + X\beta + u, \quad u = \lambda W u + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I), \quad (16)$$

де λ – коефіцієнт просторової кореляції залишків.

У такій моделі мається на увазі існування просторової залежності в залишках регресії. Якщо виразити залишки, як

$$u = (1 - \lambda W)^{-1} \varepsilon,$$

і підставити їх в вихідне рівняння, то модель (16) набуде вигляду:

$$Y = (1 - \lambda W)\alpha + X\beta + \lambda WY + WX\gamma + \varepsilon, \quad \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I), \quad (17)$$

з наступним обмеженням:

$$\gamma + \lambda\beta = 0.$$

Модель (17) є просторовою моделлю, що включає просторовий лаг, як на ендогенну, так і на всі екзогенні змінні.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.

Розглянуті методи і моделі аналізу просторових даних вказують на відсутність потужного та ефективного інструменту для пошуку контурів областей із певною патологічною структурою на МРТ знімках. У даному випадку таким методом можуть бути згорткові нейронні мережі (ЗНМ), яким властива спеціальна архітектура штучних нейронних мереж, та, які націлені на ефективне розпізнавання зображень з технологією глибокого навчання. Окрім того, у ЗНМ використовуються деякі особливості мозкової діяльності людини при сприйнятті світовідбиття. ЗНМ не використовувались раніше для вирішення завдання пошуку контурів областей із певною патологічною структурою на МРТ знімках.

Формулювання мети дослідження. У даній статті необхідно розробити метод пошуку контурів областей із певною патологічною структурою на МРТ знімках.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів. Для встановлення патології на МРТ знімках можуть бути застосовані ЗНМ, які дозволять виконати їх класифікацію та отримати текстовий висновок. Розраховуючи показник I загальної просторової автокореляції МРТ знімків, будемо проводити навчання ЗНМ для розпізнавання патології.

Ідея ЗНМ полягає в чергуванні згорткових шарів (convolutionlayers) і субдискретних шарів (subsamplinglayers, шарів підвибірки). Структура ЗНМ – односпрямована (без зворотних зв'язків), принципово багат шарова. Для навчання використовуються стандартні методи, найчастіше метод зворотного поширення помилки. Функція активації нейронів (передавальна функція) – будь-яка, за вибором дослідника. У згорткових шарах (CONV), приховані нейрони замінюються згортковими фільтрами. Замість підбору ваг для нейронів, необхідно вирішити завдання підбору ваг для сімейства фільтрів. Згорткові шари впорядковують нейрони в тривимірному режимі з використанням висоти, ширини і глибини для оброблюваного сигналу.

Фільтри в ЗНМ перетинають усе зображення, використовуючи типову згортку. Оскільки розмір фільтра набагато менше зображення, кількість ваг – різко скорочується. Просторова протяжність фільтрів визначається розміром рецептивного поля (receptive field).

Глибина згорткового шару визначає кількість різних нейронів, які обробляються тими ж рецептивними полями, які називаються стовпцями глибини, з іншим набором ваги. Наприклад, при традиційній обробці зображень в градаціях сірого – фільтр може мати розмір 5x5. Якщо зображення ще і кольорове (RGB), фільтр буде розширено до 5x5x3. Основна ідея аналогічна підключенню одного і того ж вхідного вузла, оброблюваного декількома прихованими вузлами в традиційних мережах прямого поширення. Мета створення декількох нейронів з обробкою одного і того ж рецептивного поля полягає в тому, щоб ідентифікувати і захопити різні функції для однієї області входу. Кожен фільтр, застосований до вхідного зображення (незалежно від глибини), виводить одну площину виходу. Кількість фільтрів i , отже, глибина згорткових шарів збільшуються в міру того, як мережа переходить від входу до виходу, оскільки мережа перемикається із захоплення простих ознак до більш складних ознак в зображеннях.

Ширина фільтра, висота, глибина і крок використовуються для побудови тривимірного згорткового шару. Крок блоку вимагає необхідності введення нових стовпців глибини для просторових областей зображення, розташоване на відстані одиниці. Крок слід вибирати обережно, оскільки низький крок призводить до більшої кількості дозволів на кожне відфільтроване зображення з високим роздільним перекриттям в $receptive\ field$, що призводить до збільшення надмірності в вагах. Навпаки, значення більш високого кроку дають зображення з фільтром з низьким дозволом, за рахунок підвищеного ризику швидкої втрати важливої інформації через множину вхідних параметрів, що сприяють відносно меншому набору параметрів. Нульове заповнення включає нульові значення зазначеного розміру у всіх вимірах по обидва боки від межі.

ЗНМ складаються з чотирьох видів шарів.

Основним компонентом є згортковий шар, CONV, а також шари RELU (RELU), пули шарів (POOL) і повністю підключені шари (FC).

Шари CONV – це спосіб заміни традиційних повністю підключених шарів в мережах прямого поширення з допомогою цифрових фільтрів. Отже, подібно до прихованих шарів в традиційних НМ, CONV-шарах в ЗНМ необхідно ввести нелінійності, щоб дозволити мережі вивчати складні нелінійні поверхні. Таким чином, необхідно явно додавати функцію нелінійної активації RELU як шар після кожного шару CONV:

$$h(a) = \max(0, a), \quad (18)$$

де $a = WX + b$.

Застосування у якості функції активації ReLU дозволяє забезпечити головні переваги, які надають можливість здійснити пришвидшення навчання нейронної мережі через розрідженість та меншу величину ймовірності розмиття градієнту в порівнянні з іншими активаційними функціями. Виникнення розрідженості відбувається при значеннях $a < 0$. Для більшої кількості нейронів з ReLU-активацією в шарі характерна більша розрідженість отриманого результату.

Навчання будемо проводити для залежностей значень просторового фактора Wz від стандартизованих z -значень і з наступним розрахунком коефіцієнту загальної просторової автокореляції.

Шар пулінгу зменшує просторові розміри вихідного об'єму і зберігає кількість ваг. Операція об'єднання, працює на кожному фрагменті глибини введення і зменшує його. Операція об'єднання використовує два параметри: `receptivefield` і крок. `Maxpooling` замінює всі елементи рецептивного поля на вході за допомогою максимального елемента в рецептивному полі на виході. Потім він переміщається із зазначеним кроком до наступного `receptivefield` на вході. Найбільш поширеними значеннями є 3×3 з кроком 2 і 2×2 з кроком 2.

Метод L2 polling обчислює норму L2 усіх елементів в `receptivefield` і замінює `receptivefield` цим значенням. Нормою L2 є тільки квадратний корінь з суми квадратів всіх елементів в сприйнятливому полі.

Архітектура ЗНМ буде розглянута і описана для конкретного випадку у наступному розділі.

Для зниження ефекту перенавчання використовується Dropout шар.

Традиційно для задач класифікації в якості функції втрат використовується кросс-ентропія. Інакше кажучи, робимо мінімізацію різниці між виходом нейронної мережі і відповідним зображенням. Різницею, якраз і буде величина кросс-ентропії, яка визначається за наступною формулою:

$$D(\hat{y}, y) = - \sum_j y_j \ln \hat{y}_j. \quad (19)$$

Для навчання використовується Adam-алгоритм зворотного розповсюдження помилки із стохастичним градієнтним спуском, який дозволяє регулювати величину швидкості навчання. У даному випадку у ЗНМ використовуються накопичені значення градієнтів, що отримані на попередніх кроках, і накопичені значення квадратів градієнтів. Сам процес накопичення протікає на основі експоненціального розпаду середніх значень (EDAverage). Самі значення, що отримані на останньому кроці мають найбільший внесок для сумарного вихідного значення в порівнянні із значеннями градієнтів, що отримані на перших кроках:

$$\bar{m}_t = \beta_1 m_{t-1} + (1 - \beta_1) g_t; \quad \bar{v}_t = \beta_2 v_{t-1} + (1 - \beta_2) g_t^2, \quad (20)$$

де \bar{m}_t – середня оцінка першого моменту;

\bar{v}_t – середня оцінка другого моменту.

Оскільки у вище приведених формулах констатація величин \bar{m}_t і \bar{v}_t може бути ініціалізована нулями, то виходить, що вони мають тяжіння до нулів. Таке тяжіння сильно проявляється на початкових кроках і, коли величина коефіцієнтів розпаду приймає мале значення (β_1 і $\beta_2 \sim 1$). Для вирішення цієї проблеми на значення моментів накладається штраф:

$$\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t}; \quad \hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t}. \quad (21)$$

Величини отриманих значень використовуються в процесі оновлення нових параметрів на основі формули:

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \frac{\eta}{\sqrt{\hat{v}_t} + \epsilon} \hat{m}_t. \quad (22)$$

Розглянемо принцип побудови алгоритму зворотного поширення помилки ЗНМ. У випадку запропонованої ЗНМ їй характерний і достатній в наявності один паралельний одновимірний шар. Нехай W – матриця вагових коефіцієнтів, які характеризують зв'язок виходів і входу паралельних шарів, а V – матриця вагових коефіцієнтів, які з'єднують вихід паралельного шару і вихідний. Індеси для входу – i , індеси елементів паралельного нейронного шару – j , а індеси виходів – k .

У ЗНМ відбувається навчання на наборах зображень (X_a – один з елементів множини зображення M) і реакцій на них (Y_a – один з елементів множини реакцій), $a = 1 \dots p$. При цьому величинами активності нейронів є y , а сумарні зважені входи нейронів – x з відповідними індексами.

При алгоритмі зі зворотним поширенням помилки в ЗНМ матимемо наступні кроки:

Крок 1. Вважаємо, що початковим значенням ваг для двох нейронів одного паралельного шару при $t = 0$ притаманні випадкові числа.

Крок 1. Відбувається подача вхідного сигналу (зображення) X_a в ЗНМ, в результаті відбувається формування вихідного сигналу $y^l Y_a$. Тоді функціонування нейронів проходить послідовні етапи від шару до шару на підставі наступних формул:

- у першому паралельному шарі:

$$x_j = \sum_i W_{ij} X_i^a; \quad (23)$$

- у вихідному шарі:

$$x_k = \sum_j V_{jk} y_j; \quad y_k = f(x_k). \quad (24)$$

В останній формулі $f(x)$ являє собою неспадаючу функцію ReLU.

Крок 2. Приймаємо, що для вхідного сигналу значення функціоналу квадратичної помилки ЗНМ має наступний вигляд:

$$E = \frac{1}{2} \sum_k (y_k - Y_k^a)^2. \quad (25)$$

Проведемо обов'язкову мінімізацію наведеного функціоналу за допомогою класичного градієнтного методу, для якого характерним є ітераційний процес уточнення аргументу, який виконується відповідно до формули:

$$V_{jk}(t+1) = V_{jk}(t) - h \frac{\partial E}{\partial V_{jk}}. \quad (26)$$

Бачимо, що в складі функції помилки відсутні залежності від ваги V_{jk} в явному виді, тому використовуємо формули неявного диференціювання для складної функції:

$$\frac{\partial E}{\partial y_k} = \delta_k = (y_k - Y_k^a); \quad (27)$$

$$\frac{\partial E}{\partial x_k} = \frac{\partial E}{\partial y_k} \frac{\partial y_k}{\partial x_k} = \delta_k y_k (1 - y_k); \quad (28)$$

$$\frac{\partial E}{\partial V_{jk}} = \frac{\partial E}{\partial y_k} \frac{\partial y_k}{\partial x_k} \frac{\partial x_k}{\partial V_{jk}} = \delta_k y_k (1 - y_k) y_j. \quad (29)$$

Крок 3. Виконаємо підстроювання ваг паралельного шару ЗНМ. Для цього будемо використовувати градієнтний метод:

$$W_{jk}(t+1) = W_{jk}(t) - h \frac{\partial E}{\partial W_{jk}}. \quad (30)$$

Аналогічно виконуємо обчислення похідних, але вже з деякими ускладненнями формули, призначеної для помилки d_j з використанням ф-ли (28) та:

$$\frac{\partial E}{\partial y_j} = \delta_j = \sum_k \frac{\partial E}{\partial x_k} \frac{\partial x_k}{\partial y_j} = \sum_k \delta_k y_k (1 - y_k) V_{jk}. \quad (31)$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{jk}} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \frac{\partial y_j}{\partial x_j} \frac{\partial x_j}{\partial W_{jk}} = \delta_j y_j (1 - y_j) X_i^a = \left[\sum_k \delta_k y_k (1 - y_k) V_{jk} \right] [y_j (1 - y_j) X_i^a]. \quad (32)$$

Під час обчислення d_j застосовується принцип зворотного поширення помилки, тобто тільки за іншими змінними паралельного шару беруться часткові похідні. Далі, за допомогою отриманих виразів відбувається модифікація ваг паралельного нейронного шару ЗНМ.

Крок 4. Надалі, для всіх навчальних етапів повторюються кроки 1-3, а завершення навчання відбувається в тому випадку, коли досягається заданий рівень помилки або досягнута максимально допустима кількість ітерацій. Пройдені 2 і 3-й кроки допомагають вирішити завдання з оптимізації

отриманого функціоналу помилки із застосуванням градієнтного методу з подальшим навчанням ЗНМ. Отримані параметри характеризуються темпами навчання і вибираються з дуже малими значеннями для забезпечення гарантії збіжності застосованого методу.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У роботі розглянуто та запропоновано методи та моделі пошуку контурів областей із певною патологічною структурою на МРТ знімках. На основі проведеного аналізу методів і моделей для аналізу просторових даних показано, що для розв'язку проблеми локалізації аномальних тканинних утворень на МРТ знімках можуть бути використані коефіцієнти просторової автокореляції на базі локального та глобального індексів Морана. Для пошуку контурів областей із певною патологічною структурою на МРТ знімках запропоновано використання згорткових нейронних мереж, які дозволять виконати їх класифікацію та отримати текстовий висновок.

Навчання ЗНМ для розпізнавання патології на МРТ знімках будемо проводити для залежностей значень просторового фактора Wz від стандартизованих Z -значень і з наступним розрахунком коефіцієнту загальної просторової автокореляції.

Перспективою подальших досліджень є реалізація алгоритму розрахунку значень коефіцієнтів просторової автокореляції і реалізації ЗНМ для розпізнавання патології на МРТ знімках зі створенням програмного засобу з використанням відповідної мови програмування.

1. Alonso W. Location and Land Use. Harvard University Press: Cambridge, MA. – 1964.
2. Anselin L. Spatial Data Analysis with SpaceStat and ArcView. Workbook (3 rd Edition) University of Illinois. – 1999.
3. Anselin L. Spatial Econometrics: Methods and Models, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. – 1988.
4. Anselin L., Can A. Spatial Effects in Models of Mortgage Origination: Paper presented at the 91st annual meeting of the Association of American Geographers. - 1995.
5. Chen Y. New Approaches for Calculating Moran's Index of Spatial Autocorrelation, 2013. PLoS ONE 8(7): e68336. DOI:10.1371/journal.pone.0068336.
6. Cliff A., Ord J. Spatial Autocorrelation. Pion, London, 1973.
7. Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM). – <http://medical.nema.org/dicom>
8. Fingleton B., Lopez-Bazo E. Empirical growth models with spatial effects, Papers in Regional Science, Blackwell Publishing. – 2006. - Vol. 85(2). - P. 177–198.
9. Geary R. The contiguity ratio and statistical mapping. The Incorporated Statistician, 5, 1954. 115 – 145.
10. Getis A, Ord J.K. The analysis of spatial association by use of distance statistics: Geographical Analysis. – 1992. Vol. 24.
11. Getis A., Mur J., Zoller H. (ed.) Spatial Econometrics and Spatial Statistics, Palgrave, London. – 2004.
12. Getis A., Ord J.K. Local spatial statistics: an overview: Spatial analysis: modelling in a GIS environment. – 1996.
13. Local Measures of Spatial Autocorrelation. Briggs Henan University, 2010. Available at: <http://www.utdallas.edu/~rbriggs/henan/11SAlocal.ppt> (accessed 26 December 2018).
14. Martin P., Ottaviano G. Growing locations: industry location in a model of endogenous growth / European Economic Review. – 1999. – Vol. 43. – P. 281–302.
15. Moran P. Notes on Continuous Stochastic Phenomena, Biometrika. – 1950. – Vol. 37. – P. 17-33.
16. Moran P. The interpretation of statistical maps. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 10. 1948. 243 – 251.
17. Paelinck J., Klaassen L. Spatial Econometrics. Saxon House. Farnborough, 1979.
18. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование: Учебник. - М.: Финансы и статистика, 2001. - 228 с.
19. Берндт Э.Р. Практика эконометрики: классика и современность. – М.: НТИ-ДАНА, 2005. – 864 с.
20. Вакуленко Е.С. Введение в пространственную эконометрику / М.: НИУ ВШЭ, 2013. URL: http://pokrovka11.files.wordpress.com/2013/01/spatial_econometrics.pdf (дата обращения: 26.12.2018)
21. Кендалл М. Многомерный статистический анализ и временные ряды / М. Кендалл, А. Стьюарт. - М.: Наука, 1976. - 736 с.