

*МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ*

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

НАУКОВИЙ
ЖУРНАЛ



Головний редактор – професор, д.т.н., Гордєєв О.О.

№54 2024

м. Луцьк

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:	
професор, д.т.н. Гордєєв О.О.	(м. Луцьк)
Відповідальний секретар:	
доц., к.т.н. Христинець Н.А.	(м. Луцьк)
Члени редакційної колегії:	
проф., д.т.н. Андрущак І.Є.	(м. Луцьк)
проф., д.т.н. Згуровський М.З	(м. Київ)
Affiliate full professor, Avtandil Gagnidze	(Грузія, м. Тбілісі)
д.т.н., доц. Зеленський К.Х.	(м. Київ)
доц., к.т.н. Суринович О.М.	(м. Луцьк)
Affiliate full professor, Iavich Maksim	(Грузія, м. Тбілісі)
проф., д.т.н. Турбал Ю.В.	(м. Рівне)
доц., к.ф.-м.н. Рибицька О.М.	(м. Львів)
PhD. Milosz Marek	(Польща, м. Люблін)
проф., д.т.н. Мельник А.О.	(м. Львів)
проф., д.т.н. Мороз Б.І.	(м. Дніпро)
проф., д.т.н. Тарасенко В.П.	(м. Київ)
проф, PhD. Alison McMillan	(Великобританія, м. Рексем)
проф., д.т.н. Касянчук М.М.	(м. Тернопіль)
проф., д.т.н. Фауре Е.В.	(м. Черкаси)
проф., д.т.н. Олійников Р.В.	(м. Харків)
проф, д.пед.н. Черняшук Н.Л.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Назаревич О.Б.	(м. Тернопіль)
PhD. Karim Elish	(США, м. Лейкленд)
PhD. Zbigniew Omiotek	(Польща, м. Люблін)
PhD. Dagmar Saĝáňová	(Словаччина, м. Братишава)
PhD. Paweł Komada	(Польща, м. Люблін)
PhD. José Machado	(Португалія, м. Гімарайш)
проф., д.т.н. Сайко В.Г.	(м. Київ)
доц., к.т.н. Приступа С.О	(м. Луцьк)
PhD. Anna Maria Saniuk	(Польща, м. Зелена Гура)
доц., к.т.н. Ткачук А.А. (заступник головного редактора)	(м.Луцьк)

Адреса редколегії:

Луцький національний технічний університет,
кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки
вул. Львівська 75, ауд.141
м.Луцьк, 43018
тел. (0332) 74-61-15
E-mail: cit@lntu.edu.ua,
сайт журналу: cit-journal.com.ua

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

№54 2024 р.

Зареєстровано Національною радою України з питань телебачення і радіомовлення, як суб'єкт у сфері друкованих медіа (рішення №40 від 11.01.2024 р., ідентифікатор медіа R30-02456)

Рекомендовано до друку Науково-технічною радою Луцького національного технічного університету (протокол №7 засідання від 20.03.2024р.)

**Рішенням МОН України
наказом №515 від 16.05.2016р,
журнал включено в перелік наукових фахових видань**

**Видання індексується у
наукометричних та реферативних баз:
[Open Academic Journals Index](#)
[Academic Resource Index ResearchBib](#)
[Rootindexing](#)
[Information Matrix for the Analysis of Journals](#)
[Ulrichsweb.](#)**

ISSN 2524-0560 (Online)

ISSN 2524-0552 (Print)

ЗМІСТ

АВТОМАТИКА ТА УПРАВЛІННЯ	
Бубній Д.Ю., Дубук В.І. Розробка інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі	5
Ковівчак Я.В., Дубук В.І., Бучковський М.В. Розробка автоматизованої системи ідентифікації підпису особи	18
Мельник А.О., Кинаш Ю.Є. Розробка підсистеми автоматизованого управління відносинами з клієнтами малого бізнесу	27
Пензеник А.А. Автоматизоване виявлення та попередження перенавчання в нейронних мережах	36
ІНФОРМАТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА	
Турчин О.Б. Прогностична модель стану GNSU з використанням аналізу великих даних та нейронних мереж	43
Бірук Б.В., Христинець Н.А. Симулятор системного адміністратора в контексті інтеграції з IoT	49
Бунке О.С., Новіков П.В. Тенденції розвитку інтернету речей в енергетиці	53
Грибовський О.М, Кунанець Н.Е., Мага А.Ю., Пасічник С.О., Петришина Б.О., Рибак А.О. Фронтент компонента комплексної інформаційної системи «розумна садиба»: особливості побудови	60
Дичка І.А., Радченко К.О., Терейковський І.А., Терейковська Л.О. Концептуальна модель процесу прогнозування навантаження на вебсервер	74
Д'яков Я.Р. Дослідження фундаментальних властивостей онтологічних баз знань	84
Єськіна А.А., Кулаковська І.В. Дослідження інтелектуальної системи класифікації волатильності валют за результатами машинного навчання	92
Іваненко О.А., Марченко О.І. Спосіб уніфікованого опису хмарної інфраструктури різних провайдерів	103
Козубцов І.М., Ліщина В.О., Сулім В.О. Методика випереджаючого викладання навчальної дисципліни «методологія наукових досліджень» здобувачам другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «комп'ютерні науки»	113
Котлярський А.О., Петрашенко А. В. Спосіб підвищення ефективності використання хмарних ресурсів	125
Лавренчук С.В., Христинець Н.А., Савчук О.В. Моніторинг платформи YouTube засобами SQL	130
Левчук О.В., Левчук К.І. Цифрова стійкість: оцінка ролі інформаційних технологій у забезпеченні безперервності підготовки фахівців в кризових умовах	137
Недашківський Б.М. Методи розпізнавання та обробки зображень за допомогою зорового трансформера	146
Недашківський С.М. Методологія та принципи виявлення об'єктів за допомогою деформованих згорткових мереж	153

Нестеров В.Ф. Оптимізація процесів обробки та аналізу великих даних у сфері аналітики даних шляхом інтеграції інженерії даних та штучного інтелекту	160
Озерчук І.М. Архітектура платформи програмно-визначеного радіо на основі процесора загального призначення	165
Орлов М.В., Пасічник В.В. Неперервна оптимізація та управління ризиками при впровадженні методології DevOps в іт інфраструктурах	171
Проніна О.І., Голубець А.О. Математична модель формування векторного уявлення україномовного тексту.	179
Радзіховська Л.М., Гусак Л.П. Використання методів економетричного аналізу в ризикології	186
Самчук Л.М., Повстяна Ю.С., Качула І.М., Повстяна С.О. Побудова діаграми діяльності для принципу проходження процедури МРТ засобами UML	192
Семенюк В.В. Аналіз та оптимізація продуктивності баз даних у розподілених системах	199
Федонюк А.А., Герасимчук О.Б., Юнчик В.Л., Федонюк Ю.А. Використання методу багатовимірної середньої для оптимізації формування рейтингу науково-педагогічних працівників вузу на прикладі волинського національного університету імені Лесі Українки	206
Федосов С.А., Замуруєва О.В., Никируй Л.І., Яремій І.П., Яворський Р.С. Оцінка наукової області комп'ютерна фізика за аналітичними можливостями бази даних Scopus	218
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА	
Беляков Р.О. Ієрархічна модель інтелектуального управління наземно-повітряної комунікаційної мережі спеціального призначення	225
Кудряшов А.С. Штучний інтелект та безпека у мобільних технологіях 5G та 6G	236
Михалевський Д.В., Луценко О.М., Шаповалова Т.В., Ківшар О.Ю. Підвищення ефективності документообігу у військових частинах на базі хмарних технологій	243
Мороз С.А., Лишук В.В., Чалий В. Д., Горайчук А.А., Тарарай Д.М. Аналіз формування вихідного сигналу давача інфрачервоного випромінювання	249
УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ	
Васьків Р.І., Веретеннікова Н.В. Аналіз тенденцій формування та функціонування розподілених команд	255
Симонов В.В. Вплив використання штучного інтелекту на управління ризиками в проєктах: можливості та виклики	268

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-01>

УДК 004.031.4, 004.67, 37.09

Бубній Данило Юрійович, магістр

Дубук Василь Іванович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-6339-1032>

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПОШУКУ МЕНТОРА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ В ІТ ГАЛУЗІ

Бубній Д.Ю., Дубук В.І. Розробка інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі. У статті обґрунтовано актуальність та наведено результати моделювання й розробки засобів інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі, які допоможуть здійснити об'єктивний та ефективний пошук ментора. Приведено опис, стислої характеристики та аналіз основних сервісних програмних засобів для пошуку ментора, а також визначено їх основні переваги і недоліки. У роботі розроблено та наведено концептуальну модель автоматизованої інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі, яка відображає спосіб взаємодії користувачів з елементами системи. Визначено та наведено інформаційні потоки в системі. Спроектовано основні компоненти системи та їх взаємозв'язки. Приведено діаграму випадків використання системи. Сформовано та відображено у вигляді діаграм основні функціональні можливості системи. Розглянуто всі сутності, які наявні в системі та зовнішні сервіси, з якими буде співпрацювати система. Розроблено алгоритм роботи автоматизованої інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі, а також діаграму прецедентів, контекстну діаграму та діаграму класів. Розроблено і наведено структуру бази даних системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі. Розроблено та описано графічний людино-машинний інтерфейс системи, за допомогою якого можна організувати діалог користувача з системою та здійснити пошук ментора. Розроблену систему пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі можна буде використовувати для ефективного пошуку ментора та цілісної співпраці, що сприятиме розвитку учнів для підвищення кваліфікації в ІТ галузі. Практичне застосування розробленої системи є актуальним і може сприяти подальшому розвитку освіти, кар'єрного зростання та самовдосконалення. Розроблена система забезпечує доступну платформу для знаходження відповідного ментора та сприяє підвищенню якості менторської підтримки, підвищенню рівня професійної освіти дорослих, що позитивно впливатиме на результати їх професійної діяльності.

Ключові слова: інформаційно-пошукова система, пошук ментора, графічний інтерфейс користувача, ІТ галузь, освіта дорослих.

Bubniy D., Dubuk V. Development of an information system for finding a mentor for advanced training in the IT industry. The article substantiates the relevance and gives the results of modeling and development of information system tools for finding a mentor for professional development in the IT industry, which will help to carry out an objective and effective search for a mentor. The description, concise characteristics and analysis of the main service software tools for finding a mentor are given, as well as their main advantages and disadvantages are determined. The work develops and presents a conceptual model of an automated information system for finding a mentor for professional development in the IT industry, which reflects the way users interact with system elements. Information flows in the system are defined and given. The main components of the system and their interrelationships are designed. A use-case diagram of the system is provided. The basic functionality of the system is formed and displayed in the form of diagrams. All entities available in the system and external services with which the system will cooperate are considered. The algorithm of the automated information system for finding a mentor for professional development in the IT industry, as well as a use-case diagram, a context diagram and a class diagram, have been developed. The database structure of the mentor search system for professional development in the IT industry has been developed and provided. A graphical human-machine interface of the system has been developed and described, with the help of which you can organize a user dialogue with the system and search for a mentor. The developed system of finding a mentor for advanced training in the IT industry can be used for effective mentor search and holistic cooperation, which will contribute to the development of students for advanced training in the IT industry. The practical application of the developed system is relevant and can contribute to the further development of education, career growth and self-improvement. The developed system provides an accessible platform for finding a suitable mentor and contributes to improving the quality of mentoring support, raising the level of professional education of adults, which will positively affect the results of their professional activities.

Keywords: information search system, mentor finding, graphical user interface, IT industry, adult education.

Постановка задачі. Розробка інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі є актуальним завданням в сучасному світі, де знання та підтримка стають ключовими факторами для досягнення успіху в різних сферах життя. Менторство, як механізм передачі досвіду та знань, грає важливу роль у розвитку професійної та особистісної кар'єри людини. Однак знаходження відповідного ментора та встановлення з ним зв'язку може бути завданням важким та займати багато часу. Інформаційна система пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі може стати важливим інструментом для полегшення цього процесу.

У статті розглянуто важливість менторства та потребу в розробці інформаційної системи, яка допомагатиме людям знаходити підходящих менторів та спростувати комунікацію з ними.

Менторство є важливим елементом освіти дорослих, розвитку кар'єри та самовдосконалення, досвідчений ментор може надати значний внесок у розвиток індивіда.

Завданням відповідної інформаційної системи є створення платформи, де люди, які шукають ментора, зможуть знайти відповідних експертів у своїй галузі та встановити контакт з ними. Також система надаватиме можливість менторам пропонувати свої послуги та спілкуватися зі своїми учнями, сприяючи обміну знань та досвідом.

У цьому контексті розробка інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі стає важливим завданням, яке відповідає сучасним потребам і може сприяти подальшому розвитку освіти та кар'єрного зростання. У наш час, коли швидкість розвитку технологій робить знання ще більш доступними, інформаційна система цього типу може стати ключовим інструментом для тих, хто прагне досягнути успіху у своїй професійній діяльності.

Предметна область – пошук ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі.

Актуальність дослідження визначається рядом факторів, які впливають на сучасне суспільство та його потреби. Швидкий розвиток технологій змінив спосіб, яким ми отримуємо доступ до знань і шукаємо інформацію. Постійне навчання стало нормою, тому менторство може покращити якість цього процесу та зробити його більш доступним. Менторство дозволяє учням отримувати індивідуальну увагу та підтримку в процесі навчання. Розвиток кар'єри вимагає підтримки та керівництва, які можуть надати ментори. Глобальна комунікація робить можливим співпрацю з менторами з різних країн, розширюючи можливості навчання та розвитку. Усі ці фактори підкреслюють актуальність створення інформаційної системи для менторства, яка сприятиме як особистісному, так і професійному зростанню людей.

Метою дослідження є розробка інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі. Також потрібно зазначити, що таку систему можна використовувати як автономно, так й інтегрувати із існуючими сервісами всередині компанії.

У цій науковій роботі *об'єктом дослідження* є процес пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі.

Предметом дослідження даної теми є моделювання та розробка інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі.

Задачі роботи системи: зберігання інформації про ментора; зберігання інформації про користувача, що шукає ментора; пошук ментора за допомогою фільтрів (країна, досвід, набір технологій та інше); створення календаря для призначення зустрічей з ментором чи учнем; відображення навиків учня для діагностики та відслідковування його прогресу; можливість надіслати запит на менторство, який надалі можна прийняти чи відхилити; можливість знайти ментора використовуючи функціональні можливості експертної системи; можливість відслідковувати статус запиту на менторство; створення особистого профіля з можливістю його редагувати.

Науковий результат – розробка інформаційної системи, яка сприятиме знаходженню менторів та покращить комунікацію між менторами і учнями, розвитку та удосконаленню їх співпраці. При цьому удосконалено метод організації навчання та виховання й консультування з урахуванням індивідуальних особливостей учасників навчального процесу з використанням сучасних інформаційної системи та інформаційних технологій.

Практична цінність досліджень — розроблено інформаційну систему, яка сприятиме знаходженню відповідних менторів та полегшить взаємодію між менторами і учнями, сприяючи особистісному та професійному зростанню останніх.

Проблема дослідження – моделювання та розробка інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі. Для вирішення проблеми пошуку та надання менторської підтримки в сучасному світі вже використовуються різні засоби і методи, хоча інформаційні системи для цього ще не так поширені, як можна було б очікувати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наведемо вибрані приклади засобів та мето-дів, які вже працюють в обраній предметній області:

- *Онлайн-платформи.* Деякі платформи, такі як LinkedIn, Meetup, або MentorCity, дозволяють користувачам знаходити менторів і спілкуватися з ними в онлайн-режимі.

- *Спеціалізовані форуми та соціальні мережі.* Вони дозволяють користувачам знайти і організувати спілкування з потенційними менторами або учнями, якщо вони шукають допомогу або надають її в певних галузях.

- *Менторські програми в університетах та організаціях.* Багато навчальних закладів та підприємств запускають власні менторські програми, які допомагають знаходити менторів та учнів, використовуючи для цього корпоративну інформаційну систему.

- *Пошукові системи та веб-сайти.* Використання пошукових систем для знаходження ресурсів та засобів, які допомагають в розвитку, або для пошуку експертів у певних галузях.

- *Консультації і тренінги.* Консультації та тренінги, надані в реальному режимі, допомагають учням знайти ментора та отримати реальну підтримку.

- *Саморозвиток і навчання в мережі.* Можливість навчання та самостійного розвитку через відкриті онлайн-курси, підручники та відеоуроки.

- *Професійні асоціації та групи спільності.* Ці організації нерідко організують зуст-річі та заходи, на яких можна знайти менторів або стати частиною менторської програми.

Однак, здійснивши аналіз вище вказаних засобів та методів, які працюють в обраній предметній області, для багатьох із них було виявлено наявність проблем забезпечення належного рівня захисту інформації, обумовленого номативно-правовим полем [1].

Розглянемо один існуючий аналог системи від компанії Foxminded — це платформа, що надає навчання в галузі ІТ та програмування [2]. Їх основна унікальність полягає у використанні методу «mentoring by practice», який спрямований на практичне застосування знань у реальних проектах.

Наведемо деякі основні переваги та недоліки платформи Foxminded для менторства.

Переваги:

1. *Практична спрямованість.* Основна особливість Foxminded — це навчання через роботу над реальними проектами. Це дозволяє учням отримати не лише теоретичні знання, а й практичний досвід, що важливо у галузі ІТ.

2. *Менторство.* Кожен учень отримує особистого наставника, який допомагає у вирішенні завдань та надає консультації під час проходження курсу. Це сприяє ефективному засвоєнню матеріалу та розвитку навичок.

3. *Широкий вибір курсів.* Foxminded пропонує різноманітні програми та курси в галузі програмування, робототехніки, інженерії програмного забезпечення тощо, що дає можливість знайти відповідний курс для своїх потреб.

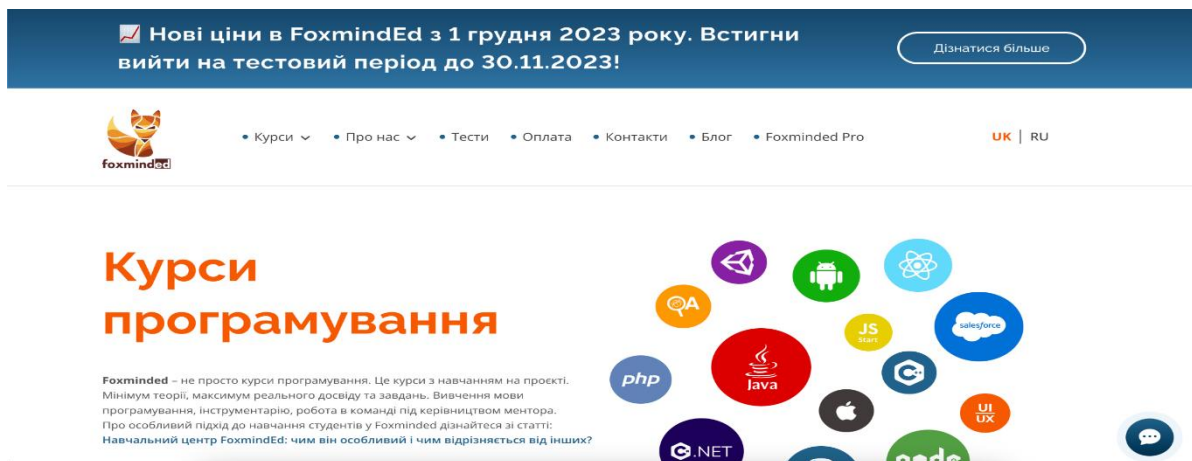


Рис. 1 – Головна сторінка компанії Foxminded

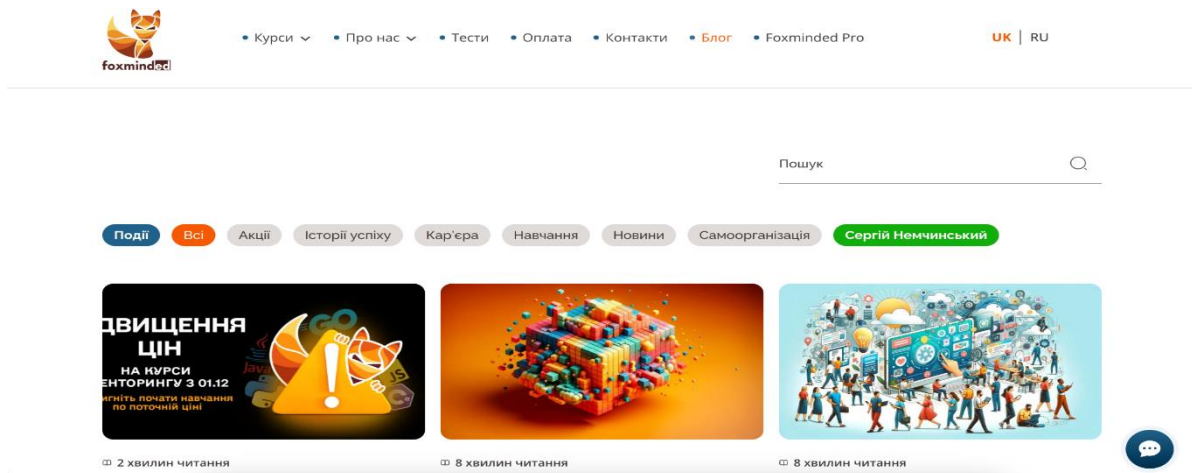


Рис. 2 – Сторінка «Блог» компанії Foxminded

4. *Стажування та можливості працевлаштування.* Після завершення курсу учні мають можливість отримати стажування чи працевлаштуватися у компаніях-партнерах Foxminded.

Недоліки:

1. *Вартість.* В порівнянні з деякими іншими платформами навчання, вартість курсів Foxminded може бути високою, що робить їх недоступними для деяких людей.

2. *Обмежена географія.* Наразі Foxminded може мати обмежену географію дії, тобто може бути недоступним у деяких регіонах.

3. *Нестабільність програми навчання.* Хоча концепція навчання через практику дуже цінна, іноді програми можуть бути нестабільними або могли потребувати певного уточнення у матеріалах.

В цілому, Foxminded пропонує цікавий підхід до навчання, зосереджений на практичних вміннях та особистому менторстві, але варто врахувати індивідуальні потреби та можливості перед вибором цієї платформи.

Хоча ці існуючі засоби і методи можуть бути корисними, розробка інформаційної системи для менторства може спростити та поліпшити процес пошуку та взаємодії між менторами та учнями, забезпечуючи більшу доступність та ефективність цієї важливої складової освіти та розвитку дорослих.

Основна частина. Першим кроком у моделювання та розробку інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі є побудова концептуальної моделі. Відповідна модель дає змогу передбачити роботу всіх користувачів системи та їх взаємодію з елементами системи. Концептуальна модель інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі зображена на рис.3.

Основні потоки включають наступне: авторизацію користувача; підбір та пошук ментора; створення та маніпуляцію з навичками; відображення навиків учня та менторів в JSON форматі, з використанням JavaScript бібліотек [3]; відображення та створення подій в календарі.

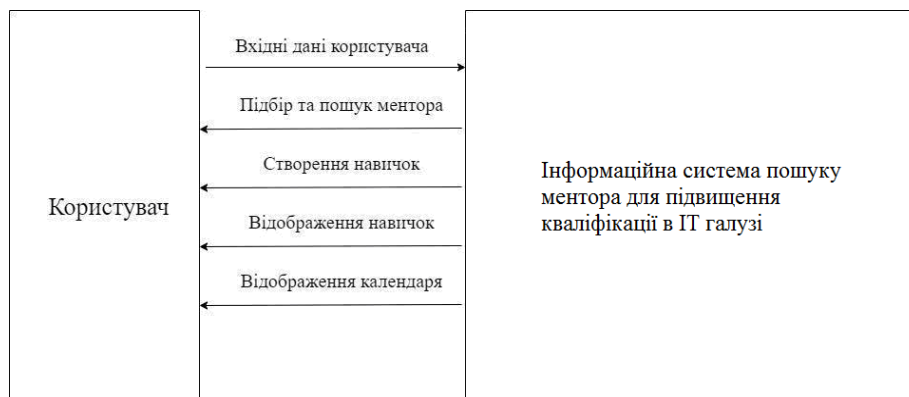


Рис. 3 – Концептуальна модель інформаційної системи

Огляд моделі експертної системи та блок-схеми алгоритмів. Експертна система — реалізована засобами програмного забезпечення, яке моделює та робить висновки на основі експертного знання в конкретній галузі. Алгоритми роботи експертної системи включають в себе різні кроки і процедури, які допомагають системі аналізувати проблему та надавати рекомендації або рішення. Наведемо деякі загальні алгоритми, які використовуються в експертних системах.

Захоплення знань. Цей крок полягає в тому, щоб зібрати експертне знання від людей, які спеціалізуються в конкретній галузі. Інформація може бути представлена у вигляді правил, фактів, евристик та інших форм.

Подання знань. Експертні системи повинні мати внутрішню структуру для представлення зібраного знання. Це може включати в себе використання правил, семантичних мереж, продукційних систем та інших методів для організації та представлення знань.

Інференція. Цей алгоритм використовується для виконання логічних висновків на основі доступного знання. Експертна система використовує цей алгоритм для вироблення рішень або надання рекомендацій на основі питань та фактів, які користувач вводить.

Виведення. Експертна система може надавати користувачам пояснення своїх рішень або рекомендацій. Це може бути корисним для розуміння того, як експертна система прийшла до певного висновку. Вказано лише загальні кроки та алгоритми, які використовуються в експертних системах.

Захист інформації. Система враховує вимоги до захисту персональних даних користувачів згідно норм, визначених [1], та не зберігає їх для власного використання.

У випадку моделювання та розробки засобів інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в IT галузі, моделлю власне виступає експертна система, яка працює наступним чином: користувач, коли обирає ментора, має можливість зробити це використовуючи засоби штучного інтелекту, тобто експертну систему, яка побудована у вигляді запитань, на які користувач поступово надає відповіді «так» чи «ні».

Наприклад: «Чи цікавить Вас розробка користувацького інтерфейсу?». Відповідь: «так». В цьому випадку система, базуючись на відповіді користувача, сформує наступні уточнюючі запитання в потрібному напрямку, відкинувши інші протилежні за змістом. Також питання враховують інформаційну психологію спілкування [4].

Таким чином, коли користувач дасть відповідь на останнє запитання, в результаті буде підібраний ментор, якого експертна система підбрала базуючись на відповідях користувача. Кожна експертна система ґрунтується на базі знань, що складається з правил, фактів та інших елементів.

У розробленій системі база знань, заповнювалась за допомогою експертів, які надавали свої знання, визначали правила та встановлювали зв'язки між ними. Такий підхід дозволяє системі приймати виражені рішення на основі зібраних експертних знань.

Було розроблено блок-схеми алгоритму роботи експертної системи та пошуку ментора, які зображені на рис.4 та рис.5. Всі рисунки були побудовані у програмі Draw.io [5].

Користувач при переході на сторінку пошуку ментора матиме змогу виконати пошук ментора самостійно за допомогою набору фільтрів або скористатись функціональністю експертної системи, тобто система підбере ментора найбільш ефективно.

На рис 5. відображено другий важливий алгоритм, який дозволяє знайти ментора. Спочатку користувачеві пропонується прийняти рішення - чи довірити системі знайти ментора автоматично, чи знайти його самостійно за допомогою набору фільтрів.

Якщо користувач вибирає підібрати ментора автоматично, тоді система пропонує дати відповідь на ряд запитань, за допомогою яких буде підбрано ментора найбільш ефективно.

Якщо користувач вибирає знайти ментора самостійно, тоді система відображає спеціальні поля, де можна налаштувати певні фільтри, щоб знайти потрібного ментора.

Діаграма випадків використання - це особлива форма системних програмних вимог до нової слабозрозуміної програми. Ключова концепція моделювання випадків використання полягає в тому, що це допомагає розробити систему з точки зору кінцевого користувача [6]. Це ефективна техніка передачі поведінки системи з точки зору користувача шляхом визначення всієї видимої зовні системи поведінки [7].

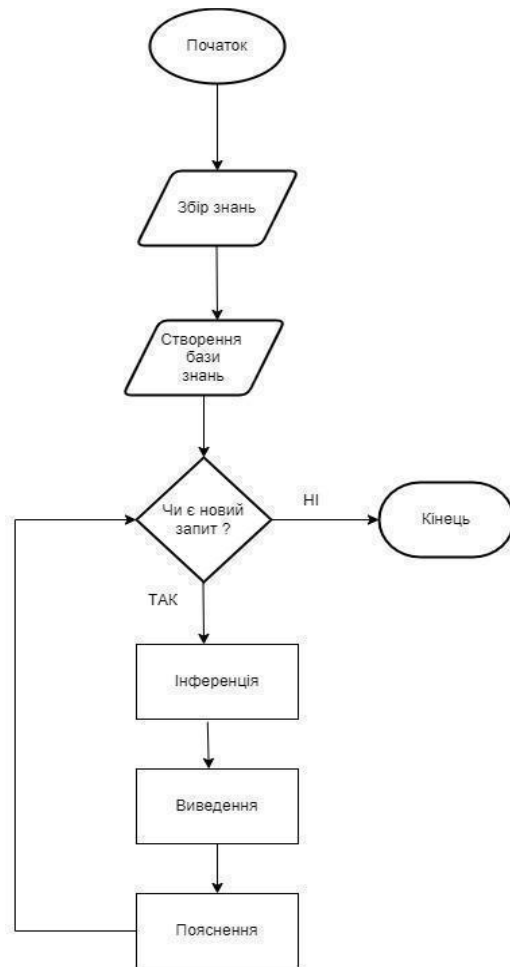


Рис. 4 – Блок схема алгоритму роботи системи



Рис. 5 – Блок схема алгоритму пошуку ментора

На даній діаграмі відображено три види користувачів: користувач, ментор та адміністратор. Для розподілення ролей та надання доступу до ресурсів в системі використовувались бібліотека Spring Security [8].

Діаграма послідовностей – це діаграма, яка показує взаємодію об'єктів за часом. Тобто відображаються дії користувача протягом часу використання системи.

Використання діаграм послідовностей є ключовим для уявлення та розуміння взаємодії об'єктів в системі протягом часу. Ця діаграма відображає послідовність подій та повідомлень між об'єктами системи під час їх взаємодії. Наприклад, для інформаційної системи пошуку ментора в ІТ галузі на діаграмі послідовностей можуть бути описані такі важливі етапи, як створення облікового запису користувача, процес пошуку ментора та вихід з системи. На цій діаграмі послідовностей буде відображено, як користувач інтерактивно взаємодіє з системою на кожному кроці, починаючи зі створення облікового запису користувача, через введення критеріїв пошуку ментора, до виходу з системи після завершення сеансу. Це дозволить краще зрозуміти та оптимізувати процеси взаємодії користувача з інформаційною системою та забезпечить ефективність її використання.

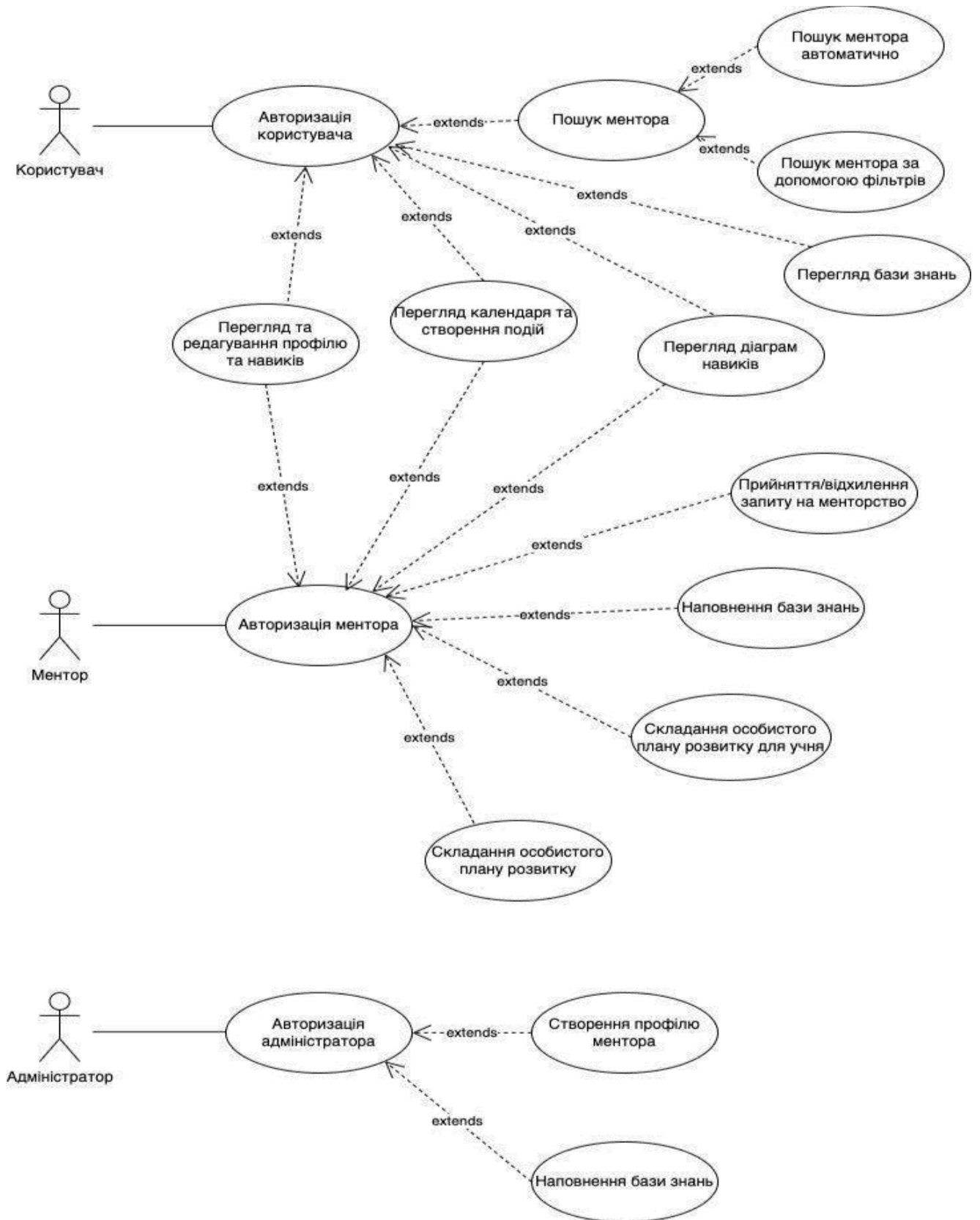


Рис. 6 – Діаграма випадків використання системи

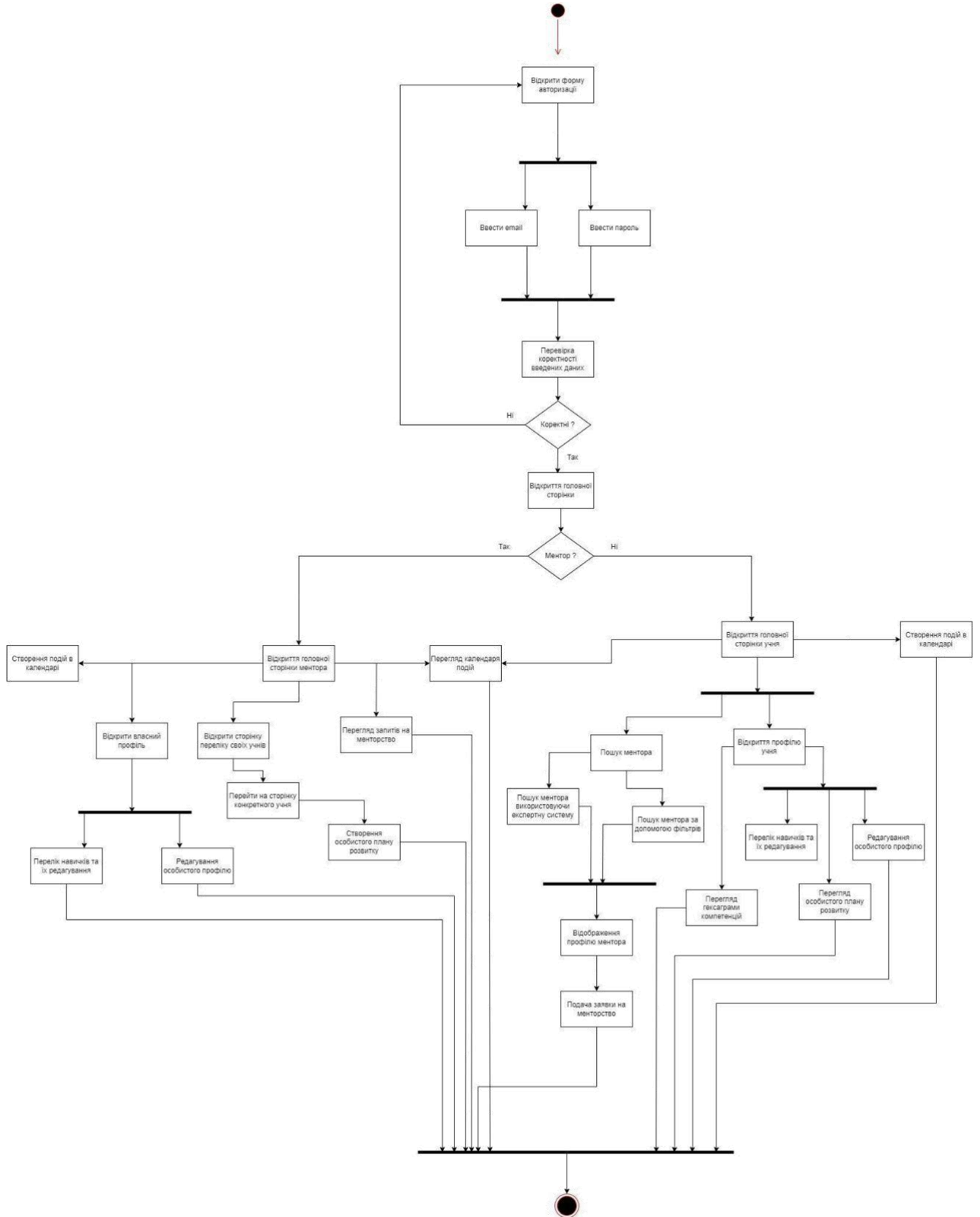


Рис. 7 – Діаграма діяльностей для системи

На рис.8 представлено послідовності для створення запису користувача, пошук ментора та вихід з системи. За основу використовувалась архітектура MVC [9], [10].

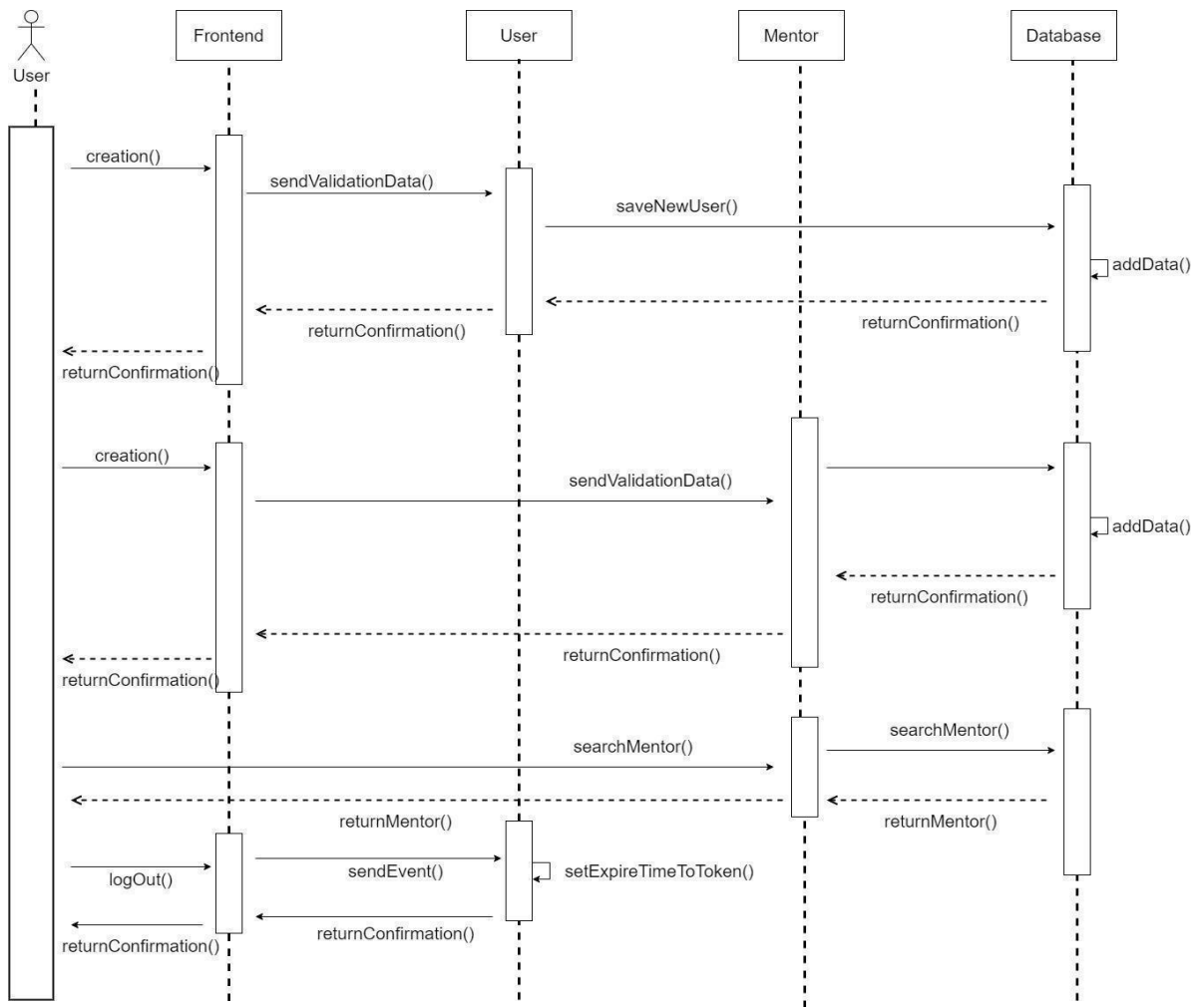


Рис. 8 – Діаграма послідовностей

Наступною розробленою діаграмою системи є діаграма класів, представлена на рис. 9.

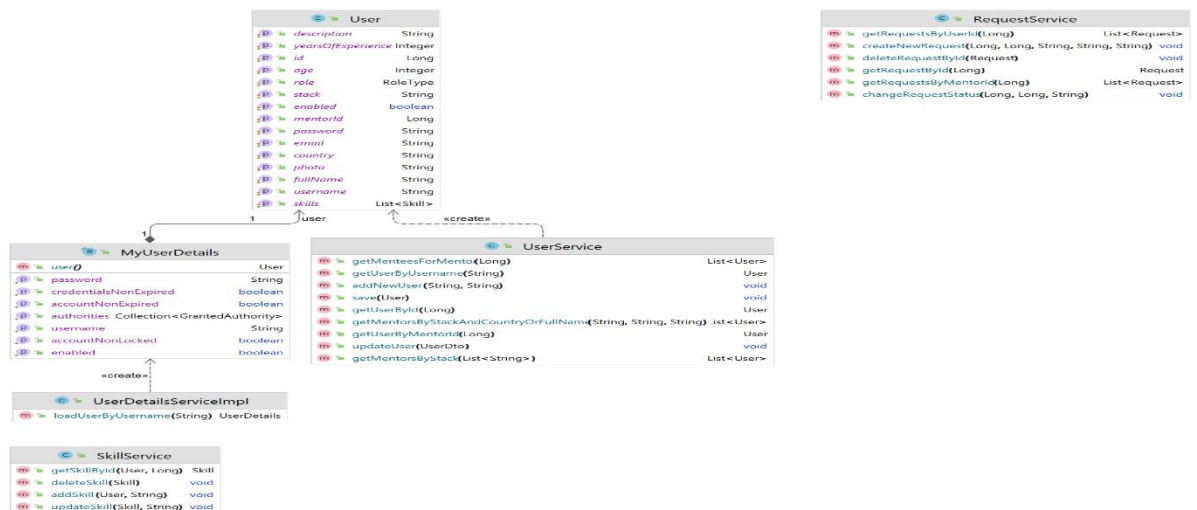


Рис. 9 – Діаграма класів системи

Структура даних, відображена схемою бази даних, зображена на рис.10, яка маніпулюється за допомогою серверної частини, що написана на мові програмування Java [11] та технології Spring Boot [12].

До головних сутностей можна віднести: «users», «roles» та «skill»А». Головні сутності мають

також допоміжні таблиці з додатковою інформацією про них. Дані з таблиці «skills» візуалізуються в графіки для кращого розуміння прогресу учня [13].

Інформація про користувача несе в собі персональні дані про менторів та учнів. Таблиця також має поле поштової скриньки задля надсилання підтвердження щодо реєстрації, а також отримання інформації щодо процесу менторства. Кожен користувач відповідно прив'язаний до ментора. Основний функціонал виконують таблиці: «users», «skill», «roles» та «goals». Для зв'язування бази даних, а саме PostgreSQL [14] з серверною частиною використовувалась технологія Hibernate [15], що згодом була замінена на Spring Data JPA [16], так як вона забезпечує більш високий рівень автоматизації розробки.

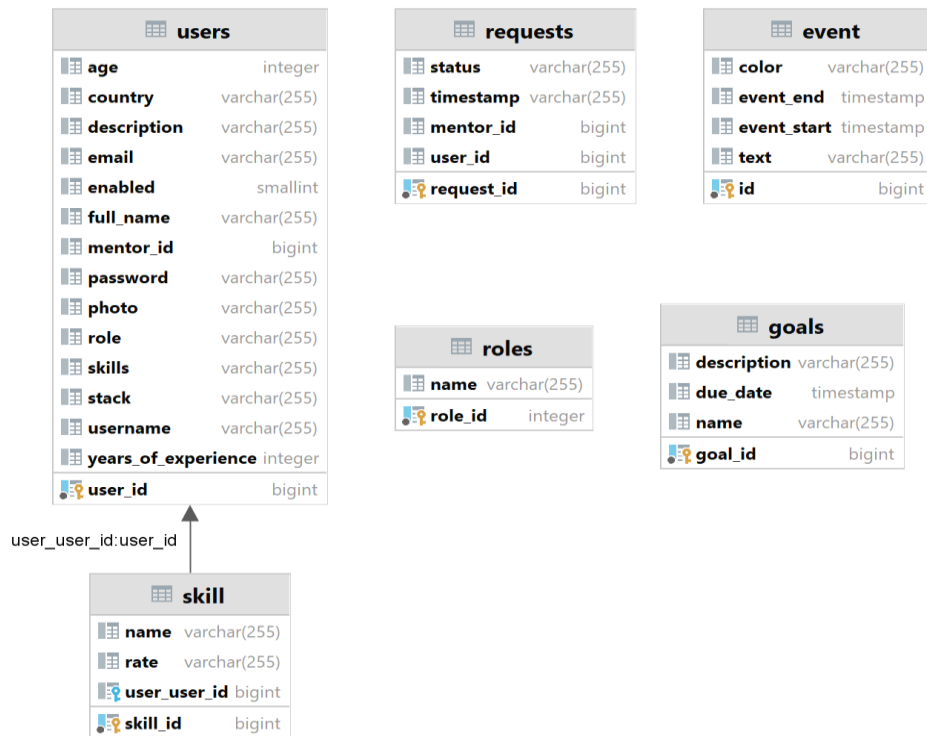


Рис. 10 – Схема бази даних системи

Експертна підсистема в даній системі працює у вигляді блоку опитування, який підбирає менторів для учнів найбільш ефективно. Дане опитування містить 10 різних запитань. Відповіді зберігає програма під час виконання і згодом їх використовує для отримання результату. Також деякі дані побудовані у вигляді графів, та для ефективного шляху проходження графу було задіяно алгоритм Йозефа Бернарда Крускала [17].

Далі розглянемо сторінку «Знайти ментора». Тут користувачу пропонується, ввести ім'я та прізвище ментора або виконати пошук застосовуючи фільтри, такі як Технологія та Країна. Також користувач може скористатись функціональними можливостями експертної системи, натиснувши на кнопку «Не знаєш як вибрати ментора? Тобі сюди...». Інтерфейс для взаємодії з користувачем був розроблений використовуючи технології CSS [18] та Angular [19], Bootstrap [20].

Якщо користувач вирішує знайти ментора за допомогою експертної системи, йому слід відповісти на ряд запитань, що допоможуть у цьому. Загальний вигляд сторінки представлений на рис. 11.

Також було додано детальний опис ресурсів з якими можуть взаємодіяти користувачі, використовуючи технологію Swagger [21].

Під час розробки системи було враховані нові тенденції веб додатків [7], [22] на ринку програмного забезпечення [23].

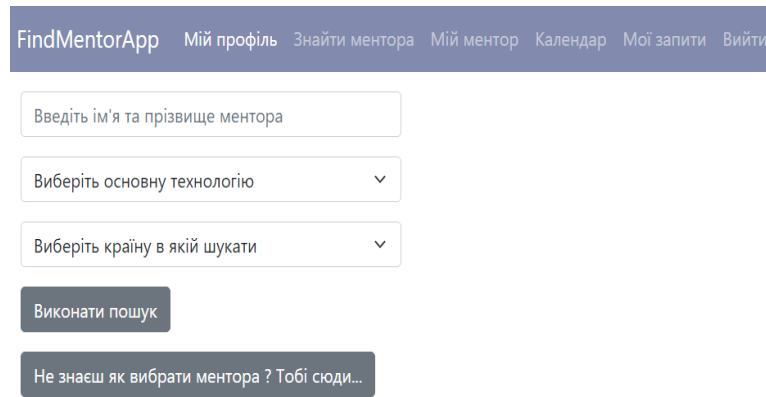


Рис. 11 – Видгляд сторінки «Знайти ментора»

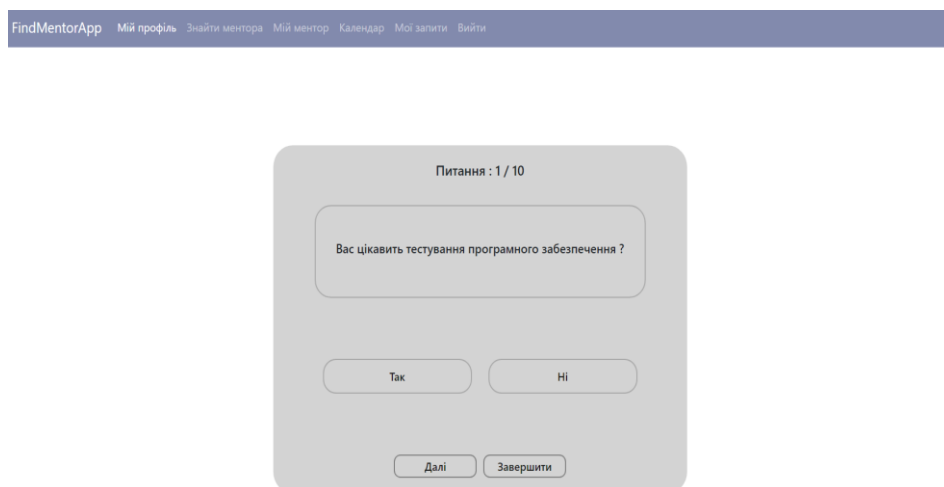


Рис. 12 – Видгляд сторінки «Форма діалогу з користувачем»

Висновки. У результаті виконаної роботи визначено основні ознаки та функції інформаційної системи пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі. Було знайдено подібні рішення, розкрито їх переваги та недоліки. Як результат, було розроблено інформаційну систему пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі.

У процесі роботи було визначено характеристики об'єкта дослідження та сформульовано подальші завдання, які необхідно виконати. Було проведено огляд літератури, описано інструменти та методи, які було використано для вирішення заданої проблеми. Також було розглянуто подібні системи та описано вибрані методи розробки програмного забезпечення. Проаналізовано та вибрано методи і розроблено алгоритми, які ефективно застосовні для вирішення проблем.

Розроблені та продемонстровані моделі роботи системи, включаючи діаграми UML, DFD, IDEF, а також діаграму класів і схему бази даних.

Як результат, розроблено інформаційну систему, яка сприятиме знаходженню менторів та покращить комунікацію між менторами і учнями, розвитку та удосконаленню їх співпраці. При цьому удосконалено метод організації навчання та виховання й консультування з урахуванням індивідуальних особливостей учасників навчального процесу з використанням сучасних інформаційної системи та інформаційних технологій.

Розроблено інформаційну систему, яка сприятиме знаходженню відповідних менторів та полегшить взаємодію між менторами і учнями, сприяючи особистісному та професійному зростанню останніх.

Розроблена інформаційна система пошуку ментора для підвищення кваліфікації в ІТ галузі повністю готова до роботи в організаціях і відкрита для подальшого функціонального розширення та підтримки.

У майбутньому, передбачено можливість удосконалення розробленої системи в напрямку

розширення виконуваних функцій та її адаптації до роботи з системами на основі мобільних платформ.

Список бібліографічного опису

1. Про захист персональних даних: Закон України від 01.06.2010 р. № 2297-VI. / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17> (дата звернення: 28.02.2024).
2. Курси програмування. Foxminded. URL: <https://foxminded.ua/> (дата звернення: 28.02.2024).
3. Флэнаган Д. JavaScript. Полное руководство. СПб.: Диалектика, 2021. 720 с.
4. Зінченко В. Соціоніка - інформаційна психологія спілкування. Освіта.ua. URL: <https://osvita.ua/school/method/teacher/3748> (дата звернення: 28.02.2024).
5. Security-first diagramming for teams. Bring your storage to our online tool, or save locally with the desktop app. Draw.io. JGraph Ltd. URL: <https://www.drawio.com/> (date of access: 01.03.2024).
6. Fowler M., Kendall S. UML Distilled Second Edition A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language. Boston: Addison Wesley, 1999. 224 p.
7. 15 провідних тенденцій веб розробки у 2020 році. Web4U. URL: <https://web4u.in.ua/blog/15-prov-dnih-tendenciy-veb-rozrobki-u-2020-roc-31> (дата звернення: 01.03.2024).
8. Spring Security 6.2.2. Spring by VMware Tanzu. URL: <https://spring.io/projects/spring-security> (date of access: 01.03.2024).
9. Codecademy Team. MVC: Model, View, Controller. Codecademy. URL: <https://www.codecademy.com/article/mvc> (date of access: 01.03.2024).
10. Spring MVC Tutorial. JavaTpoint. Sonoo Jaiswal. URL: <https://www.javatpoint.com/spring-mvc-tutorial> (date of access: 01.03.2024).
11. Блох Д. Java: эффективное программирование. СПб.: Диалектика, 2019. 464 с.
12. Spring Boot - Introduction. Tutorials Point India Private Limited. URL: https://www.tutorialspoint.com/spring_boot/spring_boot_introduction.htm (date of access: 28.02.2024).
13. Як і для чого використовувати візуалізацію даних? Ейдос: центр політичних студій та аналітики. URL: <http://eidodos.org.ua/novyny/yak-i-dlya-choho-vykorystovuvaty-vizualizatsiyu-danyh/> (дата звернення: 28.02.2024).
14. PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database. The PostgreSQL Global Development Group. URL: <https://www.postgresql.org/> (date of access: 01.03.2024).
15. Hibernate Tutorial. JavaTpoint. Sonoo Jaiswal. URL: <https://www.javatpoint.com/hibernate-tutorial> (date of access: 01.03.2024).
16. Spring Data JPA 3.2.3. Spring by VMware Tanzu. URL: <https://spring.io/projects/spring-data-jpa> (date of access: 01.03.2024).
17. Алгоритм Крускала. Algoua. URL: https://algoua.com/algorithms/graphs/mst_kruskal/ (дата звернення: 01.03.2024).
18. CSS: Cascading Style Sheets. Mozilla. URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS> (date of access: 28.02.2024).
19. Introduction to Angular concepts. Angular. Google. URL: <https://angular.io/guide/architecture> (date of access: 28.02.2024).
20. Build fast, responsive sites with Bootstrap. Bootstrap. Bootstrap Team. URL: <https://getbootstrap.com/> (date of access: 01.03.2024).
21. API Development for Everyone. Swagger. SmartBear Software. URL: <https://swagger.io/> (date of access: 01.03.2024).
22. Snyder K. Website Development: A Beginner's Guide. Forbes Advisor. Forbes Media LLC. URL: <https://www.forbes.com/advisor/business/website-development/> (date of access: 01.03.2024).
23. Ринок розробки програмного забезпечення. PRO Платформа ефективного регулювання. Міністерство економіки України. URL: <https://regulation.gov.ua/dialogue/it-i-telekom/14-rinok-rozrobki-programnogo-zabezpesenna> (дата звернення: 01.03.2024).

References

1. Zakon Ukrainy Pro zakhyst personalnykh danykh: pryiniaty 1 cherv. 2010 roku, № 2297-VI / [Law of Ukraine on Defence of Personal Data from June 1, 2010, № 2297-VI]. Verkhovna Rada Ukrainy - Supreme Council of Ukraine. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17> [in Ukrainian].
2. Kursy programuvannya. [Courses of Programming]. Foxminded. (2024). URL: <https://foxminded.ua/>
3. Flanagan, D. (2021). JavaScript: The Complete Guide. Saint-Petersburg: Dialektika. [in Russian].
4. Zinchenko, V. (2009). Sotsionika – informatsijna psyhologija spilkuvannya. [Socionics – information psychology of intercommunication]. Osvita.ua. Retrieved from: <https://osvita.ua/school/method/teacher/3748> [in Ukrainian].
5. Security-first diagramming for teams. Bring your storage to our online tool, or save locally with the desktop app. Draw.io. JGraph Ltd. (2024). Retrieved from: <https://www.drawio.com/>
6. Fowler, M. & Kendall, S. (1999). UML Distilled Second Edition A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language. Boston: Addison Wesley.
7. 15 providnykh tendencij web rozrobky u 2020 rotsi [15 leading trends of Web development in 2020]. Web4U. (2020). URL: <https://web4u.in.ua/blog/15-prov-dnih-tendenciy-veb-rozrobki-u-2020-roc-31>
8. Spring Security 6.2.2. Spring by VMware Tanzu. (2024). Retrieved from: <https://spring.io/projects/spring-security>
9. Codecademy Team. MVC: Model, View, Controller. Codecademy. (2024). Retrieved from: <https://www.codecademy.com/article/mvc>
10. Spring MVC Tutorial. JavaTpoint. Sonoo Jaiswal. (2024). Retrieved from: <https://www.javatpoint.com/spring-mvc>

tutorial

11. Bloch, J. (2019). Java: Efficient Programming. Saint-Petersburg: Dialektika. [in Russian].
12. Spring Boot - Introduction. Tutorials Point India Private Limited. (2024). Retrieved from: https://www.tutorialspoint.com/spring_boot/spring_boot_introduction.htm
13. Як і для чого використовувати візуалізацію даних? [How and what to use data visualization?]. Eidos: Tsentr Politychnykh Studij ta Analityky – Eidos: Centre of Political Studies and Analytics. (2014). Retrieved from: <http://eidos.org.ua/novyny/yak-i-dlya-choho-vykorystovuvaty-vizualizatsiyu-danyh/> [in Ukrainian].
14. PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database. The PostgreSQL Global Development Group. (2024). Retrieved from: <https://www.postgresql.org/>
15. Hibernate Tutorial. JavaTpoint. Sonoo Jaiswal. (2024). Retrieved from: <https://www.javatpoint.com/hibernate-tutorial>
16. Spring Data JPA 3.2.3. Spring by VMware Tanzu. (2024). Retrieved from: <https://spring.io/projects/spring-data-jpa>
17. Алгоритм Крускала [Kruskal algorithm]. Algoua. (2023). Retrieved from: https://algoua.com/algorithms/graphs/mst_kruskal/ [in Ukrainian].
18. CSS: Cascading Style Sheets. Mozilla. (2024). Retrieved from: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS>
19. Introduction to Angular concepts. Angular. Google. (2023). Retrieved from: <https://angular.io/guide/architecture>
20. Build fast, responsive sites with Bootstrap. Bootstrap. Bootstrap Team. (2024). Retrieved from: <https://getbootstrap.com/>
21. API Development for Everyone. Swagger. SmartBear Software. (2024). Retrieved from: <https://swagger.io/>
22. Snyder, K. (2023). Website Development: A Beginner's Guide. Forbes Advisor. Forbes Media LLC. Retrieved from: <https://www.forbes.com/advisor/business/website-development/>
23. Rynok rozrobky programnogo zabezpechennya. [Market of Software Development]. PRO Platforma efektyvnogo reguluvannya. Ministerstvo ekonomiky Ukrainy. PRP Platform of effective regulation. Ministry of Economics of Ukraine. (2024). Retrieved from: <https://regulation.gov.ua/dialogue/it-i-telekom/14-rinok-rozrobki-programnogo-zabezpechennya> [in Ukrainian].

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-02>

УДК 004.932.75'1, 004.622, 004.514

Ковівчак Ярослав Васильович, к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0003-3562-4924>**Дубук Василь Іванович**, к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-6339-1032>**Бучковський Мар'ян Володимирович**, магістрант

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПІДПISУ ОСОБИ

Ковівчак Я.В., Дубук В.І., Бучковський М.В. Розробка автоматизованої системи ідентифікації підпису особи.

У статті приведено розробку автоматизованої системи ідентифікації підпису особи. Обґрунтовано актуальність розробки. Здійснено аналіз існуючих подібних систем, розглянуто їх переваги та недоліки. Побудовано концептуальну модель системи ідентифікації підпису особи. Побудовано діаграму використання для користувачів системи. Розроблено блок-схему алгоритму роботи системи. Приведено функціональну модель системи. Розроблено діаграму класів автоматизованої системи ідентифікації підпису особи. Реалізовано базу даних. Приведено діаграму компонентів системи. Здійснено реалізацію компонентів системи, бази даних та інтерфейсу користувача. Запропонована автоматизована система ідентифікації підпису людини може знайти успішне використання у різних областях людської діяльності, а саме, у банківській справі, юридичній сфері, медицині, в діловодстві. Застосування розробленої системи на практиці допоможе забезпечити автоматизацію процесу визначення автентичності підпису особи. Це пришвидшить процеси ідентифікації підписів та зменшить ризики шахрайства при ідентифікації особи, підвищить рівень захисту документів.

Ключові слова: автоматизована система, ідентифікація особи, обробка зображень, нейронна мережа, машинне навчання.

Kovivchak Ya., Dubuk V., Buchkovsky M. Development of an automated system for identification of a person's signature. The article describes the development of an automated system for identification of a person's signature. The relevance of the development is substantiated. An analysis of existing similar systems was carried out, their advantages and disadvantages were considered. A conceptual model of a person's signature identification system was built. A usage diagram for system users was built. A block diagram of the system's operation algorithm has been developed. A functional model of the system is given. A class diagram of the automated system of identification of a person's signature has been developed. A database was developed. A diagram of the system components is given. The system components, database and user interface were implemented. The proposed automated human signature identification system can find successful use in various areas of human activity, namely, in banking, legal field, medicine, and document flow. The practical use of the developed system will ensure the automation of the process of determining the authenticity of a person's signature. This will speed up signature identification processes and reduce the risks of identity fraud, and increase the level of document protection.

Keywords: automated system, person identification, image processing, neural network, machine learning.

Постановка задачі. Ідентифікація особи у різних сферах людської діяльності є необхідною потребою при роботі з різними об'єктами з обмеженим доступом. Це зумовлює стрімкий розвиток різних напрямків досліджень в області біометричної ідентифікації. Біометрична ідентифікація дає змогу виявити фізичні або поведінкові унікальні характеристики окремих людей з метою розпізнавання та підтвердження їх особи.

На сьогодні фізичний підпис людини є юридично визнаним та суспільно розповсюдженим біометричним способом ідентифікації та підтвердження особи. Наявність фізичного підпису людини на документі має перевагу перед іншими біометричними способами підтвердження особи, оскільки не вимагає додаткового спеціального та дорогого обладнання для ідентифікації особи підписанта. Крім того, фізичний підпис під документом людина робить тоді, коли вона це розуміє та усвідомлює. Інші існуючі способи ідентифікації, що ґрунтуються на технологіях сканування відбитків пальців чи сітківки ока, можуть бути застосовані поза її волею, розумінням та свідомістю.

Однак, головною проблемою ідентифікації користувачів за їх підписом є низька ймовірність того, що два підписи, зроблені однією і тією ж особою, будуть ідентичними. Це пов'язано з тим, що при різних зовнішніх умовах та різному психофізичному стані для більшості людей складно повторити ті самі рухи з однаковою швидкістю та тиском на документ, щоб відтворити один і той самий підпис. Тому завдання виявлення підроблених підписів на документах є складною задачею.

Одним із найбільш ефективних автоматизованих способів ідентифікації підпису лю-

дини є застосування методів штучного інтелекту. Такі способи широко використовуються у банківській та страховій сферах, при здійсненні фінансових операцій та у юридичній області при укладанні угод, контрактів та інших документів. Основними перевагами застосування автоматизованої системи ідентифікації підпису особи є автоматизація процесу ідентифікації особи підписанта, а також підвищення швидкості та точності результатів ідентифікації.

Отже розробка автоматизованої системи ідентифікації підпису особи є актуальною задачею сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Робота системи верифікації підпису особи базується на розв'язанні задач розпізнавання образів, теоретичні основи розв'язання яких ґрунтовно описані у класичній праці відомих вчених [1]. Важливі науково-практичні дослідження з вказаної проблеми виконані та опубліковані авторами з Угорщини [2, 3], міжнародним колективом вчених з різних країн [4], вченими з Індії [5, 6].

В результаті досліджень було проведено аналіз існуючих доступних для огляду систем верифікації підпису людини, серед них - "Signature Verification" та "Techsign".

Система "Signature Verification" була розроблена на факультеті автоматизації та прикладної інформатики Будапештського університету технології та економіки [7]. При її розробці були використані результати ґрунтовних науково-практичних досліджень, викладених авторами [2, 3, 4]. Дана система призначена для індивідуального використання з метою ідентифікації підпису людини. Система дає змогу користувачам вибирати тип конфігурації, кількість референтних зображень підписів, проглянути детальний звіт верифікації. На рис. 1 приведено інтерфейс користувача системи [7].

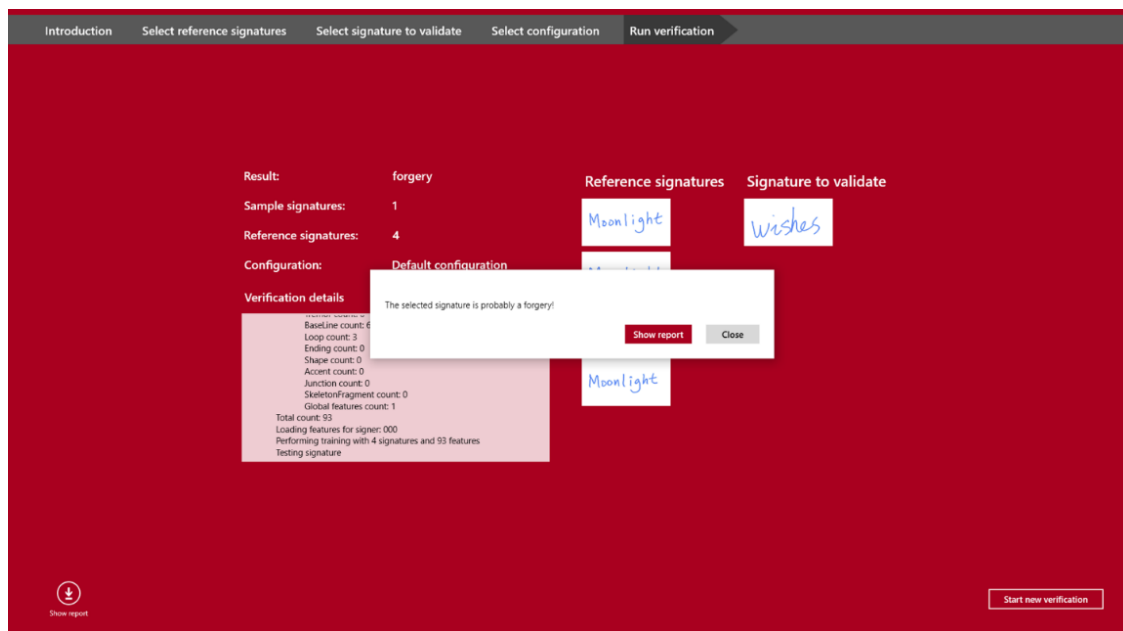


Рис. 1 – Інтерфейс системи "Signature Verification"

Завдяки можливості змінювати конфігурацію системи під час її використання, користувачі мають змогу здійснювати вибір різних методів на різних етапах верифікації підпису особи. Також користувачі можуть створити, зберегти та використовувати свою власну, найбільш оптимальну для них, конфігурацію системи.

До переваг системи можна віднести: зручний інтерфейс користувача; простота роботи з системою; можливість зміни конфігурації системи на різних етапах верифікації підпису; формування детального звіту проведеної верифікації. Недоліки: незахищеність системи від доступу інших користувачів; необхідність використання декількох референтних

зображеннях для верифікації окремого підпису; відсутність інформації про власників підписів; лише англomовний інтерфейс.

У 2022 році компанія Techsign Biometric signature & forensic tool з Туреччини розробила систему верифікації підпису людини "Techsign" для комерційного застосування [8].

Для роботи з системою передбачено використання планшету з метою отримання реального фізичного підпису особи. У результаті роботи системи формується детальний звіт, у якому вказується ймовірність співпадіння підпису, швидкість написання, кут та натиск при здійсненні підпису. На рис. 2 приведено інтерфейс системи "Techsign" [8].

Для верифікації підпису системою "Techsign", користувачі повинні надати декілька зрізців власних підписів. Отримання підписів користувача відбувається на спеціальному обладнанні, яке здійснює ідентифікацію основних характеристик окремого підпису особи. Лише після цього система може застосовуватись для ідентифікації підписів відповідних користувачів.

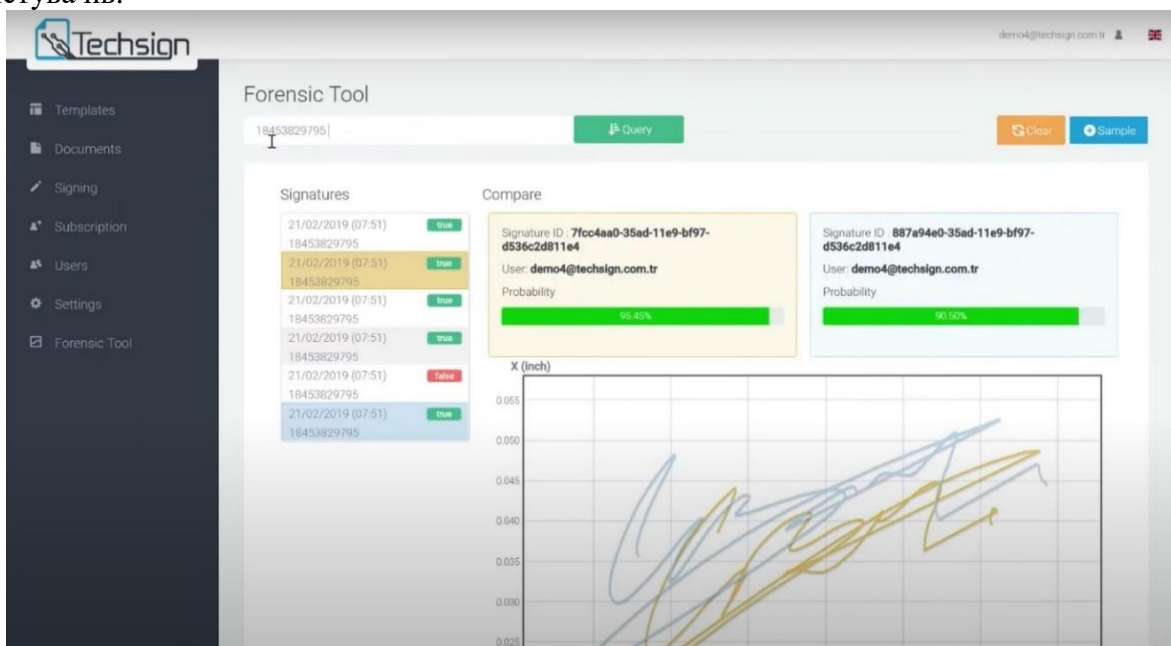


Рис. 2 – Інтерфейс системи "Techsign"

До переваг розглянутої системи можна віднести: високу точність розпізнавання підпису особи (90 – 95 %); простий інтерфейс; простоту використання системи; формування детального звіту результату верифікації підпису користувачів. Недоліки: необхідність застосування спеціального обладнання для верифікації підпису; необхідність застосування декількох зразків підписів користувача для проведення ідентифікації підпису особи; відсутність інформації про власника підпису.

Метою дослідження було розроблення автоматизованої системи ідентифікації та верифікації підпису людини на основі алгоритмів машинного навчання.

Основна частина. На першому етапі роботи було побудовано концептуальну модель системи на основі підходів, викладених автором [9] (рис. 3).



Рис. 3 – Концептуальна модель системи ідентифікації підпису особи

Оскільки система призначена для індивідуального використання, на концептуальній моделі зображено лише дві зовнішні сутності – користувача системи та базу даних з підписами осіб. Користувач має можливість завантажити підпис клієнта, здійснити його ідентифікацію, переглянути результати ідентифікації, а також зберегти підпис клієнта в базі даних. База даних містить інформацію про підписи клієнтів, яка необхідна для їх ідентифікації.

У відповідності до концептуальної моделі, приведеної на рис. 3, розроблено діаграму варіантів використання для користувачів системи. Особливості створення діаграм варіантів використання ґрунтовно пояснені у [10]. Така діаграма відображає основні функції системи, які може виконати користувач та послідовність їх виконання. Діаграма варіантів використання для системи ідентифікації підпису особи приведена на рис. 4.

Також було розроблено алгоритм роботи системи для ідентифікації підпису особи на основі використання штучних нейронних мереж на основі підходів, описаних автором [11]. Алгоритм передбачає виконання наступних основних кроків:

1. Налаштування параметрів нейронної мережі.
 2. Опрацювання навчальних даних.
 3. Навчання нейронної мережі.
 4. Визначення похибки навчання (якщо похибка велика, то навчання продовжується, якщо похибка допустима – нейронна мережа може використовуватися для ідентифікації підпису).
 5. Завантаження зображення з підписом.
 6. Попереднє опрацювання зображення.
 7. Розпізнавання підпису.
 8. Виведення результату.
- Блок-схема алгоритму наведена на рис. 5.

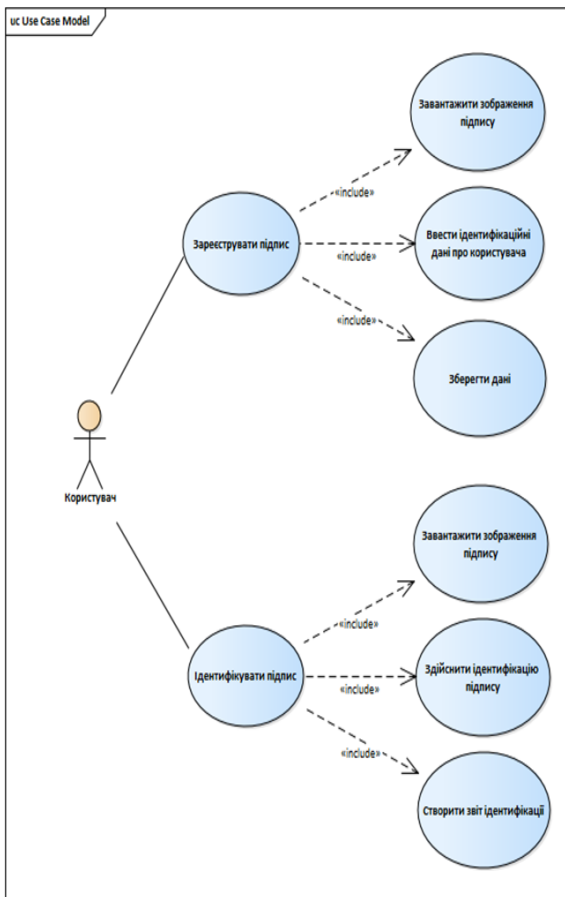


Рис. 4 – Діаграма варіантів використання

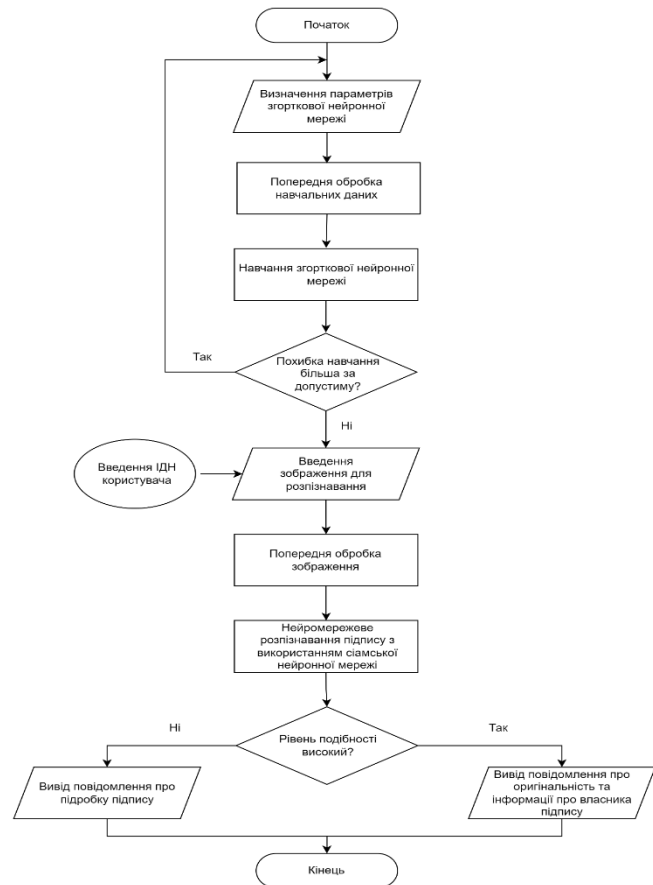


Рис. 5 – Блок-схема роботи алгоритму роботи системи ідентифікації підпису особи

Для того, щоб змоделювати та описати основні процеси в системі ідентифікації підпису особи, здійснено побудову функціональної моделі системи з використанням IDEF0 діаграм. На початку, під час проектування системи було розроблено контекстну діаграму та проведено її деталізацію на діаграмах нижчого рівня (побудову діаграм було здійснено за допомогою інструментального програмного засобу Ramus Educational [12]).

Діаграма декомпозиції першого рівня контекстної діаграми функціональної моделі системи приведена на рис. 6. У відповідності до завдань у функціональній моделі системи було передбачено виконання наступних процесів: навчання нейронної мережі, ідентифікація підпису особи та онлайн допомога.

Після проходження авторизації користувач може здійснювати процес ідентифікації підпису особи на основі використання нейронної мережі [13]. Для навчання нейронної мережі застосовуються набори підписів осіб, які зберігаються у базі даних. Нейронна мережа може використовуватись для ідентифікації підпису лише після успішного її навчання [14, 15, 16]. Всі дані з підписами користувачів та результати навчання нейронної мережі захищені у відповідності до правил захисту персональних даних та прав споживачів.

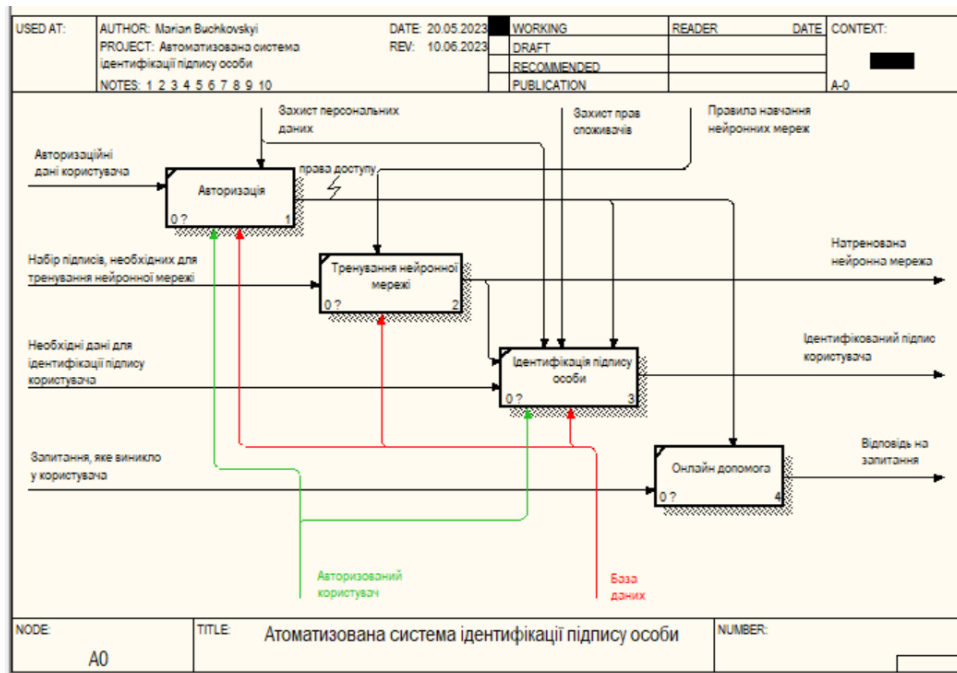


Рис. 6 – Діаграма декомпозиції першого рівня системи

Під час реалізації системи ідентифікації підпису особи розроблено структуру бази даних. База даних побудована на основі реляційної моделі. Структуру бази даних системи приведено на рис. 7.

В базі даних реалізовано наступні сутності: користувач; підпис; клієнт та запитання. Також визначено зв'язки між сутностями. Для розробки бази даних застосовано SQLite [17]. З метою організації доступу до даних використано шар Data Access (доступ до даних здійснюється за допомогою модуля sqlite3).

Архітектура системи реалізована на основі стандартного підходу "Модель-Вигляд-Контролер" (Model-View-Controller) [18]. Компонент Model забезпечує реалізацію алгоритму роботи з даними, а компонент Controller забезпечує алгоритм роботи системи. Компонент View призначений для роботи з інтерфейсом користувача.

У процесі розробки системи побудовано діаграму класів. Діаграма класів приведена на рис. 8. На даній діаграмі приведено всі класи, що формують систему, а саме: User, Signature, Question, Operator та зв'язки між ними.

Загальна структура системи відображена на діаграмі компонентів, яка приведена на рис. 9.

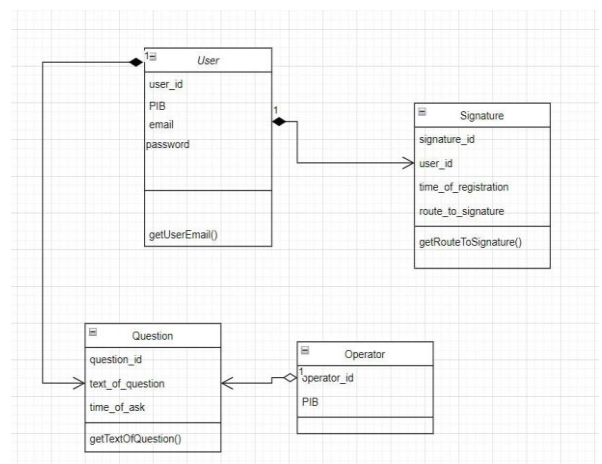
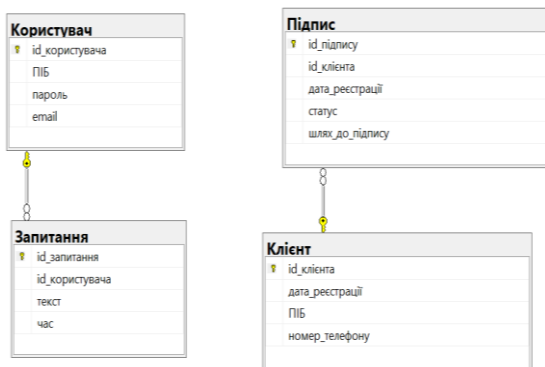


Рис. 7 – Структура бази даних системи ідентифікації підпису особи

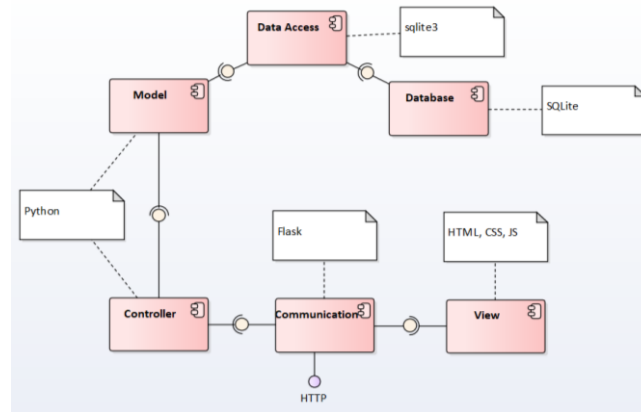


Рис. 8 – Діаграма класів

Рис. 9 – Діаграма компонентів системи ідентифікації підпису особи

Також було здійснено розробку необхідних модулів та інтерфейсу користувача системи ідентифікації підпису особи. Крім цього, проведено тестування роботи окремих компонентів та системи загалом. Основні вікна інтерфейсу користувача зображено на рис. 10 і рис. 11.

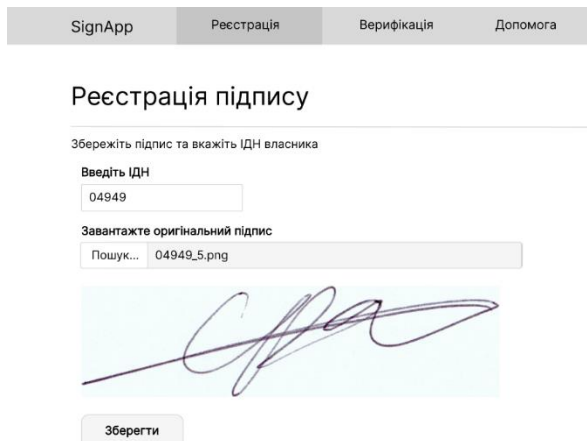


Рис. 10 – Інтерфейс користувача для реєстрації підпису особи

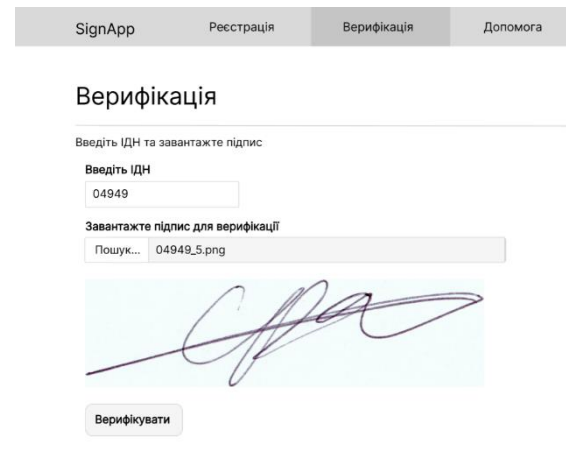


Рис. 11 – Інтерфейс користувача для ідентифікації підпису особи

Після успішної авторизації в системі перед користувачем відкривається вікно "Реєстрація підпису". Це дає змогу користувачу здійснювати внесення підписів нових клієнтів у базу даних. Для здійснення ідентифікації підпису особи необхідно ввести в систему ідентифікаційний номер власника підпису та зображення підпису, яке потрібно верифікувати. Після завершення опрацювання підпису особи, система виведе користувачу повідомлення про статус вибраного підпису (підроблений чи справжній), а також інформацію про власника підпису (якщо верифікація була успішною).

Висновки. У результаті виконання роботи було розроблено автоматизовану систему ідентифікації підпису особи. Наведено обґрунтування актуальності розробки системи. Проведено аналіз систем аналогічного призначення, а також розглянуто їх переваги та недоліки. Здійснено побудову необхідних компонентів системи, бази даних та інтерфейсу користувача. Проведено їх тестування.

Запропонована автоматизована система ідентифікації підпису особи може знайти своє успішне використання у різних областях людської діяльності, а саме: у банківській та страховій діяльності, юридичній сфері, медицині, в діловодстві. Застосування розробленої системи на практиці автоматизує процес визначення автентичності підпису особи, пришвидшить його та зменшує ризики шахрайства при ідентифікації клієнтів, а також підвищить рівень захисту підписаних документів.

Список бібліографічного опису

1. Theodoridis S., Koutroumbas K. Pattern Recognition. New York: Academic Press, 2009. 961 p. URL: <https://books.google.com/books?id=QgD-3Tcj8DkC> (date of access: 10.02.2024).
2. Kovari B., Charaf H. A study on the consistency and significance of local features in off-line signature verification. Pattern Recognition Letters. 2013. Vol. 34, Issue 3. PP. 247-255. URL: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2012.10.011> (date of access: 10.02.2024).
3. Saleem M., Kovari B. Online signature verification using signature down-sampling and signer-dependent sampling frequency. Neural Computing & Applications. 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06536-z> (date of access: 10.02.2024).
4. Tolosana R., Vera-Rodriguez R., Gonzalez-Garcia C., Fierrez J., Morales A., Ortega-Garcia J., Ruiz-Garcia J.C., Romero-Tapiador S., Rengifo S., Caruana M., Jiang J., Lai S., Jin L., Zhu Y., Galbally J., Diaz M., Ferrer M. A., Gomez-Barrero M., Hodashinsky I., Sarin K., Slezkin A., Bardamova M., Svetlakov M., Saleem M., Szucs C.L., Kovari B., Pulsmeier F., Wehbi M., Zanca D., Ahmad S., Mishra S., Jabin S. SVC-onGoing: Signature verification competition. Pattern Recognition. 2022. Vol. 127, 108609, URL: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2022.108609> (date of access: 10.02.2024).
5. Krishna Prasad P. R., Reddy K.R., Sai M.H., Gopi L.Th., Vedakshari K. A Siamese Network based Writer Independent Offline Signature Verification. IJFANS International Journal of Food and Nutritional Sciences. 2022. Vol. 11. Issue 12. URL: <https://doi.org/10.48047/ijfans/v11/i12/204> (date of access: 10.02.2024).
6. Chauhan D., Verma D., Aggarwal A. Hand-Written Characters Recognition using Siamese Network Design. 2022. 1st International Conference on Informatics (ICI), Noida, India, 2022. PP. 66-70. URL: <https://doi.org/10.1109/ICI53355.2022.9786908> (date of access: 10.02.2024).
7. Signature verification research. BME Department of Automation and Applied Informatics. Budapest University of Technology and Economics. Faculty of Electrical Engineering and Informatics. URL: <https://www.aut.bme.hu/en/Pages/Research/Signature/Introduction> (date of access: 10.02.2024).
8. Close Deals At The Speed Of Life. All eSignatures In One. Techsign Doc. Techsign. 2024. URL: <https://www.techsigndoc.com/en/features.html> (date of access: 12.02.2024).
9. Olivé A. Conceptual Modeling of Information Systems. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2007. 455 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-39390-0> (date of access: 12.02.2024).
10. Use Case Diagram Tutorial. Visual Paradigm. 2024. URL: <https://online.visual-paradigm.com/diagrams/tutorials/use-case-diagram-tutorial/> (date of access: 12.02.2024).
11. Weng L. Contrastive Representation Learning. Lil'Log. 2021. URL: <https://lilianweng.github.io/posts/2021-05-31-contrastive/> (date of access: 12.02.2024).
12. RAMUS Java-based IDEF0 & DFD Modeler. Ramus. URL: <https://ramussoftware.com/> (date of access: 12.02.2024).
13. Бельковець В.Ю. Дослідження та порівняння нейронних мереж на прикладі реалізації задачі розпізнавання рукописних цифр. Текстова частина до курсової роботи за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки». Національний університет «Києво-Могилянська академія». 2021. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/7ec56f11-b512-4f38-80a2-0d4237234075/content> (дата звернення: 12.02.2024).
14. Танасюк Д.О. Дослідження методів комп'ютерного зору для вирішення задач навчання ознак для реідентифікації об'єктів. Атестаційна робота. Рівень вищої освіти – другий (магістерський). Пояснювальна записка. Харківський національний університет радіоелектроніки. 2020. URL: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/650acd74-8a10-4600-9bdc-0477298dcf91/content> (дата звернення: 12.02.2024).
15. Xiao W., Ding Y. A Two-Stage Siamese Network Model for Offline Handwritten Signature Verification. Symmetry. 2022. Vol. 14 No. 6: 1216. URL: <https://doi.org/10.3390/sym14061216> (date of access: 13.02.2024).
16. Sharma N., Gupta S., Mohamed H.G., Anand D., Mazón J.L.V., Gupta D., Goyal N. Siamese Convolutional Neural Network-Based Twin Structure Model for Independent Offline Signature Verification. Sustainability. 2022. Vol.14. No.18: 11484. URL: <https://doi.org/10.3390/su141811484> (date of access: 13.02.2024).
17. SQLite Small. Fast. Reliable. Choose any three. The SQLite Consortium. 2024. URL: <https://www.sqlite.org/index.html> (date of access: 13.02.2024).
18. Sheldon R. Model-View-Controller (MVC). TechTarget. 2024. URL: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/model-view-controller-MVC> (date of access: 13.02.2024).

References

1. Theodoridis, S. & Koutroumbas, K. (2009). Pattern Recognition. New York: Academic Press, 961. URL: <https://books.google.com/books?id=QgD-3Tcj8DkC>
2. Kovari, B. & Charaf, H. (2013). A study on the consistency and significance of local features in off-line signature verification. Pattern Recognition Letters, 34 (3), 247-255. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2012.10.011>
3. Saleem, M. & Kovari, B. (2021). Online signature verification using signature down-sampling and signer-dependent sampling frequency. Neural Computing & Applications. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06536-z>
4. Tolosana, R., Vera-Rodriguez, R., Gonzalez-Garcia, C., Fierrez, J., Morales, A., Ortega-Garcia, J., Ruiz-Garcia, J.C., Romero-Tapiador, S., Rengifo, S., Caruana, M., Jiang, J., Lai, S., Jin, L., Zhu, Y., Galbally, J., Diaz, M., Ferrer, M. A., Gomez-Barrero, M.,

- Hodashinsky, I., Sarin, K., Slezkin, A., Bardamova, M., Svetlakov, M., Saleem, M., Szucs, C.L., Kovari, B., Pulsmeier, F., Wehbi, M., Zanca, D., Ahmad, S., Mishra, S. & Jabin, S. (2022). SVC-onGoing: Signature verification competition. *Pattern Recognition*, 127, 108609. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2022.108609>
5. Krishna Prasad, P. R., Reddy, K.R., Sai, M.H., Gopi, L.Th. & Vedakshari, K. (2022). A Siamese Network based Writer Independent Offline Signature Verification. *IJFANS International Journal of Food and Nutritional Sciences*, 11 (12). <https://doi.org/10.48047/ijfans/v11/i12/204>
6. Chauhan, D., Verma, D. & Aggarwal, A. (2022). Hand-Written Characters Recognition using Siamese Network Design. 1st International Conference on Informatics (ICI), Noida, India, 66-70. <https://doi.org/10.1109/ICI53355.2022.9786908>
7. Budapest University of Technology and Economics. Faculty of Electrical Engineering and Informatics. BME Department of Automation and Applied Informatics. (2024). Signature verification research. <https://www.aut.bme.hu/en/Pages/Research/Signature/Introduction>
8. Techsign. (2024). Close Deals At The Speed Of Life. All eSignatures In One. Techsign Doc. <https://www.techsigndoc.com/en/features.html>
9. Olivé, A. (2007). *Conceptual Modeling of Information Systems*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 455. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-39390-0>
10. Visual Paradigm. (2024). Use Case Diagram Tutorial. <https://online.visual-paradigm.com/diagrams/tutorials/use-case-diagram-tutorial/>
11. Weng, L. (2021). Contrastive Representation Learning. *Lil'Log*. <https://lilianweng.github.io/posts/2021-05-31-contrastive/>
12. Ramus. (2024). RAMUS Java-based IDEF0 & DFD Modeler. <https://ramussoftware.com/>
13. Belkovets, V.Yu. (2021). Research and comparison of neural networks on the example of recognition of handwritten numbers problem solving. Text part of course work by specialty 122 «Computer Science». National University «Kyiv-Mohyla Academy». <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/7ec56f11-b512-4f38-80a2-0d4237234075/content>
14. Tanasiuk, D.O. (2020). Research of computer vision methods to solve the learning problems of signs for reidentification of objects. Certification thesis. The level of higher education is the second (Master's). Explanatory note. Kharkiv National University of Radioelectronics <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/650acd74-8a10-4600-9bdc-0477298dcf91/content>
15. Xiao, W. & Ding, Y. (2022). A Two-Stage Siamese Network Model for Offline Handwritten Signature Verification. *Symmetry*, 14(6): 1216. <https://doi.org/10.3390/sym14061216>
16. Sharma, N., Gupta, S., Mohamed, H.G., Anand, D., Mazón, J.L.V., Gupta, D. & Goyal, N. (2022). Siamese Convolutional Neural Network-Based Twin Structure Model for Independent Offline Signature Verification. *Sustainability*, 14 (18): 11484. <https://doi.org/10.3390/su141811484>
17. The SQLite Consortium. (2024). SQLite Small. Fast. Reliable. Choose any three. <https://www.sqlite.org/index.html>
18. Sheldon, R. (2024). Model-View-Controller (MVC). TechTarget. <https://www.techtarget.com/whatis/definition/model-view-controller-MVC>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-03>

УДК 004.51, 004.62

Мельник Арсен Олегович, магістрант

Кинаш Юрій Євстахійович, к.ф.-м.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-3762-3215>

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВІДНОСИНАМИ З КЛІЄНТАМИ МАЛОГО БІЗНЕСУ

Мельник А.О., Кинаш Ю.Є. Розробка підсистеми автоматизованого управління відносинами з клієнтами малого бізнесу. У статті приведено розробку підсистеми автоматизації управління відносинами з клієнтами на базі CRM-системи. В статті обґрунтовано актуальність розробки, розглянуто способи автоматизації управління відносинами з клієнтами, проведено аналіз наявних в Україні подібних систем. Приведено діаграму використання підсистеми для користувачів. Розроблено блок-схеми алгоритмів роботи. Приведено діаграму взаємодії модулів системи. Спроектовано базу даних та розроблено діаграму класів системи. Розроблено інтерфейс користувача та реалізовано програмні модулі. Запропонована підсистема автоматизованого управління може успішно використовуватися у сфері діяльності малого бізнесу. Практичне значення розробленої системи полягає у можливості автоматизувати взаємодію підприємства з клієнтами. Підсистема буде використовуватися для збереження даних про клієнта, товари і угоди. Використання підсистеми забезпечить автоматизацію частини рутинної роботи, наприклад, при веденні угод. Завдяки цьому, мінімізується кількість помилок в роботі підприємства і підвищується продуктивність загалом.

Ключові слова: інформаційна система, CRM, управління відносинами, REST, бізнес-процес продажу.

Melnyk A., Kynash Y. Development of a subsystem of automated management of relations with small business clients. The article describes the development of a subsystem for the automation of customer relations management based on the CRM system. The article substantiates the relevance of the development, considers the methods of automating the management of relations with clients, and conducts an analysis of similar systems available in Ukraine. A subsystem usage diagram for users is provided. Block diagrams of work algorithms have been developed. The interaction diagram of the system modules is given. The database was designed and the class diagram of the system was developed. The user interface was developed and software modules were implemented. The proposed subsystem of automated management can be successfully used in the field of small business. The practical value of the developed system lies in the possibility to automate the interaction of the enterprise with customers. The subsystem will be used to store customer, product and transaction data. The use of the subsystem will ensure the automation of part of the routine work, for example, when conducting transactions. Thanks to this, the number of errors in the work of the enterprise is minimized and productivity increases in general.

Keywords: information system, CRM, relationship management, REST, business-process of sales.

Постановка задачі. Розвиток інформаційних технологій протягом останнього десятиліття суттєво розширив можливості ефективного управління. Це надає менеджерам, фінансистам, маркетологам і керівникам різних рівнів передові методи обробки та аналізу економічної інформації при прийнятті обґрунтованих рішень. Інформаційні системи розширюють професійні можливості фахівців і сприяють більш раціональному, цілеспрямованому і економічному веденню бізнесу, що призводить до більшої ефективності. Конкуренція сучасного ринку вимагає необхідність у підвищенні ефективності виробництва, оперативній реакції на зміни, поліпшенні обслуговування клієнтів, зменшенні втрат і розробці ефективних прогнозів на майбутнє. Реалізація завдань автоматизації потребує чіткого визначення бізнес-процесів, які потрібно автоматизувати. Це дозволяє детально їх вивчати, аналізувати та обрати оптимальний метод автоматизації. Існують три ключові методи автоматизації у взаємодії з клієнтами: автоматизація процесів торгових представників, автоматизація обслуговування клієнтів і автоматизація управління відносинами з клієнтами – Customer Relationship Management (CRM). CRM-система забезпечує можливість відслідковувати, розуміти та утримувати ефективні бізнес-відносини з клієнтами. Це досягається шляхом обробки інформації, наданої клієнтами, ведення замовлень і підготовки звітів щодо популярних товарів або послуг компанії, що сприяє формуванню довгострокової конкурентної переваги.

CRM-система повинна виконувати основні завдання [1, 2] збору даних про клієнтів, зберігання та обробки отриманих даних, вивід інформації та результатів аналізу або експорту даних в інші системи, отримання інформації про угоди та їх стан.

Завдання збору даних передбачає введення в систему всіх наявних даних про клієнта та його взаємодію з підприємством [3]. Ця інформація містить особисті дані клієнта, а також деталі щодо його взаємодії з підприємством, такі як мета взаємодії (опис придбаного товару, ціна, кількість, вид оплати). Наприклад, аналізуючи історичні дані CRM-система може визначити, який товар

пропонувати конкретному клієнту. У випадку постійного покупця система може надати нагадування про наявність знижки.

Для поетапного впровадження концепції CRM необхідно виконати такі завдання [3]:

- Ідентифікація клієнтів. Для підвищення цінності клієнта на підприємстві складають на нього резюме.
- Диференціація клієнтів. Кожен клієнт має свою унікальну цінність для підприємства і має право на висунення своїх індивідуальних запитів та вимог.
- Взаємодія з клієнтом. Потрібно відстежувати вподобання та потреби клієнта.
- Персоналізація. Кожного клієнта розглядають, як унікальну особистість і обслуговують відповідно до цього принципу. В такий спосіб, можна регулювати ступенем прихильності клієнтів до підприємства.

Отже, підсистема, що розробляється, буде обмежена основними функціями CRM, оскільки її головною цільовою аудиторією є малий бізнес. В даній підсистемі передбачається скорочений функціонал, спрощений для полегшення введення нових користувачів. Підприємствам не доведеться витратити значний час на навчання персоналу при використанні цієї підсистеми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Необхідність автоматизації різних бізнес-процесів стала стандартним явищем. Торгові представники використовують спеціалізовані програми для оформлення та відправлення замовлень безпосередньо з планшетів або мобільних телефонів, і значна частина замовлень надходить у вигляді готових документів. Проте, взаємодія з клієнтами, особливо в середньому та малому бізнесі, часто відбувається без використання автоматизації та недостатньої уваги до обліку [4].

Можна виокремити принаймні три основні напрямки у сфері автоматизації взаємодії з клієнтами [5]:

- Автоматизація роботи торгових представників (Sales Force Automation — SFA).
- Автоматизація надання клієнтських послуг (Customer Service — CS).
- Управління взаєминами з клієнтами (CRM).

Автоматизація роботи торгових представників (SFA) [6] – це використання програмних засобів для автоматизації конкретних аспектів процесу продажів. Зазвичай, автоматизація спрямована на оптимізацію повторюваних адміністративних завдань, які, не зважаючи на їх важливість, можуть забирати значний час у відділу продажів.

Засоби автоматизації відділу продажів спрямовані на підтримку у процесі реалізації товарів чи послуг. Головна мета автоматизації відділу продажів полягає в тому, щоб допомогти компаніям збільшувати обсяги продажу своєї продукції.

Автоматизація надання клієнтських послуг [7] включає в себе автоматизацію процесів пов'язаних із наданням підтримки клієнтам у використанні, виявленні, оптимізації та усуненні недоліків щодо послуги чи продукту.

Підтримка клієнтів охоплює використання, виявлення, оптимізації та усунення недоліків щодо послуги чи продукту. Це також включає в себе процеси, які підтримують команди, що стараються забезпечити високий рівень обслуговування клієнтів. Ефективна команда обслуговування клієнтів є ключовою для залучення нового бізнесу, збільшення утримання клієнтів та підвищення обсягів продажів серед існуючої клієнтської бази даних.

Управління взаєминами з клієнтами (автоматизація клієнтського обслуговування) [8] — це спеціально розроблений процес, призначений для зменшення або повного усунення необхідності у людській участі при вирішенні питань або наданні консультацій клієнтам. Обслуговування клієнтів включає розуміння їхніх потреб та забезпечення відповідної допомоги для задоволення цих потреб.

Завдання CRM-системи забезпечити автоматизацію взаємодії з клієнтами в організаціях. Основними завданнями цієї системи є підвищення обсягів продажів, оптимізація маркетингових процесів і поліпшення обслуговування клієнтів. CRM-система охоплює автоматизацію обслуговування клієнтів та відділу продажів. Автоматизація відділу продажів в CRM виявляється менш ефективною, оскільки CRM-система є композицією декількох підсистем. Таким чином, для належної автоматизації процесів продажу відділу рекомендується використовувати Sales Force Automation, а для оптимальної автоматизації клієнтського обслуговування слід користуватися Customer Service. Використання CRM-системи розумно, коли є необхідність автоматизувати обидва вищезазначені процеси за допомогою єдиного інструменту.

Переваги від впровадження CRM-системи є наступними [3]: оптимізація витрат, розширення

обсягів продажів і стратегічний вплив. При використанні CRM-системи, як програмного продукту, автоматизація бізнес-процесів на її основі призводить не тільки до прямих ефектів економії витрат, а й до непрямой вигоди, котру можна отримати через підтримку існуючої бізнес-моделі.

У зв'язку із тим, що впровадження CRM-системи вимагає витрат часу і коштів, а також охоплює складність управління системою та необхідність навчання персоналу, малий бізнес зазвичай уникає використання таких систем.

Можна зробити висновок, що проста та доступна підсистема для автоматизації взаємодії з клієнтами, яка обмежена функціоналом, може стати привабливим рішенням для малого бізнесу. Це дозволить швидко інтегрувати підприємство з такою системою та сприятиме більш ефективному розвитку.

Серед популярних українських CRM-систем можна виділити Terrasoft CRM, Perfectum CRM, Salesdrive.

Terrasoft CRM [9]: відома також під брендом Creatio, є однією з найстаріших та, ймовірно, найбільш розвинених серед українських CRM-систем. Компанія Terrasoft пропонує комплексні рішення за відповідну ціну. Terrasoft CRM доступна як у хмарному сховищі, так і на власному сервері. Серед основних можливостей цієї CRM-системи: управління лідами, різноманітні види розсилок, автоматизація бізнес-процесів, аналітика та управління завданнями. Крім того, існують спеціалізовані рішення для різних галузей, таких як банківська справа, державні установи, торгівля, виробництво та інші галузі бізнесу. Terrasoft CRM орієнтована на великий бізнес. В даній системі можна бачити інформацію про клієнта, аналітику і статистику, угоди з клієнтом, які з них відкриті, а які закриті.

Perfectum CRM [10]: комплексний програмний пакет, який включає не лише модуль CRM, а й інструменти для управління проектами, торгівлею та повноцінною ERP-системою. У своєму складі він має функції управління документообігом, кадровим обліком, проектами та бізнес-процесами. Perfectum CRM надає можливості для планування та розподілу завдань серед співробітників, а також включає основні функції CRM, такі як автоматизація замовлень, управління клієнтською базою даних та аналітика продажів. Цей пакет можна придбати у вигляді коробкового продукту або обрати хмарний варіант. Ліцензійна оплата є одноразовою, тобто придбана ліцензія діє безстроково. Perfectum CRM спрямована на середні підприємства.

Salesdrive [11]: ця система пропонує повний спектр функцій, включаючи управління клієнтами, розсилками, управління продажами, моніторинг товарів на складі, облік рахунків, а також надає звіти та аналітичні можливості. Особливістю цієї системи є можливість інтеграції з популярними торговельними платформами. Це означає, що дані, введені користувачем на платформі, автоматично передаються до сховища CRM-системи. Вказана CRM-система призначена для середнього бізнесу.

Системи, які були згадані вище, спрямовані на великі чи середні підприємства, відрізняються високою вартістю та великим набором функцій, що робить їх складними для впровадження, особливо для користувачів з малими бізнес-проектами.

Основна цільова аудиторія розроблюваної підсистеми – це малий бізнес. Планується, що вона матиме обмежений функціонал, що дозволить знизити поріг входу. Це значить, що підприємствам не потрібно буде витрачати значний час на навчання своїх співробітників роботі з цією підсистемою.

Метою дослідження було проектування і розроблення підсистеми автоматизованого управління відносинами з клієнтами малого бізнесу.

Основна частина. На першому етапі роботи було спроектовано архітектуру підсистеми (рис. 1). На приведеній схемі зображено клієнтську частину для підсистеми, до якої користувач може доступитись з будь-яких пристроїв. Її реалізовано за допомогою мови програмування TypeScript та фреймворку Angular. Серверна частина реалізована за допомогою фреймворку Spring Boot.

Для компіляції проекту використано Maven, інструмент автоматизованої збірки для Java-проектів [12]. Maven використовує Project Object Model (POM), який представляє собою XML-файл із докладною інформацією про проект, його конфігурації, версії, та управління конфігурацією. Файл POM розташовується у кореневому каталозі проекту, і Maven використовує його для виконання завдань, таких як збірка, компіляція або тестування [13].

Для реалізації підсистеми обраний архітектурний стиль Representational State Transfer (REST), основний принцип якого полягає в розділенні клієнта і сервера [14].

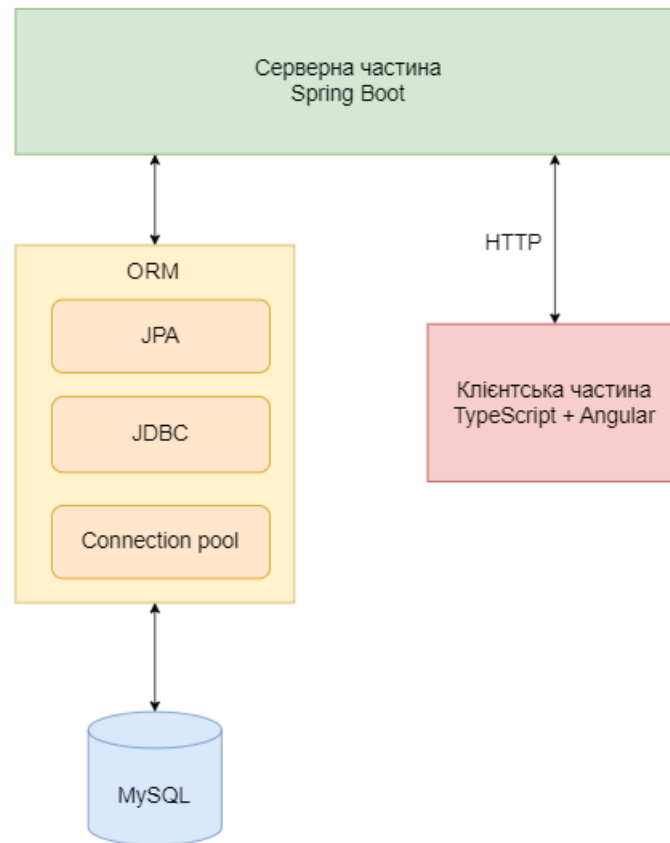


Рис. 1 – Схема архітектури підсистеми

REST — це архітектурний стиль, спрямований на встановлення стандартів для взаємодії комп'ютерних систем в Інтернеті, шляхом застосування обмежень, що полегшують цей процес. Rest має такі обмеження [15]: архітектура клієнт-сервер, відсутність збереження стану, використання кешування, уніфікований інтерфейс, розділення на рівні абстракцій, код запитів. Перше ключове обмеження вказує на необхідність використання клієнт-серверної архітектури для підсистеми. Таким чином, відбувається розподіл відповідальності між компонентами, що обробляють дані на сервері, і компонентами, які відповідають за відображення даних та інтерфейсі користувача [16]. Цей підхід дозволяє паралельно розробляти клієнтські та серверні програми, що пришвидшує процес розробки. Крім того, така структура дозволяє вносити зміни в код на стороні клієнта без впливу на роботу серверної логіки, і навпаки. Зміни в коді на стороні сервера не впливають на роботу клієнта, якщо обидві сторони дотримуються визначеного формату обміну повідомленнями. Це сприяє модульності і окремоті зберігання та обробки даних. Розділення інтерфейсу користувача від операцій з даними поліпшує гнучкість інтерфейсу на різних платформах і полегшує масштабованість, спрощуючи компоненти сервера. Крім того, цей поділ дозволяє кожному компоненту розвиватися незалежно від іншого. Компоненти взаємодіють між собою, використовуючи HTTP протокол [17] (HyperText Transfer Protocol).

Для спрощення впровадження використано фреймворк Spring Boot [18]. Spring Boot — це фреймворк, побудований на принципах введення залежностей (dependency injection). Він включає необхідні бібліотеки для реалізації REST API (Application Programming Interface) та включає сервер, на якому функціонуватиме дане API. У Spring в якості сервера використовується Apache Tomcat. Цей фреймворк також має інтеграцію з Maven, що спрощує підключення нових залежностей.

Для реалізації ORM (Object-relational mapping, Об'єктно-реляційна проекція) використовується Hibernate [19]. ORM – це система, яка конвертує моделі даних програми у формат, зрозумілий для бази даних. Для написання юніт-тестів використано фреймворк Junit [20]. В якості постачальника бази даних обрано MySQL [21]. Для написання клієнтської частини проекту використано мову програмування TypeScript та фреймворк Angular [22].

На рис.2. зображено схему варіантів використання розробленої системи працівником підприємства з правами адміністратора. Адміністратор підприємства має такі можливості:

створення клієнта, модифікація інформації про нього, пошук клієнта, видалення клієнта. Також є можливість створення угод, пошук угод, призначення відповідальних за угоду, оновлення даних угод, прив'язування клієнтів до угод, прив'язування контактів до угод, видалення угод, створення життєвого циклу, закривання угод, переміщення угод в межах життєвого циклу, створення проекту, видалення проекту, модифікація інформації про проект, надавати права адміністратора, видалення працівників з проекту, додавання працівників до проекту, створювати рахунки, видаляти рахунки, шукати рахунки, відправляти рахунки по email, змінювати інформацію рахунку, додавати товар, шукати товар, змінювати інформацію про товар, видаляти товар.

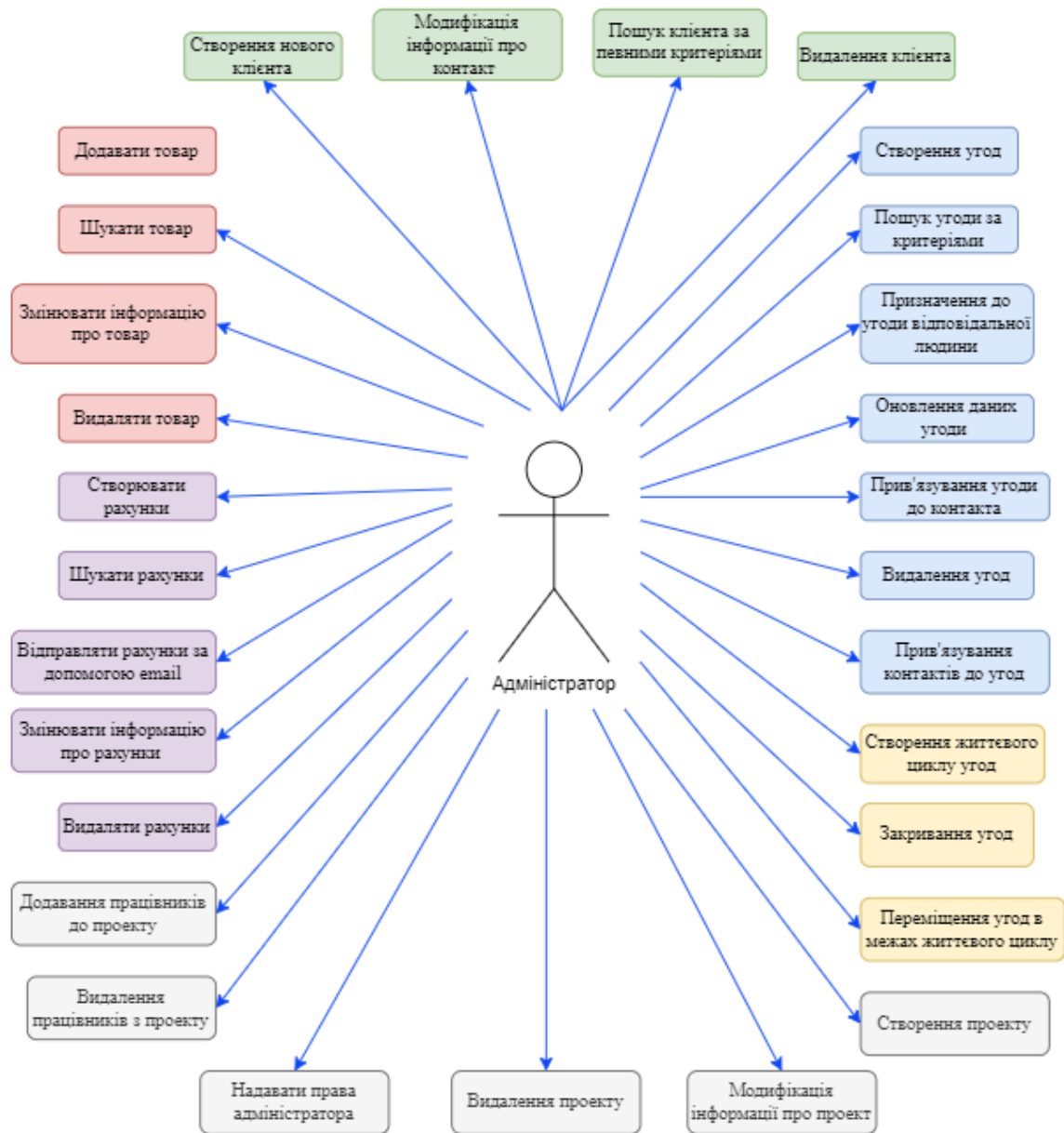


Рис. 2 – Діаграма варіантів використання системи працівником підприємства з правами адміністратора

Працівник підприємства, який не має прав адміністратора, має такі можливості: додавати товар, шукати товар, змінювати інформацію про товар (не критичні дані), створювати рахунки, шукати рахунки, відправляти рахунки за допомогою email, змінювати інформацію про рахунки (не критичні дані), закривати угоди, переміщати угоди в межах життєвого циклу, створювати угоди, пошук угоди, оновлення даних угоди (не критичні дані), прив'язувати угоди до клієнта, прив'язувати клієнта до угоди, створення нового клієнта, модифікація інформації про клієнта (не

критичні дані), пошук клієнта.

При використанні підсистеми для автоматизованого управління відносинами з клієнтами малого бізнесу, користувач повинен пройти реєстрацію. Зареєстрований користувач переходить на сторінку для взаємодії з клієнтами. На цій сторінці менеджер отримує доступ до інформації про всіх клієнтів, з якими він взаємодіє. Про всіх клієнтів відображена основна інформація, така як ім'я, фотографія, угоди, в яких він бере участь, менеджер підприємства, який закріплений за даним клієнтом, дата створення контакту та нотатки. Якщо клієнт приймає участь в кількох угодах, біля угоди буде відображено трикутник. При натисканні на нього відкривається список всіх угод із зазначеним клієнтом (рис. 3), де зображена назва та сума кожної угоди. У нижній частині екрану виводиться загальна кількість контактів на даній сторінці, номер поточної сторінки та обмеження кількості контактів, які відображаються на одній сторінці. При натисканні на клієнта — відображається модальне вікно, що складається з кількох вкладок, які містять повну інформацію про клієнта (рис. 4).

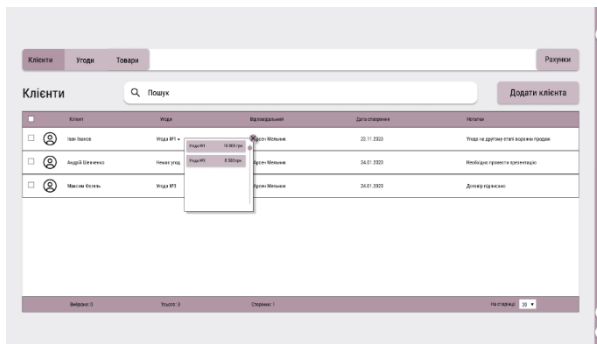


Рис. 3 – Інтерфейс сторінки «Клієнти»

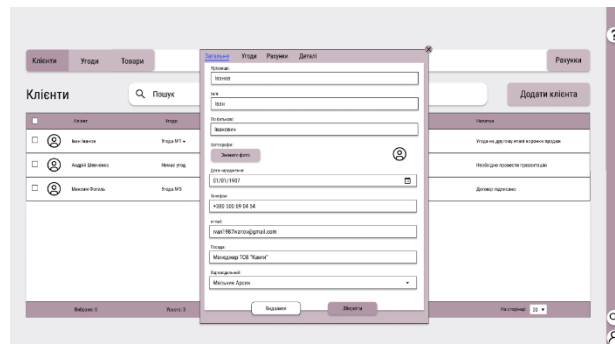


Рис. 4 – Інтерфейс вікна з інформацією про клієнта

Щоб управляти угодами, менеджер підприємства повинен перейти на сторінку «Угоди». Сторінка з угодами має вигляд дошки з декількох колонок, які відображають стан кожної угоди. Цей підхід втілює принципи канбан. Канбан – це система, яка визначає порядок завдань та організацію робочих процесів для досягнення ефективного виконання поставлених завдань. Після натискання кнопки «Додати угоду», відкривається модальне вікно, де можна внести інформацію про нову угоду (рис. 5). При кліці на існуючу угоду виводиться модальне вікно, яке містить відомості щодо цієї угоди (рис. 6).

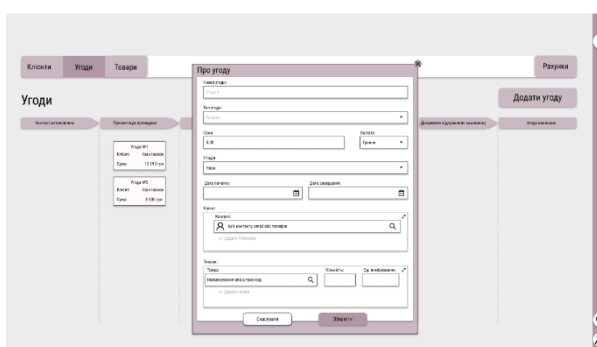


Рис. 5 – Інтерфейс вікна при додаванні угоди



Рис. 6 – Інтерфейс вікна з інформацією про існуючу угоду

Щоб керувати товарами, менеджер підприємства повинен перейти на сторінку «Товари» (рис. 7). На цій сторінці вказано назву товару або категорії, його зображення, доступний залишок, одиницю вимірювання та роздрібну ціну. Також є можливість групувати товари по категоріях. При натисканні на категорію відкривається сторінка, на якій надана інформація про всі товари, що відносяться до обраної категорії (рис. 8). Категорія відображається в полі для пошуку. Після натискання на кнопку «Додати товар», відкриється модальне вікно для вводу інформації про новий товар. Користувач може задати найменування, категорію, одиниці вимірювання, роздрібну ціну,

штрих код, артикул, виробника і фотографію товару.

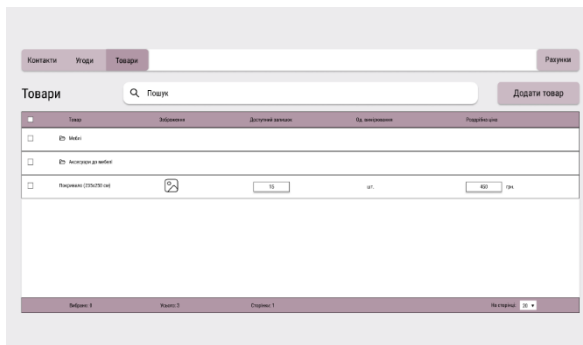


Рис. 7 – Інтерфейс сторінки «Товари»

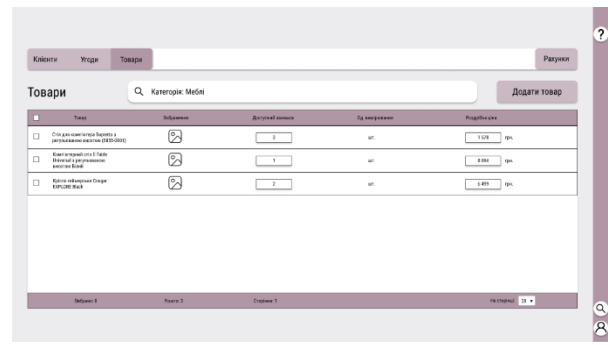


Рис. 8 – Інтерфейс сторінки для роботи з товарами

При натисканні на конкретний товар відбувається відкриття вікна, яке містить інформацію про цей товар (рис. 9). Модальне вікно складається з двох вкладок: «Про товар», де розміщена загальна інформація про товар, і «Деталі», де подається опис товару (рис. 10).

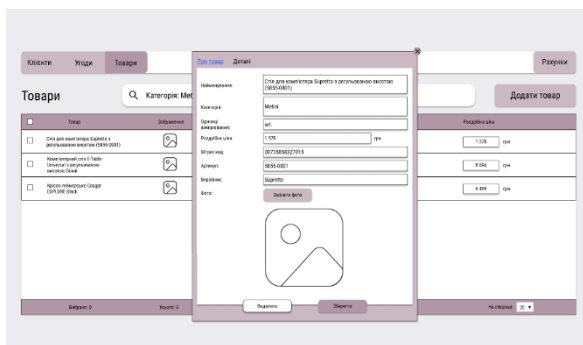


Рис. 9 – Інтерфейс вікна з інформацією про товар

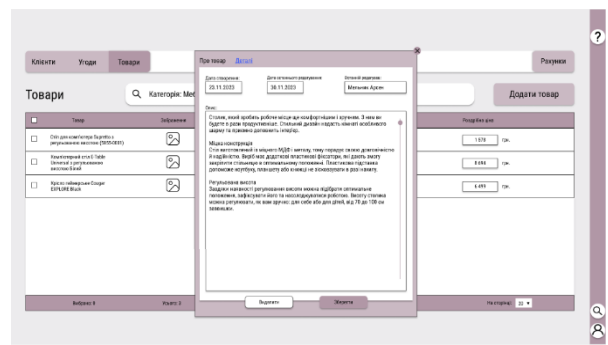


Рис. 10 – Інтерфейс вікна з додатковою інформацією про товар

Отже, тестування підсистеми автоматизованого управління відносинами з клієнтами малого бізнесу засвідчило, що користувач може швидко опрацьовувати інформацію про клієнта, оперувати інформацією про товари та угоди. Загалом, розроблена підсистема має достатній набір функціоналу для того, щоб задовольнити потреби малого бізнесу.

Висновки. У результаті виконання роботи спроектована і розроблена підсистема для автоматизованого управління відносинами з клієнтами малого бізнесу. В роботі проаналізовано способи автоматизації взаємодії підприємства з клієнтами, розроблено архітектуру та модель функціонування системи управління відносинами з клієнтами. Проаналізовано системи аналогічного призначення. Розроблено необхідні компоненти системи, базу даних та інтерфейс користувача. Виконано тестування системи.

Розроблена підсистема орієнтована на малий бізнес, а тому не передбачає функціоналу, котрий має повноцінна CRM-система, проте вона забезпечує реалізацію основних функцій CRM, а саме зберігання даних про клієнта та історію його взаємодії з підприємством. Підсистема складається з трьох основних модулів: для роботи з клієнтами, для роботи з угодами, для роботи з товарами. Також розроблено ще три допоміжні модулі для роботи з рахунками, проектами і звітами.

Підсистема містить дві компоненти: клієнтську і серверну. Це забезпечує гнучкість розробки та спрощує подальший супровід, адже обидва модулі є незалежні один від одного. Представлена підсистема сприятиме збільшенню числа постійних клієнтів, що є довгостроковою конкурентною перевагою бізнесу. Підсистема сприятиме підвищенню

продуктивності підприємства за рахунок автоматизації рутинних процесів.

Список бібліографічного опису

1. Що таке CRM-система та як вона працює. URL: <https://remonline.ua/blog/what-is-crm/> (дата звернення: 23.02.2024).
2. Що таке CRM-система та як вона працює? | Creatio. URL: <https://www.creatio.com/ua/crm/what-is-crm> (дата звернення: 23.02.2024).
3. Клімова О.І. Сучасні підходи до управління бізнес-процесами на підприємстві на основі CRM-системи URL: http://www.easterneurope-ebm.in.ua/journal/7_2017/16.pdf (дата звернення: 23.02.2024).
4. Олексій Рязанцев. Як впровадити CRM-систему за 50 днів. Видавництво: Будинок книжки, 2017. - 392 с. - ISBN: 978-5-370-03957-7.
5. Sales Vs Customer Service CRM And SFA: Differences You Need To Know. URL: <https://tcommas.com/blog/sales-vs-customer-service-crm-and-sfa-differences-you-need-to-know/> (date of access: 23.02.2024).
6. Sales Force Automation. URL: <https://www.act.com/en-gb/sales-force-automation/> (date of access: 23.02.2024).
7. What is customer service? Definition, importance & tips. URL: <https://www.zendesk.com/blog/customer-service-skills/> (date of access: 23.02.2024).
8. What Is Automated Customer Service? A Guide for Growth That Helps People Do More, Not Less. URL: <https://www.groovehq.com/blog/automated-customer-service> (date of access: 23.02.2024).
9. CRM-система Creatio|Ключові можливості|Тест-драйв. URL: <https://www.creatio.com/ua/crm> (дата звернення: 23.02.2024).
10. PERFECTUM CRM+ERP. Система для всієї компанії. URL: <https://perfectum.ua/ua/> (date of access: 23.02.2024).
11. SalesDrive. URL: <https://salesdrive.ua/> (date of access: 23.02.2024).
12. Maven. What is maven. URL: <https://maven.apache.org/what-is-maven.html> (date of access: 12.02.2024).
13. Simpli learn. What is Maven: Here's What You Need to Know. URL: <https://www.simplilearn.com/tutorials/maven-tutorial/what-is-maven> (date of access: 23.02.2024).
14. Харіхара Субраманян, Петхуру Радж / Практичні шаблони та найкращі методи проектування RESTful API. Видавництво Packt Publishing Ltd., 2019. - 365с. - ISBN 978-1-78899-266-4.
15. Roy Thomas Fielding. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures: dissertation of DOCTOR OF PHILOSOPHY in Computer Sciences: University of California, Irvine 2000. URL: <https://ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm> (date of access: 23.02.2024).
16. OpenClassrooms: Client-Server Architecture. URL: <https://openclassrooms.com/en/courses/6397806-design-your-software-architecture-using-industry-standard-patterns/6896156-client-server-architecture> (date of access: 23.02.2024).
17. Barry Pollard. HTTP/2 in Action. Manning, 2019. - 416 p. - ISBN 978-1617295164
18. Spring. Why Spring? URL: <https://spring.io/why-spring> (date of access: 23.02.2024).
19. Hibernate. Object/Relational Mapping. URL: <https://hibernate.org/orm/> (date of access: 23.02.2024).
20. JUnit 5. URL: <https://junit.org/junit5/> (date of access: 23.02.2024).
21. MySQL. MySQL Documentation. URL: <https://dev.mysql.com/doc/> (date of access: 23.02.2024).
22. Angular. Introduction to the Angular Docs. URL: <https://angular.io/docs>. (date of access: 23.02.2024).

References

1. What is a CRM system and how does it work? URL: <https://remonline.ua/blog/what-is-crm/> (date of access: 23.02.2024).
2. What is a CRM system and how does it work? | Creatio. URL: <https://www.creatio.com/ua/crm/what-is-crm> (date of access: 23.02.2024).
3. Klimova O.I. Modern approaches to managing business processes at the enterprise based on the CRM system. URL: http://www.easterneurope-ebm.in.ua/journal/7_2017/16.pdf (date of access: 23.02.2024).
4. Oleksiy Ryzantsev. How to implement a CRM system in 50 days. Publisher: House of Books, 2017. - 392 с. - ISBN: 978-5-370-03957-7.
5. Sales Vs Customer Service CRM And SFA: Differences You Need To Know. URL: <https://tcommas.com/blog/sales-vs-customer-service-crm-and-sfa-differences-you-need-to-know/> (date of access: 23.02.2024).
6. Sales Force Automation. URL: <https://www.act.com/en-gb/sales-force-automation/> (date of access: 23.02.2024).
7. What is customer service? Definition, importance & tips. URL: <https://www.zendesk.com/blog/customer-service-skills/> (date of access: 23.02.2024).
8. What Is Automated Customer Service? A Guide for Growth That Helps People Do More, Not Less. URL: <https://www.groovehq.com/blog/automated-customer-service> (date of access: 23.02.2024).
9. CRM-system Creatio | Key features | Test drive. URL: <https://www.creatio.com/ua/crm> (date of access: 23.02.2024).
10. PERFECTUM CRM+ERP. A system for the whole company. URL: <https://perfectum.ua/ua/> (date of access: 23.02.2024).
11. SalesDrive. URL: <https://salesdrive.ua/> (date of access: 23.02.2024).
12. Maven. What is maven. URL: <https://maven.apache.org/what-is-maven.html> (date of access: 12.02.2024).
13. Simpli learn. What is Maven: Here's What You Need to Know. URL: <https://www.simplilearn.com/tutorials/maven-tutorial/what-is-maven> (date of access: 23.02.2024).
14. Harihara Subramanian, Pethuru Raj / Practical Patterns and Best Practices for RESTful API Design. Publisher: Packt Publishing Ltd., 2019. - 365 p. - ISBN 978-1-78899-266-4.
15. Roy Thomas Fielding. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures: dissertation of DOCTOR OF PHILOSOPHY in Computer Sciences: University of California, Irvine 2000. URL: <https://ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm> (date of access: 23.02.2024).

16. OpenClassRooms: Client-Server Architecture. URL: <https://openclassrooms.com/en/courses/6397806-design-your-software-architecture-using-industry-standard-patterns/6896156-client-server-architecture> (date of access: 23.02.2024).
17. Barry Pollard. HTTP/2 in Action. Manning, 2019. - 416 p. - ISBN 978-1617295164
18. Spring. Why Spring? URL: <https://spring.io/why-spring> (date of access: 23.02.2024).
19. Hibernate. Object/Relational Mapping. URL: <https://hibernate.org/orm/> (date of access: 23.02.2024).
20. JUnit 5. URL: <https://junit.org/junit5/> (date of access: 23.02.2024).
21. MySQL. MySQL Documentation. URL: <https://dev.mysql.com/doc/> (date of access: 23.02.2024).
22. Angular. Introduction to the Angular Docs. URL: <https://angular.io/docs>. (date of access: 23.02.2024).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-04>

УДК 004.032

Пензенник Андрій Андріянович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-2972-2600>

Ужгородський національний університет, м. Ужгород, Україна

АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИЯВЛЕННЯ ТА ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПЕРЕНАВЧАННЯ В НЕЙРОННИХ МЕРЕЖАХ

Пензенник А.А. Автоматизоване виявлення та попередження перенавчання в нейронних мережах. У статті розглядається питання перенавчання нейронних мереж, проблеми, яка набула популярності по мірі зростання складності моделей штучного інтелекту. Оскільки нейронні мережі стають все складнішими та потужнішими, ризик перенавчання, явища, коли модель вивчає шум і специфіку навчальних даних, замість якісного узагальнювання нових даних. Було досліджено тонкощі перенавчання та його згубний вплив на продуктивність моделі, наголошуючи на необхідності складних підходів для виявлення та пом'якшення цієї проблеми. У статті розглядаються різні методивиявлення, починаючи від статистичних вимірювань і закінчуючи вдосконаленими підходами на основі моделі, підкреслюючи їх сильні сторони та обмеження. Зроблено огляд превентивних стратегій, таких як методи регуляризації, відсіву та ансамблеві методи, які спрямовані на покращення узагальнення моделі. Розглядаються останні досягнення в автоматизованому машинному навчанні (AutoML) і оптимізації гіперпараметрів, з оглядом на їхню ефективність у стримуванні надмірного навчання моделі без перешкод для її точності. Було запропоновано ідею використання ін'єкції шуму для придушення перенавчання в різних нейронних мережах і продемонстровано, що: шум може пригнічувати перенавчання у багатосаровому перцептроні (MLP) і довготривалій короткочасній пам'яті (LSTM). Ця робота показує, що шум може бути ефективним рішенням для пригнічення перенавчання в нейронній мережі Гопфільда (HNN), і, що більш важливо, це додатково свідчить про те, що недосконалість цифрових пристроїв є багатим джерелом рішень для прискорення розвитку апаратних технологій в епоху штучного інтелекту.

Ключові слова: перенавчання, нейронні мережі, узагальнення моделі, автоматичне виявлення, стратегії запобігання, методи регуляризації, шум, оптимізація.

Penzenyk A. Automated Detection and Prevention of Overfitting in Neural Networks. The article explores the issue of overfitting in neural networks, a problem that has gained popularity with the increasing complexity of artificial intelligence models. As neural networks become more intricate and powerful, the risk of overfitting, where the model learns noise and specifics of the training data instead of qualitatively generalizing new data, becomes a significant concern. The intricacies of overfitting and its detrimental impact on model performance have been investigated, emphasizing the need for sophisticated approaches to detect and mitigate this problem. The article discusses various detection methods, ranging from statistical measurements to advanced model-based approaches, highlighting their strengths and limitations. A review of preventive strategies, such as regularization methods, dropout, and ensemble techniques, is also presented, all aimed at improving the model's generalization. Recent advancements in automated machine learning (AutoML) and hyperparameter optimization are explored, considering their effectiveness in restraining model overtraining without hindering its accuracy. The article introduces the idea of using noise injection to suppress overfitting in various neural networks and demonstrates that noise can dampen overfitting in a multilayer perceptron (MLP) and long short-term memory (LSTM). This work shows that noise can be a beneficial solution for mitigating overfitting in a Hopfield neural network (HNN) and, more importantly, further suggests that the imperfections in semiconductor devices serve as a rich source of solutions for accelerating hardware technologies in the era of artificial intelligence.

Key words: overfitting, neural networks, model generalization, automated detection, prevention strategies, regularization techniques, noise, optimization.

Вступ та постановка проблеми. В умовах сьогодення нейронні мережі представляють собою ключовий прорив в області здобутків у сфері досліджень штучного інтелекту, віддзеркалюючи складну архітектуру людського мозку для обробки інформації та прийняття рішень. Ці обчислювальні моделі складаються з взаємопов'язаних вузлів, або штучних нейронів, організованих у шари, які працюють разом, щоб навчатися з даних і виконувати завдання без явного програмування. Нейронні мережі чудово працюють у різних програмах, демонструючи свою універсальність і ефективність у таких завданнях, як розпізнавання зображень і мови, обробка природної мови та навіть у стратегічних іграх.

Однією з ґрунтовних особливостей нейронних мереж є їх чудова здатність узагальнювати шаблони та зв'язки від навчальних даних до нових, невідомих даних. Ця адаптивність дозволяє їм робити прогнози та класифікації з високим ступенем точності, сприяючи їх широкому впровадженню в галузях промисловості. Однак основою проблемою нейронних мереж постає їх перенавчання.

Перенавчання відбувається, коли нейронна мережа стає надто вмілою увивченні деталей і шуму, тобто будь-яких небажаних перешкод або перешкод, які впливають на якість, цілісність або надійність навчальних даних, що призводить до втрати її здатності узагальнювати нові, невидимі дані. Ці виклики підкреслюють делікатний баланс, необхідний у процесі навчання, наголошуючи на необхідності таких методів, як регуляризація та надійні методи перевірки, щоб знизити ризики,

пов'язані з перенавчанням. Навігація в цих тонкощах має вирішальне значення для використання повного потенціалу нейронних мереж, одночасно забезпечуючи їх надійність і застосовність у практичних умовах.

При використанні регуляризації, алгоритми навчання нейронних мереж модифікуються для зменшення помилки узагальнення, але не помилки навчання. Найпоширеніші методи регуляризації включають:

- рання зупинка: автоматичне припинення навчання, коли певний показник продуктивності перестає покращуватися;
- зниження ваги: стимулює мережу використовувати менші вагові коефіцієнти шляхом додавання мінімізуючого параметру до функції втрат;
- випадання: випадкове ігнорування певних вузлів у шарі під час навчання;
- комбінація моделей: усереднення виходів окремо навчених нейронних мереж;
- ін'єкція шуму: допуск деяких випадкових флуктуацій в даних через розширення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові діячі сьогодні внесли значний вклад у розробку методологій автоматизованого виявлення та попередження перенавчання в нейронних мережах. Окрім цього був проведений ряд досліджень для вирішення проблеми навчання нейронних мереж.

У роботах А. Л. І. Мукурі та С. Констхольма [1] було виявлено, що перенавчання можна запобігти шляхом аугментації даних, тобто процесу штучного генерування нових даних з урахуванням існуючих. Для збільшення каталогу даних на прикладі зображень, можна використовувати ряд технік, таких як перехід, масштабування, обертання, додавання шуму, зміна яскравості тощо.

Завдяки Н. Е. Халіфу, М. Хамеду Таха, А. Е. Хассаньєну та І. Селіму [2] було вперше реалізовано метод аугментації навчальних даних, у результаті чого підвищились надійність запропонованої архітектури та стійкість до пам'яті даних. Однак у випадку перенавчання мережі, в ході проведеної роботи вдалося зменшити його наслідки, але не повністю подолати.

В той час в [3] були використані наступні методи регуляризації:

– L1 (lasso regression) та L2 (ridge regression). Дані методи машинного навчання додають мінімізуючий параметр до функції втрат. Регуляризація L1 додає абсолютне значення коефіцієнта як мінімізуючий параметр, генеруючи розріджені рішення та є корисним для вибору функцій. Регуляризація L2 додає квадрат величини коефіцієнта у якості мінімізуючого параметру, даючи не розріджені рішення та є корисним для побудови простіших моделей.

– метод відсіву, який полягає у випадковому ігноруванні певних вузлів під час навчання.

Результати показали, що L1 і L2 не є ефективними методами для запобігання перенавчання, але вони підвищили точність моделі.

Крім вище описаних робіт дослідників, варто зазначити праці наступних науковців: Кадхім Захра, Абдулла Хасанен і Гатван Халіл [4], Сабірі Біхі, Асрі Бухра, і Рануї Марієм [5], Корновскі Гай, Схудаї Гілад і Шамір Охад [6], Квак Енлун, Ха Чон Гю [7], Цао Юань, Чен Цзисян, Белкін Михайло і Гу Цюаньцюань [8], Павлицька Світлана, Освальд Джоел і Зельнер Дж. [9], Чжу Чженьюй і Фанхуей Лю [10], Ду Ян, Шао Вей, Чай Чжен, Ханьчжан Чжао, Дяо Цих Явей, Юань Сіхуей, Ван Цяоцяо, Лі Тао, Чжан Вейдун, Чжан Цзянь і Мін Тай [11], Бежані Махді та Гаті Махді [12], Фіорентіні Ніколас, Пеллегріні Ділетта та Лоса Массімо [13], Лім Хен Іль [14], Хюсманн Карім, Родрігес Луїс, Лінсен Ларс та Ріссе Бенджамін [15] та інших.

Проте, беручи до уваги вище зазначену наукову документацію, питання, пов'язане з методами автоматизованого виявлення та попередження перенавчання в нейронних мережах, все ще залишається недостатньо дослідженим та потребує подальшого опрацювання.

Постановка завдання.

Метою роботи є дослідження автоматизованого виявлення та попередження перенавчання в нейронних мережах.

Викладення основного матеріалу дослідження. Враховуючи теперішній розвиток нейронних мереж, варто наголосити, що під час навчання та реалізації моделі, на вихід може впливати кілька функцій. Зі збільшенням числа ознак модель ускладнюється.

Надмірно перенавчена модель, як правило, враховує всі характеристики, навіть якщо деякі з них мають дуже обмежений вплив на кінцевий результат. Або ще гірше, деякі з них є шумами, які не реалізуються на виході. Щоб обмежити ці випадки, існує два типи рішень:

- обрати лише корисні та видалити непотрібні функції з моделі;
- звести до мінімуму ваги функцій, які мало впливають на остаточну класифікацію.

Іншими словами, необхідно обмежити дію цих непотрібних функцій. Однак не завжди відомо, які функції є неважливими, тому необхідно намагатися обмежити їх усі, мінімізуючи функцію вартості моделі. Для цього додається «мінімізуючий параметр», який називається регуляризатором, до функції вартості, математична складова якого має наступний вигляд:

$$J(\omega; X, y) = J(\omega; X, y) + \alpha\Omega(\omega) \quad (1)$$

$$J(\omega; X, y) = \frac{1}{2m} \|X_W - y\|^2 + \alpha\Omega(\omega) \quad (2)$$

де

$J(\omega; X, y)$ – початкова функція вартості;

ω – вага;

X – навчальний набір;

y – позначене значення (дійсне значення);

m – розмір навчального набору;

α – коефіцієнт регуляризації;

$\alpha\Omega(\omega)$ – термін дії мінімізуючого параметру.

Для того, щоб встановити набір ваг необхідно використати метод «Градінтного спуску», математично дана дія представляється у вигляді:

$$\omega^{(k+1)} = \omega^{(k)} - \alpha \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (p(x^{(i)}) - y^{(i)}) x^{(i)} - \lambda \frac{\omega^{(k)}}{m} \quad (3)$$

$$\omega^{(k+1)} = \omega^{(k)} - \left(1 - \frac{\lambda}{m}\right) \alpha \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (p(x^{(i)}) - y^{(i)}) x^{(i)} \quad (4)$$

Враховуючи (2) видно, що, чим більше m , тим менше $\lambda \frac{\omega^{(k)}}{m}$. Тобто, чим більший навчальний набір, тим менший ризик перенавчання та ефекту регуляризації.

Проте, хоча регуляризація і є одним з найефективніших методів перенавчання за умови, що модель має достатньо великий і різноманітний набір даних для навчання, варто наголосити, що, у випадку невеликого набору даних або недостатньої різноманітності, регуляризація може не мати достатньо прикладів для ефективного виявлення та узагальнення шаблонів, що потенційно може призвести до перенавчання. Крім того, регуляризація призначена для пом'якшення впливу шуму та запобігання надто точному підбору моделі до даних навчання. У наборах даних з мінімальним шумом або повною його відсутністю, максимально структурованим шаблонам регуляризація може не дати значних переваг, оскільки шум руйнує інформацію.

В результаті чого підвищується важкість навчання моделі набору даних, а отже, і важкість перенавчання. Додаючи шум, навчальний набір даних доповнюється (аугментується) додатковою інформацією. Нейронна мережа отримує повідомлення, що тип шуму, який додається, не повинен сильно змінювати її прогноз.

Було проведено симуляційне дослідження і дослідження набору даних рентгенографічного дослідження легенів у програмі САПР. Були змодельовані набори даних із двовимірною винятковою диз'юнкцією (XOR), яка вимагає нелінійної межі прийняття рішень для досягнення значення AUC (площа під ROC-кривою) більше 0,5. Це проблема, тому що теоретично вже було показано, що розпад ваги та шумова ін'єкція працюють однаково в задачах класифікації, які вимагають лінійних меж рішень.

Популяція XOR була побудована за допомогою чотирьох двовимірних розподілів Гауса з рівними коваріаційними матрицями у двовимірному просторі функцій. Два гаусових розподіли були зосереджені в $(0, 0)$ і (x, x) , відповідно, і вони представляли «нормальний» клас, тоді як інша пара гаусових розподілів була зосереджена в $(x, 0)$ і $(0, x)$, відповідно, і вони представляли «ненормальний» клас. Коваріаційна матриця кожного з чотирьох розподілів Гауса була окреслена як матриця ідентичності 2 на 2, при чому $x = 2,0$. Контурний графік популяції XOR показано на рисунку 1.

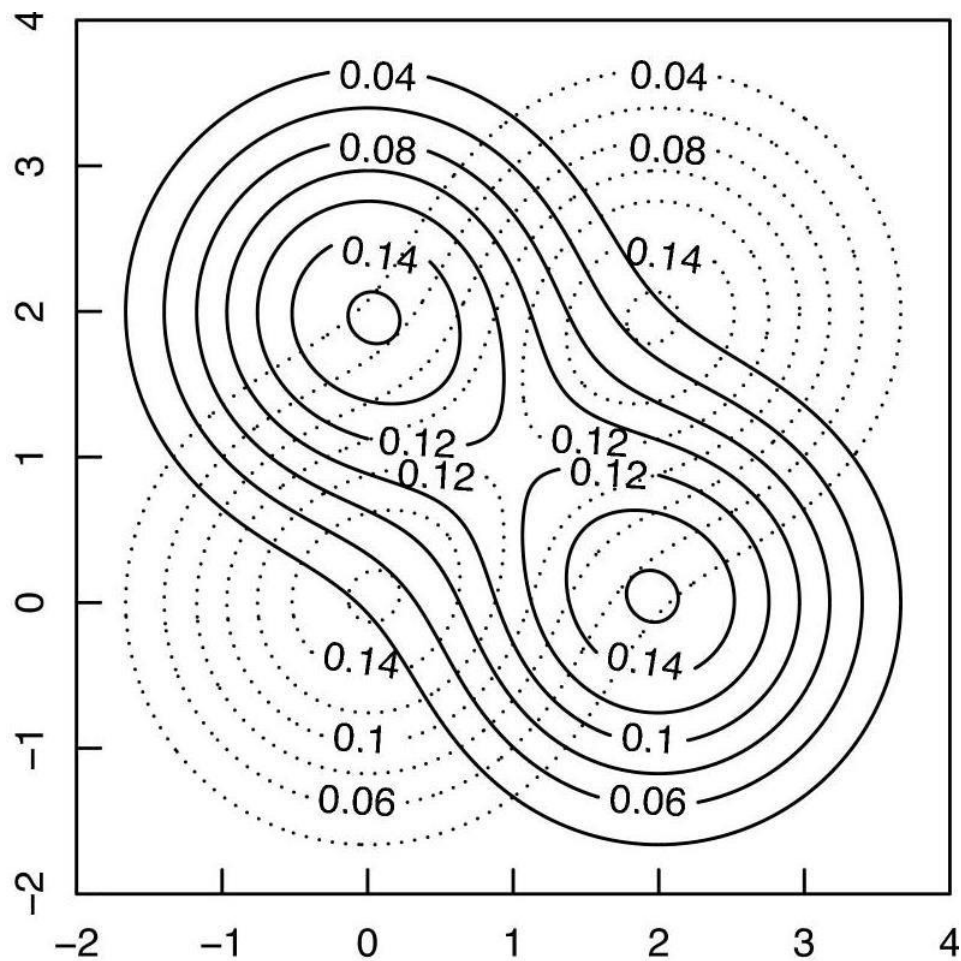


Рис. 1 – Популяція XOR

Нормальні випадки були взяті із щільності ймовірності пунктирною лінією, а аномальні випадки – із щільності ймовірності суцільною лінією.

Були створені навчальні набори даних різного розміру: 50, 100 і 200 загальних випадків, причому половина кожного набору даних є нормальними, а інша половина – ненормальними випадками. Мета полягала в тому, щоб відрізнити злоякісні ураження легенів від запальних. Набір даних містив 157 злоякісних утворень і 969 уражень внаслідок запального процесу (загалом 1126 випадків).

Штучну нейронну мережу (ШНМ) тренували шляхом мінімізації функції перехресної ентропійної помилки за допомогою алгоритму спряженого градієнта. ШНМ у першому та третьому дослідженнях моделювання мали один прихований шар із шістьма прихованими вузлами та були навчені 500 ітераціям. Завдяки дуже великим наборам навчальних даних (500, 1000 і 5000 випадків у 100 повторних експериментах) ця архітектура ШНМ змогла досягти майже ідеальної продуктивності AUC для спостерігача на наборі даних перевірки (0,81, 0,81 і 0,82 відповідно).

В якості ін'єкції було використано метод джиттеру. За допомогою цього методу вектор шуму додається до кожного випадку навчання між ітераціями навчання. Це спричиняє коливання навчальних даних у просторі функцій під час навчання, що ускладнює ШНМ пошук рішення, яке точно відповідає вихідному набору навчальних даних, і таким чином зменшує перенавчання ШНМ. Вектор шуму зазвичай складається з деякої функції щільності ймовірності, відомої як «ядро». Було використано ядро Гауса з нульовим середнім і оновлено вектор шуму незалежно та без наростання передкожною ітерацією навчання.

Оскільки на кожній ітерації навчання ШНМ помічає дещо інший набір даних навчання, спричинений доданим шумом, шумна траєкторія значення AUC ШНМ на різних ітераціях навчання відображає як поступову конвергенцію ШНМ до її кінцевої продуктивності навчання, так і ефект доданого шуму. Результати моделювання з точки зору абсолютних різниць підсумовані в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння абсолютної ефективності методів навчання ШНМ у моделювальних дослідженнях

		Без регуляризації	Ін'єкція шуму	Зниження ваги	Рання зупинка
50 навчальних випадків	Середня AUC [95% ДІ]	0.723 [0.719, 0.727]	0.756 [0.751, 0.758]	0.742 [0.738, 0.746]	0.740 [0.737, 0.744]
	Стандартне відхилення AUC [95% ДІ]	0.043 [0.038, 0.048]	0.037 [0.033, 0.041]	0.050 [0.045, 0.055]	0.041 [0.035, 0.046]
50 навчальних випадків, комплексні ШНМ	Середня AUC [95% ДІ]	0.694 [0.685, 0.703]	0.758 [0.755, 0.761]	0.745 [0.735, 0.754]	0.748 [0.740, 0.757]
	Стандартне відхилення AUC [95% ДІ]	0.044 [0.036, 0.052]	0.034 [0.031, 0.038]	0.048 [0.037, 0.060]	0.043 [0.032, 0.053]
100 навчальних випадків	Середня AUC [95% ДІ]	0.762 [0.760, 0.765]	0.785 [0.784, 0.787]	0.784 [0.782, 0.786]	0.770 [0.768, 0.772]
	Стандартне відхилення AUC [95% ДІ]	0.028 [0.026, 0.030]	0.017 [0.016, 0.019]	0.020 [0.019, 0.022]	0.023 [0.021, 0.025]
200 навчальних випадків	Середня AUC [95% ДІ]	0.788 [0.785, 0.790]	0.799 [0.797, 0.801]	0.797 [0.795, 0.799]	0.790 [0.788, 0.792]
	Стандартне відхилення AUC [95% ДІ]	0.012 [0.011, 0.014]	0.009 [0.008, 0.010]	0.009 [0.007, 0.011]	0.010 [0.008, 0.011]

За допомогою методу ранньої зупинки навчання ШНМ припиняється дотого, як помилка навчання мінімізується. Як правило, незалежний тестовий набір даних використовується для моніторингу продуктивності ШНМ під час навчання, на основі якого вибирається відповідна точка для зупинки навчання ШНМ. Однак утримання випадків навчання для тестування не є ефективним використанням даних для невеликих наборів даних навчання.

У симуляційному дослідженні ШНМ, навчені на наборах даних із 50 загальними випадками та без регуляризації, мали середнє значення AUC 0,723 і стандартне відхилення 0,043. Навчання ШНМ із шумовою ін'єкцією збільшило середнє значення AUC до 0,756 і зменшило стандартне відхилення до 0,037. Навчання ШНМ із зниженням ваги та ранньою зупинкою також покращило середні значення AUC до 0,742 та 0,740 відповідно, але зменшення ваги збільшило стандартне відхилення до 0,050, тоді як рання зупинка не змінила стандартне відхилення. Таким чином, навчання ШНМ із введенням шуму призвело до більшого середнього та меншого стандартного відхилення у значеннях AUC, ніж у альтернативних методах.

Зниження ваги, що є формою регуляризації, яка мінімізує параметри великих ваг (числові значення, пов'язані з вузлами на різних рівнях мережі) в мережі, також було використано у даному дослідженні. Мінімізація параметрів великих ваг здійснюється шляхом додавання до функції втрат параметра/значення, пропорційного сумі квадратів ваг. Цей термін зменшує величину ваг і запобігає їх надто великому зростанню. Модифікована функція похибки має представлення:

$$E_{WD}(\omega) = E(\omega) + \alpha \sum w_i^2,$$

де

$E(\omega)$ – функція крос-ентропійної похибки;

α – параметр, який контролює вагу мінімізації відносно великих значень ваг і використовується для навчання ШНМ із зниженням ваги, який вимагає від користувача вибору значення α .

Комплексні ШНМ мали 20 прихованих вузлів і були навчені 1500 ітераціям, тоді як усі інші ШНМ мали 6 прихованих вузлів і були навчені 500 ітераціям. Результати розраховувалися на 1485-й і 485-й ітерації навчання відповідно.

Висновки. У даній роботі було проведено комплексне дослідження, яке заглиблюється в потенціал включення шуму під час навчання штучних нейронних мереж для медичних рентгенографічних застосувань. Воно засноване на складному моделювальному аналізі в області медичного рентгенографічного дослідження та демонструє, що тренування нейронної мережі за допомогою шуму є потужною стратегією мінімізації проблеми перенавчання. Це дослідження, зокрема, перевершує ефективність звичайних методів ранньої зупинки, а в деяких випадках навіть методи зниження ваги.

Успіх, який спостерігався в дослідженнях підкреслює надійність і адаптивність навчання нейронної мережі за допомогою ін'єкції шумів. Примітно, що результати демонструють значне зменшення випадків перенавчання, позиціонуючи ін'єкцію шуму як передову методологію для підвищення продуктивності ШНМ у програмах медичної візуалізації.

Перспективами подальших досліджень є розробка більш ефективної методології по виявленню та попередженню перенавчання в нейронних мережах.

Список бібліографічного опису

1. Muquri A. L. I., Konstholm S. Data augmentation and related opportunity cost for managing the contemporary data sparsity data augmentation and related opportunity cost for managing the contemporary data sparsity. 2021.
2. Khalifa N. E., Hamed Taha M., Hassanien A. E., Selim I. Deep galaxy V2: Robust deep convolutional neural networks for galaxy morphology classifications. *Int. Conf. Comput. Sci. Eng. ICCSE 2018 – Proc.*, 2018. P. 1–6. DOI:10.1109/ICCSE1.2018.8374210.
3. Marin I., Skelin A. K., Grujic T. Empirical evaluation of the effect of optimization and regularization techniques on the generalization performance of deep convolutional neural network. *Appl. Sci.* 2020. vol. 10, №. 21. P. 1–30. DOI:10.3390/app10217817.
4. Kadhim Zahraa, Abdullah Hasanen, Ghathwan Khalil. Automatically Avoiding Overfitting in Deep Neural Networks by Using Hyper-Parameters Optimization Methods. *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*. 2023. DOI:19. 146-162. 10.3991/ijoe.v19i05.38153.
5. Sabiri Bihi, Asri Bouchra, Rhanoui Maryem. Efficient Deep Neural Network Training Techniques for Overfitting Avoidance. 2023. DOI:10.1007/978-3-031-39386-0_10.
6. Kornowski Guy, Yehudai Gilad, Shamir Ohad. From Tempered to Benign Overfitting in ReLU Neural Networks.

2023.

References

7. Kwak Yeonglong, Huh Jeong-gyu. Random Augmentation Technique for Mitigating Overfitting in Neural Networks for Financial Time Series Forecasting. *The Korean Data Analysis Society*. 2023. № 25. P. 1653-1669. DOI: 10.37727/jkdas.2023.25.5.1653.
8. Cao Yuan, Chen, Zixiang, Belkin Mikhail, Gu Quanquan. Benign Overfitting in Two-layer Convolutional Neural Networks. 2022.
9. Pavlitskaya Svetlana, Oswald Joël, Zöllner J. Measuring Overfitting in Convolutional Neural Networks using Adversarial Perturbations and Label Noise. 2022. DOI:10.48550/arXiv.2209.13382.
10. Zhu Zhenyu, Fanghui Liu, Chrysos Grigorios, Locatello Francesco, Cevher Volkan. Benign Overfitting in Deep Neural Networks under Lazy Training. 2023.
11. Du Yan, Shao Wei, Chai Zheng, Hanzhang Zhao, Diao Qihui, Gao Yawei, Yuan Xihui, Wang, Qiaoqiao, Li Tao, Zhang Weidong, Zhang Jian, Min Tai. Synaptic 1/f noise injection for overfitting suppression in hardware neural networks. *Neuromorphic Computing and Engineering*. 2022. №2. DOI:10.1088/2634-4386/ac6d05.
12. Bejani Mahdi, Ghatee Mehdi. A systematic review on overfitting control in shallow and deep neural networks. *Artificial Intelligence Review*. 2021. №54. DOI:1-48. 10.1007/s10462-021-09975-1.
13. Fiorentini Nicholas, Pellegrini Diletta, Losa Massimo. Overfitting Prevention in Accident Prediction Models: Bayesian Regularization of Artificial Neural Networks. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*. 2022. P. 26-77. DOI: 10.1177/03611981221111367.
14. Lim Hyun-il. A Study on Dropout Techniques to Reduce Overfitting in Deep Neural Networks. 2021. DOI:10.1007/978-981-15-9309-3_20.
15. Huesmann Karim, Rodriguez Luis, Linsen Lars, Risse Benjamin. The Impact of Activation Sparsity on Overfitting in Convolutional Neural Networks. 2021. DOI:10.1007/978-3-030-68796-0_10.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-05>

UDC: 004.8:004.738.5

Turchyn Oleksandr Bohdanovych, Postgraduate Student

<https://orcid.org/0009-0001-5989-1712>

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

PROGNOSTIC MODEL OF THE STATE OF GNSU USING BIG DATA ANALYSIS AND NEURAL NETWORKS

Turchyn O. Prognostic Model of the State of GNSU Using Big Data Analysis and Neural Networks. This research aims at creation of a prognostic model for Global Navigation Satellite Systems (GNSS) by combination of big data analysis and refined neural networks. Problem solving comes to the front where we plan to improve the reliability and resiliency of satellite navigation systems with the help of data analytics and using both historical and real-time data. **Methodology:** Research methodologies cover the integrating of datasets on satellites telemetry, environment and historical system, involving processing and collection of the data systematically. Analyses of Big Data use to reveal hidden patterns inside GNSS data, moreover neural networks, and particularly deep learning networks are trained to recognize complex, nonlinear patterns which may possibly be symptoms of a problem. **Result:** The model exhibits a degree of disruption early on thus allowing us to take a proactive approach to the problem which reduces downtime and optimizes the system overall. The qualitative assessment involves criteria like accuracy, accuracy rate, recall, and F1 score which demonstrate the models capacity of non-GNSS prediction. By its design, the model is aligning with the development of GNSS technologies and raising new obstacles to be solved, so it will remain useful in changed environments. **Conclusion:** This research clearly shows that gap filling can be a possible solution whereby satellite navigation systems will be embedded with predictive capabilities regardless of the fast evolving technology environment. The results also demonstrate the ways GNSS may be applied for the development of new navigation service technologies, such as in the transport, mining and agriculture sectors. The model should be monitored and improved hardly, and adaptation to new problems is extremely important for the constant scalability and reliability of GNSS.

Keywords: GNSU Prognostic Model, Big Data Analysis, Neural Networks, Comparison.

Introduction. As their names suggest, predictive or prognostic models aim to forecast a variable's value based on a number of input factors. Prognostic models are defined in this study as those that: (1) employ time-series data as inputs; and (2) forecast the amount of the variable that is output at some future point in time, however the word may be used to refer to any model that connects input and output variables. The model may implicitly combine data from numerous sensors to produce reliable predictions since it is expected to that data from many different sensors will always be accessible as model inputs [1].

In these kinds of models, the forecast time horizon is often fixed and implicit (that is, it isn't an explicit input). The input time-series can contain characteristics that have been retrieved from the data, such as the main components of the measurements, or it can contain the raw observations that have not been treated in any way (to improve the ratio of signal to noise, for example) [2]. Prognostic models may be broadly classified into three subcategories: models that rely on physics, models that are driven by data, and hybrid models. Prognostic models based on physics make an effort to forecast the future outcome of the variable that is output by combining a physics model with measurable data. A set of ordinary differential equations or partial differential equations that represent the input-output connection from first principles might serve as the foundation for such a model [3]. A crack growth model like Paris' law, which predicts fatigue length of cracks as a relationship of time between the amount of fatigue rounds and the stress intensity component, is an instance of a physics-based prognostic model. When the process is well understood, physics-based models usually yield high-accuracy findings and need less data for tweaking [4]. But physics-based models are typically computationally costly, particularly when used for numerous deterioration modes or system-level prognostic concerns. A well-known illustration of this is deterioration prognostics, where the challenge is to forecast how long a system will last before failing due to one of several different degradation mechanisms. It can be challenging and costly to develop and construct a physics-based prognostic model in the absence of prior knowledge about the precise deterioration pathway. There are concerns regarding the appropriateness of physical models since, even for a basic model, several assumptions and calculations are made during the model's production [5].

Data-driven prognostic models do not take into account knowledge derived from first principles on the link between the input variables and the output; instead, they merely use observed data for predicting the value of the variable that is output. Data-driven approaches use patterns found in the data to build mathematical models that forecast the system's future states. The volume and caliber of accessible data that can be employed to infer model parameters determines how well data-driven techniques, such as statistical and machine learning techniques, perform [6].

The focus of machine learning (ML) techniques is on prediction rather than inferencing, which uses models to comprehend the data production process. This is the main distinction between ML and statistical approaches. The performance of these methods is dependent on the model's structure (number and number of layers, connectivity between layers), the algorithm for learning (e.g., Levenberg-Marquardt, Bayesian normalization, and gradient-based techniques), and the starting points of the model parameters (weights). Machine learning models are useful for uncovering encoded higher order relationships from data [7].

The advantage of data-driven approaches is that they may be used to big, complicated systems; satisfactory results can be obtained without knowing every process or interaction. Data-driven approaches have a cheap creation cost and are simple to use [6]. Compared to physics-based models, models may be constructed quite rapidly after the data have been collected. However, data-driven models are not without problems. They need a lot of information on a lot of different conditions. The results generated are often very confident in the domain that the training data spans. Extrapolation and perhaps non-physical outcomes will ensue from any forecasts made outside of this area [8]. Run-to-failure statistics are necessary for their application in the development of deterioration models. For new or high-priority systems, data might not exist. Even in situations when run-to-failure data is available, choosing the right failure threshold can be challenging. Both data-driven and physics-based approaches have benefits and drawbacks, which hybrid approaches seek to balance for optimal outcomes [9].

Global Navigation Satellite System. Humans have developed a variety of positioning systems over the course of human evolution and civilization, and it could be argued that this was necessary in order for survival and competition against other animals possessing superior sensory organs, even before the introduction of the sophisticated Global Navigation Satellite System (GNSS) [4]. For example, when humans were hunter-gatherers, their developmental process might have been terminated long ago and they would have gone extinct if they weren't able to seek prey and other forms of sustenance. As individuals move further from their residences, they will require increasingly more precise positioning abilities, and developments in positioning considerably aid in extending their range of activities. Later, when humanity started to navigate the waters, for many years, devices like the sextant were created and used. It was created based on people's geometrical understanding and the error that can occur when using it, depending on the user's skill level and experience. Even though the Sextant was quite precise and excellent, there were situations in which it could not be used [10]. Radio position systems like the DECA, LORAN, and OMEGA were developed in response to the necessity for a precise location system that could function in all weather conditions. These are extremely low frequency electromagnetic waves. Navigation satellite systems, including the GPS and GLONASS, were developed as a result of advances in technology and aerospace technology [11].

Continuous, precise, and top-notch navigation signals must be provided by a navigation payload in order to deliver an accurate location service. However, the navigation information, information quality, and positioning accuracy are all impacted in the real satellite payload by the effect of non-ideal electronics. The two primary types of information loss resulting from satellite payload are linear distortion brought on by devices like filters and multiplexers, and nonlinear distortion brought on by power amplification [12]. The embedded power amplifier typically has to operate close to the saturation point in order for the signal to create a relatively severe nonlinear distortion as it is amplified by the ground receiver in order to guarantee that the signal may have a suitably big signal to-noise ratio. the authority. When a signal with a broad bandwidth goes through the onboard filter, the band-limiting effect of the filter will clearly produce inter-symbol interference. In wireless communication, digital pre-distortion technique is frequently employed. Pre-distortion technology for radio frequency power amplifiers, an essential component of wireless communication systems, has long been a contentious and controversial subject [13].

Based on data from measurements, several academics have developed a variety of power amplifier models that are used for pre-distortion and power amplifier modeling. There is currently few research on modeling and pre-distortion of satellite payload RF channels as a whole, and the majority of studies on the non-ideal properties of onboard payloads are carried out individually on filters and high-power amplifiers. In actuality, it will be challenging to examine each component independently after the internal radio frequency channel's components are manufactured and connected [14].

Problem statement. The wide use of GNSS systems with exceptionally high accuracy in determining position and navigation in the whole world is an achievement that should be boasted of, but the problems with resilience of the whole system is the issue of the paramount importance. Incomplete geodetic networks, wrong measurement equipment and environmental factors including the local

electromagnetic conditions may all cause the GNSS performance failures, resulting in possible service cutoff as a result. Impose and notify existing solutions at present do not possess the advance capabilities that are needed for timely interventions. Due to this, there is a high priority on making the model concerning prognosis. It should involve big data analysis and NN (neural networks). To fill this gap, this research aims to predict and could prevent disrupting factors on GNSS operation, which consequently would improve the three-dimensional positioning systems and keep them resilient in face with new threaten.

Related work. In the GNSU measurement domain, deep learning has mostly been employed in earlier work to identify inaccurate measurements or estimate pseudorange uncertainty. The author of [15] suggests a method for detecting multipath, LOS, and NLOS data using a Support Vector Machine (SVM). Each measurement's signal-to-noise ratio, pseudorange residuals, and pseudorange rate residuals are combined to create a feature vector that is fed into the SVM. In comparison to a fixed detection threshold, the author demonstrates how the SVM increases the NLOS, LOS, and multipath detection rate. The authors of [16] use a Convolutional Neural Network (CNN) to detect multipath signals by leveraging the receiver correlator output to identify pertinent visual elements for each satellite measurement. [16] employ a blend of CNNs and Short-Term Memory (LSTM) for predicting pseudorange uncertainty and satellite visibility.

The authors' suggested LSTM architecture detects multipath signals by adjusting the number and sequence of GNSU measurements. Nevertheless, rather than concentrating directly on the GNSU positioning area, these earlier research [2, 9, 11] emphasize the use of deep learning in the GNSU measurement domain. Several prior studies have suggested calculating the pose (position and orientation) from sensor readings by estimating and correcting an initial pose assumption, which is in accordance with our proposed methodology.

The authors of [17] suggest a localization method based on a LiDAR map of the surrounding area and a camera image measurement. Using an expected picture created from the LiDAR map and a learnt disparity between the camera image and the expected image, several DNNs are trained in this manner to iteratively correct an initial posture approximation.

The authors of [18] use paired image observations from a camera to create correction factors inside a Factor Graph. The relative posture between the two sets of photos is represented by the correction factor, which is derived using a DNN. Despite being discussed in the literature, the concept of estimating location using corrections to an initial approximation has not been applied to the challenge of GNSU-based positioning using deep neural networks, which is the focus of this work.

Aim and objective. The following is the wording of the research objective for the study "Prognostic Model of the State of Global Navigation Satellite Systems Using Big Data Analysis and Neural Networks": The main goal of this project is to combine big data analysis with cutting-edge neural network techniques to create a reliable prognostic model for evaluating the condition of GNSU. The objective of the research is to utilize extensive information produced by GNSU, integrating diverse aspects such system anomalies, environmental conditions, and satellite performance metrics. With the goal to develop a predictive framework utilizing point-blank neural networks to address threats or disruptions as well as to indicate weaknesses of the functioning of GNSU, we regard our project as a worthwhile contribution. The purpose of our examination is accuracy prognostics of GNSU systems for providing systems with a more proactive and resilient approach.

Methods. For the research project's quantitative methodology, a broad literature review was carried out from the huge amount of research publications that were found in various online libraries with 2019-2024 as the publication year. Through employing keywords, like "GNSU prognostic models," "big data analysis in satellite navigation," and "neural networks for system resilience," the study sought to extract tangible insights and methodologies used in similar studies. Specific focus was laid on applying the data-centric views, statistical approaches and number-based methodologies towards building models that forecast the impairment caused by GNSUs. The literature surveying of the most recent period develops a base knowledge and sets the scene for the next stage in our research agenda - the analysis of quantitative findings.

Result and discussion. The field of data analysis has rapidly evolved, changing the way we interpret and utilize amounts of information presenting new opportunities, across various industries. Research on the demonstrating of GNSU circumstances highlights the status of data analysis in accepting composite networks, designs and possible disturbances in the satellite navigation region [19].

GPS constellations and other GNSUs provide a wealth of real time data driven by factors such as satellite information, signal to noise ratios, ionospheric conditions and system health metrics. In this context

big data analysis involves collecting, managing and analyzing these datasets to extract valuable insights that could inform the development of effective predictive models [18].

The initial step in leveraging datasets for GNSU forecasts involves gathering of diverse data points. This process entails sourcing data, from satellite health monitoring, historical records of system anomalies environmental variables affecting signal propagation and other key factors. By integrating this combination into their research efforts analysts gain an understanding of the GNSU landscape and access a trove of information to uncover correlations and patterns. In order to guarantee the precision and dependability of the information a preprocessing and cleaning stage is carried out during the evaluation of data following the data collection phase. The data will not contain any meaningful, gaps or noise, should use statistical methods to improve the quality of the data. Following cleaning, data will be removed and segmented to identify factors affecting GNSU performance. This step is important to identify factors that may lead to interference [20].

In the context of GNSU forecasts, powerful machine learning and statistical algorithms form the basis of big data analysis. Time series analysis, clustering, regression analysis and other statistical methods are important for identifying important variables affecting GNSU behavior, determining differences between stems and sorting data correlation. In addition, machine learning algorithms can identify complex patterns and connections in large data sets that are difficult to understand with traditional methods [21].

The development of ML models especially neural networks(NN) is an important characteristic of big data processing in this arena. The GNSU model was used to train NN that can pretend nonlinear interactions and adjust to complex data. The learning procedure includes repeating the variables of the model until it forecasts the consequence based on the orders given. This step is significant to identify small problems in the data that may designate problems with future GNSU processes [22].

Insights generated by big data analytics can improve the overall predictive performance of predictive models. Researchers can increase the predictive power of the model by analyzing hidden connections and patterns to identify anomalies and intervene early. Finally, this technology improves GNSU's performance in the face of changing problems by enabling rapid response and mitigation.

Aspect	Description
Objective	Develop a prognostic model for assessing the state of Global Navigation Satellite Systems (GNSU)
Methodology	Integrates big data analysis and neural networks
Data Collection	Aggregation of extensive datasets, including satellite signals, signal-to-noise ratios, ionospheric conditions, and more
Data Preprocessing	Cleaning and enhancing data quality through statistical techniques, handling noise, outliers, and missing values
Feature Extraction	Identifying and highlighting relevant variables influencing GNSU performance through segmentation and extraction
Statistical Analysis	Utilizes advanced statistical methods, including time-series analysis, clustering, and regression analysis
Machine Learning Models	Employs neural networks, particularly deep learning architectures, for capturing complex, non-linear relationships
Training Process	Iterative adjustment of model parameters to accurately predict outcomes based on the provided GNSU data
Predictive Capabilities	Enhances the model's ability to predict potential disruptions, errors, or degradation in GNSU performance
Early Detection	Facilitates early detection of anomalies, enabling proactive measures to be taken for system resilience
Applicability	Explores scalability and adaptability of the model to evolving GNSU technologies and emerging challenges
Benefits and Applications	Contributes to the optimization of GNSU services by minimizing downtime and improving overall system performance
Potential Impact	Redefining the satellite navigation environment to make it more resilient and responsive to the dynamic technological environment

This table propose a well-organized instant of the main findings of the study, emphasizing the data-related procedures, methodology, and possible applications of big data analysis and neural networks in the Prognostic Model of GNSU.

Creating a Prognostic model for GNSU: The process of building a predictive model for the current state of GNSU requires collecting data, organizing the data, building models, and evaluating them. Below I will briefly explain the process required to create the program. Note that the specific information and details of the GNSU system in question will determine the content of the application.

1. Data Collection

Representation and data collection are crucial to train a reliable evaluation model. The following information should be included in this file:

- Satellite telemetry: Detailed information about the performance and health of individual satellites, such as hardware, signal strength, and other measures.
- Environmental conditions: Information about solar activity, ionospheric conditions, and other environmental conditions that may affect GNSU signals.
- Conduct history: Document past deficiencies, problems, or disruptions in the GNSU system.

2. Data Preprocessing

Prepare the collected data for training:

- Data cleaning: Resolving incorrect data, inconsistent data, and missing values in the data.
- Standardization/Standardization: Measure the number of features of the model to facilitate model training
- Feature Engineering: Finding and obtaining relevant features that can impact GNSU efficiency.

3. Model Development

Neural networks are used in the predictive modeling process. The complexity of the problem will determine the design of the neural network. Temporal relationships in data can best be captured with deep learning such as short-term memory network (LSTM) or recurrent neural networks (RNN).

Python code

```
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras import layers, models

# Define the neural network architecture
model = models.Sequential([
    layers.Dense(64, activation='relu', input_shape=(num_features,)),
    layers.Dense(32, activation='relu'),
    layers.Dense(1, activation='sigmoid') # Binary classification output (e.g., Healthy/Not Healthy)
])
# Compile the model
model.compile(optimizer='adam', loss='binary_crossentropy', metrics=['accuracy'])
# Train the model
model.fit(X_train, y_train, epochs=10, batch_size=32, validation_data=(X_val, y_val))
```

4. Model Evaluation

Evaluate the model's performance with a test set or validation dataset that was not used for training. Evaluation measures that are often used include F1 score, recall, accuracy, and precision.

Python code

```
# Evaluate the model on the test set
loss, accuracy = model.evaluate(X_test, y_test)
# Make predictions
predictions = model.predict(X_test)
```

5. Deployment and Monitoring

Once the model is good enough, it can be used to make instant predictions of the GNSU situation. The model needs to be retrained periodically and constantly monitored to adapt to changes. The process of building a robust prognostic model is an iterative process in which the model design and hyper-parameters are adjusted based on test results. Additionally, for a successful deployed model requires a detailed understanding of the GNSU system and the unique challenges it faces.

Conclusion. There is great possible to expand satellite navigation reliability and performance by using big data analytics and neural networks to develop prognostic models for current conditions of Global Navigation Satellite Systems (GNSU). This study aims to provide anticipatory measures for GNSU

maintenance by incorporating large datasets comprising ecological circumstances, functioning history, and satellite data with neural network architecture.

Such proceedings are obtainable display the likelihood of initial recognition and intervention for timely interference and mitigation procedures. Big data analytics increases our understanding of the associations happening in the GNSU environment by enlightening data that influence else be ignored. The model's capability to adjust to GNSU technology and new challenges is key to its sustained efficiency in shifting operational situations. In addition to improving the reliability and power of GNSU, the proposed prediction model also has consequences for refining deployment and navigation in various fields. Continuous development of satellite systems requires constant evaluation, improvement and alteration to solve new difficulties. Finally, this research is a significant step towards a future in which navigation satellites are not only technically advanced, but also capable of predicting and examining for problems.

References

- 1.O. Yanchuk and R. Shulgan, "Prognostic evaluation of the impact of restricted horizon visibility on the accuracy of position (coordinates) obtained with GNSS based on empirical data," *Geodesy and Cartography*, vol. 46, pp. 67-74, 2020.
- 2.F. Z. Hdidou, S. Mordane, P. Moll, J.-F. Mahfouf, H. Erraji, and Z. Dahmane, "Impact of the variational assimilation of ground-based GNSS zenith total delay into AROME-Morocco model," *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, vol. 72, pp. 1-13, 2020.
- 3.T. M. Nguyen, C. H. Lee, Y. Chen, G. S. Team, S. Behseta, D. Shen, *et al.*, "Innovative Multicarrier Broadband Waveforms for Future GNSS Applications—A System Overview," in *2023 IEEE/ION Position, Location and Navigation Symposium (PLANS)*, 2023, pp. 952-967.
- 4.E. Shehaj, S. Leroy, K. Cahoy, A. Geiger, L. Crocetti, G. Moeller, *et al.*, "GNSS Radio Occultation Climatologies mapped by Machine Learning and Bayesian Interpolation," *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, vol. 2023, pp. 1-24, 2023.
- 5.M. Slavchev, A. Stoycheva, and G. Gerova, "Comparative analysis of convective processes and the intense precipitation using numerical weather model and GNSS meteorology method."
- 6.V. M. Nagulapati, H. Lee, D. Jung, S. S. Paramanatham, B. Brigljevic, Y. Choi, *et al.*, "A novel combined multi-battery dataset based approach for enhanced prediction accuracy of data driven prognostic models in capacity estimation of lithium ion batteries," *Energy and AI*, vol. 5, p. 100089, 2021.
- 7.M. A. El-Brawany, D. A. Ibrahim, H. K. Elminir, H. M. Elattar, and E. Ramadan, "Artificial intelligence-based data-driven prognostics in industry: A survey," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 184, p. 109605, 2023.
- 8.C. Velasco-Gallego, B. N. De Maya, C. M. Molina, I. Lazakis, and N. C. Mateo, "Recent advancements in data-driven methodologies for the fault diagnosis and prognosis of marine systems: A systematic review," *Ocean Engineering*, vol. 284, p. 115277, 2023.
- 9.A. Kamariotis, K. Tatsis, E. Chatzi, K. Goebel, and D. Straub, "A metric for assessing and optimizing data-driven prognostic algorithms for predictive maintenance," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 242, p. 109723, 2024.
10. Y. Yang, Y. Mao, and B. Sun, "Basic performance and future developments of BeiDou global navigation satellite system," *Satellite Navigation*, vol. 1, pp. 1-8, 2020.
11. H. Ge, B. Li, S. Jia, L. Nie, T. Wu, Z. Yang, *et al.*, "LEO enhanced global navigation satellite system (LeGNSS): Progress, opportunities, and challenges," *Geo-spatial Information Science*, vol. 25, pp. 1-13, 2022.
12. T. Schuldt, M. Gohlke, M. Oswald, J. Wüst, T. Blomberg, K. Döringshoff, *et al.*, "Optical clock technologies for global navigation satellite systems," *GPS solutions*, vol. 25, pp. 1-11, 2021.
13. D. S. M. Valente, A. Momin, T. Grift, and A. Hansen, "Accuracy and precision evaluation of two low-cost RTK global navigation satellite systems," *Computers and electronics in agriculture*, vol. 168, p. 105142, 2020.
14. M. S. Grewal, A. P. Andrews, and C. G. Bartone, *Global navigation satellite systems, inertial navigation, and integration*: John Wiley & Sons, 2020.
15. H. Ding, X. Xu, Y. Pan, W. Jiang, and T. Van Dam, "A time-varying 3-D displacement model of the~ 5.9-year westward motion and its applications for the global navigation satellite system positions and velocities," *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, vol. 125, p. e2019JB018804, 2020.
16. E. Munin, A. Blais, and N. Couellan, "Convolutional neural network for multipath detection in GNSS receivers," in *2020 International Conference on Artificial Intelligence and Data Analytics for Air Transportation*, 2020, pp. 1-10.
17. D. Cattaneo, M. Vaghi, S. Fontana, A. L. Ballardini, and D. G. Sorrenti, "Global visual localization in LiDAR-maps through shared 2D-3D embedding space," in *2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2020, pp. 4365-4371.
18. A. V. Kanhere, S. Gupta, A. Shetty, and G. Gao, "Improving gnss positioning using neural-network-based corrections," *NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation*, vol. 69, 2022.
19. N. Umrigar and J. R. Pitroda, "Multimodal urban transportation system for medium size cities," *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, vol. 104, pp. 1005-1021, 2023.
20. J. Qu, P. Liu, Y. Long, and F. Xu, "Main Factors on Effect of Precise Measurement and Precise Tamping Based on BP Neural Network," *Applied Sciences*, vol. 13, p. 4273, 2023.
21. I. Raouf, A. Khan, S. Khalid, M. Sohail, M. M. Azad, and H. S. Kim, "Sensor-based prognostic health management of advanced driver assistance system for autonomous vehicles: A recent survey," *Mathematics*, vol. 10, p. 3233, 2022.
22. J. F. Torres, D. Hadjout, A. Sebaa, F. Martínez-Álvarez, and A. Troncoso, "Deep learning for time series forecasting: a survey," *Big Data*, vol. 9, pp. 3-21, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-06>

УДК 004.5

Бірук Богдан Валентинович, здобувач вищої освіти
кафедри комп'ютерної інженерії та кібербезпеки

<https://orcid.org/0009-0007-8571-0528>

Хрystинець Наталія Анатоліївна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-4836-7632>

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

СИМУЛЯТОР СИСТЕМНОГО АДМІНІСТРАТОРА В КОНТЕКСТІ ІНТЕГРАЦІЇ З ІОТ

Бірук Б.В., Хрystинець Н.А. Симулятор системного адміністратора в контексті інтеграції з ІоТ. У статті розглянуто розробку симулятора системного адміністратора з використанням мови програмування C# у середовищі Unity. Досліджуються основні функціональності, такі як моніторинг ресурсів, управління процесами та імітація системних подій. Розглядається створення віртуального середовища для ефективної взаємодії з імітованими системними об'єктами, а також використання графічного інтерфейсу для відображення інформації про ресурси.

Ключові слова: C#, Unity, симулятор, системний адміністратор, імітація системних подій, графічний інтерфейс, розробка програмного забезпечення

Biruk B., Khrystynets N. A system administrator simulator in the context of IoT integration. The article explores the development of a system administrator simulator using the C# programming language in the Unity development environment. It delves into core functionalities such as resource monitoring, process management, and simulation of system events. The creation of a virtual environment for effective interaction with simulated system objects is discussed, along with the utilization of a graphical interface to display resource information.

Key words: C#, Unity, simulator, system administrator, simulation of system events, graphical interface, software development, Unity development environment, resource display.

Постановка наукової проблеми. Основною проблемою дослідження є вирішення ряду ключових питань у розробці симулятора системного адміністратора в середовищі Unity за допомогою мови програмування C#. Ці дослідження спрямовані на засоби забезпечення ефективного моніторингу ресурсів, ефективного управління процесами та достовірну імітацію системних подій у віртуальному середовищі.

Проблему створення оптимального інтерфейсу для взаємодії з імітованими системними об'єктами вирішено методами розробки графічного інтерфейсу, який забезпечить чітке відображення та аналіз інформації про ресурси.

Завдання дослідження полягає у вирішенні технічних та концептуальних викликів у створенні комплексного симулятора, який може слугувати інструментом для навчання та тестування навичок системних адміністраторів у віртуальному середовищі.

Загалом, розробка симулятора призначена для створення сценаріїв для тренування системного адміністратора у виявленні та вирішенні потенційних загроз без впливу на реальні системи, що є актуальним сучасним завданням.

Аналіз досліджень. З огляду на літературні джерела [1-3], навчальні матеріали, онлайн-курси та інтернет-джерела [4-6] з'ясовано, що усі вище розглянуті попередні дослідження акцентують увагу на ключових функціональностях симулятора, таких як моніторинг ресурсів, управління процесами та імітація системних подій.

Проаналізована оцінка ефективності реалізації цих функцій у віртуальному середовищі Unity та виявлено, що «вимоги до системного адміністратора відрізняються від компанії до компанії, але є кілька базових вимог, які, швидше за все, знадобляться будь-де» [7] і саме дані зазначені hard skills використані для основних етапів симуляції в досліджуваній роботі. При використанні даного підходу проектування була вирішена проблема зайвого навантаження і меншої залученості з боку персонажу розробки (так званого гравця), оскільки основні механіки впроваджені лінійно.

У дослідженні [8] розглянуто можливості інтеграції симулятора з ІоТ для покращення функціональності та реалізму.

Мета роботи полягає у дослідженні методів і засобів розробки комп'ютерної гри на Unity, а також у дослідженні методів інтеграції ІоТ і взаємодії їх внутрішніх і зовнішніх компонентів. Вивчення взаємодії з ІоТ-пристроями та їх вплив на роботу системного адміністратора у віртуальному середовищі Unity є об'єктом дослідження.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

В контексті інтеграції з IoT, рушій Unity може бути використаний для створення різноманітних застосунків та розробок, таких, як віртуальні середовища для тренування та тестування взаємодії з IoT-пристроями, симуляція реальних сценаріїв використання для навчання, ігрових додатків, що взаємодіють з реальними даними з IoT-пристроїв (наприклад, геолокація, температура, вологість), віртуальних турів, які взаємодіють з фізичними об'єктами, що мають IoT-сенсори (наприклад, музеї, виставкові зали) та інші. Тобто, інтеграція Unity з IoT дозволяє створювати інноваційне програмне забезпечення, яке використовує можливості обох технологій.

Створення симулятора системного адміністратора за допомогою Unity може бути реалізоване шляхом наступних кроків та алгоритмів, що зазначені на рисунку 1.

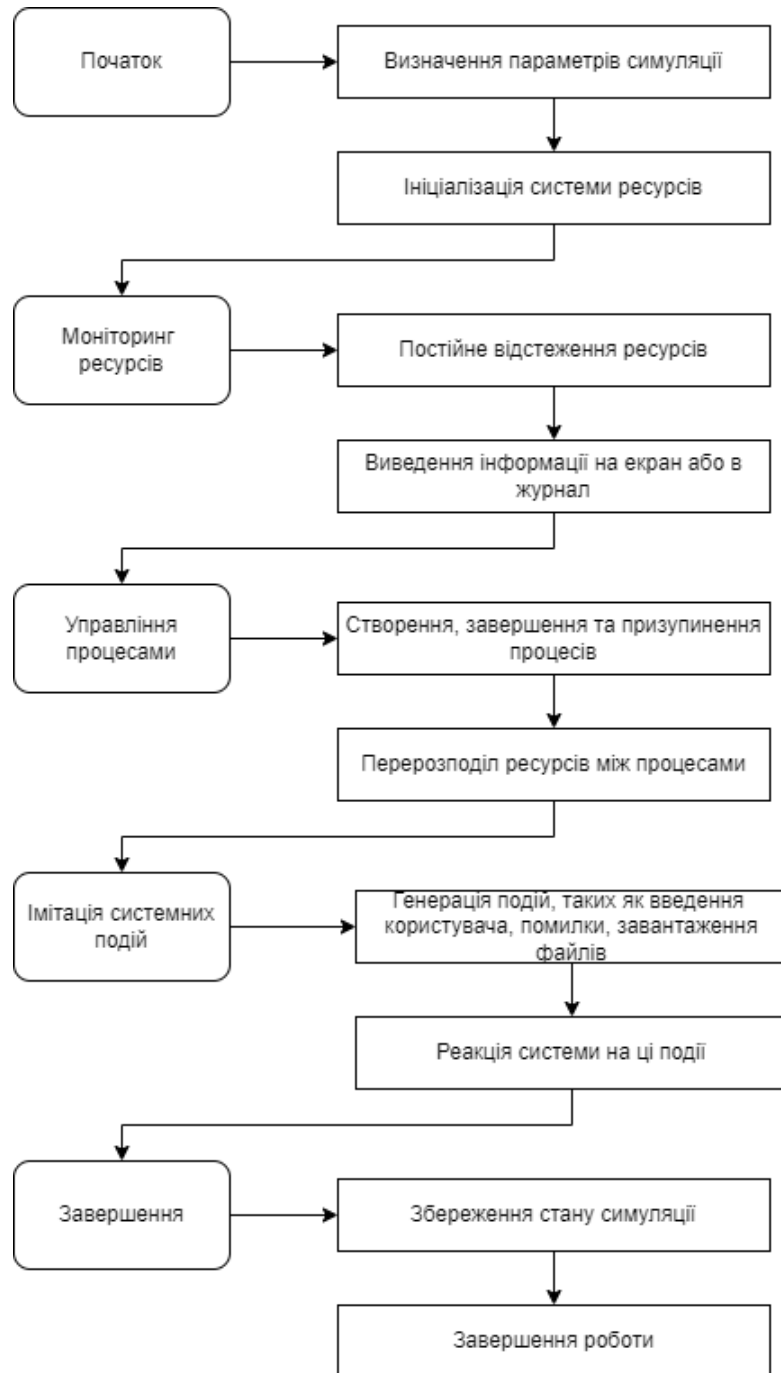


Рис. 1 - Алгоритм реалізації основних функцій роботи інтерфейсу

Розглянемо аспекти створення оптимального віртуального середовища для взаємодії з імітованими системними об'єктами. Графічний інтерфейс, використовуючи можливості Unity, досліджується щодо відображення інформації про ресурси відповідно до потреб користувача. Визначення основних ознак і характеристик при створенні гри на Unity є важливим етапом перед початком створення власного проекту.

Для оптимізації ресурсів і тісної взаємодії ігрових механік та для функціонування в режимі гравця пропонується перетворити алгоритм з форми, зображеної на рисунку 1, на форму зображену на рисунку 2.

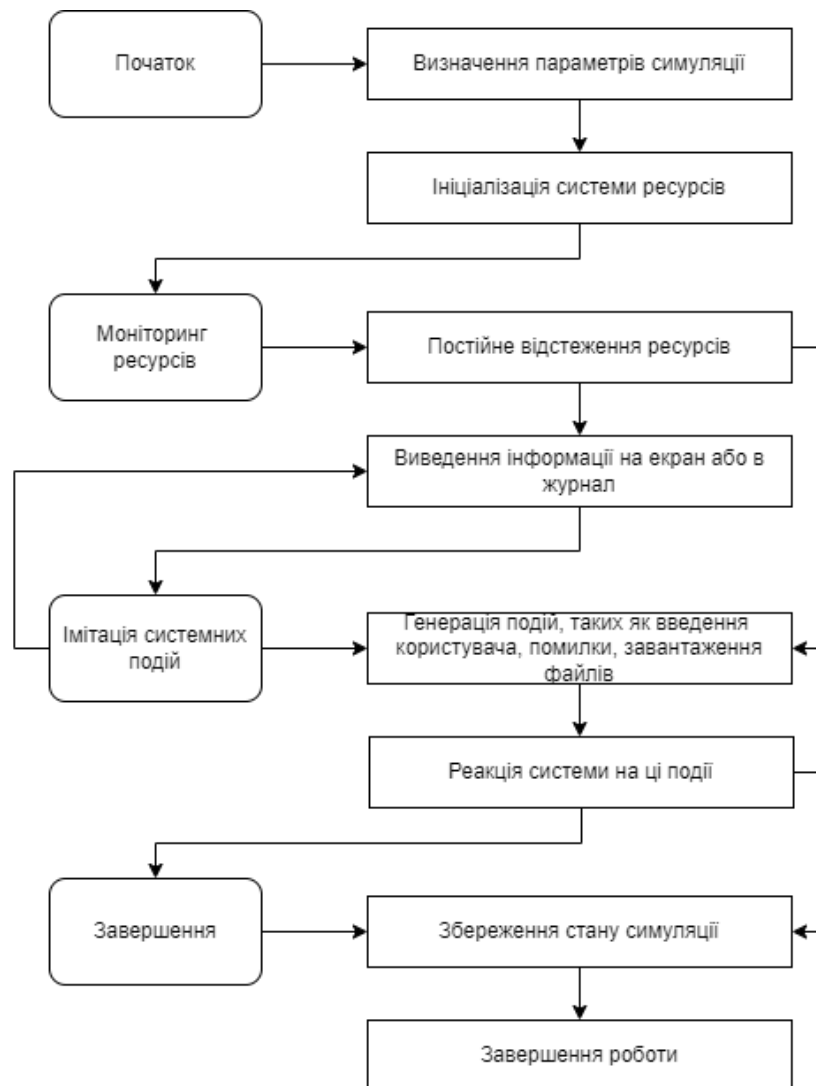


Рис. 2 - Алгоритм реалізації основних функцій на основі зменшення лінійності алгоритму

Характеристики ігрового рушія визначають загальні особливості додатків на Unity, проте конкретні елементи можуть різнитися в залежності від жанру, цільової аудиторії та завдань конкретного проекту. Важливими характеристиками Unity є можливість його використання для створення високоякісної та реалістичної графіки і реалізації різних ефектів, таких як освітлення, тіні, частинки, та інші візуальні аспекти; здатність розгортати гру на різних платформах, таких як Windows, macOS, Linux, Android, iOS, та інші – тобто, оптимізована кросплатформенна робота забезпечує однаковий досвід гри на різних пристроях, а інтеграція IoT в Unity має великий спектр можливостей для покращення ігрового досвіду, реалізації нових функціональностей та забезпечення більшого взаємодійного досвіду для гравців.

Інтеграція IoT у гру на Unity відкриває безліч можливостей для творчості та створення унікального геймплею, де віртуальний та реальний світи переплітаються.

Висновки.

Розглянуті основні функціональності, такі як моніторинг ресурсів та управління процесами, демонструють високий рівень ефективності та корисності для користувачів. Імітація системних подій дозволяє тренувати адміністраторів у реальних сценаріях безпеки та кризового управління.

Використання стандартних моделей якості, таких як ISO/IEC 25010, допомагає систематизувати та оптимізувати процес розробки, забезпечуючи відповідність вимогам користувачів та стандартам якості.

Розробка Unity Симулятора Системного Адміністратора має потенціал стати важливим інструментом для навчання та тренування системних адміністраторів, забезпечуючи їх знання та навички в сфері інформаційної безпеки та адміністрування комп'ютерних систем.

Список бібліографічного опису

1. Христинець А.О., Повстяна Ю.С., Христинець Н.А. Моделювання 2D графіки у ігрових додатках UNITY. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технологічними комплексами». Луцьк: 23–24 квітня 2021 р. С. 25
2. Христинець Н.А., Лавренчук С.В., Пех П.А., Євсюк В.М., Крулік Ю.О. Функціональні адаптивні інтерфейси з динамічними компонентами для підсистем зберігання мультимедійного контенту. *Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво»*. Луцьк, 2023. № 51. С. 87–93.
3. Мельник К.В., Мельник В.М., Нестерук В.О. Методи машинного навчання у тренуванні ігрового штучного інтелекту на прикладі агента у грі Snake. *Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво»*. №43. С.201-205.
4. Welcome to Unity Simulation. *docs.unity3d.com* 2008. URL: <https://docs.unity3d.com/Simulation/manual/#1-author-a-simulation> (дата звернення: 01.03.2024).
5. Симулятор системного адміністратора. *evribiont.org*. 2021. URL: <https://evribiont.org/1220-simulyator-sistemnogo-admnstratora-newgame.html> (дата звернення: 01.03.2024).
6. Що повинен знати і вміти Системний Адміністратор. *actpro.com.ua* URL: <https://actpro.com.ua/ru/2021/12/21/shho-povynen-znaty-i-vmity-systemnyj-administrator/> (дата звернення: 01.03.2024).
7. Системний адміністратор: обов'язки, ролі, плюси та мінуси професії. *itedu.center* URL: https://itedu.center/ua/blog/sysadministration/system_administrator/ (дата звернення: 03.03.2024).
8. EMnify. Cellular IoT: What Business Leaders Should Know. *EMnify*. 2020. URL: <https://www.emnify.com/blog/cellular-iot> (дата звернення: 01.03.2024).

References

1. Khrystynets A.O., Povstyana Yu.S., Khrystynets N.A. Modeling 2D graphics in UNITY game applications. Materials of the international scientific and practical conference of young scientists and students "Information, software and technical support of management systems of organizational and technological complexes". Lutsk: April 23–24, 2021, p. 25.
2. Khrystynets N.A., Lavrenchuk S.V., Pekh P.A., Yevsyuk V.M., Krulik Yu.O. Functional adaptive interfaces with dynamic components for multimedia content storage subsystems. Scientific journal "Computer-integrated technologies: education, science, production". Lutsk, 2023. №51. P. 87–93.
3. Melnyk K.V., Melnyk V.M., Nesteruk V.O. Machine learning methods in training game artificial intelligence on the example of an agent in the Snake game. Scientific journal "Computer-integrated technologies: education, science, production". №43. P.201-205.
4. Welcome to Unity Simulation. *docs.unity3d.com* 2008. URL: <https://docs.unity3d.com/Simulation/manual/#1-author-a-simulation> (дата звернення: 01.03.2024).
5. Cellular IoT: What Business Leaders Should Know. *EMnify*. 2020. URL: <https://www.emnify.com/blog/cellular-iot> (access date: 03.03.2024).
6. What a System Administrator should know and be able to do. *actpro.com.ua* URL: <https://actpro.com.ua/ru/2021/12/21/shho-povynen-znaty-i-vmity-systemnyj-administrator/> (access date: 03.01.2024).
7. System administrator: responsibilities, roles, pros and cons of the profession. *itedu.center* URL: https://itedu.center/ua/blog/sysadministration/system_administrator/ (access date: 03.03.2024)
8. EMnify. Cellular IoT: What Business Leaders Should Know. *EMnify*. 2020. URL: <https://www.emnify.com/blog/cellular-iot> (access date: 03.03.2024).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-07>

УДК 004.89

Бунке Олександр Сергійович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7945-7040>

Новіков Павло Валерійович к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-2790-5809>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Бунке О.С., Новіков П.В. Тенденції розвитку інтернету речей в енергетиці. У межах статті проведено огляд тенденцій розвитку Інтернету речей в енергетиці. Використання «Інтернету речей» сприяє досягненню стратегічних цілей розвитку та функціонування електроенергетичної галузі. Підкреслено, що за допомогою Інтернету речей створення єдиної інформаційної системи та відображення стану обладнання в режимі реального часу дозволяє підвищувати надійність енергосистеми, оптимізувати перетікання енергії, завантажуючи найбільш надійне обладнання та знижуючи помилки персоналу при керуванні функціонуванням системи. Наголошується, що надійність енергосистеми безпосередньо пов'язана з її ефективністю та безпекою. З підвищенням надійності зменшується збиток енергокомпанії та споживача. Інформація про стан та параметри роботи обладнання в IoT дозволяє розглядати систему розподілених об'єктів енергосистеми як єдиний об'єкт (віртуальну електростанцію), включаючи енергосистему споживача та керуючи її режимами за допомогою інтелектуальних систем обліку. Зазначено, що зниження аварійності зменшує негативні впливи на довкілля, персонал компанії та енергосистему споживача. Технологічно IoT забезпечується за рахунок використання контролерів технічного стану обладнання, ізоляторів, які можуть виявити коронні розряди, датчики провисання проводів, «розумних» систем обліку енергії та багатьох інших елементів. Підкреслено, що технологія «Інтернету речей» дає імпульс не лише технологічному розвитку електроенергетики, а й дозволяє використовувати нові методи управління енергосистемами та змінити бізнес-моделі ринкових відносин у галузі, дозволяючи оптимізувати систему енергетики, що може призвести до кращого використання навколишнього середовища та природних ресурсів, що, у свою чергу, призведе до масштабних переваг розумних енергетичних систем.

Ключові слова: енергетика, галузь, енергосистема, Інтернет речей, перспективи, оптимізація, датчики.

Bunke O., Novikov P. Trends in the development of the internet of things in energy. Within the scope of the article, an overview of the trends in the development of the Internet of Things in the energy sector is carried out. The use of the "Internet of Things" contributes to the achievement of the strategic goals of the development and operation of the electric power industry. It is emphasized that with the help of the Internet of Things, the creation of a unified information system and the display of equipment status in real time allows to increase the reliability of the power system, optimizing the flow of energy, loading the most reliable equipment and reducing staff errors when managing the operation of the system. It is emphasized that the reliability of the power system is directly related to its efficiency and safety. With increased reliability, the loss of the energy company and the consumer decreases. Information about the state and parameters of equipment operation in IoT allows considering the system of distributed power system objects as a single object (virtual power plant), including the consumer's power system and managing its modes with the help of intelligent accounting systems. It is noted that the reduction of accidents reduces the negative impact on the environment, the company's personnel and the consumer's energy systems. Technologically, the IoT is provided through the use of equipment health controllers, isolators that can detect corona discharges, wire sag sensors, "smart" energy metering systems, and many other elements. It is emphasized that the Internet of Things technology gives impetus not only to the technological development of the electric power industry, but also allows the use of new methods of power system management and changes in business models of market relations in the industry, allowing to optimize the energy system, which can lead to better use of the environment and natural resources, which, in turn, will lead to large-scale benefits of smart energy systems.

Key words: energy, industry, energy system, Internet of things, prospects, optimization, sensors.

Вступ та постановка проблеми. В умовах сьогодення, енергія є основою сучасного світу. Для підвищення ефективності та функціональності енергетичних, інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ) інтеграція є ключовим рушієм. Енергетика являє собою складну, багаторівневу та багатовимірну сферу, враховуючи інтеграцію ІКТ, яка призвела до сфери розумної енергетики. Парадигма інтелектуальної енергії розвивалася протягом багатьох років, щоб охопити багато технологій, таких як інтелектуальна мережа, інфраструктура автоматизованого вимірювання, управління активами, енергетичний баланс, відновлювана енергетика, міжсекторальний контроль, тощо. Термін «розумна енергія» використовувався в різних значеннях, але більшою мірою він передає зміну парадигми від односекторного підходу [1].

Облік є важливою функціональністю інтелектуальних енергетичних систем і дозволяє точно оцінювати стан системи. Інтелектуальний лічильник є одним із основних компонентів сучасних енергетичних систем, що забезпечує функціональність вимірювання. Як правило, розумний лічильник складається з сенсорної, обчислювальної та комунікаційної підсистем. Кожен із компонентів зазвичай визначається для сектору енергетики, в якому буде працювати лічильник.

Однак для сценарію інтелектуальної енергетики потрібен зростаючий рівень інтеграції. Обчислювальні та комунікаційні технології розвивалися блискавично протягом багатьох років, керуючись законом Мура та динамічним прагненням до програмного забезпечення та комунікаційних технологій, щоб збільшити швидкість зв'язку, що призвело до складних конструкцій і безлічі завдань для обчислювальних платформ, які еволюціонували, у сучасний час, від простих мікроконтролерів до складних одноплатних комп'ютерів для сфери, у якій відбувається впровадження інтелектуального лічильника. Відповідно, можливості операційної системи також були розширені, а просте вимірювання та звітування поступилися місцем вдосконаленим конструкціям на основі штучного інтелекту для різноманітних розширених функцій, таких як виявлення втручання, ненав'язливий моніторинг навантаження, зменшення піків, оцінка сітки, тощо. Подібним чином, еволюція обчислювального обладнання приносить із собою гнучкість і, як результат, складність конфігурації та програмного забезпечення. Щоб переглянути обчислювальну інфраструктуру інтелектуального лічильника, знову доречно порівняти її з еволюцією обчислювальних пристроїв, що дає змогу вказати на очевидні прогалини та втрачені можливості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній науковій площині з'являються роботи присвячені дослідженням розвитку Інтернету речей в енергетиці для підвищення рівня якості моніторингу та реалізації виконавчих функцій.

Огляд у [2] вказав на кілька варіантів використання терміну «розумна енергетика» та згрупував їх у два класи, у яких перша група в першу чергу зосереджена на розумних мережах, а потім на їх розширеннях, таких як міжгалузеве управління та моделювання. Кілька авторів зосередили свої роботи на механізмах міжгалузевої інтеграції [3, 4], у [5] на компонентах більш складної інтерактивної системи систем або [6] на компоненті інтеграції відновлюваної енергії. Ці сценарії представляють зміну парадигми системного мислення щодо енергії.

Із зарубіжних авторів варто відмітити роботи таких науковців як: Рамасуббаредді Сомула, Йонгюн Чо, Бхабенду Кумар Моханта [7], Ван Бінцюань, Ляо Сюе [8], Ахмед Мухаммад, Міо Тірейн, Асері М., Баромі Бадар, Кайзер М., Шрімал Вошан [9], Деван Ріту, Нагпал Тапсі, Ахмад Шарік, Кумар Арун, Іслам Сардар [10], Калайчелві Нагараджан, Гаятрі С. П. [11], Гаятрі С. П., Віджаялакшмі С. [12], Хан Талха, Віду Сандіп, Рац Андрас, Афшанг Мерназ, Хеглунд Андреас, Бергман Йохан [13], Чініпардаз Мар'ям, Хорамфар Алі, Амраї Сомає [14] та інших.

Однак незважаючи на масштабність наукових досліджень питання актуальності даної роботи не викликає сумнівів.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження тенденцій розвитку Інтернету речей в енергетиці.

Викладення основного матеріалу дослідження. Системи датчиків для розумних лічильників вимірюють споживану енергію. Залежно від типу та використання енергії, що подається, сенсорні системи бувають різних типів; однак найпоширенішими типами вимірюваних змінних в області енергії є електрика, тепло та газ, причому електрика є найпоширенішою; тепло, у більшості випадків, є похідною змінною або від електричного, або від газового постачання, але через його вплив воно зазвичай вимірюється окремо. У деяких випадках саме тепло безпосередньо постачається споживачеві. Хоча про інтегрований інтелектуальний лічильник для вимірювання всіх величин не повідомлялося, окремо ці змінні все частіше вимірюються, контролюються, обробляються та контролюються для сценаріїв інтелектуальної енергії [6]. Наразі інтегрований сценарій застосування також не реалізується на фізичному рівні; скоріше, ці змінні обробляються на вищому рівні інтеграції та абстракції, як правило, на рівні програм і в хмарі, що призводить до перешкод робочому механізму, та може призвести до недостатнього використання даних та інших артефактів збору даних. Розробники інтелектуальних лічильників зазвичай розглядають техніку вимірювання як зовнішній фактор, прикладом чого є той факт, що більшість досліджень розумних лічильників знімають готові компоненти, тоді як у промисловості різні типи лічильників у різних сценаріях призводять до різних конструкцій.

Теплова енергія або тепло вимірюється шляхом інтегрування потоку рідини з різницею температур рідини, яка постачає або відводить тепло. Базове вимірювання підведеного або відведеного тепла отримують шляхом множення масового потоку рідини на питому теплоту та різницю температур між поданою та зворотною рідиною. Системи тепlopостачання використовують або пару, або іншу рідину, при цьому рідинні системи стають все більш поширеними. Різниця температур вимірюється за допомогою датчика температури, тоді як потік вимірюється динамічним або статичним методом. Динамічні методи використовують рухому

механічну частину, таку як робоче колесо або турбіна, для вимірювання масової витрати, тоді як статичні вимірювачі використовують електронні методи, причому найпоширенішими є ультразвукова та магнітна індукція. Лічильники теплового потоку також стають звичним явищем у сучасних будівельних системах для вимірювання теплового потоку через ізоляцію для кращого контролю температури навколишнього середовища.

Обчислювальна платформа складається з апаратного забезпечення, наприклад одноплатних комп'ютерів, мікроконтролерів, системи на чіпі та програмного забезпечення, наприклад інструментів API. Комунікаційна технологія складається з протоколів передачі даних і проміжного програмного забезпечення.

Найбільш ранні роботи з вимірювання прихованої теплоти за допомогою механічних витратомірів, таких як робочі колеса та поворотні датчики, виконані в [15]. Ультразвуковий лічильник для вимірювання витрати в теплотічильниках виправив помилки, викликані коливаннями температури, що призвело до збільшення динамічного діапазону для вимірювання теплового потоку.

Базуючись на твердій теоретичній основі, існує велика кількість практично побудованих лічильників теплового потоку, починаючи від простих і закінчуючи лічильниками з електронною інтеграцією.

Про інтеграцію системи опалення в бізнес-аналітику та інтеграцію проміжного програмного забезпечення зазвичай не повідомляється, а різноманітність методів, які можуть бути використані не відображається в цих сценаріях. Доцільно виміряти вплив збурень і методи установки на вищому рівні інтеграції та включити опалення як компонент у сценарії інтелектуальної енергії.

У сферах розумної енергетики газові лічильники використовуються для вимірювання загального об'єму газоподібного палива, що подається системою, яка зазвичай знаходиться під постійним тиском. Вимірювання газу зазвичай є складними, оскільки об'ємні показання з вимірювань витрати є громіздкими та схильними до помилок через залежність об'єму від температури та тиску. Вимірювання потоку є дуже активною дослідницькою сферою, і було розроблено та повідомлено про численні методи, але існує дуже мало комерційно застосованих методик через складний характер правових і комерційних стандартів.

До динамічних лічильників відносяться мембранні лічильники та витратоміри на основі механічних ротаційних вимірювальних пристроїв. Мембранні витратоміри є найпоширенішими, мають найбільшу споживчу та промислову базу встановлення; вони надійні та достатньо точні, особливо для енергетичних газів. Більшої точності та діапазону можна досягти за допомогою механічно оброблених ротаційних лічильників, які вимірюють швидкість газового потоку і визначають об'ємну швидкість потоку. Динамічні лічильники схильні до зношування, дрейфу вимірювання та обмеженої швидкості відгуку. Статичні лічильники використовують процеси вимірювання, які не вимагають руху вимірювальних елементів для вимірювання витрати, такі як ультразвукові лічильники та вимірювачі ефекту Коанда; отже, вони більш надійні щодо помилок, зносу та втом, що призводить до кращої продуктивності, довговічності та меншого розміру.

Ультразвукові лічильники зазвичай не використовуються в побутових і промислових вимірюваннях паливного газу через вартість, складність і динамічний діапазон, але знаходять все більше застосування в метрології. Іншим типом статичного лічильника є витратомір Коріоліса, який використовує коливальні трубки, чії коливання змінюються зі зміною масової витрати, таким чином безпосередньо вимірюючи масову витрату замість використання об'ємної витрати; це робить лічильник Коріоліса, мабуть, найточнішим лічильником у вимірюванні потоку, з тривалим терміном служби і широким промисловим використанням у харчовій промисловості, виробництві напоїв та хімічній промисловості. Нарешті, кілька міжнародних організацій розробили проекти стандартів газової метрології для побутових і комерційних установок, таких як довідковий документ OIML R-137, частина 1 і 2, який визначає вимоги та технічні рекомендації для внутрішньої газової метрології. На основі проектів було впроваджено два типи побутових газових лічильників, що використовують механічний датчик, обладнаний електронним індексом, і ультразвуковий механізм з температурною компенсацією, де обидва ці лічильники обладнані механізмом електронного зв'язку для інтелектуального обліку. Радіомодуль для автоматичного зчитування з'єднується з імпульсним інтерфейсом лічильника газу для передачі спожитого об'єму.

Платформа автоматизованого зчитування лічильників для домену інтелектуального обліку може інтегрувати автоматичне виставлення рахунків за допомогою даних про споживання.

Електроенергія є найпоширенішим типом енергії, що виробляється та розподіляється для споживання в побутових, промислових та інших секторах завдяки легкості виробництва, розподілу та контролю, а також ефекту масштабу на кожному рівні в електроенергетиці; це також робить її однією з найдоступніших енергетичних рішень у всьому світі.

Електромережа постійно розвивалася разом з еволюцією технологій і методів генерації, мереж розподілу та інтеграції обчислювальних і комунікаційних технологій в електроенергетичну екосистему, що призвело до появи сучасної концепції розумної мережі, яка все частіше впроваджується в етап реалізації на різних рівнях. Ця концептуальна та практична еволюція електричної мережі призвела до більш тісної інтеграції різних компонентів у різних сферах. Чистий вимір, розподілена генерація, введення реактивної потужності, стабільність і контроль мережі, зменшення пікових навантажень тощо – це лише деякі приклади такої інтеграції, яка дозволяє точно контролювати споживання та виробництво, аж до кінцевого користувача, і потім знову до основного виробничого об'єкта, щоб оптимізувати все більш складні функції витрат, такі як мінімізація вуглецевого сліду, тощо. Така тісна інтеграція та зростаюча складність призвели до реалізації дієвих методів вимірювання для моніторингу споживання електроенергії, що, у свою чергу, призвело до появи різних типів лічильників на різних рівнях, які зараз все частіше називають датчиками розумної мережі та, які містять методи, що виходять за межі простих побутових лічильників. На відміну від інших енергетичних мереж, які обговорювалися раніше, швидка еволюція та міжрівнева інтеграція електричної мережі вимагає більш комплексного перегляду методів вимірювання в мережевих шарах, оскільки вплив кожного вимірюваного значення може поширюватися через мережу, навіть до кінцевого користувача.

На фундаментальному рівні вимірювання електроенергії полягає у вимірюванні миттєвих значень струмів і напруг. Напряга вимірюється шляхом пропускання дуже невеликої кількості струму через вузли, між якими необхідно виміряти різницю потенціалів за допомогою високого значення опору в послідовності з датчиком напруги. Спочатку датчики напруги використовують силу, яку відчуває провідник струму в магнітному полі, і зазвичай включають котушку постійного магніту, що рухається, електродинамометр та індукційні лічильники. Індукційний тип лічильника найчастіше використовується в побутових і промислових лічильниках електроенергії. Випрямний тип лічильника є ще одним поширеним методом вимірювання напруги, який використовує діодний міст і датчик з рухомою котушкою постійного магніту для вимірювання напруги змінного струму. Електростатичні лічильники використовують ємнісний зв'язок, щоб викликати рух, пропорційний напрузі, що прикладається до пластини конденсатора. Цифрові вольтметри використовують компаратор і ланцюг імпульсів для вимірювання рівня напруги вхідного сигналу та перетворення його в потік двійкових цифр, причому кожна цифра вказує на результат компаратора для кожного імпульсу. Різноманітність дизайну цифрового датчика напруги величезна і в основному поділяється на ізольовані та неізольовані методи; обидва вони використовують високопродуктивні АЦП з високою пропускну здатністю, програмованим коефіцієнтом підсилення та універсальні аналого-цифрові перетворювачі з високим динамічним діапазоном для високопродуктивних інструментів.

Вимірювання струму виконується або за допомогою неізольованої методики, що передбачає розміщення дуже низького опору в послідовності зі схемою вимірювання струму, або за допомогою ізольованої методики, яка передбачає вимірювання електромагнітного поля, створюваного поточним струмом. Основним методом є метод шунтового резистора, який вимірює падіння напруги на резисторі на шляху струму та використовує ізолюючий підсилювач для забезпечення підсилення, намагаючись мінімізувати вплив електричного контакту, який вносить омичні втрати за рахунок погіршення пропускну здатності і точності разом із дрейфом у звітних значеннях. В основному шунтові датчики струму зазвичай є коаксіальними шунтами або серією поверхневих шунтів, де перші використовуються для імпульсів високої величини з жорсткими перехідними характеристиками, такими як швидкий час наростання, тоді як другі використовуються в силовій електроніці та промислових, побутових і електронних системах.

Ізольоване вимірювання струму дозволяє безконтактно вимірювати плаваючу напругу за допомогою магнітного поля, створюваного потоком струму, що забезпечує більший динамічний діапазон і електричну безпеку. Магнітне поле можна відчути за допомогою індукції або за допомогою датчиків магнітного поля.

Трансформатори струму використовують просту трансформаторну дію для індукції струму на вторинній/чутливій стороні за допомогою змінного магнітного поля, створюваного первинним струмом, і, можливо, є найбільш широко використовуваними пристроями вимірювання струму в

перетворенні потужності через їх низьку вартість. Сумісний з АЦП сигнал, пропорційний вихід, який не потребує інтеграції, і надійне низькочастотне застосування. Основними недоліками трансформаторів струму є насичення, падіння та гістерезис через індуктивність намагнічування, втрати в сердечнику, особливо на високих частотах, і вимоги до відновлення сердечника в імпульсному режимі.

Крім використовуваної техніки вимірювання, також необхідно враховувати інші важливі аспекти рівня системи, які зазвичай впроваджуються в інфраструктуру вимірювання. Аналогові датчики майже завжди пов'язані з аналого-цифровим (A/D) інтерфейсом, який перетворює вимірювані значення в цифрову область, де основними проблемами на рівні сітки є частота дискретизації, частота звітування, і точність. Іншим аспектом є кількість фаз, типова кількість яких становить одну або три. З'єднання чутливого пристрою з інтерфейсом живлення визначає тип вимірювання, яке виконується як «лінія-нейтраль» або «лінія-лінія». Значення, що записуються, зазвичай є RMS і усереднені для зменшення шуму. Записані значення додатково обробляються статистично для вимірювання поширення та тенденції споживання та виробництва.

Крім базового вимірювання на простих кінцевих вузлах, як правило, вдома та в офісі, лічильники повинні виконувати розширений аналіз на вищих рівнях інтеграції та складних кінцевих вузлах, таких як підприємства чи будівлі. Таке вимірювання враховує безперервний, а також комплексний характер струму та у сталому стані. Перехідні реакції також вимірюються та записуються для вдосконалених систем вимірювання, що дозволяє реалізувати ідентифікацію несправностей і профілактичне технічне обслуговування на системному рівні разом з іншими алгоритмами вищого рівня та статистичними висновками. Коливальні реакції в енергетичних системах дуже важливі з огляду на велику кількість інформації, яку вони містять, особливо стабільність системи. Зазвичай на лічильнику виконується модальний аналіз із використанням методів декомпозиції в частотній області, частотно-часовому або фундаментальному режимах, а дані використовуються вищим рівнем інтелектуального рішення для виявлення подій, або лічильник також можна дистанційно запрограмувати для звітування щодо конкретних подій з використанням методів штучного інтелекту, серед іншого, таких як статистична обробка, для виявлення конкретних подій і звітування.

Фазорні вимірювання також є важливим аспектом сучасних вимірювальних систем, які вимірюють фазу струму та напруги разом із величиною за допомогою блоків вимірювання фази (PMU), які виділяють компонент основної частоти за допомогою перетворення Фур'є та виділяють дійсні та уявні компоненти для опису повного вектора. Додавання прив'язки часу до різних PMU дасть синхрофазор, який може забезпечувати вимірювання частоти в сітці для виявлення подій у сітці, які викликають зміни частоти. Синхрофазори також використовуються для вимірювання відносної різниці фазового кута (RAPD), яка може бути використана для виявлення складного потоку потужності, відключення та міжзональних коливань на вищих рівнях обробки даних. Коли різниця фаз вимірюється на тому самому PMU, отримується векторний диференціал (PD), який можна використовувати для виявлення зміни частоти щодо локальної події та для обчислення диференціального синхрофазора шляхом поєднання вимірювань від різних PMU, які використовуються щоб виявити ту саму подію, вимірявши її вплив у різних місцях об'єднаної енергосистеми. PMU також використовуються для виявлення фазового дисбалансу та пов'язаних з ним подій. На вищих рівнях обробки даних алгоритми оцінки стану даних PMU можуть надати детальну картину стану інтелектуальної енергетичної системи, забезпечуючи контроль і оптимізацію всієї системи.

Миттєве вимірювання напруги та струму надає корисну інформацію про стан системи, але енергосистема за своєю суттю є безперервною системою, і вимірювання, орієнтоване на форму сигналу, може надати додаткову інформацію, особливо у випадку несинусоїдальних форм сигналу, які виникають через спотворення. Такі інструменти, є датчиками форми хвилі, вони бувають різних типів, наприклад вимірювачі якості електроенергії (PQ) і цифрові реєстратори несправностей (DFR). Загальні вимірювання, які виконуються вимірювачами PQ, включають гармоніки напруги, амплітудний коефіцієнт, загальне гармонічне спотворення, індекс фазової гармоніки та інтергармоніки. DFR відстежують безперервні сигнали та фіксують миттєве зображення у разі запуску, яке називається знімком сигналу, який встановлюється шляхом порівняння поточної форми сигналу (віконного сигналу) з еталонною формою сигналу, якою зазвичай є попередній екземпляр сигналу. Подія запускається, коли порівняння перевищує встановлене порогове значення протягом принаймні мінімального встановленого періоду часу, причому популярними методами порівняння

є THD, RMS або порівняння точка-точка та порівняння підциклів. Ідентифікація меж циклу та компенсація коливань частоти є важливими аспектами порівняння між точками, що створює складності, які призводять до таких методів, як порівняння підциклів. Обробку подій і сигналів також можна виконувати на похідних формах сигналу, таких як диференціальна форма сигналу, яка отримується шляхом віднімання двох синхронних частин форми сигналу. Подібним чином, гармонійні сигнали можна аналізувати для різних параметрів шляхом розкладання сигналів за допомогою перетворення Фур'є та додатково позначати часові позначки для генерації гармонійних синхрофазорних сигналів, які забезпечують розріджену основу для оцінки стану сітки.

Синхронізація вимірювань форми сигналу породжує одиниці вимірювання форми сигналу (WMU), які все частіше використовуються в аналізі перехідних процесів. Типовим параметром, який повідомляють WMU, є відносна різниця форм сигналу (RVWD), яка може використовуватися для виявлення подій і класифікації в лініях передачі. Нарешті, виміряні напруга та струм використовуються для отримання потужності, яка фактично повідомляється та широко використовується для різних застосувань у інтелектуальному обліку. Різні типи обчислених параметрів потужності – це реактивна потужність, коефіцієнт навантаження, справжній коефіцієнт потужності, коефіцієнт потужності зміщення, профілі навантаження тощо, які використовуються для оцінки мережі, керування навантаженням на стороні попиту, зменшення пікових навантажень, програм прогнозування енергії, тощо.

Сучасний рівень вимірювання енергії розвивається з новими параметрами та парадигмами, а методи продовжують розвиватися, вимагаючи вдосконалення обчислень і зв'язку, які, як правило, не відстають від цього прогресу. Це являє собою наступний компонент сенсорного вузла на фізичному рівні, обчислювальну та комунікаційну інфраструктуру.

Висновки. У рамках статті проведено огляд тенденцій розвитку Інтернету речей в енергетиці. Варто відзначити, що в умовах сьогодення, технології впровадження, які пропонує екосистема IoT, не використовуються повною мірою. По-перше, використовується апаратне забезпечення, яке, як правило, з одновузловою архітектурою, тоді як сучасні варіанти конструкції апаратного забезпечення дозволяють реалізувати кілька невеликих розподілених вузлів, які ще не повністю використані в реалізаціях розумних лічильників. Іншим аспектом є конструкція фреймворку, хоча існує кілька рішень щодо датчиків, вимірюваних значень, попередньої обробки, області застосування, алгоритмів штучного інтелекту та екосистем розробки, узгодженого фреймворку, який можна використовувати як автоматизоване розгортання рішень бракує. З появою інтелектуальних рішень і зростаючою складністю, з якою очікується, що інтелектуальна система вимірювання впорається з такими інтелектуальними рішеннями, така автоматизована система розгортання може виявитися корисною та надати доступ до постійно зростаючих опцій, доступних розробникам інтелектуальних лічильників із прозорою складністю і портативністю.

На сьогоднішній день, створення та впровадження інтелектуальних енергетичних систем, які базуються на передових технологіях датчиків, зв'язку та обчислень, підвищать ефективність і функціональність. Використання різнорідних і розподілених вузлів з автоматизованим проектуванням та інтеграцією означає використання розширених парадигм програмного забезпечення, які дозволяють обробляти складні реалізації. Така інтеграція вимірювальної інфраструктури може призвести до масштабних переваг розумних енергетичних систем.

Майбутні дослідження платформ розумних лічильників вказують на підвищення функціональності, інтеграції та гнучкості. Забезпечення більш потужної інфраструктури та інтелекту на рівні інтелектуального вимірювання може призвести до революції, а не до еволюції розумних енергетичних систем, дозволяючи оптимізувати систему енергетики, що може призвести до кращого використання навколишнього середовища та природних ресурсів.

Список бібліографічного опису

1. Вакуленко І. Розгортання "розумних" енергетичних мереж як елемент системи модернізації енергетичного сектору економіки України. Науковий вісник Полісся, 2019. №2 (18), С. 097-106.
2. Стан і перспективи розвитку технологій «інтелектуальних» електромереж, управління попитом та систем режимного управління в умовах розвитку поновлюваних джерел енергії у зарубіжній енергетичній сфері 2018. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/1.-Stan-rozvytku-smart-grid.pdf> (дата звернення 13.01.2024)
3. Півень Д. А. Фактори використання розумних енергетичних мереж в промисловості. Сучасний менеджмент і економічний розвиток : матеріали міжнар. наук.-практ. інтернет конф., м. Суми. Суми, 2020. URL: <https://me.fem.sumdu.edu.ua/>

4. Мареха І. С., Колосок С. І., Макаренко Т. Ю. Глобальна оцінка економіко-технологічних факторів розвитку «розумної» енергетики. Держава, галузі, підприємства, бізнес: реалії і тенденції економічного, інформаційного та технічного розвитку : монографія / за ред. Л.М. Савчук, Л.М. Бандоріної. Дніпро, 2020. С. 362–378.
5. Мареха І. С. Детермінанти ефективного розвитку технологічної концепції SMART GRID в умовах глобального енергетичного простору // Держава та регіони. 2020. № 3. С. 49-54. DOI: 10.32840/1814-1161/2020-3-32.
6. Бойко, С. Аналіз перспектив впровадження провідної енергетики в енергетичний баланс підприємств авіаційної галузі / Бойко Сергій, Котов Олексій, Вишневецький Святослав та ін. // Вісник Хмельницького національного університету. Сер. : Технічні науки. 2022. № 6, т. 1. С. 282-286. – DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-282-286>.
7. Накашидзе Л. В. Енергоефективні системи забезпечення кліматичних умов в приміщеннях на основі використання енергії Сонця та оточуючого середовища. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.08 – перетворення відновлюваних видів енергії. – Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – Київ, 2018. 435 с.

References

1. Ramasubbareddy Somula, Yongyun Cho, Bhabendu Kumar Mohanta. SWARAM: Osprey Optimization Algorithm-Based Energy-Efficient Cluster Head Selection for Wireless Sensor Network-Based Internet of Things. *Sensors*. 2024. №24. 521 p. DOI: 10.3390/s24020521.
2. Wang Bingquan, Liao Xue. A trusted routing mechanism for multi-attribute chain energy optimization for Industrial Internet of Things. *Neural Computing and Applications*. 2023. № 35. P. 1-11. DOI: 10.1007/s00521-023-08215-7.
3. Ahmed Muhammad, Myo Thirein, Aseeri M., Baroomi Badar, Kaiser M., Srimal Woshan. Internet of Things-Based Smart Building for Energy Efficiency. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-33906-6_8.
4. Dewan Ritu, Nagpal Tapsi, Ahmad Sharik, Kumar Arun, Islam Sardar. Security and Energy Efficiency Enhancement for the Internet of Things: Challenges, Architecture and Future Research. 2023. DOI: 10.1007/978-981-99-6755-1_24.
5. Kalaichelvi Nagarajan, Gayathri S. P. Internet of Things Toward Leveraging Renewable Energy. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-15044-9_5.
6. Gayathri S. P., Vijayalakshmi S. Empowering Renewable Energy Using Internet of Things. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-15044-9_10.
7. Khan Talha, Veedu Sandeep, Rácz András, Afshang Mehrnaz, Höglund Andreas, Bergman Johan. Towards 6G Zero-Energy Internet of Things: Standards, Trends, and Recent Results. 2023. DOI: 10.36227/tehrxiv.170327143.35314208/v1.
8. Chinipardaz Maryam, Khoramfar Ali, Amraee Somaieh. Green internet of things and solar energy. *Environmental science and pollution research international*. 2023. DOI: 10.1007/s11356-023-31141-z.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-08>

УДК 004.89

Грибовський Олег Миколайович¹, магістр<https://orcid.org/0009-0005-6318-3611>Кунанець Наталія Едуардівна¹, д.н.с.к., професор<https://orcid.org/0000-0003-3007-2462>Мага Анастасія Юрїївна², магістрант<http://orcid.org/0009-0003-7262-3952>Пасічник Сергій Олександрович¹, аспірант<https://orcid.org/0009-0006-8011-5618>Петришина Беата Олександрівна², старший викладач<http://orcid.org/0009-0003-7262-3952>Рибак Андрій Орестович¹, магістрант<https://orcid.org/0009-0000-1064-924X>¹Національний університет «Львівська політехніка», м Львів, Україна²Ужгородський Національний університет, м. Ужгород, Україна

ФРОНТЕНТ КОМПОНЕНТА КОМПЛЕКСНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ «РОЗУМНА САДИБА»: ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ

Грибовський О.М., Кунанець Н.Е., Мага А.Ю., Пасічник С.О., Петришина Б.О., Рибак А.О. **Фронтент компонента комплексної інформаційної системи «розумна садиба»: особливості побудови.** В роботі розглянуто комплекс питань, пов'язаних з побудовою інформаційно-технологічних комплексів на основі технологій інтернету речей, хмарних обчислень в контексті формування комплексних інформаційних систем «Розумна садиба». Запропонований авторами роботи підхід є оригінальним та інноваційним і на відміну від вже відомих відрізняється тим, що захоплює до поля розгляду широкий спектр нових застосунків та профілів використання сучасних інформаційних технологій в повсякденному житті власників та мешканців розлогих поліфункціональних приміських садиб та домогосподарств. В роботі детально розглянуті питання побудови фронтент компоненти комплексних інформаційних систем «Розумна садиба», а також системних вимог до формування множини інтерфейсів такого роду систем. Авторами сформовано розлогі переліки специфічних вимог до побудови коректних та ефективних інтерфейсів функціональних підсистем, які є складовими елементами комплексної інформаційної системи «Розумна садиба». Результати роботи формують добре підґрунтя для подальших наукових розвідок та практичних високотехнологічних розроблень в цьому напрямку.

Ключові слова: інформаційна система, фронтент, інтерфейс, розумна садиба, підсистеми, інтернету речей.

Hrybovskiy O., Kunanets N., Maga A., Pasichnyk S., Petryshina B., Rybak A. **The front end of the component of the complex information system «smart manor»: construction features.** The work examines a complex of issues related to the construction of information and technological complexes based on Internet of Things technologies, cloud computing in the context of the formation of complex information systems «Smart Homestead». The approach proposed by the authors of the work is original and innovative and, unlike already known ones, differs in that it captures a wide range of new applications and profiles of the use of modern information technologies in the everyday life of owners and residents of sprawling multifunctional suburban estates and households. The paper examines in detail the issues of building front-end components of complex information systems «Smart Manor», as well as system requirements for the formation of multiple interfaces of such systems. The authors created extensive lists of specific requirements for the construction of correct and effective interfaces of functional subsystems, which are constituent elements of the complex information system «Smart Manor». The results of the work form a good basis for further scientific research and practical high-tech developments in this direction.

Keywords: information system, front end, interface, smart estate, subsystems, Internet of things

Постановка наукової проблеми. Сучасний етап цивілізаційного розвитку характеризується якнайширшим запровадженням високотехнологічних рішень та підходів практично у всі сфери людського буття. Однією з точок прикладення зусиль як науковців-теоретиків, так й інноваторів-практиків на сьогоднішній день є галузь побудови екосистем для проживання та організації високотехнологічного побуту. Попит на такого роду запити в контексті формування в міських агломераціях постійно зростає. Поряд з цим щораз активніше та системніше формуються виклики, а вочевидь і системні відповіді формування замських та приміських житлових комплексів, які в переважній більшості випадків належать до категорії індивідуальної присадибної забудови. Останніми роками активно розвивається напрям із створення систем «Розумний будинок», який визначається широким використанням інформаційних технологій інтернету речей (IoT), методів штучного інтелекту (ШІ), технологій автоматизації та взаємопов'язаної інфраструктури. Набувають актуальності дослідження в галузі побудови інформаційних систем «Розумна садиба». З'явилась нагальна потреба у підвищенні ефективності використання ресурсів, забезпечення комфорту та

безпеки мешканців, досягнення екологічності садиби. Розумні технології та системи дозволяють оптимізувати використання енергії, води та інших ресурсів у садібі, що сприяє зменшенню витрат і підвищенню сталості життя. Зазначені інформаційні системи покращують комфорт та безпеку мешканців, забезпечуючи швидку реакцію на небезпечні ситуації та комфортне середовище проживання. Комплексна інформаційна система «Розумна садиба» сприяє зменшенню впливу її функціонування на навколишнє середовище шляхом використання екологічно чистих технологій та систем управління відходами. Зростання кількості населення, зміни в демографічному та соціальному його статусах, створюють попит на інноваційні рішення, які можуть забезпечити зручне та ефективне проживання у приміській зоні. Отже, дослідження в галузі «Розумна садиба» є актуальним і важливим кроком у напрямку створення більш сталого, комфортного та ефективного житлового середовища для мешканців передмість.

Аналіз досліджень. Авторами ряду робіт було проаналізовано зростаючу популярність проблематики побудови та формування розумних будинків, в яких забезпечується повний контроль процесів, що протікають у відповідних інформаційних системах та різнопланових побутових пристроях за допомогою підключених до інтернету давачів та сенсорів [1]. Автори статей широко відобразили проблематику асоційовану з концепціями інформаційних систем класу «Розумний дім», починаючи з детального дослідження широкого спектру проектів у цій галузі та закінчуючи відомими технологіями, які використовуються для побудови архітектури систем сучасних розумних будинків [2]. Детально подано, інформацію щодо сприйняття концепції «Розумний дім» молодіжним середовищем (покоління мілленіалів) в місті Джохор в Малайзії. Автори провели інформативне опитування серед молодих людей, щоб дізнатися, наскільки вони знайомі з технологіями класу «розумний дім», які функції вони сприймають як корисні та які перешкоди на їхню думку можуть виникнути при використанні такого роду систем [3]. Проведено комплексний аналіз можливостей та застосування давачів руху в системах «розумний дім». Автори провели підбір та аналіз різних типів давачів руху та їх функції, зокрема проаналізовано давачі інфрачервоного випромінювання, мікрохвильові давачі, акустичні давачі тощо [4]. Ретельно проаналізовано можливості використання давачів руху в різних зонах будинку, приміром, для автоматичного включення світла, контролю за системою безпеки, моніторингу за пожежною безпекою, та інших цілей. Представлені приклади різноманітних сценаріїв використання давачів руху, що забезпечує можливість розуміння, як вони сприяють підвищенню комфорту та безпеки проживання мешканців в будинку [5]. Детально описуються основні компоненти автоматизованих кліматичних систем - давачі температури, вологості, а також пристрої для регулювання вентиляційних клапанів та кліматичних установок. Грунтовно опрацьована концепція системи автоматичного управління на прикладі приміщення з високою концентрацією людей - від розпізнавання присутності тієї чи іншої особи до автоматичного збільшення чи зменшення потужності кондиціонера в залежності від кількості присутніх та рівня вуглекислого газу в приміщенні [6]. У статті «Smart Homes: Steps, Components, Utilities and Challenges» розглядаються різні аспекти розумних будинків, включаючи етапи їх реалізації, компоненти, корисність та виклики, з якими можуть зіткнутися розробники та користувачі. Автори вивчають технології та інновації, пов'язані зі сферою розумного житла, і містить поради щодо впровадження та використання таких систем [7].

Нові та проривні технології на основі Інтернету речей (IoT), які використовуються в розумних будинках містять розосереджені комунікаційні компоненти. Автори статті «Опитування комунікаційних компонентів для технологій на основі Інтернету речей у розумних будинках» проаналізувавши вміст баз даних ScienceDirect, IEEE Xplore та Web of Science щодо наявності статей про технології розумного будинку на основі IoT. За результатами пошуку було відібрано 82 статті, які класифіковано за чотирма категоріями. Перша група включала статті, в яких досліджуються інтернет-пристрої для систем «розумний дім». Друга група містить аналітичні дослідження, в яких відстежують можливі зміни в системі. Третя група включала статті із порівняльними дослідженнями та оцінкою переваг зазначених систем. До четвертої групи віднесені оглядові статті щодо комунікаційних компонентів технологій розумного будинку на основі IoT. Автори приділили основну увагу мотиваційним чинникам для використання технологій на основі IoT у розумних будинках, а також підходів до розроблення та використання технологій «розумний будинок» [8]. Дослідники вважають, що інтелектуальна система домашньої автоматизації — це технологічне рішення, яке дозволяє домовласникам контролювати різноманітні домашні пристрої та системи за допомогою центрального концентратора на смартфоні, голосових команд та

використанню технологій Інтернет речей [9]. Сучасні системи «Розумний дім» включає таке обладнання, як розумні термостати, розумне освітлення, розумні замки, системи безпеки та системи розваг [10-12]. Зі зростанням поширеності технологій Інтернету речей розумні будинки стають все більш популярними, а системи автоматизації стали ключовою технологією для контролю та керування різними побутовими приладами та системами. У статті докладно досліджується поточний стан систем автоматизації для розумних будинків і визначається сфери майбутніх досліджень і розробок, а також комфорт, енергоефективність, конфіденційність і доступність, які система автоматизації розумного будинку пропонує користувачам, щоб покращити їх життя в цілому [13]. Концепція розумного будинку є зростаючою тенденцією в житловій галузі. З розвитком технологій власники будинків можуть контролювати процеси у ньому за допомогою смартфона або іншого мережевого пристрою [14]. На ринку технологій «розумний будинок» на думку дослідників трапляються випадки, коли потенційний покупець житла не знаючи про технологію перешкоджав її впровадженню та подальшому розвитку. Автори статті аналізують обізнаність потенційних покупців житла, обладнаного технологіями «розумний дім»; сприйняття ними факторів, які впливають на їхню покупку [15]. Традиційні інформаційні системи, які раніше забезпечували реалізацію наведених вище функцій, розроблялись як автономні. Такі системи створювались для кожної окремої функції і комбінувались для інсталяції в будь-якій частині будівлі. У приватних будівлях зазначені інформаційні системи традиційно імплементуються виключно з тією функціональністю, яка на даний момент була необхідною. Подальше розширення та модернізація цих систем трансформувалось у складне і дорогівартісне завдання, при виконанні якого слід було враховувати багато різнорідних факторів. У вартість експлуатації такої системи входить як вартість експлуатації кожної автономної системи окремо, так і витрати на навчання персоналу.

Мета роботи. Метою дослідження є формування комплексу вимог, системи функцій та процесів побудови інтерфейсів інформаційної системи «Розумна садиба».

Об'єкт дослідження – процеси розроблення інформаційної системи «Розумна садиба».

Предмет дослідження – методи та засоби розроблення інтерфейсу інформаційної системи «Розумна садиба».

Аналіз функцій комплексної інформаційної системи «Розумна садиба»

Концепт «Розумна садиба» має багато суттєвих переваг у порівнянні з традиційними концептами розумного будинку, розумного офісу чи розумної квартири. Слід зазначити, що системи управління, які наділені режимом «smart», дозволяють, зазвичай, формувати доволі велику кількість доволі складних інтелектуальних операційних програм, виконавчі органи системи при цьому функціонують узгоджено та комплексно «оркеструються». В таких системах реалізуються процедури, які забезпечують суттєву економію ресурсів, контроль доступу та безпеки, обліку і моніторингу широкого спектру параметрів системи та оперативне реагування на їх зміни.

Комплексна інформаційна система «Розумна садиба» є різновидом доволі широкого класу систем - «Розумний дім», в якому присутні інтегровані інформаційні системи, і забезпечує виконання найрізноманітніших функцій автоматизації у середовищі розлогих поліфункціональних та багатопланових садиб. Такого роду системи включають як традиційні - системи освітлення, опалення, охолодження та кондиціонування повітря, системи безпеки, аудіо та відеообладнання, системи контролю розумного енергоспоживання, так і системи, що забезпечують реалізацію функцій догляду за садом, городом, домашніми тваринами і т. ін. В них повинна обов'язково передбачатись інформаційно-технологічна підтримка процесів виховання дітей, догляду за людьми похилого віку, або за особами з інвалідністю тощо. Доволі повний набір підсистем інформаційної системи «Розумна садиба» та їх функцій розглянуто у попередній статті [16]. Множину компонентів комплексної інформаційної системи «Розумна садиба»та подано на рис. 1. Деталізацію функцій підсистем догляду за присадибною ділянкою та садом (Рис.2) та догляду за приміщенням для утримання птиці та свійських тварин (Рис.3).



Рис.1 – Діаграма компонентів комплексної інформаційної системи «Розумна садиба»

«Розумна садиба» – це системно зінтегровані інформаційно-технологічні комплекси «розумного дому», «розумного саду», «розумного городу», «розумного басейну», «розумної стайні та конюшні», «розумної птахоферми», «розумного гаражу», а також суттєво розширеного інформаційно-технологічного комплексу підтримки та забезпечення соціокомунікаційних процесів, які дозволяють ефективно реалізовувати піклування малолітніми дітьми, членами родини старшого та похилого віку, людьми з інвалідністю, які проживають в такій садибі, підтримки функцій догляду за домашніми тваринами (коти, собаки та і т.ін.), папугами, акваріумними центрами та ін.



Рис. 2 – Діаграма вимог, яка описує функціональні можливості підсистем догляду за присадибною ділянкою та садом в інформаційній системі «Розумна садиба»

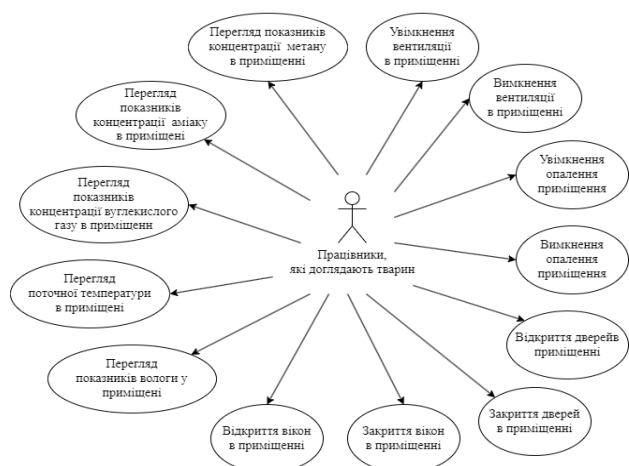


Рис. 3 – Діаграма вимог до функціональних можливостей підсистеми догляду за приміщенням для утримання птиці та свійських тварин в інформаційній системі «Розумна садиба»

Функціональні вимоги до комплексної інформаційної системи «Розумна садиба»

Множина функціональних вимог до комплексної інформаційної системи «Розумна садиба» є доволі значною і суттєво залежить від конкретних сценаріїв використання та специфічних потреб користувачів різних класів. В системі передбачається виконання таких функцій:

Моніторинг довкілля. Забезпечення можливості моніторингу показників якості довкілля, таких як температура, вологість, рівень CO₂ та інші параметри, для оптимізації умов проживання та догляду за рослинами.

Контроль мікроклімату. Автоматизований контроль температури та вентиляції в приміщенні за допомогою смарт-термостатів, що дозволяє забезпечити комфортні умови проживання та зменшити споживання енергії.

Моніторинг та управління енергоспоживанням. Аналіз та оптимізація енергоспоживання в будинку за допомогою систем моніторингу та керування електроприладами для економії енергії та зниження витрат. Можливість включення та вимкнення різних електроприладів у будинку віддалено через мобільний додаток або автоматично згідно з заданим графіком. Відслідковування та аналіз енергоспоживання у реальному часі з метою оптимізації та економії енергії. Управління водопостачанням. Автоматизоване керування водопостачанням будинку, системами поливу та контроль рівня води в системах зрошення для забезпечення оптимального зростання рослин. Система автоматичного поливу саду та газону на основі аналізу погодних умов та потреб рослин.

Управління освітленням. Можливість віддаленого та автоматизованого керування освітленням в будинку з використанням сенсорів руху, таймерів або дистанційного керування через мобільний додаток чи голосові команди.

Контроль та безпечний доступ. Інтеграція систем безпеки, включаючи відеоспостереження, датчі руху та витоку, для забезпечення безпеки та захисту майна в садибі. Встановлення систем контролю доступу з використанням смарт-замків або інших технологій для забезпечення безпеки та контролю доступу до приміщень. Система аналізу даних датчів диму, витоків газу та води для раннього виявлення небезпеки та автоматичного сповіщення користувача чи служби безпеки.

Інтеграція з іншими розумними пристроями. Можливість взаємодії та інтеграції з іншими розумними пристроями та платформами для створення єдиної екосистеми розумного будинку. Можливість віддаленого моніторингу та управління пристроями в садибі, такими як освітлення, температурні регулятори, системи поливу тощо через мобільний додаток або веб-інтерфейс. Можливість інтеграції зі сторонніми сервісами та платформами, такими як погодні сервіси, голосові асистенти, мережі соціальних медіа тощо.

Наведені функціональні вимоги сприяють забезпеченню комфорту, безпеки, ефективності та екологічності життя в «розумній садибі» шляхом автоматизації та інтеграції найрізноманітніших функціональних аспектів використання інформаційних технологій Інтернету речей.

Фронтент складова комплексної інформаційної системи «Розумна садиба»

Фронтент складова інформаційної системи включає ряд компонентів, які забезпечують взаємодію користувача з системою, найбільш вагомими з яких -множина користувацьких інтерфейсів, віджети, стилі та шаблони, графічні елементи, анімація та переходи, шрифти та типографіка, форми та поля введення, меню та навігація.

Фронтент складова комплексної інформаційної системи відіграє ключову роль у взаємодії користувача з системою. Ось деякі особливості, які варто враховувати при аналізі фронтенту:

– Користувацький інтерфейс. Підсистеми повинні мати зручний та привабливий інтерфейс, що передбачає використання інструментів графічного дизайну, кольорових схем, типографіки та зручного розташування елементів.

– Взаємодія. Фронтен повинен забезпечувати зручну та ефективну взаємодію з користувачем, при цьому критичними є швидкість завантаження, зручність навігації, чіткість повідомлень та відповідність очікуваних дій.

– Мобільна сумісність. Фронтент повинен бути оптимізованим для роботи на різних пристроях та екранах різного розміру.

– Адаптивний дизайн. Фронтент повинен забезпечувати адаптацію загального вигляду та функціональності відповідно до розміру екрану та пристрою.

– Модульність та розширюваність. Фронтент повинен бути побудований з урахуванням можливості додавання нових функцій та модулів без значних змін в основній структурі коду.

– Тестова придатність. Важливою характеристикою є можливість тестування фронтенту на різних етапах розроблення.

– Безпека. Важливим є забезпечення належного рівня захисту даних користувачів.

Дотримання перелічених вимог сприяє забезпеченню ефективної взаємодії користувачів з комплексною інформаційною системою.

Проектування інтерфейсів комплексної інформаційної системи

Кожна із підсистем інформаційної системи «Розумна садиба» потребує створення власного інтерфейсу. Розроблення множини інтерфейсів інформаційної системи «Розумна садиба» є важливим з декількох причин:

По перше - підвищення комфорту та безпеки користувачів. Розроблення зручного та інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу мобільного застосунку може значно поліпшити взаємодію користувачів з системою «Розумна садиба», підвищити комфорт та безпечність.

По друге - зниження вартості встановлення системи. Розроблення інтерфейсу мобільного застосунку може допомогти у зниженні вартості встановлення системи «Розумна садиба», оскільки функції системи можуть ініціюватись дистанційно за допомогою мобільного телефону, планшету та ін.

По третє - розширення можливостей системи. Розроблення інтерфейсу мобільного застосунку може допомогти у розширенні можливостей системи «Розумна садиба» та введенні нових функцій, що значно підвищить її ефективність та забезпечить додаткову зручність у користуванні.

По четверте - стимулювання розвитку досліджень за напрямком «Розумна садиба». Дослідження та розроблення інформаційної системи «Розумна садиба» є актуальними, оскільки загалом галузь ІТ стрімко розвивається, а створення нових базованих на інноваційних інформаційних технологіях інтерфейсів та функцій такого роду аплікацій може додатково стимулювати її розвиток та зростання.

Основні системні характеристики побудови інтерфейсів комплексної інформаційної системи «Розумна садиба»:

- Зручність використання. Інтерфейси повинні бути легкими та зрозумілими для будь-якого користувача.
- Мультимедійність. Використання графіки, відео, звуку та інших мультимедійних елементів для забезпечення кращого візуального та аудіовізуального сприйняття.
- Адаптивність. Інтерфейси повинні бути адаптивними до різних типів пристроїв та розмірів екранів, включаючи комп'ютери, планшети та смартфони.
- Реагуючий дизайн. Забезпечення автоматичного адаптування вигляду та поведінки інтерфейсів до зміни розміру екрану без втрати функціональності.
- Віддалений доступ. Можливість доступу до інтерфейсів з будь-якого місця через Інтернет для управління різними аспектами «Розумної садиби».
- Інтеграція з різними пристроями. Підтримка інтеграції з різноманітними розумними пристроями, які використовуються в «Розумній садибі», такими як давачі, камери, домофони тощо.
- Безпека. Доступ до системи шляхом використання аутентифікації, авторизації, шифрування та інших заходів захисту.
- Аналітика та звіти. Забезпечення можливості аналізу та вивчення даних про використання системи, включаючи звіти про ефективність, витрати енергії тощо.
- Підтримка мов та локалізація. Можливість вибору мови та локалізація інтерфейсів для користувачів з різних країн та культур.

Ці системні характеристики допомагають створити інтерфейси для «Розумної садиби», які будуть зручними, функціональними та ефективними у використанні.

Специфічні вимоги до інтерфейсів функціональних підсистем комплексної інформаційної системи «Розумна садиба»

Окрім перерахованих вище загальносистемних вимог до побудови інтерфейсів, проаналізуємо специфічні вимоги в контексті кожної функціональної підсистеми.

Специфічні вимоги до інтерфейсу підсистеми моніторингу та виявлення руху, яка передбачає перегляд живих відеопотоків з камер в різних ділянках садиби, наявність опції налаштування зон виявлення руху та сповіщень для кожної камери, можуть бути сформульовані наступним чином:

- Можливість перегляду відеопотоку. Інтерфейс повинен надавати можливість перегляду живого відеопотоку з камер, що встановлені на території садиби.

- Зручне керування параметрами камер. Користувач повинен мати можливість змінювати налаштування камер, такі як поворот, нахил, збільшення та зменшення масштабу тощо.
- Сповіщення про виявлення руху. Інтерфейс повинен забезпечувати сповіщення через мобільний додаток або електронну пошту про будь-який виявлений рух на території садиби.
- Збереження архіву відеозаписів. Інтерфейс повинен дозволяти переглядати архівні відеозаписи за певний період часу для аналізу минулих подій.
- Можливість налаштування зон виявлення руху. Користувач повинен мати можливість визначити специфічні зони для виявлення руху та встановити параметри спрацьовування датчиків.
- Можливість інтеграції з іншими системами. Інтерфейс повинен бути сумісним з іншими системами «Розумної садиби» для взаємодії та обміну даними.
- Можливість налаштування часових інтервалів. Користувач повинен мати можливість встановлювати часові інтервали для включення або виключення моніторингу руху в певні періоди часу.

Специфічні вимоги до інтерфейсу підсистеми «Розумний гараж», яка передбачає наявність мобільного застосунку з можливістю віддаленого відкривання та закривання гаражних воріт, а також надсилання статусних повідомлень про відкриття та закриття воріт, можуть бути сформульовані наступним чином:

- Можливість віддаленого управління. Користувач повинен мати можливість відкривати та закривати ворота гаражу віддалено за допомогою мобільного додатку або веб-інтерфейсу.
- Статусні повідомлення. Система повинна надсилати користувачеві повідомлення про поточний статус воріт (відкриті, закриті, частково відкриті) та будь-які автоматичні події, які відбуваються.
- Графік відкривання/закривання. Можливість налаштування графіка автоматичного відкривання та закривання воріт в певні періоди часу, щоб забезпечити доступність гаражу в потрібні моменти.
- Моніторинг споживання енергії. Надання інформації про енергоспоживання системи відкривання/закривання воріт для ефективного управління енергетичними ресурсами.
- Мобільний доступ. Доступ до функцій управління гаражем через мобільний застосунок, щоб користувач міг керувати воротами з будь-якого місця.
- Налаштування управління за допомогою голосових команд. Можливість керувати воротами голосовими командами за допомогою інтеграції з голосовими асистентами (наприклад, Amazon Alexa, Google Assistant).
- Підтримка автоматичного відкривання/закривання. Можливість налаштування автоматичного відкривання/закривання воріт на підході або віддалене управління цією функцією.

Вимоги до інтерфейсу підсистеми догляду за присадибною ділянкою та садом, яка передбачає налаштування календарного планувальника робіт по догляду за рослинами та садом, а також модуля для вимірювання вологості ґрунту та рівня освітлення, можуть бути наступними:

- Моніторинг параметрів ґрунту та клімату. Надання інформації про вологість ґрунту, температуру, рівень освітлення та інші параметри, які впливають на здоров'я рослин.
- Рекомендації щодо догляду за рослинами. Надання рекомендацій щодо поливу, внесення добрив, обрізки дерев та кущів та інших робіт по догляду за рослинами з урахуванням їх виду та поточного стану.
- Система нагадувань. Можливість налаштування системи нагадувань про необхідність проведення певних робіт по догляду за садом (полив, обробка, обрізка тощо).
- Моніторинг наявності шкідників та хвороб. Система моніторингу за наявністю шкідників та захворювань рослин з можливістю надання рекомендацій щодо лікування.
- Планувальник робіт. Можливість створення та ведення розкладу робіт по догляду за садом та присадибною ділянкою на різні періоди часу.
- Інтеграція з погодними сервісами. Автоматичне оновлення інформації про погодні умови та їх вплив на рослини для оптимального планування робіт.
- Можливість дистанційного керування системами поливу. Надання можливості віддаленого керування системами автоматичного поливу в залежності від погодних умов та потреб рослин.

- Аналіз ефективності догляду. Можливість отримання звітів про ефективність проведеного догляду за садом та присадибною ділянкою для подальшого вдосконалення процесів.
- Підтримка мультимедійного контенту. Надання доступу до інструкцій та відеоматеріалів щодо правильного догляду за рослинами та садовими культурами.

Вимоги до інтерфейсу підсистеми керування приміщенням для утримання птиці та свійських тварин, яка передбачає потребу віддаленого управління освітленням, температурою та вентиляцією в приміщеннях для птиці або тварин, а також налаштування системи голосових команд або сенсорних інтерфейсів для взаємодії з пристроями, можуть бути сформульовані так:

- Управління параметрами середовища. Можливість налаштування температури, вологості та освітлення в приміщенні для забезпечення оптимальних умов утримання птахів та інших тварин.
- Графічне відображення стану приміщення. Представлення інформації про стан середовища у вигляді графіків та діаграм для швидкого сприйняття поточних умов утримання птахів та інших тварин.
- Система нагадувань. Можливість створення нагадувань про час годівлі, зміни води, очищення вольєру та інших робіт по догляду за тваринами.
- Моніторинг активності тварин. Надання інформації про активність та стан утримання тварин, включаючи харчування, водопій та рухливість, з можливістю відстеження цих даних у реальному часі.
- Віддалене управління. Можливість віддаленого керування системами живлення, водопостачання та освітлення через мобільний додаток або веб-інтерфейс.
- Мультимедійні функції. Підтримка відеомоніторингу, фотографування та відеозапису для відстеження стану тварин та їх поведінки.
- Підтримка різних типів тварин. Забезпечення можливості налаштування параметрів для різних видів та розмірів тварин з урахуванням їх специфічних потреб.

Вимоги до інтерфейсу підсистеми безпеки середовища, яка передбачає моніторинг та сповіщення про виявлення диму, газу або витоку води через мобільний додаток, інтеграцію з системами автоматичної пожежної сигналізації та аварійного вимикача, можуть включати наступне:

- Моніторинг датчиків та систем безпеки. Надання інформації про стан датчиків (пожежних, димових, вуглекислотних тощо) та систем безпеки (камер відеоспостереження, систем тривожної сигналізації).
- Сповіщення про надзвичайні ситуації. Можливість надсилання аварійних повідомлень користувачам в разі виявлення пожежі, витікання газу, випадку відключення електропостачання тощо.
- Віддалений доступ та управління. Можливість віддаленого моніторингу та управління системою безпеки через мобільний застосунок або веб-інтерфейс.
- Архівування відеозаписів. Забезпечення можливості збереження та аналізу архівних відеозаписів з камер відеоспостереження для вирішення можливих конфліктних ситуацій.
- Мультимедійні функції. Підтримка відеомоніторингу, фотографування та відеозапису для відстеження потенційно небезпечних ситуацій.
- Регулярне тестування систем безпеки. Можливість проведення тестових сигналів для перевірки роботи датчиків та систем безпеки.
- Система контролю доступу. Інтеграція з системами контролю доступу для обмеження входу в певні зони або приміщення.

Вимоги до інтерфейсу підсистеми управління освітленням будинку та прибудинкової території, яка передбачає наявність графічного інтерфейсу для налаштування сценаріїв освітлення з розподіленими зонами у будинку та на території садиби, автоматичного переходу на енергоефективні джерела освітлення відповідно до часу доби або налаштувань користувача, можуть бути наступними:

- Групування освітлення. Можливість групування світильників за кімнатами, зонами або функціональними областями для зручного керування.
- Регулювання яскравості та колірної температури. Можливість налаштування яскравості та колірної температури освітлення відповідно до потреб користувача.

- Графічне відображення схем освітлення. Представлення схем будинку та прибудинкової території з позначенням розміщення світильників для швидкого вибору та налаштування освітлення.

- Розклад управління освітленням. Можливість налаштування автоматичного розкладу управління освітленням в різний час доби або в залежності від наявності людей в приміщенні.

- Віддалений доступ. Можливість віддаленого керування освітленням через мобільний застосунок або веб-інтерфейс навіть поза будинком.

- Сценарії освітлення. Підтримка різних сценаріїв освітлення для різних подій або настроїв, таких як «вечірня атмосфера», «режим читання», «вечірка» тощо.

- Енергоефективність. Моніторинг енергоспоживання та можливість оптимізації роботи освітлення для зменшення витрат енергії.

- Налаштування освітлення голосовими командами. Можливість керування освітленням за допомогою голосових команд з використанням інтеграції з голосовими асистентами.

Вимоги до інтерфейсу *підсистеми управління мультирумом, яка передбачає* можливість вибору музики та налаштування звукових параметрів в різних приміщеннях садиби через мобільний застосунок або пульт дистанційного керування, можуть бути наступними:

- Керування освітленням, аудіосистемою та кліматом. Можливість контролювати освітлення, аудіосистему (включення/вимкнення, зміна гучності, вибір джерела відтворення) та кліматичні параметри (температура, вентиляція) в кожному окремому приміщенні або зоні.

- Групування приміщень. Можливість групувати приміщення за потребами (наприклад, за кімнатами, поверхами або функціональними областями) для зручного управління.

- Сценарії налаштування. Підтримка створення та запуску різних сценаріїв (наприклад, «вечірня атмосфера», «кіно», «вечірка») зі змішаними параметрами освітлення, аудіо та клімату.

- Віддалений доступ. Можливість управління мультирумом віддалено через мобільний застосунок.

- Розклад управління аудіосистемою та кліматом. Можливість налаштування автоматичного розкладу управління аудіосистемою та кліматом в різний час доби або в залежності від активності користувачів.

- Мультимедійні функції. Підтримка відеомоніторингу та відображення стану мультируму через відеоінтерфейс.

- Налаштування мультируму голосовими командами. Можливість управління мультирумом за допомогою голосових команд з використанням інтеграції з голосовими асистентами.

Вимоги до інтерфейсу *підсистеми управління басейном, яка передбачає* моніторинг та управління температурою води, очищенням та хлоруванням, режимами фільтрації, а також налаштуванням режимів освітлення та масажних систем, регулярного сповіщення та нагадування про необхідність обслуговування та технічного обслуговування басейну, можуть бути наступними:

- Управління параметрами води. Можливість контролювати температуру води, рівень хлору або інших реагентів, фільтрацію та інші характеристики для забезпечення комфорту та безпеки користувачів.

- Графічне відображення стану басейну. Представлення інформації про стан води та роботу систем фільтрації та очищення у вигляді графіків або діаграм для швидкого сприйняття поточного стану.

- Система нагадувань. Можливість створення нагадувань про необхідність проведення робіт по догляду за басейном, зміною реагентів, фільтрації тощо.

- Моніторинг параметрів води. Надання інформації про рівень рН, розчинений кисень, температуру води та інші параметри для забезпечення безпеки користувачів.

- Віддалений доступ. Можливість віддаленого управління системами очищення, обігріву та іншими функціями роботи басейну через мобільний застосунок.

- Автоматичні режими роботи. Можливість встановлення автоматичних режимів роботи для підтримки оптимальних умов в басейні в різний час доби або в залежності від активності користувачів.

- Система безпеки. Вбудовані системи захисту, такі як сповіщення про виявлення небезпеки (наприклад, зміна рН рівня) або автоматичне відключення систем при виявленні надзвичайних ситуацій.

- Енергоефективність. Моніторинг енергоспоживання та можливість оптимізації роботи систем для зменшення витрат енергії.

Вимоги до інтерфейсу підсистеми контролю доступу в приміщення, яка передбачає управління дверними замками з можливістю віддаленого керування доступом та веденням журналу входів-виходів, наявність мобільного застосунок для надання тимчасового доступу гостям та персоналу, можуть включати наступне:

- Управління дозволами доступу. Можливість налаштовувати та керувати дозволами доступу для різних користувачів, груп користувачів та приміщень.

- Методи автентифікації. Підтримка різних методів автентифікації, таких як введення пароля, використання біометричних даних (відбиток пальця, розпізнавання обличчя) або використання RFID карток.

- Моніторинг доступу. Надання інформації про час та місце доступу користувачів до приміщень для відстеження їхньої активності.

- Система нагадувань та оповіщень. Можливість створення нагадувань про невідповідності у доступі або сповіщення про спроби несанкціонованого доступу.

- Віддалений доступ. Можливість віддаленого управління системою контролю доступу через мобільний застосунок.

- Інтеграція з системами безпеки. Можливість інтеграції з системами відеоспостереження та системами тривоної сигналізації для забезпечення безпеки приміщень.

- Локальне управління. Наявність можливості локального управління системою контролю доступу через спеціальні пультові панелі або тачскріни у вигляді стійок біля входів.

Вимоги до інтерфейсу підсистеми управління кліматом оселі, яка передбачає налаштування та управління системами опалення, кондиціонування повітря, вентиляції та зволоження повітря в різних зонах оселі, регулювання температури та вологості відповідно до погодних умов та переваг користувача, можуть включати наступне:

- Управління температурою та вологістю. Можливість контролювати температуру та вологість в будинку або окремих приміщеннях для створення комфортних умов проживання.

- Регулювання режимів роботи. Підтримка різних режимів роботи, таких як опалення, кондиціонування повітря, вентиляція або натуральна вентиляція в залежності від потреб користувачів та погодних умов.

- Графічне відображення параметрів клімату. Представлення інформації про температуру та вологість у вигляді графіків або діаграм для зручного відслідковування та аналізу змін.

- Система розкладу. Можливість налаштування автоматичного розкладу роботи системи управління кліматом в різний час доби або в залежності від активності користувачів.

- Віддалений доступ. Можливість віддаленого керування системою управління кліматом через мобільний застосунок навіть поза будинком.

- Моніторинг енергоспоживання. Надання інформації про споживання енергії системою управління кліматом для оптимізації роботи та зменшення витрат.

- Підтримка різних типів обігріву та охолодження. Можливість керування різними системами обігріву та охолодження, такими як підлогове обігрівання, радіатори, конвектори, кондиціонери тощо.

Вимоги до інтерфейсу підсистеми прибирання приміщень, яка передбачає планування та налаштування графіка прибирання, вибору типу прибирання та контролю за роботою прибиральних пристроїв, можуть включати наступне:

- Вибір режиму прибирання. Можливість вибору режиму прибирання, такого як швидке прибирання, загальне прибирання, миття підлоги тощо.

- Графічне відображення плану прибирання. Представлення плану прибирання у вигляді графіків або діаграм для зручного відслідковування та аналізу.

- Моніторинг стану приміщень. Надання інформації про стан приміщень та областей, які вимагають прибирання (наприклад, рівень забруднення, кількість пилу тощо).

- Система нагадувань та оповіщень. Можливість створення нагадувань про потребу в прибиранні певних областей та сповіщення про завершення роботи.

- Планування прибирання. Можливість планування робіт по прибиранню на певний час або за розкладом.

- Віддалений доступ. Можливість віддаленого керування системою прибирання через мобільний додаток або веб-інтерфейс.

- Захист особистої інформації. Забезпечення конфіденційності особистих даних користувачів та захист від несанкціонованого доступу до системи прибирання.

- Енергоефективність. Моніторинг споживання електроенергії та можливість оптимізації роботи системи для зменшення витрат.

Вимоги до *інтерфейсу підсистеми догляду за домашніми тваринами*, яка передбачає ведення медичних записів, розкладу годування та прогулянок, а також моніторингу здоров'я та активності домашніх улюбленців, можуть бути наступні:

- Моніторинг здоров'я та активності тварин. Можливість відстеження стану здоров'я, активності та харчування домашніх тварин за допомогою спеціальних датчиків або пристроїв.

- Нагадування про годування та догляд. Можливість створення нагадувань та регулярних розкладів для годування, прогулянок та іншого догляду за домашніми тваринами.

- Віддалений доступ. Можливість віддаленого керування системою догляду за домашніми тваринами через мобільний застосунок.

- Медичний моніторинг. Підтримка медичного моніторингу, включаючи відстеження прийому ліків, вакцинацій та інших медичних процедур.

- Система нагадувань про візити до ветеринара. Можливість створення нагадувань про потребу в регулярних відвідуваннях ветеринара та проведення медичних процедур.

- Доступ до інформації про породу та вимоги до догляду. Можливість отримання інформації про конкретні породи тварин та їх вимоги до догляду, годування та активності.

- Аналітика та звітність. Представлення аналітичної інформації та звітів про активність тварин, їх здоров'я та інші параметри для забезпечення якісного догляду.

Вимоги до *інтерфейсу підсистеми догляду за малолітніми дітьми*, яка передбачає можливість віддаленого спостереження та взаємодії з малолітніми дітьми, контролювання їх безпеки та формування віддалених сповіщень про їх стан, можуть включати наступне:

- Моніторинг безпеки та стану дитини. Можливість відслідковування безпеки та стану дитини за допомогою відеонагляду, аудіоспостереження або інших пристроїв.

- Нагадування про годування, сон та ігри. Можливість створення нагадувань та розкладів для годування, сну, ігор та інших щоденних потреб дитини.

- Екстрені повідомлення та сповіщення. Система екстрених повідомлень та сповіщень про непередбачені ситуації або випадки, що потребують уваги батьків або нянь.

- Віддалений доступ. Можливість віддаленого спостереження та керування підсистемою догляду за дітьми через мобільний застосунок.

- Відстеження розвитку. Можливість відстежувати розвиток дитини за допомогою збереження її медичної історії, вимірювання фізичних параметрів, ведення щоденників тощо.

- Співпраця з іншими опікунами. Можливість обміну інформацією та співпраці з іншими опікунами або батьками для спільного догляду за дитиною.

- Аналітика та звітність. Представлення аналітичної інформації та звітів про активність та стан дитини для забезпечення якісного догляду.

Вимоги до *інтерфейсу підсистеми догляду за літніми людьми та людьми з інвалідністю*, яка передбачає надання допомоги, виклику медичної допомоги, а також моніторингу стану здоров'я та фізичної активності через спеціальні пристрої, можуть включати наступне:

- Моніторинг стану здоров'я та безпеки. Можливість відслідковувати стан здоров'я, активність та безпеку літніх людей та осіб з інвалідністю за допомогою датчиків, медичних застосунків або відеонагляду.

- Нагадування про прийом ліків та медичні процедури. Можливість створення нагадувань та розкладів для прийому ліків, проведення медичних процедур та відвідування лікаря.

- Екстрені повідомлення та сповіщення. Система екстрених повідомлень та сповіщень про непередбачені ситуації або випадки, що потребують уваги опікунів.

- Віддалений доступ. Можливість віддаленого спостереження та управління підсистемою догляду через мобільний застосунок.

- Відстеження фізичної активності та мобільності. Можливість відстежувати рівень фізичної активності та мобільності для забезпечення потрібного рівня підтримки та догляду.

- Інтеграція з медичними пристроями. Можливість інтеграції з медичними пристроями, такими як тонометри, глюкометри, кардіостимулятори тощо, для ведення медичних записів та моніторингу стану здоров'я.

- Співпраця з опікунами та медичним персоналом. Можливість обміну інформацією та співпраці з опікунами та медичним персоналом для забезпечення якісного догляду.

- Аналітика та звітність. Представлення аналітичної інформації та звітів про стан та активність для забезпечення якісного догляду та вивчення патернів поведінки.

Вимоги до інтерфейсу підсистеми по догляду за зимовим садом-теплицею, яка передбачає автоматичний контроль та регулювання температури, вологості та освітлення для оптимальних умов росту рослин у зимовому саду-теплиці, можуть включати наступне:

- Моніторинг умов в теплиці. Можливість відстеження температури, вологості, рівня освітлення та інших параметрів у середовищі теплиці.

- Автоматизація систем поливу та гідропоніки. Можливість автоматичного контролю та регулювання систем поливу, дозування рідини для гідропонічного вирощування рослин.

- Моніторинг росту та розвитку рослин. Відстеження фаз росту рослин, їхнього здоров'я та розвитку за допомогою датчиків та камер.

- Нагадування про обслуговування та догляд. Система нагадувань про необхідність проведення обслуговування, поливу, внесення добрив тощо.

- Управління освітленням в теплиці. Можливість контролю освітлення в теплиці для забезпечення оптимальних умов для росту рослин.

- Віддалений доступ. Можливість віддаленого керування та моніторингу системи догляду за теплицею через мобільний застосунок.

- Моніторинг рівня CO₂. Вимірювання та контроль рівня CO₂ в теплиці для забезпечення оптимальних умов для фотосинтезу рослин.

- Захист від шкідників та хвороб. Можливість раннього виявлення шкідників, хвороб рослин та вчасного прийняття заходів щодо їх усунення.

- Інтеграція з погодними даними. Інтеграція з погодними сервісами для прогнозування погодних умов та адаптації системи догляду відповідно до них.

- Захист від небезпечних умов. Автоматичне відключення системи поливу або іншого обладнання в разі небезпеки (наприклад, випадання снігу з даху теплиці).

Вимоги до інтерфейсу підсистеми «Розумна кухня», яка передбачає керування кухонними приладами, замовлення необхідних продуктів та створення списків покупок, а також рецептів та рекомендацій щодо харчування, можуть бути наступними:

- Управління побутовими приладами. Можливість вмикати, вимикати та регулювати режими роботи побутових приладів (плити, духовки, мікрохвильової печі тощо) з використанням інтерфейсу.

- Рецепти та підказки. Представлення кулінарних рецептів та підказок з можливістю відображення їх на екрані, а також озвучення за допомогою голосових помічників.

- Моніторинг продуктів. Відстеження кількості продуктів у холодильнику та інших холодильних пристроях з можливістю нагадувань про закінчення термінів придатності.

- Система нагадувань та списки покупок. Можливість створення списків покупок на основі рецептів або вибору користувача, а також автоматичні нагадування про покупки.

- Управління освітленням на кухні. Можливість керування освітленням на кухні з використанням інтерфейсу для створення певних атмосфер або підвищення комфорту під час готування.

- Керування вентиляцією та очищенням повітря. Можливість керування системами вентиляції та очищення повітря на кухні для забезпечення здорового та комфортного середовища.

- Інтеграція з розумними пристроями. Підтримка інтеграції з іншими розумними пристроями на кухні, такими як електричні чайники, кавоварки, роботи-кухарі тощо.

- Аналітика та статистика. Представлення аналітичної інформації та статистики щодо використання кухонних приладів, витрати продуктів та іншої інформації для оптимізації процесів готування.

- Безпека. Забезпечення безпеки використання системи, включаючи захист від несанкціонованого доступу та витоку персональної інформації.

Ці вимоги допоможуть створити ефективний та зручний інтерфейс для кожної з підсистем інформаційної системи «Розумна садиба».

Таким чином, базові засади процесів проектування інтерфейсів користувачів мобільного застосунку інформаційної системи «Розумна садиба» включають в себе аналіз потреб користувачів, розроблення дизайну та функціональності інтерфейсу, тестування та оцінку взаємодії користувачів з інтерфейсом. Ці процеси базуються на використанні методів та технік проектування інтерфейсу користувача, а також на принципах та концепціях дизайну.

Висновки

Дослідження є корисними в контексті системного використання широкого спектру пристроїв в комплексній інформаційній системі «Розумна садиба», яка дозволяє забезпечувати більш комфортні та безпечні умови проживання, збільшити ефективність функціонування чисельних пристроїв та засобів управління ними, підвищити якість життя загалом.

Комплексна інформаційна система «Розумна садиба» зорієнтована на автоматизацію та покращення реалізації найрізноманітніших функцій у багатопрофільному сучасному домашньому господарстві, зокрема таких як: догляд за домашніми та свійськими тваринами, садом, прибудинковою територією тощо. Використання ефективного мобільного інтерфейсу в такого роду системах дозволить власникам домогосподарств контролювати та дистанційно управляти багатьма корисними функціями, за допомогою мобільного телефону чи планшета при наявності спільного дружнього інтерфейсу.

Пристрої імplementовані в комплексну інформаційну систему «Розумна садиба» дозволяють забезпечити повний контроль виконання основних функцій садиби, таких як освітлення, клімат-контроль, безпека, телевізор та проєкційні системи, побутові пристрої кухні, догляд за прибудинковою територією та технологічні сервіси тощо. Однак, керування пристроями при виконанні таких функцій може бути доволі складним і часто вимагає використання широкого аспекту застосунків. Розроблення інтерфейсу підсистем для керування пристроями в інформаційній системі «Розумна садиба» дозволить ефективно та зручно здійснювати дистанційний контроль за наявними пристроями.

Отже, практична цінність роботи полягає в тому, що розроблено вимоги до інтерфейсів кожної із підсистем комплексної інформаційної системи «Розумна садиба», які забезпечують зручний та простий спосіб керування ними, що в свою чергу дозволяє суттєво підвищити комфортність проживання мешканців, забезпечити кращу якість надаваних послуг і досягнути вищого рівня безпеки.

Ці аспекти дозволяють забезпечити інтуїтивно зрозумілі та функціональні інтерфейси для кожної з підсистем «Розумної садиби», відповідаючи конкретним потребам та вимогам користувачів. Їх необхідно врахувати як унікальні вимоги та потреби кожної підсистеми «Розумної садиби» при розробці їх інтерфейсів.

Список бібліографічних описів

1. Smart Homes: Steps, Components, Utilities and Challenges. – Режим доступу: <http://surl.li/hpqhj>
2. A survey on communication components for IoT-based technologies in smart homes. – Режим доступу: <http://surl.li/hpqkd>
3. Perceptions on smart home concept among the millennials in Johore. – Режим доступу: <http://surl.li/hpqkr>
4. The Smart Home Concept : our immediate future. – Режим доступу: <http://surl.li/cgzkw>
5. «Можливості датчиків руху». – Режим доступу: <http://surl.li/hpqmd>
6. «Керуючи повітрям: як влаштовані системи автоматизації?». – Режим доступу: <http://surl.li/hpqmk>
7. Smart Homes: Steps, Components, Utilities and Challenges. – Режим доступу: <http://surl.li/hpqhj>
8. Zaidan, A.A. A survey on communication components for IoT-based technologies in smart homes / Zaidan, A.A., Zaidan, B.B., Qahtan, M.Y. et al. // Telecommun Syst. - 2018. - Vol.69.- P.1–25. <https://doi.org/10.1007/s11235-018-0430-8>.
9. Selecting Embedded Feature Modeling with Software Product Line for Smart Home Applications. – Режим доступу: <http://surl.li/hpqkq>
10. Smart Home System: A Comprehensive Review/ Chakraborty, Arindom & Islam, Monirul & Shahriyar, Fahim & Islam, Sharnali & Zaman, Hasan & Hasan, Mehedi // Journal of Electrical and Computer Engineering. - 2023. - 1-30. <https://doi.org/10.1155/2023/7616683>.

11. A Hybrid Intrusion Detection System for Smart Home Security Based on Machine Learning and User Behavior.– Режим доступу: <http://surl.li/hpqkt>
12. The Practical Dilemma and Optimization Path of Smart Home-Based Care in Hengshui City, China.– Режим доступу: <http://surl.li/hpqkx>
13. Singh, Simar Comprehensive Review of Smart Home Automation Systems / Singh, Simar & Anand, Sourabh & Satyarthi, M. A. // *Advances in Computer Science and Information Technology (ACSIT)*. 2023. Vol. 10, Issue 2. Pp. 61-66.– Режим доступу: <http://www.krishisanskriti.org/Publication.html>
14. The Smart Home Concept : our immediate future. – Режим доступу: <http://surl.li/cgzkw>
15. Perceptions on smart home concept among the millennials in Johor // Rasyidah1 Z. A., Hariati A. H., Rosadah M., Maryanti M. R. // *Proc. 4th International Conference on Construction and Building Engineering & 12th Regional Conference in Civil Engineering (ICONBUILD & RCCE 2019) 20-22 August 2019, Langkawi, Malaysia*. - Langkawi, 2020. - Vol.849.- p. 012055.- doi. 012055DOI 10.1088/1757-899X/849/1/012055
16. Пасічник С. Розроблення інтерфейсу мобільного застосунку для пристроїв в системі «Розумний дім» / Пасічник С., Мага А., Кут В., Петрушина Б. // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі*. – 2022.- Вип.12. - С.312-327.

References

1. Smart Homes: Steps, Components, Utilities and Challenges.– Режим доступу: <http://surl.li/hpqhj>
2. A survey on communication components for IoT-based technologies in smart homes. – Access mode: <http://surl.li/hpqkd>
3. Perceptions on smart home concept among the millennials in Johore. – Access mode: <http://surl.li/hpqkr>
4. The Smart Home Concept : our immediate future. – Access mode: <http://surl.li/cgzkw>
5. » Possibilities of motion sensors». – Access mode: <http://surl.li/hpqmd>
6. » Controlling the air: how automation systems are arranged?». – Access mode: <http://surl.li/hpqmk>
7. Smart Homes: Steps, Components, Utilities and Challenges. – Access mode: <http://surl.li/hpqhj>
8. Zaidan, A.A. A survey on communication components for IoT-based technologies in smart homes / Zaidan, A.A., Zaidan, B.B., Qahtan, M.Y. et al. // *Telecommun Syst.* - 2018. - Vol.69.- P.1–25. <https://doi.org/10.1007/s11235-018-0430-8>.
9. Selecting Embedded Feature Modeling with Software Product Line for Smart Home Applications. – Access mode: <http://surl.li/hpqkg>
10. Smart Home System: A Comprehensive Review/ Chakraborty, Arindom & Islam, Monirul & Shahriyar, Fahim & Islam, Sharnali & Zaman, Hasan & Hasan, Mehedi // *Journal of Electrical and Computer Engineering*. - 2023. - 1-30. <https://doi.org/10.1155/2023/7616683>.
11. A Hybrid Intrusion Detection System for Smart Home Security Based on Machine Learning and User Behavior.– Access mode: <http://surl.li/hpqkt>
12. The Practical Dilemma and Optimization Path of Smart Home-Based Care in Hengshui City, China.– Access mode: <http://surl.li/hpqkx>
13. Singh, Simar Comprehensive Review of Smart Home Automation Systems / Singh, Simar & Anand, Sourabh & Satyarthi, M. A. // *Advances in Computer Science and Information Technology (ACSIT)*. 2023. Vol. 10, Issue 2. Pp. 61-66.– Access mode: <http://www.krishisanskriti.org/Publication.html>
14. The Smart Home Concept : our immediate future. – Access mode: <http://surl.li/cgzkw>
15. Perceptions on smart home concept among the millennials in Johor / Rasyidah1 Z. A., Hariati A. H., Rosadah M., Maryanti M. R. // *Proc. 4th International Conference on Construction and Building Engineering & 12th Regional Conference in Civil Engineering (ICONBUILD & RCCE 2019) 20-22 August 2019, Langkawi, Malaysia*. - Langkawi, 2020. - Vol.849.- p. 012055.- doi. 012055DOI 10.1088/1757-899X/849/1/012055
16. Development of a mobile application interface for devices in the «Smart Home» system / Pasichnyk S., Maga A., Kut V., Petrushyna B. // *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University. Information systems and networks*. – 2022.- Issue 12. - С.312-327.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-09>

УДК 004.02

Дичка Іван Андрійович¹, д.т.н., професор<https://orcid.org/0000-0002-3446-3076>Радченко Костянтин Олександрович¹, асистент<https://orcid.org/0000-0002-1282-6307>Терейковський Ігор Анатолійович¹, д.т.н., професор<https://orcid.org/0000-0003-4621-9668>Терейковська Людмила Олексіївна², д.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-8830-0790>¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна²Київський національний університет будівництва та архітектури, м. Київ, Україна

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПРОГНОЗУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ВЕБСЕРВЕР

Дичка І.А., Радченко К.О., Терейковський І.А., Терейковська Л.О. **Концептуальна модель процесу прогнозування навантаження на вебсервер.** Стаття присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми розробки ефективних засобів прогнозування навантаження на вебсервер. Показано, що відсутність формалізованого та детального опису процесу розробки засобів прогнозування ускладнює можливість застосування в таких засобах сучасних теоретичних рішень, а відповідно і ускладнює можливість підвищення їх ефективності. В результаті проведених досліджень розроблено концептуальну модель процесу прогнозування навантаження на вебсервер, яка за рахунок врахування технічних особливостей вебсервера, типових параметрів вебтрафіку, а також за рахунок обґрунтування переліку параметрів оцінки ефективності дозволяє деталізувати напрями досліджень з проектування відповідних засобів прогнозування з урахуванням можливості застосування моделей та методів теорії вейвлет-перетворень. Визначено, що напрями подальших досліджень пов'язані з розробкою вейвлет-моделі прогнозування навантаження на вебсервер комп'ютерної системи загального призначення.

Ключові слова: шаблон нормальної поведінки, вебсервер, прогнозування навантаження, комп'ютерна мережа, часовий ряд, вебтрафік, засоби вимірювання, програмне забезпечення, обробка сигналу, концептуальна модель.

Dychka I., Radchenko K., Tereikovskiy I. Tereikovska L. Conceptual model of the forecasting process on web server load. The article focuses on addressing the current scientific and applied challenge of creating effective methods for predicting web server loads. It highlights how the absence of a formalized and detailed description of the forecasting tool development process hampers the utilization of modern theoretical solutions, thus hindering their effectiveness. Through our research, we've devised a conceptual model for forecasting web server loads. This model considers the technical specifications of the web server, typical web traffic parameters, and justifies the criteria for evaluating performance. This enables a more precise direction for further research in designing relevant forecasting tools, incorporating models and methods from wavelet transform theories. Our investigation identifies the need for developing a wavelet-based model to predict web server loads in a general-purpose computer system, signaling avenues for future exploration.

Keywords: normal behavior pattern, web server, load forecasting, computer network, time series, web traffic. measurement tools, software, signal processing, conceptual model

Постановка наукової проблеми. Розв'язання проблеми забезпечення ефективності, надійності, контролю, визначення параметрів комп'ютерних систем і мереж неможливе без розробки відповідних методів та засобів забезпечення ефективного функціонування вебсерверу. Однією з найбільш важливих складових цієї проблеми є задача розробки ефективних засобів прогнозування навантаження на вебсервер, недосконалість яких в основному обумовлена недосконалістю методологічного базису. Цим пояснюється актуальність та важливість досліджень в напрямку застосування сучасних теоретичних рішень для прогнозування навантаження на вебсервер.

Аналіз досліджень. Задачі прогнозування навантаження вебсерверу та моделюванню продуктивної роботи вебсерверів під різними типами навантаження присвячено цілий ряд наукових робіт, які досліджують поставлену задачу з різних аспектів, враховуючи ті чи інші особливості функціонування вебсервера.

Так, у роботі [1] висвітлено підхід до прогнозування використання потужностей вебсерверу на основі екстраполяції, але відзначено, що цей підхід не враховує пікові навантаження, що призводить до значної помилки в прогнозуванні. Автор [2] розглядає задачу визначення потреб у ресурсах для веб-орієнтованих систем при встановленому навантаженні з обмеженням терміну відповіді вебсерверу та використанням процесора не більше, ніж на 90%, причому зазначається необхідність проведення додаткових досліджень для визначення максимального навантаження.

У роботі [3] представлено метод розрахунку середнього навантаження на вебсервер у передумові пуасонівського потоку запитів, причому збільшення середнього навантаження на вебсервер може призводити до критичного збільшення часу очікування вхідних запитів. Автор [8] акцентує увагу на прогнозуванні поведінки інформаційної системи в залежності від режимів навантаження вебсервера та підкреслює важливість створення ефективного блоку для прогнозування навантаження вебсервера.

Дослідження [9] використовує математичний апарат теорії часових рядів для прогнозування навантаження на вебсервер, зокрема враховуючи самоподібність вхідного потоку запитів. Робота [13] аналізує вебтрафік інформаційної системи та розробляє модель клієнт-серверного навантаження з виявленою самоподібністю реального трафіку.

Автори [5, 16] пропонують використовувати узагальнено-регресійну нейромережу для прогнозування короткострокового навантаження на сервер.

Роботи [4, 6, 7] показують, що одним із важливих напрямків такого забезпечення являється вдосконалення технології виявлення кібератак за рахунок шаблонів нормальної поведінки параметрів захисту, які враховують складний багатоперіодичний характер їх динаміки. В результаті проведеного аналізу літературних джерел визначена перспективність вдосконалення шаблонів нормальної поведінки вебсерверів шляхом впровадження в їх математичне забезпечення сучасних методів частотно-часового аналізу сигналів на базі теорії вейвлет-перетворень [10, 15, 16]. Також визначена недостатня висвітленість у доступній літературі питань, пов'язаних з обґрунтуванням адаптації типу базисного вейвлету до умов створення шаблону нормальної поведінки вебсерверу. Запропоновано виправити [14] вказаний недолік шляхом створення методу визначення ефективного типу базисного вейвлету, що призначений для розробки шаблону нормальної поведінки. Для цього обґрунтовано ряд положень та перелік критеріїв ефективності, які дозволяють забезпечити вибір ефективного типу базисного вейвлету у відповідності до значимих вимог задачі розробки означеного шаблону. Суть методу полягає у визначенні параметрів, що характеризують базисні вейвлети та їх співвіднесенні із значимими умовами формування шаблону нормальної поведінки вебсерверу.

Таким чином в результаті проведеного аналізу науково-практичних робіт в області прогнозування навантаження вебсерверу можливо стверджувати про відсутність формалізованого та детального опису процесу розробки засобів прогнозування, що ускладнює можливість застосування в таких засобах сучасних теоретичних рішень, а відповідно і ускладнює можливість підвищення їх ефективності цих засобів.

Мета роботи. Метою є розробка концептуальної моделі процесу прогнозування навантаження вебсерверу, що забезпечує формалізований та детальний опис задачі розробки відповідних засобів прогнозування.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. У загальному випадку концептуальна модель – це модель предметної області, що складається з переліку взаємопов'язаних понять, які використовуються для опису цієї галузі разом з властивостями та характеристиками, класифікації цих понять за типами, ситуаціями, ознаками в цій галузі, та законами процесів, що протікають у ній [5]. Концептуальна модель є відображенням концепції, під якої розуміють певний спосіб судження, трактування деяких явищ, основну точку зору, керівну ідею для їх систематичного освітлення. Оскільки практичний результат розробки концептуальної моделі передбачає створення програмно-апаратного забезпечення для процесу прогнозування навантаження вебсерверу, то визначення ефективності процесу прогнозування навантаження доцільно використовувати визначення з області комп'ютерної та програмної інженерії [18]. Відповідно до міжнародних стандартів цієї галузі, ефективність – це множина атрибутів, які визначають взаємозв'язок рівнів виконання програмної системи, використання ресурсів (кошти, апаратура, матеріали) та послуг, виконуваних штатним обслуговуючим персоналом тощо. До основних характеристик ефективності програмно-апаратної системи відносять:

- оперативність – атрибут, що вказує на час відгуку, обробки та виконання функцій;
- ресурсоємність – атрибут, який визначає кількість та тривалість використовуваних ресурсів під час виконання функцій програмної системи;
- узгодженість – атрибут, що вказує на його відповідність заданим стандартам, правилам та розпорядженням.

Згідно з наведеними визначеннями, на першому етапі створення концептуальної моделі було проведено гармонізацію термінології, використовуваної в галузі прогнозування навантаження на вебсервер загального застосування. У результаті визначено такі терміни:

– ефективність ресурсів – саме прогнозування навантаження дозволяє оптимально використовувати ресурси вебсервера, уникати перевантажень та забезпечити плавну роботу сервісів враховуючи масштабування ресурсів в залежності від прогнозованого навантаження сприяє ефективній роботі сервера та економії коштів;

– забезпечення доступності – прогнозування дозволяє адміністраторам вчасно підготуватися до можливих пікових навантажень та уникнути збоїв у роботі системи. Забезпечує надійність та стабільність вебсервісів, що є критичним для задоволення потреб користувачів;

– оптимізація досвіду користувача – прогнозування дозволяє забезпечити швидкий та ефективний доступ користувачів до вебресурсів і підвищує їхню задоволеність, запобігаючи затримкам та завантаженням сервера;

– економія ресурсів та енергії – прогнозування дозволяє ефективно використовувати ресурси та зменшує необхідність у постійному утриманні великої кількості серверів. Допомагає знижувати витрати на електроенергію та інфраструктурні витрати;

– захист від атак – прогнозування навантаження дозволяє легше виявляти незвичайні або атакуювальні активності, вчасно реагувати на потенційні загрози та підтримувати стабільність, що може бути важливим для безпеки вебсистеми;

– зростання обсягів даних, якими оперують користувачі – із зростанням доступу до Інтернету та розвитком мобільних технологій кількість користувачів вебсервісів через використання вебзастосунків, мережевих сервісів, соціальних мереж та інших онлайн-платформ постійно зростає;

– необхідність ефективного ресурсного використання – оптимальне використання ресурсів сервера дозволяє забезпечити високу продуктивність та доступність вебсервісу, при цьому економлячи ресурси;

– адаптація до змін – зміни у вебтрафіку, такі як сезонність, пікові навантаження, або зміни в популярності контенту, потребують постійного аналізу та прогнозування навантаження;

– швидкість реагування – важливо мати можливість адаптувати ресурси сервера в реальному часі відповідно до змін у навантаженні, щоб уникнути перевантаження або недостатнього використання ресурсів;

– ефективність витрат – ефективне управління ресурсами сервера дозволяє економити гроші, особливо у випадку використання хмарних сервісів, де вартість ресурсів може залежати від їх використання;

– автоматизація та агільність – прогнозування є ключовим елементом автоматизації управління вебсервером та може бути вбудоване в агільні практики розробки та впровадження, для того, щоб мати можливість швидко адаптувати ресурси до змін потреб і вимог.

Автоматизація вимагає покращення ефективності, зниження помилок, прискорення процесів та забезпечення повторюваності в інформаційних технологіях. У сфері інформаційних технологій вона може включати в себе автоматизацію процесів розробки, тестування, випуску програмного забезпечення, а також управління конфігурацією, моніторингом та іншими аспектами життєвого циклу програмного продукту.

Агільність (Agile) розглядається як філософія та методологія розробки програмного забезпечення, яка покликана полегшити та прискорити процес розробки. Основна ідея полягає в тому, щоб реагувати на зміни, співпрацювати з клієнтами та постійно вдосконалювати продукт у проміжках часу, названих ітераціями. Агільні методології, такі як Scrum або Kanban, визначають ряд принципів, таких як інкрементальна розробка, зміна вимог протягом проєкту, постійна комунікація між розробниками та клієнтами, а також орієнтація на функціональність та цінність для клієнта. Агільні підходи часто використовують автоматизацію для покращення та прискорення процесів розробки, забезпечуючи швидкі та гнучкі ітерації розробки продукту. Автоматизація, у свою чергу, допомагає забезпечити ефективність та консистентність у процесах, які використовують агільні методології.

Загалом, прогнозування навантаження на вебсервер є важливим елементом стратегії управління інфраструктурою для забезпечення стабільної, ефективної та доступної роботи вебсистем, особливо в умовах широкого використання вебсервісів і збільшення складності вебзастосунків. Ефективність прогнозування навантаження на вебсервер визначається не лише точністю моделей, але і їхньою здатністю адаптуватися до динамічних умов та ефективно впроваджувати результати прогнозування для оптимізації ресурсів та покращення продуктивності вебсервера.

Також визначено, що з позиції вирішення проблематики цієї статті концептуальна модель призначена для формалізації причинно-наслідкових зв'язків, властивих процесу прогнозування

навантаження на вебсервер з необхідністю підвищення ефективності управління веб-інфраструктурою у сучасному цифровому середовищі.

Крім того, в концептуальній моделі слід врахувати стратегії та практики, які можна використовувати для досягнення ефективного прогнозування навантаження:

- моніторинг та збір даних – використовуйте інструменти моніторингу для систематичного збору даних про використання ресурсів, трафіку та інших метрик вебсервера. Забезпечте регулярне оновлення даних, включаючи історичні дані, для більш точного прогнозу;

- використання аналітики – використовуйте аналітичні інструменти для виявлення патернів та трендів у поведінці користувачів. Аналізуйте дані про відвідуваність, конверсію та інші метрики для зрозуміння сезонності та інших факторів, що впливають на навантаження;

- використання моделей прогнозування – використовуйте методи прогнозування часових рядів, різного ступеня складності, для передбачення майбутнього навантаження на основі попередньо зібраних даних. Експериментуйте з різними алгоритмами машинного навчання для точного прогнозування, такими як лінійна регресія, нейронні мережі, ансамблеві методи тощо;

- кореляція з зовнішніми факторами – враховуйте зовнішні фактори, такі як рекламні кампанії, події або новини, які можуть впливати на збільшення або зменшення трафіку. Застосовуйте аналіз кореляції для визначення впливу цих факторів на навантаження;

- масштабованість та автоматизація – використовуйте системи автоматичного масштабування для динамічного збільшення або зменшення ресурсів сервера відповідно до прогнозованого навантаження. Автоматизуйте процеси аналізу та прогнозу для ефективного використання ресурсів;

- стратегії балансування навантаження – використовуйте механізми балансування навантаження для розподілу трафіку між різними серверами, розгляньте використання CDN (Content Delivery Network) для оптимізації розподілу контенту та зниження навантаження на основний сервер;

- постійне вдосконалення – періодично переглядайте та оновлюйте моделі прогнозування на основі нових даних та змін у вебпроекті.

Бажано залучати фідбек від розробників, адміністраторів та користувачів для вдосконалення точності прогнозів. Ефективне прогнозування навантаження на вебсервер вимагає комплексного підходу, розуміння контексту та постійного вдосконалення методів.

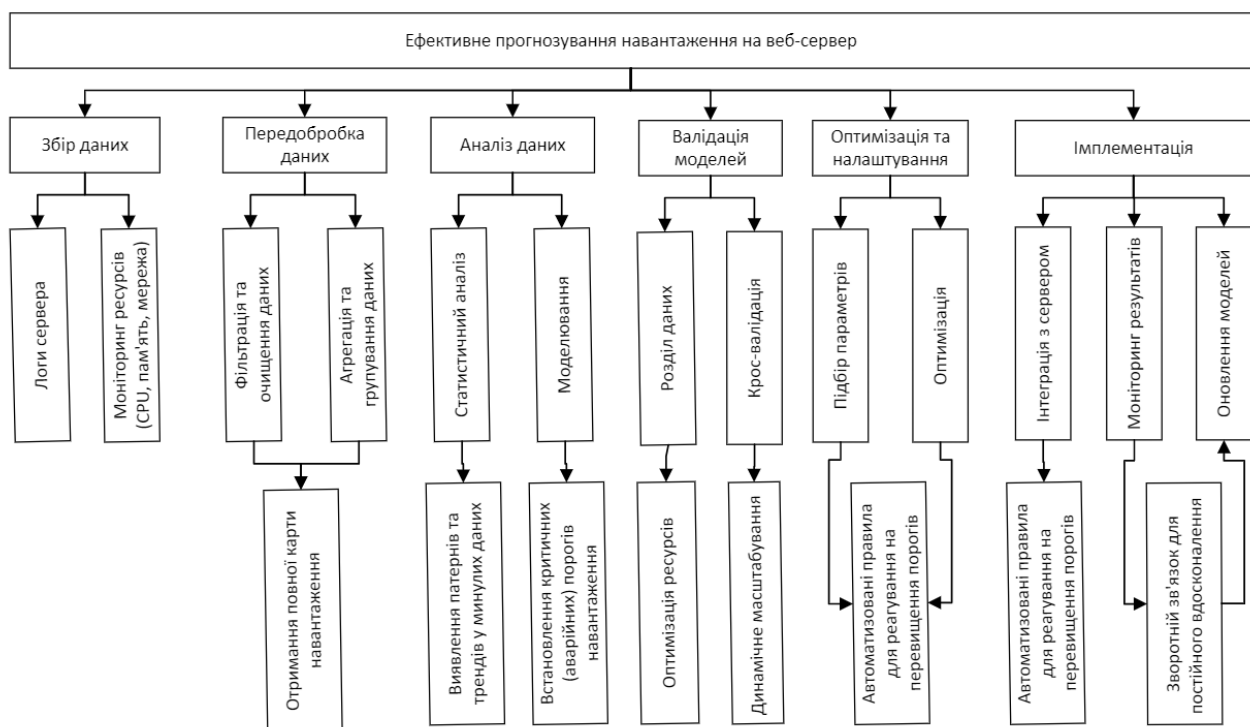


Рис. 1 – Компоненти ефективного прогнозування навантаження на вебсервер

Наступним етапом створення концептуальної моделі стала технологія, показаної на рис. 1 схеми компонентів для точного та ефективного визначення очікуваного навантаження на вебсервер. У схемі враховано особливості реалізації ефективного прогнозування навантаження на вебсервер:

– збір і аналіз даних з використанням логів сервера для отримання інформації про запити, відповіді та час відповіді;

– метрики використання ресурсів для моніторингу використання CPU, пам'яті, мережі та інших ресурсів сервера;

– об'єднання та агрегація даних з різних джерел для отримання повної карти навантаження;

– статистичний аналіз з використанням статистичних методів для виявлення патернів та трендів у минулих даних;

– прогнозування часових рядів з використанням алгоритмів прогнозування для передбачення майбутніх значень навантаження на основі історичних даних;

– використання моделей машинного навчання для аналізу та прогнозу навантаження на основі різноманітних факторів, таких як час доби, день тижня, свята тощо;

– оптимізація ресурсів і динамічне масштабування з використанням автоматизованих механізмів для збільшення або зменшення кількості ресурсів в залежності від прогнозованого навантаження;

– впровадження механізмів розподілу трафіку для балансування навантаження між серверами;

– встановлення порогів навантаження та аварій з визначенням критичних значень, за якими вважатиметься, що сервер перевантажений;

– автоматична реакція через встановлення автоматизованих правил для реагування на перевищення порогів, наприклад, автоматичне масштабування або сповіщення адміністратора;

– зворотній зв'язок для постійного вдосконалення зі збором відгуків і даних після впровадження прогнозів для постійного вдосконалення моделі;

– оптимізація параметрів через регулярне оновлення параметрів та алгоритмів моделей на основі нових даних.

Ця концептуальна модель дозволяє створити ефективний та гнучкий механізм прогнозування та управління навантаженням на вебсервері для оптимального використання ресурсів і забезпечення високої ефективності.

Аналіз представленої схеми на рис. 1 дозволив визначити, що ефективність процесу прогнозування навантаження на вебсервер здебільшого залежить від ефективного аналізу вебтрафіку. Також слід зазначити, що згідно з авторитетними джерелами [11, 12, 17] основним компонентом, який визначає навантаження на вебсервер є саме вебтрафік.

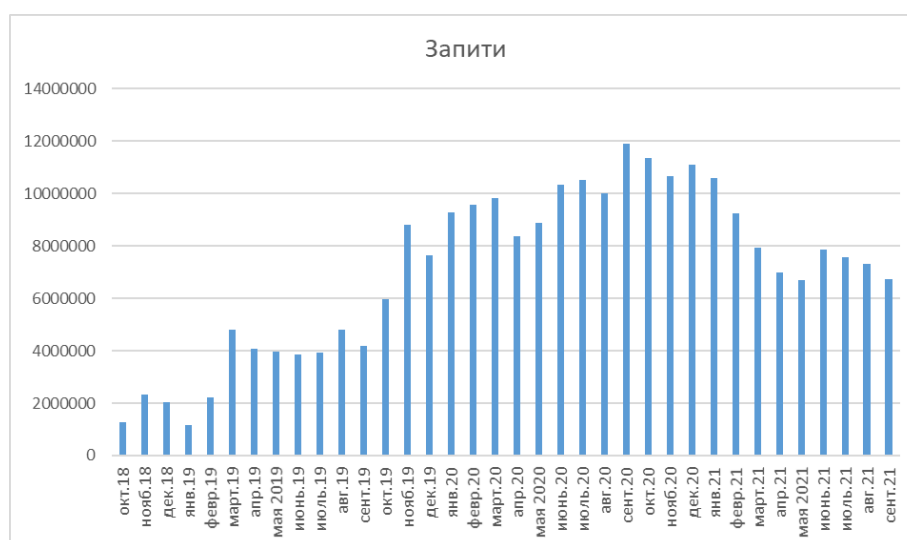


Рис. 2 – Статистика по місяцях кількості запитів користувачів до досліджуваного вебсервера

Саме аналіз вебтрафіку дозволяє розуміти, як користувачі взаємодіють з вебсайтом або застосунком, і є ключовим елементом у прогнозуванні, моніторингу та оптимізації роботи вебсервера. Виділимо основні характеристики вебтрафіку, які слід аналізувати, зокрема:

– кількість запитів (Requests per Second – RPS) – кількість HTTP-запитів, які сервер отримує в секунду. Високі значення RPS можуть свідчити про інтенсивний трафік, а низькі – про низьку активність користувачів (Рис. 2);

– обсяг трафіку (Traffic Volume) – кількість переданих даних в гігабайтах або терабайтах. Великі обсяги трафіку можуть вказувати на значні завантаження сервера та впливати на швидкість доставки контенту;

– типи запитів (Request Types) – розподіл між різними типами запитів, такими як GET (отримання ресурсу), POST (відправка даних на сервер), інші HTTP-методи. Допомагає розуміти природу взаємодії користувачів і ресурсоемкість конкретних операцій;

– час відповіді (Response Time) – час, який сервер витрачає на обробку запиту та відправку відповіді. Короткий час відповіді важливий для забезпечення швидкості завантаження сторінок та поліпшення користувацького досвіду;

– потік користувачів (User Sessions) – кількість активних сесій користувачів. Відстеження потоку користувачів допомагає розуміти пікові навантаження та популярність сайту в різні періоди;

– сценарії взаємодії (User Journeys) – шляхи, якими користувачі пересуваються по сайту чи додатку. Розуміння популярних сценаріїв допомагає визначити ключові точки навантаження та оптимізації ресурсів;

– помилки та відмови (Errors and Failures) – кількість помилок та відмов, які виникають під час обробки запитів. Допомагає виявляти проблеми в роботі сервера та покращувати стійкість системи;

– користувацькі агенти та пристрої (User Agents and Devices) – інформація про типи браузерів, операційних систем та пристроїв, які використовують користувачі. Допомагає адаптувати вебсайт для різних платформ та забезпечити підтримку популярних конфігурацій.

Аналіз вебтрафіку є необхідною частиною стратегії управління навантаженням на вебсервер, дозволяючи підтримувати високу ефективність та доступність вебсайту або застосунку.

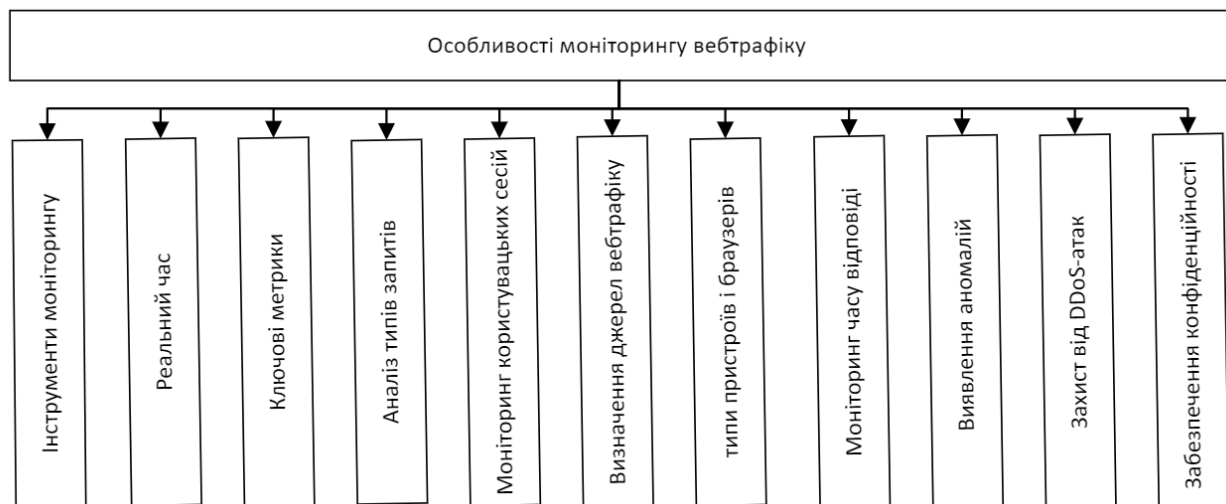


Рис. 3 – Особливості моніторингу досліджуваного вебтрафіку

Отже, важливою складовою управління вебсервером та забезпечення його ефективності та доступності є моніторинг вебтрафіку. Моніторинг вебтрафіку дозволяє підтримувати високу продуктивність та надійність вебсервера, а також реагувати на зміни у попиті та поведінці користувачів. Особливості моніторингу вебтрафіку включають в себе ряд аспектів (Рис. 3):

– інструменти моніторингу. Використовуйте спеціалізовані інструменти моніторингу, такі як Google Analytics, New Relic, або open-source рішення, щоб здійснювати збір та аналіз даних вебтрафіку;

– реальний час. Моніторинг вебтрафіку повинен бути в реальному часі, дозволяючи оперативно реагувати на зміни та аномалії у трафіку;

– ключові метрики. Спрямуйте увагу на ключові метрики, такі як кількість запитів, обсяг трафіку, час відповіді, а також статуси помилок та відмов;

– аналіз типів запитів. Аналізуйте розподіл типів запитів (GET, POST, ін.) для визначення найбільш використовуваних операцій та ресурсоемкості кожної з них;

– моніторинг користувачьких сесій. Слідкуйте за активними користувачькими сесіями, визначайте популярні шляхи користувачів та виявляйте можливості для оптимізації досвіду користувача;

– визначення джерел трафіку. Вивчайте джерела трафіку (пошукові системи, прямий захід, реферали) для розуміння, звідки приходять користувачі, та підтримки ефективних маркетингових стратегій;

– аналіз пристроїв та браузерів. Враховуйте інформацію про типи пристроїв і браузерів, щоб визначити необхідність адаптації для різних платформ;

– моніторинг часу відповіді. Спостерігайте за часом відповіді сервера, виявляйте можливості для оптимізації продуктивності та зменшення часу завантаження;

– виявлення аномалій та проблем. Встановлюйте системи алертів для автоматичного виявлення аномалій у трафіку, помилок чи перевантажень;

– захист від DDoS-атак. Враховуйте можливість використання моніторингу для виявлення та протидії DDoS-атакам на вебсервер;

– забезпечення конфіденційності та відповідності. Забезпечте такі умови, щоб ваші системи моніторингу відповідали стандартам щодо конфіденційності даних та відповідності законодавчим вимогам.

У результаті встановлено, що у аналітичному вигляді концептуальну модель забезпечення ефективності прогнозування навантаження на вебсервер можна записати за допомогою виразу:

$$E_S = f(E_A, E_B, E_C),$$

де E_S – інтегральна ефективність процесу прогнозування навантаження на вебсервер; E_A , E_B – ефективність розробки та використання моделі прогнозування; E_C – ефективність динамічної реєстрації вебтрафіку.

При подальшій деталізації складових змінних моделі були отримані такі вирази:

$$E_A = f(e_1, e_2); E_B = f(e_3, e_4); E_C = f(e_5, e_6, e_7),$$

де e_1 – визначення виду моделі; e_2 – визначення параметрів моделі; e_3 – формування параметрів навчальних прикладів; e_4 – формування навчальної вибірки; e_5 – визначення множини реєстрованих запитів; e_6 – фільтрація зареєстрованих запитів; e_7 – нейромережевий аналіз запитів з метою визначення прогнозованої поведінки вебсервера. Компоненти запропонованих виразів відповідають процедурам, реалізація яких впливає на ефективність прогнозування навантаження на вебсервер.

Крім того, можна стверджувати, що ефективність процесу прогнозування навантаження на вебсервер включає ряд кроків та етапів для створення ефективної та надійної моделі. Для того, щоб розробити таку модель варто передбачити такі основні необхідні стадії:

– визначення мети та вимог – визначте основні цілі системи прогнозування, такі як забезпечення стабільності, оптимізація ресурсів, адаптація до змін у трафіку тощо. Визначте вимоги до точності прогнозування, часу відповіді та інших параметрів;

– збір та обробка даних – встановіть механізми для збору даних про вебтрафік, використовуючи інструменти моніторингу та журнали сервера. Обробляйте та агрегуйте дані, щоб підготувати їх для подальшого аналізу;

– вибір методів прогнозування – вивчіть різні методи прогнозування, такі як часові ряди, машинне навчання, статистичні моделі, вейвлет-перетворення тощо. Виберіть методи, які відповідають характеристикам вашого вебсервера та специфікаціям проекту;

– розробка моделей – розробіть та налаштуйте прогнозуючі моделі на основі вибраних методів. Використовуйте зібрані дані для навчання та валідації моделей;

– інтеграція з системою моніторингу – інтегруйте систему прогнозування з інструментами моніторингу для автоматичного збору та оновлення даних. Забезпечте можливість автоматичного коригування моделей в реальному часі;

– реалізація автоматизованого процесу – реалізуйте автоматизований процес прогнозування, який регулярно оновлює моделі та генерує прогнози. Врахуйте можливість автоматичного масштабування ресурсів сервера в залежності від прогнозованого навантаження;

– аналіз та валідація – систематично аналізуйте результати прогнозування та порівнюйте їх з реальним трафіком. Використовуйте метрики точності для оцінки ефективності моделей та вносьте корективи у випадку необхідності;

– створення механізмів оптимізації – розробіть механізми оптимізації, які дозволяють адаптувати моделі до змін у вебтрафіку та ресурсах сервера. Запровадьте автоматичне коригування параметрів для підтримки високої точності.

– забезпечення безпеки – забезпечте захист системи прогнозування від несанкціонованого доступу та зловживань. Враховуйте можливі ризики в області конфіденційності та інші аспекти безпеки;

– постійне вдосконалення – періодично оновлюйте моделі та алгоритми прогнозування відповідно до змін в середовищі, технологіях та вебтрафіку. Процес прогнозування навантаження на вебсервер вимагає систематичного та виваженого підходу, а також постійного моніторингу та оптимізації.

Слід зазначити, що при використанні цієї концептуальної моделі для створення ефективного прогнозування навантаження на вебсервер необхідно враховувати тривалість, ресурсоємність та точність зазначених процесів, а також матеріальні ресурси, що виділяються на розробку та впровадження таких моделей.

Архітектура такої моделі безпосередньо залежить від множини тих параметрів, які власне і визначають навантаження на вебсервер. Виходячи з типових задач, які виконуються конкретним вебсервером комп'ютерної мережі загального застосування, а також використовуваних мережевих комунікаційних протоколів, визначені три групи параметрів: апаратні ресурси комп'ютера-сервера; ресурси операційної системи; мережеві ресурси.

Розробку практичної реалізації запропонованої концептуальної моделі пропонується визначити в рамках подальших досліджень як вейвлет-модель прогнозування навантаження на вебсервер комп'ютерної системи загального призначення. Оскільки, використання вейвлет-перетворень дозволяє проводити локалізований аналіз сигналів у часовому та частотному просторі, що сприяє точнішому виявленню локальних змін у навантаженні та дозволяє оптимально враховувати зміни у вебтрафіку та динаміку роботи вебсервера. Вейвлет-перетворення є ефективним інструментом для виявлення різних структур і змін у сигналі, включаючи періодичність, тренди та аномалії, що допомагає в ефективному прогнозуванні навантаження на вебсервер. Також вейвлет-аналіз дозволяє ефективно працювати з нестационарними сигналами, що особливо важливо для прогнозування навантаження на вебсервер, яке може змінюватися з часом. Забезпечення балансу між точністю прогнозування та обчислювальною ефективністю дозволяє використовувати вейвлет-перетворення в реальному часі або для обробки великих обсягів даних. Таким чином, вейвлет-перетворення є потужним інструментом для прогнозування навантаження на вебсервер, забезпечуючи гнучкість та ефективність в аналізі динамічних характеристик вебтрафіку.

Висновки. В результаті проведених досліджень розроблено концептуальну модель процесу прогнозування навантаження на вебсервер загального застосування, яка за рахунок конкретизації операцій, що впливають на навантаження на вебсервер, а також за рахунок обґрунтування переліку параметрів оцінки ефективності, дозволяє деталізувати напрями досліджень щодо проектування відповідних засобів розпізнавання. Цей підхід може бути особливо корисним в умовах змінного середовища та різноманіття вимог до вебсервера комп'ютерної мережі загального застосування. Визначено, що напрями подальших досліджень пов'язані із удосконаленням методологічної бази розробки та використанням ефективного аналізу вебтрафіку.

Список бібліографічного опису

1. Hariharan R. Web Server Performance Modeling / R. Hariharan, Van der Mei, P. K. Reeser. // *Telecommunication Systems*. – 2001. – vol. 16. – P. 361–378.
2. Harmantzia F. C., Hatzinakos D. Heavy Network Traffic Modeling and Simulation using Stable FARIMA Processes // *IEEE Trans. Signal Proc. Lett.* – 2000. – Vol. 5. – P. 48–50.
3. Heyman D. P., Sobel M. J. *Stochastic Models in Operations Research: Stochastic optimization*. Dover Books on Computer 155 Science Series. – Dover Publications, 2003.
4. Hu, Z., Tereikovskiy, I., Tereikovska, L., Tsiutsiura, M., Radchenko, K. (2020). Applying Wavelet Transforms for Web Server Load Forecasting. In: Hu, Z., Petoukhov, S., Dychka, I., He, M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education II. ICCSEEA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 938. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2_2
5. Mihaylenko, Victor, Tereikovska, Liudmyla. (2019). Conceptual model of neural network recognition of emotional condition of listeners of the distance learning system. *Management of Development of Complex Systems*, 38, 193 – 199. [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.9788720](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9788720).
6. Server Load Prediction Based on Wavelet Packet and Support Vector Regression / Shuping Yao; Changzhen Hu; Wu Peng // 2006 International Conference on Computational Intelligence and Security, 2006, Volume: 2. Pp. 1016 – 1019.

7. Short-term power load forecasting with least squares support vector machines and wavelet transform / Qi-Song Chen; Xin Zhang; Shi-Huan Xiong; Xiao-Wei Chen // 2008 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. 2008, Volume 3. Pp. 1425 – 1429.
8. Бессараб В. І., Ігнатенко Е. Г., Червінський В. В. Генератор самоподібного трафіку для моделей інформаційних мереж // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. – Vol. 15(130) of Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк, 2008. – P. 23–29.
9. Бельков Д. В. Дослідження мережевого трафіку // Наукові праці Донецького нац. техн. ун-ту. – Vol. 10(153) of Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк, 2009. – P. 212–215.
10. Дичка І., Терейковський І., Терейковська Л., Радченко К. Метод визначення ефективного типу базисного вейвлету для застосування в шаблонах нормальної поведінки веб-сервера. Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. 2018. № 2 (36). С. 46 – 55.
11. Довлад О. А. Дослідження та розробка моделі процесу атаки та трафіку локальної мережі / О. А. Довлад // Захист інформації. – 2009. – № 1 – P. 83 – 86.
12. Дронюк І.М. Прогнозування трафіку комп'ютерних мереж для підвищення ефективності використання мережевого обладнання / Дронюк І.М., Федевич О.Ю. // Наук. вісн. НЛТУ України. – 2015. – Вип.25.5. – С.301-307.
13. Платов В. В., Петров В. В. Дослідження самоподібної структури телетрафіку бездротової мережі // Електротехнічні та інформаційні комплекси і системи. – Vol. 3. – 2004. – P. 38–49.
14. Радченко К.О. Застосування дискретних вейвлет-перетворень для прогнозування рівня навантаження на вебсервер комп'ютерних мереж загального призначення / К.О. Радченко // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2021. № 45. С. 90 – 96. <https://doi.org/10.3691/0/6775-2524-0560-2021-45-13>
15. Радченко К.О. Концептуальна модель забезпечення ефективності прогнозування навантаження на вебсервер / К.О. Радченко // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2020. Том 31 (70), № 6. С. 135 – 141. <https://doi.org/10.3283/8/TNU-2663-5941/2020.6-1/23>
16. Радченко К.О. Особливості прогнозування рівня вебтрафіку у комп'ютерних мережах загального призначення / К.О. Радченко // Проблеми інформатизації та управління. 2022. № 3(71). С. 41 – 50. <https://doi.org/10.1837/2/2073-4751.71.17002>
17. Струбицький Р. П. Самоподібна модель завантаженості хмаркових сховищ даних // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2015. – №814. – С. 147–156.
18. Федевич О.Ю. Інформаційна технологія аналізу та прогнозування трафіку в комп'ютерних мережах. – Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» (122 – Комп'ютерні науки). - Національний університет «Львівська Політехніка» МОН України, Львів, 2018. 214 с. <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1651/disfedevychoyu.pdf>

References

1. Hariharan R. Web Server Performance Modeling / R. Hariharan, Van der Mei, P. K. Reeser. // Telecommunication Systems. – 2001. – vol. 16. – P. 361–378.
2. Harmantzia F. C., Hatzinakos D. Heavy Network Traffic Modeling and Simulation using Stable FARIMA Processes // IEEE Trans. Signal Proc. Lett. – 2000. – Vol. 5. – P. 48–50.
3. Heyman D. P., Sobel M. J. Stochastic Models in Operations Research: Stochastic optimization. Dover Books on Computer 155 Science Series. – Dover Publications, 2003.
4. Hu, Z., Tereikovskiy, I., Tereikovska, L., Tsiutsiura, M., Radchenko, K. (2020). Applying Wavelet Transforms for Web Server Load Forecasting. In: Hu, Z., Petoukhov, S., Dychka, I., He, M. (eds) Advances in Computer Science for Engineering and Education II. ICCSEEA 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 938. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2_2
5. Mihaylenko, Victor, Tereikovska, Liudmyla. (2019). Conceptual model of neural network recognition of emotional condition of listeners of the distance learning system. Management of Development of Complex Systems, 38, 193 – 199, [dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.9788720](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.9788720).
6. Server Load Prediction Based on Wavelet Packet and Support Vector Regression / Shuping Yao; Changzhen Hu; Wu Peng // 2006 International Conference on Computational Intelligence and Security, 2006, Volume: 2. Pp. 1016 – 1019.
7. Short-term power load forecasting with least squares support vector machines and wavelet transform / Qi-Song Chen; Xin Zhang; Shi-Huan Xiong; Xiao-Wei Chen // 2008 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. 2008, Volume 3. Pp. 1425 – 1429.
8. Bessarab V. I., Ignatenko E. G., Chervinskyi V. V. Generator of self-similar traffic for models of information networks // Scientific works of the Donetsk National University. technical university – Vol. 15(130) of Computing and automation. – Donetsk, 2008. – P. 23–29.
9. Bielkov D. V. Research of network traffic // Scientific works of the Donetsk national. technical university – Vol. 10(153) of Computing and automation. – Donetsk, 2009. – P. 212–215.
10. Dychka I., Tereikovskiy I., Tereikovska L., Radchenko K. A method for determining the effective type of basic wavelet for use in web server normal behavior patterns. Legal, normative and metrological support of the information protection system in Ukraine. 2018. No. 2 (36). С. 46-55.
11. Dowlad O. A. Research and development of a model of the attack process and local network traffic / O. A. Dowlad // Protection of information. – 2009. – No. 1 – P. 83 – 86.
12. Droniuk I.M. Forecasting the traffic of computer networks to increase the efficiency of the use of network equipment / Droniuk I.M., Fedevich O.Yu. // Sciences. release NLTU of Ukraine. – 2015. – Issue 25.5. - P.301-307.
13. Plavov V.V., Petrov V.V. Study of the self-similar structure of wireless network teletraffic // Electrotechnical and informational complexes and systems. – Vol. 3. – 2004. – P. 38–49.

14. Radchenko K.O. Application of discrete wavelet transformations for forecasting the level of load on the web server of general purpose computer networks / K.O. Radchenko // Computer-integrated technologies: education, science, production. 2021. No. 45. С. 90 – 96. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-13>
15. Radchenko K.O. Conceptual model for ensuring the effectiveness of web server load forecasting / K.O. Radchenko // Scientific notes of V.I. Tavri National University. Vernadskyi. Series: Technical sciences. 2020. Volume 31 (70), No. 6. С. 135 – 141. <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/23>
16. Radchenko K.O. Peculiarities of predicting the level of web traffic in general purpose computer networks / K.O. Radchenko // Problems of informatization and management. 2022. No. 3(71). С. 41 – 50. <https://doi.org/10.18372/2073-4751.71.17002>.
17. Strubytskyi R.P. Self-similar model of the load of cloud data storage // Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". – 2015. – No. 814. - pp. 147–156.
18. Fedevich O.Yu. Information technology for traffic analysis and forecasting in computer networks. - Dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) in the specialty 05.13.06 "Information Technologies" (122 - Computer Sciences). - Lviv Polytechnic National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2018. 214 p. <https://lpnu.ua/sites/default/files/2020/dissertation/1651/disfedevychoyu.pdf>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-10>

УДК 004.65+004.51+001

Д'яков Ян Русланович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-6265-7329>

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОНТОЛОГІЧНИХ БАЗ ЗНАНЬ

Д'яков Я.Р. Дослідження фундаментальних властивостей онтологічних баз знань. Проаналізовано поняття онтології, її характерні властивості, причини виникнення та механізми реалізації. Встановлено зв'язок між онтологіями та базами знань. Уведено та розкрито поняття онтологічної бази знань. Коротко оглянуто бібліотеку інженерних онтологій, базу знань OpenCyc та її предка – Cyc. На прикладі OpenCyc розглянуто низку фундаментальних властивостей онтологічних баз знань, зокрема структурну еквівалентність складу онтологій та фундаментальних елементів баз знань, компроміс між надмірністю знань та вузькою спеціалізацією онтологій, необхідність впровадження мови взаємодії та багато ін. Констатовано потребу в функціях різної арності, можливостей до оптимізації запитів та команд задля поглиблення процесу взаємодії користувача із системою. Доведено необхідність у структурах більш високого, абстрактного рівня та модулярності бази знань задля підвищення спроможностей до підтримки, спрощення розробки та роботи зі знаннями. Розглянуто проблеми врегулювання узгодженості у базах знань, зокрема конфліктних випадків між позачасовими істинами та істинами, залежними від часу; приведено переваги використання онтологічних баз даних у таких випадках. Доведено необхідність розробки й підтримки якісних інтерфейсів взаємодії, зокрема командного та візуально-інтерактивного (графічного). Розкрито нюанси ведення документації онтологічних баз знань. Приведено підсумки супутнього дослідження системи OpenCyc. Означено перспективні напрямки подальших досліджень, можливі сфери для впровадження.

Ключові слова: бази знань, комп'ютер, інформатика, відношення, онтологія, елемент.

Diakov Y. Research of the fundamental properties of ontological knowledge bases. The concept of ontology, its characteristic properties, causes of emergence and implementation mechanisms are analyzed. The connection between ontologies and knowledge bases is established. The concept of an ontological knowledge base is introduced and disclosed. The library of engineering ontologies, the OpenCyc knowledge base and its ancestor – Cyc – are briefly reviewed. On the example of OpenCyc, a number of fundamental properties of ontological knowledge bases are considered. In particular, there are structural equivalence of the composition of ontologies and fundamental elements of knowledge bases, a compromise between redundancy of knowledge and narrow specialization of ontologies, the necessity to implement an interaction language etc. The necessity for functions of various degrees, opportunities to optimize requests and commands to deepen the process of user interaction with the system was identified. The necessity for structures of a higher, abstract level and modularity of the knowledge base has been proved in order to increase the capabilities to support the software product, simplify its development and work with knowledge in it. Problems of consistency regulation in knowledge bases are considered: in particular, conflict cases between timeless truths and time-dependent truths; advantages of using ontological databases in such cases are given. The necessity of developing and maintaining high-quality interaction interfaces, in particular command and visual-interactive (graphical) interfaces, has been proven. The nuances of maintaining documentation of ontological knowledge bases are disclosed. The results of the accompanying study of the OpenCyc system are given. Prospective directions for further research, possible areas for implementation are identified.

Keywords: Knowledge base, computer, informatics, relation, ontology, element.

Постановка наукової проблеми. У світлі сучасних тенденцій щодо збільшення обсягів даних, накопичення дублікатів, упередженої інформації – постає питання не лише поглиблення навичок критичного мислення та аналізу даних, але й розробки різноманітних систем централізації знань. Наразі роль таких систем виконують численні загальні (Wikipedia, Britannica, WikiSpooks, Prometheus, Дія.Освіта) та вузькоспеціалізовані (Coursera, Pluralsight, Microsoft Learn, Vue Mastery) освітні платформи, закриті корпоративні експертні системи та бази знань тощо.

Водночас актуалізується проблема визначення істини у базах знань. Ігноруючи філософський аспект поданого питання, доцільно визнати за недопустиме існування протиріч знань усередині системи. Не менш важливим є видалення (або недопущення уведення) дублікатів, врахування упереджених даних на основі конфліктів з наявними знаннями тощо. Подібне є можливим за рахунок впровадження інтегрованої системи визначення істинності та підтримки узгодженості знань.

З численних підходів до імплементації баз знань доцільно звернути увагу на такі, що використовують у своїй основі онтології, тобто опис деякої предметної області з чітким визначенням можливих класів сутностей та зв'язків між ними. Системи подібного принципу роботи мають специфічні характеристики, які доцільно розглянути задля пришвидшеної ідентифікації правил уведення, максимізації ефективності роботи користувача із системою, спрощення розробки та підтримки тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нюансами конструювання, теоретичного та вузькоспеціалізованого використання експертних систем та баз знань займались Джексон П., Таунсенд

К., Голбрайт Л., Гаврилова Т., Хорошевський В. [1]. Визначенням та прикладними застосуваннями онтологій, систем на базі онтологій цікавились Грубер Т., Лапшин В., Добров Б., Ланде Д. [2]. Питаннями розвитку та життєвого циклу, використання баз знань та баз даних займались Липмен А., Азарія А., Демченко Ю., Резніченко В., Верес О. [3]. Розробка та впровадження прикладних інформаційних систем розглядали у своїх наукових працях Фаулер М., Девіс В., Когаловський М., Фролов Е. [4, р. 12-13].

Метою статті є виведення та дослідження на основі системи OpenCus основних властивостей онтологічних баз знань, що унікально ідентифікують такі системи, та максимізація яких дозволяє підвищити їхню якість на усіх етапах розробки.

Виклад основного матеріалу дослідження. В інженерно-інформаційному аспекті термін "онтологія" вперше був розкритий американським вченим й винахідником Томасом Грубером. Працюючи над проблемами повторного використання елементів баз знань, їхньої акумуляції, узгодженості та синхронізації між різними програмними системи, Грубер сформував принципи декларативної формалізації знань за класами та зв'язками, що об'єднують позитивні сторони об'єктно-орієнтованого програмування та реляційної системи баз даних. Теорія такої формалізації передбачала використання канонічної форми або мови предикатів, та форми онтологій як сукупності термів (класи та відношення між ними, константи) і зв'язків між ними. Групи таких онтологій – бібліотеки – доцільно було використовувати у базах знань як низькорівневий фундамент [2].

У розумінні Грубера поняття "інженерна онтологія" або просто "онтологія" можна розкрити як формальний опис предметної області, що є прийнятним для вирішення деякої задачі. Як наслідок, онтології неможливі без цілі їхнього існування, інакше вони втрачають свій сенс. Крім того, онтології вміщують лише ті поняття й зв'язки, які потрібні для вирішення поставленої задачі; інші елементи предметної області ігноруються на етапі уведення знань. Іншими словами, онтологія не може бути надмірною. Такий підхід є популярним у сучасній теорії програмування під аббревіатурою "YAGNI" (аббр. від You Aren't Gonna Need It – Тобі це не знадобиться)[5].

Бази знань у своїй основі є вузькоспеціалізованими інформаційними середовищами, що мають чітко встановлені правила виведення й представляють дані з деякої предметної області, що є потрібними для користувача задля вирішення тих чи інших проблем. Онтологічною у такому випадку доцільно назвати таку базу знань, якщо за результатами розробки вона підпорядковується елементній базі деякої онтології задля уніфікації структуризації власних даних, та / або знання усередині неї можна представити у якості онтології.

Властивості онтологічних баз знань, як власне й баз знань узагалі, доцільно розглянути на прикладі відкритої системи OpenCus. Система-предок – Cus – наразі є комбінацією бази даних та засобів штучного інтелекту, що використовує "кодифікований людський здоровий глузд" для когнітивної обробки даних. Система здатна логічно міркувати, використовуючи динамічні дані реального світу, трансформувати, розширювати та спрощувати всі складні людські робочі навантаження [6]. З іншого боку, OpenCus є спрощеною альтернативою Cus під ліцензіями відкритого програмного забезпечення задля ознайомлення з функціоналом Cus й просування комерційної версії як більш повної та функціональної. Означену систему з деякими проблемними аспектами можна назвати онтологічною базою знань. Такі аспекти буде розглянуто нижче.

Остання версія OpenCus нараховує близько 239 тисяч термінів, серед яких місцям відводиться близько 19 тисяч, організаціям – 26 тисяч, індивідам – 12 тисяч тощо [7].

Так як елементна база OpenCus не представляє інтересу у контексті розгляданого питання, доцільно зосередити увагу на типових властивостях онтологічних баз даних, що складають список найважливіших акцентів у ході розробки таких систем, та акцентуація на які дозволяє суттєво підвищити якість продукту. Втім, варто зазначити, що означена типові елементи OpenCus – константи, колекції, предикати, речення тощо – представляють онтологічну основу системи, виконуючи вузькоспеціалізоване завдання організації структурної узгодженості знань. Можливість представлення елементної бази таких програмних продуктів у вигляді онтології є характерною властивістю онтологічних баз знань. Організація такого представлення на етапі проектування системи суттєво спрощує усі подальші етапи її життєвого циклу; публікація його такого представлення – спрощує роботу з системою для користувачів.

У ситуації надмірної кількості даних та необхідності їхньої структуризації та аналізу задля отримання корисних знань, стають актуальними принципи роботи з великими даними (з англ. Big

Data). З іншого боку, специфіка онтології передбачає вузьку спеціалізацію предметної області, тобто деякий зріз даних, корисний для виконання поставленого завдання. Необхідність компромісу між масштабом розглядаєної предметної області та надмірністю онтологічного представлення результату призводить до більш поміркованого виділення обсягу знань. Це знижує ефективність методів роботи з великими даними, проте відповідає специфіці онтології.

У випадку OpenCyc, базу знань, що вміщує дані про рослини, тварини, людей, організації, політичні партії тощо – доцільно визнати надмірною; завдання онтологічного представлення таких знань – закріплення здорового глузду стосовно об'єктивної реальності – є занадто загальним.

Незалежно від того, як база знань представляє користувачу інтерфейс взаємодії, усередині кожної такої бази знань працює деяка мова запитів, оператори котрої уніфікують як введення, так й виведення даних. Типовим прикладом такої мови є SQL (аббр. від Structured Query Language – мова Структурованих Запитів) та її численні модифікації тощо. Залежно від проектною документації бази знань, користувачу може надаватись командний інтерфейс для прямого введення команд та запитів; графічний інтерфейс керування системою, що конструює команди та запити на основі взаємодії користувача з графічними компонентами; гібридний інтерфейс, що є графічним, але вміщує поля для введення команд та запитів користувачем. Подібні мови працюють досить ефективно на площині структурованих даних, що підтримуються онтологічними базами знань. OpenCyc не є виключенням: введення змінних, речень, конструювання запитів та команд підпорядковується єдиному набору правил, що складає внутрішню мову взаємодії зі знаннями.

Супутньою властивістю подібних мов є можливість використання тих чи інших предикатів (відношень) як у запитах, так й у командах. У командах вони слугують інструментами зв'язування інших елементів баз знань; у запитах – елементами конструювання результату на площині наявних даних. Так, предикат “#Siblings” (з англ. Брати й сестри) середовища OpenCyc у командах дозволяє зв'язувати константи, що є людьми, відношенням сімейної близькості рівня “брати”, “сестри” чи “брат та сестра”. У запитах той ж предикат із двома шуканими змінними дозволяє вивести усі комбінації персон означеної сімейної близькості, що наявні у базі знань; із однією шуканою змінною – всіх братів та сестер позначеної персони. Означений підхід використання предикатів у базах знань є їхньою типовою властивістю.

Також наявна тенденція стосовно оптимізації запитів та команд. Так, сучасні бази даних (PostgreSQL, MySQL тощо) мають спеціальні інструменти для виконання запитів зі збором статистичних даних стосовно швидкості виконання, кількості низькорівневих команд, сформованих ядром аналізу запитів та багато іншого [3][8][9]. Активне використання поданих інструментів дозволяє порівнювати команди та запити за часом виконання, кількістю підкоманд та, як результат, підбирати оптимальніші алгоритми введення та виведення знань, пришвидшувати їх тощо. Втім, варто також зазначити, що означена оптимізація має бути врівноважена зі зручністю читання та, як наслідок, подальшої підтримки означених запитів та команд користувачами та командою-розробником.

Знання у системі OpenCyc об'єднані й поділені на модулі або так звані мікротеорії, що мають унікальну назву (зазвичай вона є ідентифікатором тої чи іншої предметної області) та вміщують типові для означеної предметної області константи, функції, твердження тощо. З-поміж інших мікротеорію у системі можна ідентифікувати за постфіксом “Mt”.

У якості прикладів доцільно представити та коротко описати наступні мікротеорії OpenCyc:

- biologyMt. Мікротеорія з біології, що вміщує представників рослинного та тваринного світу, їхні колекції; твердження стосовно кількості ніг, рук, типового зросту та ваги; функції, що встановлюють структурні відношення як-от “домен – відділ”, “клас – підклас”, “сімейство – рід”, приналежність тої чи іншої тварини або рослини до структурної одиниці тощо;

- microbiologyMt. Мікротеорія з мікробіології, що наповнена даними стосовно одно- та багатоклітинних організмів, вірусів та паразитів; їхні типові характеристики та взаємовідносини одне між одним; способи харчування, розмноження тощо;

- textMicrotheory. Текстова мікротеорія, що складається з типових текстових функцій-трансформаторів, колекцій мов та діалектів, типових літературних представників тих чи інших мов та ін.

Впровадження механізмів структуризації інформації за модулями (мікротеоріями) є типовим випадком групування елементів, що підвищує продуктивність роботи з великими обсягами даних. Зокрема покращується їхня підтримка різними командами інженерів знань, спрощується потенційна

заміна однієї мікротеорії іншою, визначення області видимості та приналежності для нових знань тощо.

Наслідком виокремлення таких будівельних блоків баз знань є необхідність у ієрархії абстракцій вищого рівня, зокрема генералізованих мікротеорій, що б виступали батьківськими по відношенню до інших, більш вузькоспеціалізованих мікротеорій та вміщували узагальнені елементи. У контексті середовища OpenCyc це твердження, обов'язкові для виконання, та константи й функції, що необхідно використовувати задля наповнення й редагування мікротеорій, генерації команд та запитів тощо.

Прикладом генералізованої мікротеорії OpenCyc є “#\$BaseKB”. Твердження, яке є істинним у ній, за замовчуванням буде істинним для будь-якої іншої мікротеорії. Вміст “BaseKB” складається з дуже загальних тверджень, які можуть бути використані в більшості або в усіх додатках OpenCyc, а також найфундаментальніших тверджень, які система використовує у виведенні інформації й всіх універсальних (позачасових) істинах.

За допомогою інтерактивної системи взаємодії із OpenCyc доцільно коротко розглянути довідкову сторінку мікротеорії “BaseKB”, представлену на рис. 1.

Microtheory : [BaseKB](#) ^[1]

on the term

isa : [GeneralMicrotheory](#)

isa : [BroadMicrotheory](#)

isa : [Mt-Topic](#)

genMt : [CycAgencyTheoryMt](#) [CycHistoricalPossibilityTheoryMt](#) [UniversalVocabularyMt](#)

comment : "BaseKB is the most general [Microtheory](#) currently in use. Assertions in this context : here will by default be true in every context. The 'content' of [BaseKB](#) consists of very g universal, timeless truths."

genKeyword : [:BASE-K-B](#)

prettyString : "Base KB knowledge"

prettyString-Canonical : "Cyc's knowledge of general truths"

Рис. 1 – Довідкове вікно мікротеорії “BaseKB” інтерактивної системи взаємодії із системою OpenCyc

З рис. 1 можна побачити, що означена мікротеорія є:

– елементом колекції загальних мікротеорій (англ. General Microtheory), так як у ній присутні генералізовані аксіоми, прийнятні для численних цілей;

– елементом колекції великих мікротеорій (англ. Broad Microtheory). Концепція великої мікротеорії у середовищі OpenCyc передбачає, що її твердження не можуть в повному обсязі бути виведеними тими чи іншими засобами запитів; для виведення потребується додаткова фільтрація;

– елементом колекції тем або топіків “Mt-Topic”, що є додатковим переліком абстракції вищого рівня для генералізованої структуризації інформації у системі OpenCyc. Такими топіками виступають зокрема такі як “#\$Expectation” (з англ. Очікування), “#\$Obligation” (з англ. Зобов'язання), “#\$Estimate” (з англ. Оцінка) тощо;

– зв'язаною відношенням відкриття “#\$genMt” з такими мікротеоріями, як “#\$CycAgencyTheoryMt” (з англ. Теорія агентів), “#\$CycHistoricalPossibilityTheoryMt” (з англ. Теорія історичної можливості) та “#\$UniversalVocabularyMt” (з англ. Універсальний словник). Їхній розгляд виходить за межі поточного дослідження.

Отже, середовище OpenCyc вміщує численні високорівневі структурні компоненти (мікротеорії, топіки, колекції) різного сутнісного складу. Наявність таких компонентів є фундаментальною властивістю онтологічних баз знань.

Супутньою властивістю тут також виступає замкнутість ланцюжків компонентів, тобто повнота системи у графівій репрезентації. Так, фундаментальна мікротеорія “BaseKB” є елементом колекцій, які у своїй основі – колекції як таких – підпорядковуються твердженням мікротеорії “BaseKB” та використовують її функції та константи. Так, елементи у онтологічній базі знань (як власне й у онтологіях) представляють сенс не лише самі по собі, але й у повноті своїх відношень з іншими елементами.

У поданому контексті також актуалізується питання строгості врегулювання узгодженості знань. Окрім випадків, де узгодженість підтримується зовнішніми системами, бази знань, зокрема й онтологічні, можна поділити за характером врегулювання узгодженості на строгі та нестрогі. Строге врегулювання передбачає неможливість уведення знань, які конфліктують із вже наявними; іншими словами, перевірка відбувається до безпосередньої операції вставки. Нестроге або ще ліниве врегулювання дозволяє уведення конфліктних знань, але маркує їх як конфліктні задля подальшого вирішення командними або автоматизованими засобами тої чи іншої бази знань. Інша реалізація нестрогого врегулювання ігнорує аспект маркування, але передбачає можливість використання так званих різонерів (з англ. Risoner, від Reason – Причина), що перевіряють необхідний користувачу сектор бази знань на узгодженість. Як результат, користувачу надаються варіанти вирішення віднайдених конфліктних ситуацій; альтернативно, різонер може самостійно вирішити ті чи інші конфлікти.

Чітке позиціонування за означеним питанням є важливою властивістю баз знань, що координують узгодженість власних структурних елементів на предмет взаємної істинності. Онтологічність у такому випадку виступає перевагою, адже усталеність структури корінних елементів та знань спрощує означений процес на усіх етапах його проведення.

У поданому контексті система OpenСус має строгий механізм врегулювання узгодженості знань; вона не дає можливості для конфліктних знань бути уведеними у склад власних структур. Так забезпечується низька толерантність системи до конфліктів знань. З іншого боку, неможливо “відтермінувати” момент вирішення таких конфліктів на майбутнє. Втім, OpenСус має супутню проблему, яку доцільно розглянути у контексті узгодженості знань.

Так, на рис. 2 зображено графічне вікно системи OpenСус стосовно 43-го президента США, Дж. Буша, що перебуває у базі знань у якості константи. За допомогою викладеного переліку позначено, елементом яких колекцій є та не є ця константа; які предикати стосовно цієї константи визначено тощо.

Individual : [GeorgeWBush](#)

on the term




















```
isa :  Individual
not isa :  UnitedStatesPresident
isa :  Animal  TemporalThing
not isa :  Actor
isa :  CensusGroupOfCaucasians  UnitedStatesPerson  MaleHuman
isa :  Republican  AdultMaleHuman
isa :  AdultMaleHuman
isa :  AdultMaleHuman
isa :  AdultMaleHuman
isa :  USStateGovernor
isa :  UnitedStatesPresident
isa :  (PastOrPresentPresidentFn UnitedStatesOfAmerica)
not isa :  UnitedStatesPresident
quotedIsa :  WordNetWorkflowConstant-NotFullyReviewed
comment :  "An instance of UnitedStatesPresident. 43rd President of the United States;
```

Рис. 2 – Інформація стосовно 43-го президента США Дж. Буша

За приведеними даними, Дж. Буш є президентом США – на це вказує предикат “#\$isa” з другим операндом-колекцією “#\$UnitedStatesPresident” (з англ. Президент США). В тому ж списку визначено, що Дж. Буш не є президентом США – на це вказує подібний предикат з префіксом логічної інверсії “#\$not”. Таким чином, система OpenСус вміщує як залежні від часу істини (на поточний момент означена персона вже не є президентом США), так й позачасові істини (означена персона позиціонується як така, що коли-небудь була президентом США), що є проблемою узгодженості знань. Механізм вирішення питання узгодженості залежних від часу істин, та позачасових істин є типовою властивістю онтологічних баз знань.

OpenСус вирішує подану проблему за допомогою контекстних змінних, які вводяться разом із запитом (у поточному випадку це предикати часу або часового інтервалу). Таке рішення притаманне для баз знань, що орієнтовані на більш повне висвітлення предметної області, висвітлення супутніх предметних областей. Недоліком означеного механізму є необхідність не лише постійного уведення контекстних змінних у запити, але й існування таких змінних у тілі бази знань заради підтримки

узгодженості. У такому випадку доцільним є висвітлення поданих змінних у результатах запитів до бази знань – чого не було зроблено у випадку графічного інтерфейсу середовища OpenCus, відповідно до рис. 2.

Іншим варіантом вирішення проблеми є повернення до основ онтологій. Так як онтологія є вузькоспеціалізованою та створюється для вирішення поставленого завдання, у випадку виникнення істин, залежних від часу, доцільно зафіксувати на глобальному рівні час або часовий проміжок, відносно якого онтологія є істинною. Аналогічна метода може бути використана у контексті бази знань, що ідентифікує її як онтологічну. Якщо виникає необхідність розширення такої бази знань на більш значний часовий проміжок – доцільно створити нову базу знань, зокрема й методом часткового копіювання з попередньої версії. Таким чином онтологічна база знань є так званим знімком (англ. Snapshot) деякого часового інтервалу; ризики неузгодженості позачасових та залежних від часу істин відсутні.

Як вже вказувалось, база знань повинна мати інструменти виведення, тобто механізми отримання знань з системи у вигляді, зручному для користувача.

Система правил виведення є доцільною в онтологічній базі знань зокрема через можливість автоматизації виведення тверджень з вже наявних та отримуваних даних. Така система може бути побудована із використанням правил логічного виведення (дедукція, індукція, абдукція, гібриди), дерев прийняття рішень, нечітких методів, інструментів штучного інтелекту (нейронні мережі, класифікатори) тощо [10][11]. У випадку з OpenCus, специфіка команд вказує на логічність виведення знань (є підтримка булевих значень, логічні оператори, квантори), можливість проходження як низхідною ієрархією компонентів, так й висхідною – що говорить про індуктивно-дедуктивний характер системи. Підтримку інших принципів побудови у системі OpenCus не передбачено. Втім, враховуючи наявні інструменти, отримувані знання є досить структурованими для подальшого використання більш високорівневими системи на основі нечітких методів, засобів штучного інтелекту тощо.

Користувач може взаємодіяти із середовищем OpenCus за допомогою командного рядка операційної системи Windows; вводити команди, запити, перевіряти наявність тих чи інших елементів (рис. 3) тощо. Суттєвою перевагою консольного режиму тут можна навести високий рівень зворотної сумісності: подібним інтерфейсом можна скористатись у майбутньому без ризиків невірної візуалізації, застаріння графічних бібліотек тощо. Базовий командний інструментарій операційних систем залишається порівняно незмінним.

```
CYC(6): #$Dog  
[Time: 0.0 secs]  
#$Dog  
CYC(7): #$DogeCoin  
Error: "DogeCoin" is not the name of a constant.
```

Рис. 3 – Перевірка наявності константи у системі за допомогою консолі

Особливості командних інструментів мають відповідати стандартам та тенденціям сучасних концепцій побудови інтерфейсів взаємодії. Так, вноормовану систему взаємодії за допомогою командного рядка пропонує програмний менеджер контейнерів Docker, інструмент для тестування навантаження програмних систем K6, середовища інтерактивних мов програмування Python, SmallTalk тощо [12][13][14].

Альтернативним, більш зручним для користувача є візуально-інтерактивний режим, що втілюється за рахунок системи вікон, кнопок, полів уведення інформації, стилізації елементів тощо. Наразі у інформаційному просторі наявні численні інструменти побудови графічних інтерфейсів на різноманітних операційних системах [15]. Використовуючи командний режим взаємодії із системою у якості фундаменту, користувачі мають можливість створити та публікувати у інтернет-мережі свої графічні інтерфейси (у такому випадку також доцільно враховувати інтелектуальні права компанії-розробника продукту, ознайомитись з принципами роботи цифрових ліцензій тощо [16]). Розробка інтерфейсу командою-розробником бази знань може підвищити популярність створюваного продукту на його первинних стадіях впровадження; розробка ж альтернативних інтерфейсів користувачами призводить до конкуренції й стимулює до ітеративного підвищення якості продукту.

На жаль, система OpenCus не є такою, що відповідає тенденціям часу стосовно проектування як командного, так й візуально-інтерактивного інтерфейсів взаємодії із користувачем. Найважчий командний інтерфейс є складним до опанування й не відповідає за функціональним наповненням (є більш повним) за інтерфейс візуально-інтерактивний ("OpenCus KB Browser"), що втратив свою актуальність, має проблеми з безпечністю використання тощо. Максимізація зусиль з розробки та підтримки інтерфейсів взаємодії дозволяє спростити роботу користувачів із системою, пришвидшити їхнє навчання та отримання цінного досвіду тощо.

Фундаментальною для кожної програмної системи є її документація, що пришвидшує навчання користувачів, слугує основою для уведення до команди розробки нових розробників, тестерів, проектних менеджерів тощо. У контексті онтологічних баз знань, такої документація доцільно підпорядкуватись деяким специфічним рекомендаціям, а саме:

– доцільно не лише спростити, зробити більш прозорою таку документацію, але й додати інструкцію до використання. У такій інструкції необхідно розкрити центральні елементи візуально-інтерактивного та командного режимів взаємодії, патерни взаємодії із системою (типові можливості користувача, алгоритми їхнього впровадження, відповіді системи) тощо;

– мають бути розкриті центральні характеристики використовуваної онтологічної елементної бази системи; тут доцільно використовувати таблиці, графи, блок-схеми, інтерактивні посилання та інші сучасні інструменти графічної репрезентації задля зв'язування інформації у максимально повну картину.

Інформаційні ресурси OpenCus є застарілими та не підтримуються; документація доступна у обмеженому вигляді на ресурсах архівації старих інтернет-сторінок. Підтримка актуальної документації до будь-якого програмного продукту, зокрема й баз знань, є життєво важливим для центральної аудиторії такої системи, команд розробників, менеджерів, акціонерів та ін.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Концепція онтологічних баз знань є важливою у контексті мінімізації дублікатів знань, суб'єктивних (упереджених) представлень щодо предметних областей, надмірного емоційного забарвлення інформації, засмічення знань елементами супутніх предметних областей тощо.

Віднайдені та проаналізовані фундаментальні особливості – підтримка узгодженості знань, мови уведення та виведення знань, модульність, специфіка документації тощо – є важливими не лише для подальшої актуалізації концепту онтологічних баз знань, але й для узгодження проектною документації, розробки, тестування та підтримки таких систем. Їхнє можливе впровадження у сферу освіти, заміни корпоративних експертних систем, конкуренція із засобами штучного інтелекту доречно дослідити докладніше у наступних статтях.

Як приклад бази знань, OpenCus є досить потужною системою з великою кількістю вже наявних знань, засобами для їхнього уведення та виведення, абстрактними конструкціями для підтримки узгодженості знань тощо. З іншого боку, невідповідність властивостям онтологічних баз знань у випадку такої системи призвела до ряду недоліків, серед яких нечітка застаріла документація, не орієнтовані на широкий загаль користувачів механізми уведення та виведення знань, відсутність підтримки компанією-засновником, розмитість принципів позачасових принципів та супутні логічні хиби тощо. Уведення чіткої онтології та підтримка віднайдених характеристик онтологічних баз знань дозволила б підвищити якість роботи системи, популярність серед користувачів, орієнтованих на бази знань тощо.

Список бібліографічного опису

1. Galbraith, L. Al-Najjar, M. Babu, A. Expert systems in engineering. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 3, 2, 1988. pp. 12-14. URL: <https://doi.org/10.1109/62.848>.
2. Gruber, T. The Role of Common Ontology in Achieving Sharable, Reusable Knowledge Bases. Knowledge Systems Laboratory. 1991. URL: <https://www.cin.ufpe.br/~mtcfa/files/10.1.1.35.1743.pdf>.
3. Резніченко, В. 60 років базам даних. Проблеми програмування. 2021, № 3, с. 40-71. URL: <https://dx.doi.org/10.15407/pp2021.03.040>.
4. Fowler, M. & Rice, D & Foemmel, M. Patterns of Enterprise Application Architecture. Addison-Wesley Professional, 2002. р. 560. URL: <https://dl.ebooksworld.ir/motoman/Patterns%20of%20Enterprise%20Application%20Architecture.pdf>.
5. Gupta, G., Sachdeva, M. How can you use the YAGNI principle to avoid over-engineering software? 2023. URL: <https://www.linkedin.com/advice/1/how-can-you-use-yagni-principle-avoid-over-engineering-ny3ge>.
6. Cyc | The Next Generation of Enterprise AI. 2023. URL: <https://cyc.com>.

7. GitHub. OpenCyc. 2023. URL: <https://github.com/asanchez75/opencyc>.
8. Stonebraker, M., Rowe, L., Hirohama, M. The implementation of POSTGRES. Making Databases Work: the Pragmatic Wisdom of Michael Stonebraker. 2018. p. 519-559. URL: <http://dx.doi.org/10.1145/3226595.3226639>.
9. Satoto, K., Isnanto, R., Kridalukmana, R., Martono, K. Optimizing MySQL database system on information systems research, publications and community service. *3rd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Semarang, Indonesia, 2016. pp. 1-5. URL: <https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2016.7892476>.
10. Hyun Moon, J., Sun Kang, C. Application of fuzzy decision making method to the evaluation of spent fuel storage options. *Progress in Nuclear Energy*, vol. 39, № 3-4, 2001. pp. 345-351. URL: [https://doi.org/10.1016/S0149-1970\(01\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0149-1970(01)00019-1).
11. Dastres, R., Soori, M. Artificial Neural Network Systems. *International Journal of Imaging and Robotics (IJIR)*, vol. 21 (2), 2021. p. 13-25. URL: <https://hal.science/hal-03349542>.
12. Miglani, S. Develop and Test Kubernetes Applications Locally with Docker Desktop: A Guide for Data Scientists. 2023. URL: <https://medium.com/cloud-native-daily/develop-and-test-kubernetes-applications-locally-with-docker-desktop-a-guide-for-data-scientists-8626cd8c463c>.
13. Running k6 | Grafana k6 documentation. 2023. p. 4. URL: <https://grafana.com/docs/k6/latest/get-started/running-k6>.
14. Python: An Ecosystem for Scientific Computing. 2011. p. 9. URL: <https://osf.io/atr27/download>.
15. Kulsreshtha, A. Cross-Platform App Development with .NET MAUI. 2023. p. 5. URL: https://www.linkedin.com/pulse/cross-platform-app-development-net-maui-arpit-kulsreshtha?trk=public_post_main-feed-card_feed-article-content.
16. Thompson, C., Jena, R. Digital licensing [software reuse]. *Internet Computing, IEEE*. 9, 2005. pp. 85-88. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/MIC.2005.77>.

References

1. Galbraith, L. & Al-Najjar, M. & Babu, A. (1988). Expert systems in engineering. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 3, no. 2, pp. 12-14. <https://doi.org/10.1109/62.848>.
2. Gruber, T. (1991). The Role of Common Ontology in Achieving Sharable, Reusable Knowledge Bases. Knowledge Systems Laboratory. <https://www.cin.ufpe.br/~mtcfa/files/10.1.1.35.1743.pdf>.
3. Reznichenko, V. (2021). 60 years of databases. *Prombles in programming*, vol. 3, pp. 40-71. <https://dx.doi.org/10.15407/pp2021.03.040>.
4. Fowler, M. & Rice, D & Foemmel, M. (2002). *Patterns of Enterprise Application Architecture*. Addison-Wesley Professional. <https://dl.ebooksworld.ir/motoman/Patterns%20of%20Enterprise%20Application%20Architecture.pdf>.
5. Gupta, G. & Sachdeva, M. (2023). How can you use the YAGNI principle to avoid over-engineering software? <https://www.linkedin.com/advice/1/how-can-you-use-yagni-principle-avoid-over-engineering-ny3ge>.
6. Cyc (2023). Cyc | The Next Generation of Enterprise AI. <https://cyc.com>.
7. GitHub (2023). OpenCyc. <https://github.com/asanchez75/opencyc>.
8. Stonebraker, M. & Rowe, L. & Hirohama, M. (2018). The implementation of POSTGRES. Making Databases Work: the Pragmatic Wisdom of Michael Stonebraker. pp. 519-559. <http://dx.doi.org/10.1145/3226595.3226639>.
9. Satoto, K. & Isnanto, R. & Kridalukmana, R. & Martono, K. (2016). Optimizing MySQL database system on information systems research, publications and community service. *3rd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)*, Semarang, Indonesia, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2016.7892476>.
10. Hyun Moon, J. & Sun Kang, C. (2001). Application of fuzzy decision making method to the evaluation of spent fuel storage options. *Progress in Nuclear Energy*, 39, 3-4, pp. 345-351. [https://doi.org/10.1016/S0149-1970\(01\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0149-1970(01)00019-1).
11. Dastres, R. & Soori, M. (2021). Artificial Neural Network Systems. *International Journal of Imaging and Robotics (IJIR)*, vol. 21 (2), pp. 13-25. <https://hal.science/hal-03349542>.
12. Miglani, S. (2023). Develop and Test Kubernetes Applications Locally with Docker Desktop: A Guide for Data Scientists. <https://medium.com/cloud-native-daily/develop-and-test-kubernetes-applications-locally-with-docker-desktop-a-guide-for-data-scientists-8626cd8c463c>.
13. Grafana Labs (2023). Running k6 | Grafana k6 documentation. <https://grafana.com/docs/k6/latest/get-started/running-k6>.
14. Scientific Python (2011). Python: An Ecosystem for Scientific Computing. <https://osf.io/atr27/download>.
15. Kulsreshtha, A. (2023). Cross-Platform App Development with .NET MAUI. pp. 5. https://www.linkedin.com/pulse/cross-platform-app-development-net-maui-arpit-kulsreshtha?trk=public_post_main-feed-card_feed-article-content.
16. Thompson, C. & Jena, R. (2005). Digital licensing [software reuse]. *Internet Computing, IEEE*. 9. pp. 85-88. <http://dx.doi.org/10.1109/MIC.2005.77>.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-11>

УДК 004.853, 004.942

Єськіна Анна Андріївна, магістр

<https://orcid.org/0009-0008-4992-4286>

Кулаковська Інесса Василівна, к.ф.-м.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-8432-1850>

Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м Миколаїв, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЛАСИФІКАЦІЇ ВОЛАТИЛЬНОСТІ ВАЛЮТ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Єськіна А.А., Кулаковська І.В. Дослідження інтелектуальної системи класифікації волатильності валют за результатами машинного навчання. Розглядається процес класифікації та аналізу даних щодо волатильності валют використовуючи методи машинного навчання. Досліджуються моделі та методи машинного навчання, а саме наївний баєсівський класифікатор та метод опорних векторів для вирішення задач класифікації на основі сформованого набору даних. Метою дослідження є розробка та дослідження інтелектуальної системи, яка здатна ефективно класифікувати рівень волатильності на валютних ринках. Робота спрямована на вивчення різних методів машинного навчання та класифікаторів на основі різних мір подібності, з метою визначення оптимального підходу для класифікації волатильності.

Ключові слова: інтелектуальна система, методи машинного навчання, класифікація, метрики оцінки якості класифікації, волатильність.

Yeskina A., Kulakovska I. Study of the intelligent system of classification of currency volatility according to the results of machine learning. The process of classification and analysis of currency volatility data using machine learning methods is considered. Machine learning models and methods are studied, namely the naive Bayesian classifier and the support vector method for solving classification problems based on the generated data set. The purpose of the study is to develop and research an intelligent system that is able to effectively classify the level of volatility in currency markets. The work is aimed at studying different machine learning methods and classifiers based on different measures of similarity, with the aim of determining the optimal approach for volatility classification.

Keywords: intelligent system, machine learning methods, classification, classification quality assessment metrics, volatility.

Постановка наукової проблеми. Фінанси відіграють важливу роль у різноманітних сферах нашого життя, від особистих фінансів кожного з нас до глобальних економічних процесів. Ця сфера вимагає постійного аналізу, прогнозування та прийняття рішень в реальному часі. Водночас, розвиток сучасних технологій, таких як штучний інтелект і машинне навчання, відкриває нові можливості для поліпшення аналізу та прийняття рішень у фінансовій галузі. Крім цього, ураховуючи зростання ролі соціальних мереж у сучасному інформаційному суспільстві, актуальним є вивчення можливостей та обмежень використання цих платформ для класифікації ринкових тенденцій. Визначенно для надійності обраної платформи – Телеграм.

Актуальність дослідження обумовлена важливістю вивчення та аналізу динаміки валютних ринків. З урахуванням нестабільності сучасного економічного середовища та впливу різноманітних факторів, таких як економічні новини, глобальні кризи, та природні катастрофи, розробка інтелектуальної системи для класифікації волатильності валют стає критично важливою.

Для наглядного прикладу проведення аналізу та попередньої обробки був використаний ключовий набір даних USD/UAH, отриманий за допомогою Yahoo Finance API. На основі цього набору даних ми провели докладний аналіз, спрямований на визначення важливих параметрів та особливостей. Головною задачею наших подальших моделей є оцінка рівня волатильності валютної пари USD/UAH та її класифікація на низький чи високий рівень ризику. Обраний датасет відображає динаміку валютного курсу долара США до української гривні протягом останніх п'яти років, з 4 лютого 2019 року по 3 лютого 2024 року [1].

Попередня обробка даних – це процес підготовки та очищення даних перед їх використанням у моделях машинного навчання. Як правило, при обробці ми маємо справу з великими обсягами необроблених вихідних даних. Алгоритми машинного навчання розраховані на те, що, перш ніж вони зможуть розпочати процес тренування, отримані дані будуть відформатовані певним чином. Щоб привести дані до форми, що прийнятна для алгоритмів машинного навчання, ми повинні попередньо підготувати їх і перетворити на потрібний формат [2].

Для класифікації волатильності валют можна обрати різні ознаки, які допоможуть системі визначати та присвоювати рівні волатильності. Проте декілька виділених мною ознак, таких як

процентне змінення та стандартне відхилення, можуть бути особливо значущими. Давайте розглянемо їх більш детально.

Процентне змінення (Percent Change). Ця ознака визначає, наскільки змінилася ціна валюти від відкриття до закриття. Вона розраховується як відсоткова різниця між ціною закриття та ціною відкриття. Високе значення цієї ознаки може свідчити про значний рух цін протягом періоду, що може бути індикатором волатильності.

Стандартне відхилення (Std Deviation). Ця ознака вимірює міру розкиду процентних змін між ціною відкриття та ціною закриття. Вона дозволяє визначити, наскільки великі відхилення від середнього можна спостерігати в рухах цін. Більше значення стандартного відхилення може вказувати на вищий рівень невизначеності та непередбачуваності в ціновому русі.

Для наглядності щодо розподілу кількості класів волатильності був сформований та представлений точковий графік (рис. 1). Ця візуалізація допомагає легше усвідомити співвідношення між високою та низькою волатильністю, надаючи графічну інформацію про це.

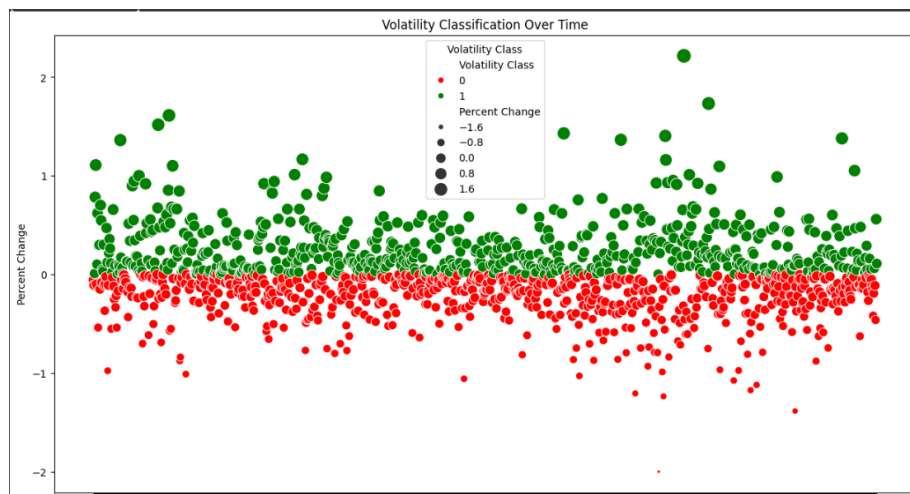


Рис. 1 – Точковий графік співвідношення між класами волатильності

Другий етап підготовки до моделювання включає в себе визначення цільової змінної та визначення ознак, які будуть використовуватися для класифікації [3,4]. На цьому етапі важливо розділити дані на навчальний та тестовий набори для ефективно оцінки моделі. Дотримання балансу між класами (якщо є класифікаційна задача) та врахування стратифікації допомагають уникнути перекосу результатів.

Додатково, проводиться аналіз розподілу класів та визначення метрик якості [3,4], які будуть використовуватися для оцінки ефективності моделі. Наприкінці цього етапу дані готові до подальшого застосування алгоритмів машинного навчання та навчання моделей на навчальному наборі для подальшого тестування та оцінки їхньої точності та ефективності.

Метод відкладених даних (англ. Holdout Method) – це стратегія поділу набору даних на дві неперетинаючі частини: тренувальний (навчальний) та тестовий. Тренувальний набір використовується для навчання моделі, в той час як тестовий набір використовується для оцінки ефективності моделі та перевірки її здатності до узагальнення на нових даних.

Метод відкладених даних дозволяє оцінити роботу моделі на реальних даних, які вона раніше не бачила, та визначити її точність та ефективність перед застосуванням до реальних сценаріїв чи вирішення завдань. У нашому випадку, 80% даних використовується для тренування моделі, а 20% залишається для тестування. Ця процедура забезпечує наявність 1305 записів для моделювання нових прогнозів.

Модель буде навчатися на випадковій вибірці даних за допомогою функції `train_test_split`, де випадковим чином вибираються підмножини даних для тренування та тестування. Випадкова вибірка – це вибір певної кількості об'єктів чи прикладів з набору даних таким чином, що кожен об'єкт має однакову ймовірність бути обраним.

У контексті машинного навчання випадкова вибірка допомагає забезпечити репрезентативність даних для тренування та тестування моделі. Вона дозволяє уникнути впливу порядку даних та забезпечити, що модель отримує різноманітні приклади для навчання, що сприяє

її загальній ефективності та здатності узагальнення на нові дані. Якщо рандомізація виконана правильно, то розподіл класів волатильності в тренувальній та тестовій вибірках є репрезентативним та відображає вихідну кількість об'єктів кожного класу. У нашому випадку/

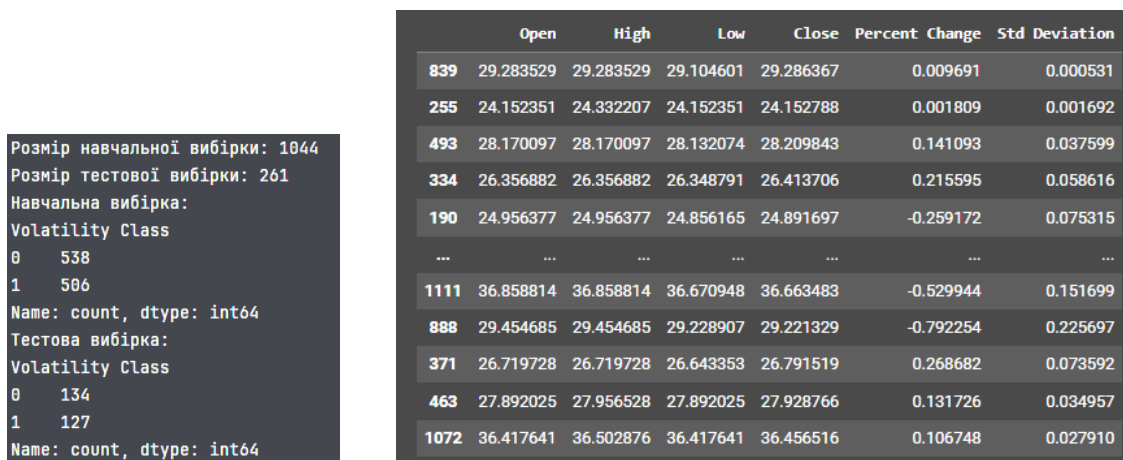


Рис. 2 – Розподілення на тренувальний та тестовий набори

Тепер, коли дані підготовлені та розподілені на тренувальний та тестовий набори (рис. 2), можна приступати до побудови та навчання моделей наївного баєсівського класифікатора і моделі машинного навчання на основі методу опорних векторів (SVM).

Аналіз досліджень. Yahoo Finance API пропонує широкий набір можливостей і функцій, включаючи історичні котирування, новини фондового ринку та вичерпні фінансових даних. Ці дані можна використовувати для створення власних фінансових додатків та аналітичних інструментів, таких як аналіз фондового портфеля, сповіщення про ціни на акції та інші сервіси, що базуються на даних.

Даний портал дозволяє розробникам отримувати доступ до фінансових даних з різних ринків і цінних паперів, включаючи акції, взаємні фонди, опціони та ф'ючерси. Маючи доступ до ринкових даних у режимі реального часу, розробники можуть створювати інтерактивні графіки та торгові системи, здійснювати моніторинг портфельів та аналіз фондового ринку [1].

Методи класифікації машинного навчання – це алгоритми та підходи, які дозволяють автоматично розподіляти об'єкти чи дані у визначені категорії або класи на основі їхніх характеристик чи ознак. Ці методи грають ключову роль у вирішенні задач класифікації та прогнозуванні в багатьох областях, включаючи медицину, фінанси, маркетинг, техніку та інші. Вибір методу класифікації залежить від конкретних цілей і даних, які використовуються.

Деякі з найпоширеніших методів класифікації машинного навчання включають [5, 6]: наївний баєсівський класифікатор (Naive Bayes). Використовує теорему Баєса та припущення про незалежність ознак для класифікації об'єктів; метод опорних векторів (SVM – Support Vector Machines). Шукає оптимальний гіперплощину для розділення об'єктів різних класів у високорозмірному просторі; дерева рішень (Decision Trees). Використовують структуру дерева для послідовного прийняття рішень та класифікації; k-найближчих сусідів (K-Nearest Neighbors). Класифікує об'єкти на основі класів їхніх найближчих сусідів у вхідних даних; логістична регресія (Logistic Regression). Використовує логістичну функцію для моделювання ймовірностей класів; нейронні мережі (Neural Networks). Моделі, які імітують структуру та функції людського мозку для класифікації; градієнтний бустінг (Gradient Boosting). Комбінує декілька слабких моделей для покращення точності. Це лише кілька прикладів, і вибір методу залежить від конкретного завдання, властивостей даних та вимог проекту.

В даному розділі ми розглядатимемо два популярних методи класифікації, а саме: наївний баєсівський класифікатор (NB) та метод опорних векторів (SVM). Ці методи виявляються ефективними у реалізації інтелектуальних систем. Розглянемо за допомогою таблиці ключові аспекти, що роблять ці методи важливими та ефективними.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика наївного баєсівського класифікатора (NB) та методу опорних векторів (SVM)

Аспект	Наївний баєсівський класифікатор (NB)	Метод опорних векторів (SVM)
Простота та швидкість навчання	Висока простота та швидкість, особливо при великих обсягах даних.	Ефективний, але трошки більше обчислювальної витрати.
Робота з великим обсягом даних	Легко масштабується для великих обсягів даних.	Добре працює з об'єктами в великорозмірному просторі ознак.
Ефективність в текстовому аналізі	Застосовується з успіхом у задачах аналізу тексту.	Може бути використаний в аналізі тексту, але вимагає налаштувань.
Розділення класів в неоднорідних даних	Менш ефективний в умовах неоднорідних даних.	Добре працює з неоднорідними та складними даними.
Обмежений обсяг даних	Ефективний навіть при обмеженому обсязі даних.	Надає гарні результати в умовах обмежених ресурсів.

Таблиця 1 відображає порівняльний аналіз наївного баєсівського класифікатора та методу опорних векторів за різними аспектами. Обидва методи мають свої сильні сторони та використовуються в різноманітних сценаріях залежно від вимог та особливостей задачі, тож розглянемо кожен з них більш детально.

Для класифікації волатильності валют за допомогою наївного баєсівського класифікатора та методу опорних векторів (SVM), можна використовувати різні ознаки, такі як процентний скачок, стандартне відхилення і інші метрики, які вказують на ступінь коливань цін.

Мета роботи. Метою дослідження є розробка та реалізація інтелектуальної системи, яка здатна ефективно класифікувати рівень волатильності на валютних ринках. Робота спрямована на вивчення різних методів машинного навчання та класифікаторів на основі різних мір подібності, з метою визначення оптимального підходу для класифікації волатильності та взаємодії з користувачами через Telegram-бот на надання оперативного доступу до порівняння результатів різних методів. Очікується, що розроблена інтелектуальна система стане інструментом для управління ризиками та прийняття рішень на валютних ринках, допомагаючи трейдерам та інвесторам ефективно адаптуватися до змін у рівнях волатильності.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. У якості базових моделей обрано моделі: наївний баєсівський класифікатор (NB) та метод опорних векторів (SVM). Два підходи, зокрема наївний баєсівський класифікатор та SVM, використовуються для класифікації волатильності на низьку та високу. Вони навчаються на тренувальному наборі (1044 записи), який містить дані з відомими класами, і потім випробовуються на тестовому наборі (261 запис) для оцінки ефективності та здатності узагальнення на нових даних.

На завершальному етапі проведемо оцінку ефективності обох моделей за допомогою різних метрик, таких як коефіцієнт успішності, точність, повнота, та інші. Це допоможе визначити, яка модель краще справляється з класифікацією волатильності на тестовому наборі даних.

Наївний баєсівський класифікатор (NB). Ініціалізація та навчання моделі наївного баєсівського класифікатора є важливим етапом у процесі машинного навчання. Використовуючи бібліотеку `scikit-learn` в Python, цей процес може бути легко виконаний за кілька кроків. Спочатку імпортуємо необхідну бібліотеку для наївного баєсівського класифікатора: `from sklearn.naive_bayes import GaussianNB`. Створюємо екземпляр класу `GaussianNB()`, який представляє наївний баєсівський класифікатор з гаусовим розподілом: `nb_classifier = GaussianNB()`. Навчаємо модель на тренувальних даних за допомогою методу `fit`, передаючи тренувальні ознаки та відповідні цільові значення: `nb_classifier.fit(X_train, y_train)`, де `X_train` – це тренувальні ознаки, а `y_train` – це відповідні цільові значення.

Щоб з'ясувати, чи добре навчена модель, необхідно звірити її з даними навчання. Результат отримуємо як таблиці. Результат показує, що помилка (або рівень помилкової класифікації)

становить 65 із 1044, або 6%. Таким чином, точність класифікації на тренувальних даних – 94%. Для відображення точності класифікації тестового набору ми сформуємо і виведемо матрицю невідповідностей (confusion matrix). Це дасть нам детальну інформацію про те, як модель класифікує дані і які помилки вона може допускати. Результати матриці невідповідностей надають можливість обчислити такі метрики, як коефіцієнт успішності (accuracy), повноту (recall), специфічність (specificity), та інші, що допомагає отримати повну картину ефективності класифікатора.

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика звітів з класифікації

Звіт з класифікації для навчального набору					Звіт з класифікації для тестового набору				
Звіт з класифікації для навчального набору даних:					Звіт з класифікації для тестового набору даних:				
	precision	recall	f1-score	support		precision	recall	f1-score	support
0	0.90	0.99	0.94	538	0	0.93	0.99	0.96	134
1	0.99	0.88	0.93	506	1	0.99	0.92	0.96	127
accuracy			0.94	1044	accuracy			0.96	261
macro avg	0.94	0.94	0.94	1044	macro avg	0.96	0.96	0.96	261
weighted avg	0.94	0.94	0.94	1044	weighted avg	0.96	0.96	0.96	261
<p>Звіт з класифікації для навчального набору даних відображає високий рівень коефіцієнту успішності моделі, який складає 94%.</p> <p>Для класу 0 (низька волатильність) відзначається висока точність на рівні 90%, що свідчить про ефективність класифікації валютних пар з низькою волатильністю. Для класу 1 (висока волатильність) досягнута вражаюча точність на рівні 99%, що є дуже високим показником. Проте показник повноти (recall) для класу 1 складає лише 88%, що може вказувати на те, що деякі випадки високої волатильності можуть бути пропущені моделлю.</p> <p>Середній гармонічний показник F1-score для обох класів також є високими, становлячи 0,94 для класу 0 і 0,93 для класу 1, що підтверджує ефективність моделі в обох випадках.</p>					<p>Звіт з класифікації для тестового набору даних показує, що коефіцієнт успішності складає 96%.</p> <p>Для класу 0 (низька волатильність) точність становить 93%, а для класу 1 (висока волатильність) – 99%. Показник повноти (recall) для класу 0 складає 99%, а для класу 1 – 92%.</p> <p>Середній гармонічний показник F1-score для класу 0 дорівнює 0,96, а для класу 1 – 0,96. Об'єднана макро-середня точність, повнота і F1-score становить 96%.</p>				

Матриця невідповідностей використовується для визначення точності та частоти помилок. Результат показує, що помилка становить 11 з 261, або 4%. Отже, точність класифікації на тестових даних становить приблизно 96%.

Виведення звіту з класифікації для навчального та тестового набору даних спрямовані на оцінку продуктивності моделі класифікації та надає комплексну інформацію про ефективність моделі. Основні метрики включають precision, recall та f1-score для кожного класу (0 і 1), а також коефіцієнт успішності (accuracy) та середні значення цих метрик.

На основі наведених звітів з класифікації для навчального та тестового наборів даних можна зробити висновок, що модель демонструє досить високу ефективність у класифікації волатильності.

Коефіцієнт успішності (accuracy) для навчального набору даних складає 94%, що означає, що модель правильно класифікує близько 94% випадків. Для класу 0 точність становить 90%, а для класу 1 – 99%, що свідчить про те, що модель досить добре впоралася з обома класами, хоча точність для класу 1 є незначно вищою. Показники повноти для обох класів також високі (99% для класу 0

та 88% для класу 1), а значення середнього гармонічного показника F1-score підтверджують добру збалансованість моделі.

Для тестового набору даних коефіцієнт успішності становить 96%, що також є досить високим показником. Точність для обох класів є високою, а значення повноти та F1-score також підтверджують добру працездатність моделі на тестових даних.

Отже, можна зробити висновок, що модель є ефективною та добре узгодженою для класифікації волатильності на основі навчального та тестового наборів даних.

Метод опорних векторів. Для навчання моделі методом опорних векторів (SVM) використовується клас SVC (Support Vector Classifier). Цей клас представляє собою реалізацію методу опорних векторів у бібліотеці scikit-learn в Python.

Метод опорних векторів (SVM) - це потужний і ефективний алгоритм машинного навчання, який широко використовується для класифікації та регресії.

Важливою складовою SVM є вибір ядра, яке визначає функцію відстані між точками в просторі ознак. Це важливий параметр, оскільки він визначає, як модель розділить класи.

У бібліотеці scikit-learn можна вибрати різні типи ядер, такі як лінійне, поліноміальне, радіальне базисне функції (RBF) тощо. Параметр ядра можна встановити за допомогою аргумента kernel при ініціалізації об'єкта SVC. Проте у бібліотеці scikit-learn за замовчуванням ядро для методу опорних векторів (SVM) - це радіальне базисне ядро (RBF), також відоме як гаусове ядро. Тому, якщо ви не вказали ядро явно, SVM буде використовувати RBF-ядро для класифікації даних.

Дії для навчання та використання моделі методу опорних векторів (SVM) подібні до дій для наївного баєсівського класифікатора.

Перед тим, як робити прогнози, модель SVM повинна бути навчена на навчальному наборі даних, щоб вона могла зрозуміти взаємозв'язки між ознаками та їх класифікаційні мітки. Цей процес включає в себе побудову оптимальної границі розділення між класами.

Щоб додати порівняння результатів класифікації з даними навчання, використовуємо той самий звіт про класифікацію для навчального набору даних.

Для того щоб з'ясувати, чи добре навчена модель, необхідно звірити її з даними навчання. Результат отримуємо як таблиці. Результат показує, що помилка (або рівень помилкової класифікації) становить 470 із 1044, або 45%. Таким чином, точність класифікації на тренувальних даних – 55%. Для відображення точності класифікації тестового набору ми сформуємо і виведемо матрицю невідповідностей (confusion matrix). Це дасть нам детальну інформацію про те, як модель класифікує дані і які помилки вона може допускати.

Матриця невідповідностей представлена у наступному вигляді. Розглянемо кожне значення більш детально: 120 (Actual Class 0, Predicted Class 0). Це кількість випадків, коли модель правильно визначила, що елементи належать до класу 0 (низька волатильність); 14 (Actual Class 0, Predicted Class 1). Це кількість випадків, коли модель помилилася, визначивши, що елементи належать до класу 1 (висока волатильність), тоді як насправді вони належать до класу 0; 96 (Actual Class 1, Predicted Class 0). Це кількість випадків, коли модель помилилася, визначивши, що елементи належать до класу 0, тоді як насправді вони належать до класу 1; 31 (Actual Class 1, Predicted Class 1). Це кількість випадків, коли модель правильно визначила, що елементи належать до класу 1.

Ці значення допомагають нам зрозуміти, як модель класифікує дані та де вона може робити помилки. Наприклад, можемо побачити, що модель схильна до помилок у визначенні класу 0 (низька волатильність), плутаючи його з класом 1 (висока волатильність), але досить точно визначає клас 1. Результат показує, що помилка становить 110 з 261, або 42 %. Отже, точність класифікації на тестових даних становить приблизно 58%.

Виведення звіту з класифікації для навчального та тестового набору даних спрямовані на оцінку продуктивності моделі класифікації та надає комплексну інформацію про ефективність моделі. Основні метрики включають precision, recall та f1-score для кожного класу (0 і 1), а також коефіцієнт успішності (accuracy) та середні значення цих метрик.

Accuracy (точність) – це метрика, що оцінює загальну ефективність моделі без розгляду на розподіл класів. Вона визначає відсоток правильно класифікованих екземплярів серед усіх екземплярів у тестовому наборі даних.

Чим вищі значення цих метрик, тим краще модель класифікує валютні пари. Нижче наведена порівняльна таблиця з результатами моделювання і звіти з класифікації.

Таблиця 3 – Порівняльна характеристика звітів з класифікації

Звіт з класифікації для навчального набору даних показує, що коефіцієнт точності моделі складає 55%, що вказує на помірний рівень правильних прогнозів.					Звіт з класифікації для тестового набору даних показує, що коефіцієнт точності моделі складає 58%, що вказує на помірний рівень правильних прогнозів.				
Звіт з класифікації для навчального набору даних:					Звіт з класифікації для тестового набору даних:				
	precision	recall	f1-score	support		precision	recall	f1-score	support
0	0.54	0.91	0.68	538	0	0.56	0.90	0.69	134
1	0.64	0.16	0.26	506	1	0.69	0.24	0.36	127
accuracy			0.55	1044	accuracy			0.58	261
macro avg	0.59	0.54	0.47	1044	macro avg	0.62	0.57	0.52	261
weighted avg	0.59	0.55	0.48	1044	weighted avg	0.62	0.58	0.53	261
<p>Для класу 0 (низька волатильність) відзначається нижча точність на рівні 54%, що свідчить про те, що модель має тенденцію помилитися у визначенні валютних пар з низькою волатильністю.</p> <p>Для класу 1 (висока волатильність) точність становить 64%, що є трохи вище, але цей клас має низький показник повноти (recall) на рівні 16%, що може вказувати на те, що багато випадків високої волатильності помічено як низька.</p> <p>Середній гармонічний показник F1-score для обох класів також є низькими, становлячи 0,68 для класу 0 і 0,26 для класу 1, що підкреслює помірну ефективність моделі.</p>					<p>Для класу 0 (низька волатильність) відзначається помірна точність на рівні 56%, що свідчить про ефективність класифікації валютних пар з низькою волатильністю.</p> <p>Для класу 1 (висока волатильність) точність становить 69%, що трохи вище, але цей клас має низький показник повноти (recall) на рівні 24%, що може вказувати на те, що багато випадків високої волатильності помічено як низька.</p> <p>Середній гармонічний показник F1-score для обох класів також є низькими, становлячи 0,69 для класу 0 і 0,36 для класу 1, що підкреслює помірну ефективність моделі.</p>				

Обидва звіти з класифікації показують, що модель має проблеми з коректною класифікацією високо-волатильних валютних пар. Хоча точність класифікації для низько-волатильних валютних пар є вищою, для високо-волатильних валютних пар вона значно нижча. Модель схильна до помилкового класифікування високо-волатильних валютних пар як низько-волатильних, що підтверджується низьким показником recall для класу 1. Загальна ефективність моделі оцінюється за допомогою середнього гармонічного показника F1-score, який для високо-волатильних валютних пар є низьким у обох випадках. Ці результати вказують на те, що модель потребує подальшої оптимізації або використання інших методів для покращення її здатності до класифікації високо-волатильних валютних пар.

Порівняльний аналіз роботи моделей класифікаторів

Для прийняття рішення про кращу модель для розв'язання задачі класифікації волатильності валют порівнюються результати моделювання, зібрані у таблицю 4. Для оцінки ефективності кожної моделі порівнюються метрики precision, recall, F1-score для обох класів волатильності (низька та висока) та accuracy.

Таблиця 4 – Порівняльна таблиця методів класифікації

Тип моделей	Коефіцієнт успішності (accuracy)	Точність (precision) клас 0	Точність (precision) клас 1	Повнота (recall) клас 0	Повнота (recall) клас 1	F-міра (F-measure) клас 0	F-міра (F-measure) клас 1
Наївний Баєсів	0.96	0.93	0.99	0.99	0.92	0.96	0.96
Метод опорних векторів	0.58	0.56	0.69	0.90	0.24	0.69	0.36

За результатами оцінки ефективності моделей для задачі класифікації волатильності валют, найкращою моделлю виявився наївний баєсівський класифікатор. Це відображено вищеуказаними метриками ефективності. Наївний Баєсів класифікатор демонструє кращі значення коефіцієнта успішності (accuracy), точності (precision), повноти (recall), а також F-міри (F-measure) порівняно з методом опорних векторів. Таким чином, на основі сукупності цих показників обрано наївний баєсівський класифікатор як кращу модель для розв'язання задачі класифікації волатильності валют.

Реалізація обгортки інтелектуальної системи – Телеграм-боту

Інтелектуальна система класифікації волатильності валют, реалізована у вигляді телеграм-бота, представляє собою комплексний інструмент для аналізу та класифікації волатильності на ринку валют. Цей бот був розроблений використовуючи набір методів та технологій, які описані раніше у даній статті.

Нарешті, після побудови та валідації моделі, інтелектуальна система була успішно впроваджена в середовище телеграм-боту з метою надання користувачам зручного та ефективного інструменту для відстеження та аналізу валютних ринків. Використання телеграм-боту дозволяє забезпечити простий та доступний інтерфейс для користувачів, які можуть отримувати актуальну інформацію та аналіз валютних курсів у режимі реального часу.

Основні переваги впровадження інтелектуальної системи в телеграм-бот включають:[7]

1) зручний доступ. Користувачі можуть отримувати інформацію про волатильність валют та їх класифікацію просто взаємодіючи з телеграм-ботом. Це робить процес отримання аналітичних даних більш зручним та ефективним;

2) регулярні оновлення. Система автоматично оновлює та надсилає інформацію про волатильність валютних пар, що дозволяє користувачам залишатися в курсі останніх подій на ринку;

3) інтерактивні функції. Телеграм-бот може взаємодіяти з користувачами, надаючи їм можливість отримати додаткову інформацію та взаємодіяти з функціоналом системи;

4) персоналізований досвід. Користувачі можуть налаштовувати отримання інформації відповідно до своїх індивідуальних потреб та вибирати конкретні валютні пари для відстеження.

Це робить високотехнологічну систему класифікації волатильності валют більш доступною та корисною для широкого кола користувачів через інтерфейс телеграм-боту.

Реєстрація телеграм-бота є основою у процесі розробки обгортки для інтелектуальної системи класифікації волатильності валют. Цей процес полягає у створенні та налаштуванні бота за допомогою спеціальних засобів, наданих платформою Telegram [7].

Перший крок - це створення нового бота в Telegram через спеціального бота-конструктора @BotFather. BotFather - це офіційний бот Telegram для створення та налаштування інших ботів. Користувач відправляє команду /newbot та слідує інструкціям для створення нового бота, вибору його імені та отримання токена доступу [7].

Команда "/mybots" використовується для перегляду списку ботів, які ви створили або адмініструєте в Telegram. Ця команда допомагає користувачам швидко отримати доступ до управління своїми ботами та їх налаштуваннями. На рис. 3. відображено процес завантаження фото профілю для бота.

Структура проекту телеграм-боту – це організація файлів та коду, що визначає, як різні частини функціональності боту організовані та взаємодіють між собою. Нижче наведено загальну структуру проекту (рис. 3).

Структура проекту телеграм-боту (рис. 3) може включати в себе різні компоненти, які спільно забезпечують його функціональність та ефективність. Для початку роботи з чат-ботом необхідно надіслати команду "start". Ця команда ініціює взаємодію з ботом і дозволяє користувачеві отримати доступ до основного функціоналу.

Основний функціонал телеграм-бота включає наступні запити, які формують основу нашої системи.

- 1) Поняття волатильності. Цей запит дозволяє користувачам отримати роз'яснення щодо поняття волатильності на ринку валют. Це може включати пояснення, що таке волатильність, як вона вимірюється, і чому вона важлива для трейдерів та інвесторів;
- 2) Короткий FAQ по користуванню системою. Цей запит надає короткий перелік питань і відповідей щодо використання системи;

- 3) Класифікація волатильності валют. Цей запит дозволяє користувачам отримати класифікацію рівнів волатильності різних валютних пар (заздалегідь вибравши необхідні параметри роботи системи). Включає інформацію про стабільні та волатильні валютні пари, їх характеристики та фактори, що впливають на волатильність;
- 4) Відстеження графіків валютних пар в реальному часі. Цей запит дозволяє користувачам переглядати графіки валютних пар в реальному часі. Реалізація проводилась через інтеграцію з фінансовими API для отримання актуальних даних про ціни валют та їх зміни у часі.

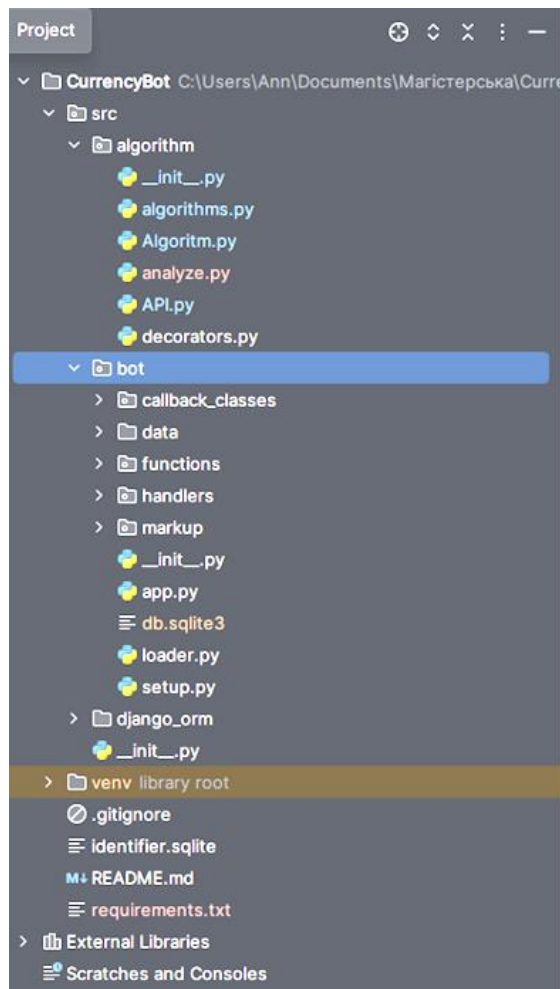
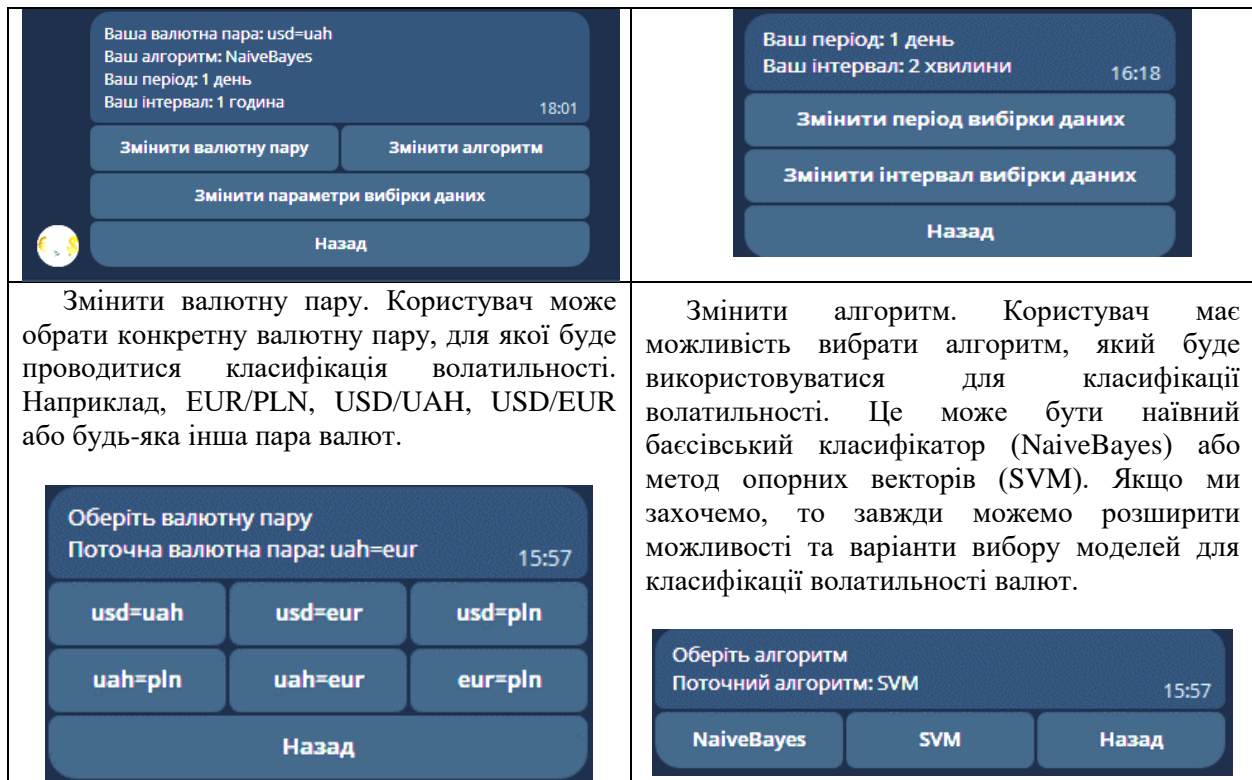


Рис 3. – Структура проекту телеграм-бота

Ці запити становлять основу функціоналу чат-бота і дозволяють користувачам отримувати широкий спектр інформації щодо волатильності валют та відстежувати її динаміку у реальному часі. Тож розглянемо їх більш детально.

Таблиця 5 – Функціонал чат-бота

<p>При виборі запиту "Класифікація волатильності валют" користувач отримує доступ до меню з наступними опціями:</p>	<p>Змінити параметри вибірки даних. Перед нами відкривається меню, де користувач може переглянути обрані параметри та змінити період або інтервал вибірки даних. Це меню надає користувачеві можливість налаштувати параметри класифікації волатильності валют відповідно до їхніх потреб та вимог.</p>
---	---



Відтепер користувач може зручно відстежувати динаміку волатильності валютних пар та отримувати об'єктивну оцінку ефективності використовуваної моделі класифікації. Цей інструментарій дозволяє здійснювати оперативний аналіз ринкових умов та приймати обгрунтовані рішення з максимальною ефективністю.

На рисунку 4 представлена таблиця з даними за період 24 січня з інтервалом оновлення кожні 2 хвилини, яку використовує наївний баєсовий класифікатор для прогнозування волатильності валютних пар. Таблиця містить різні стовпці, які дозволяють відслідковувати зміни волатильності на ринку. Кожен рядок таблиці представляє собою окремий часовий відрізок, під час якого здійснювалися виміри волатильності для певних валютних пар.

Ця таблиця дозволяє нам аналізувати та візуалізувати динаміку волатильності на ринку, а також оцінювати ефективність прогнозування, здійсненого наївним баєсовим класифікатором. Шляхом вивчення цих даних можна зробити висновки щодо того, наскільки ефективно модель прогнозує волатильність та якість її прогнозів.

The screenshot shows a table titled 'GaussianNB' with columns: Datetime, Open, Close, High, Low, Percent Change, and Volatility Class. Below the table is a summary row with Accuracy, Precision, Recall, Specificity, F1 Score, and Roc Auc Score.

Datetime	Open	Close	High	Low	Percent Change	Volatility Class
2024-01-24 15:12:00	37.877	37.857	37.877	37.877	-0.051	0
2024-01-24 15:14:00	37.930	37.877	37.930	37.810	-0.140	0
2024-01-24 15:16:00	37.849	37.810	37.849	37.757	-0.102	0
2024-01-24 15:18:00	37.749	37.757	37.811	37.749	0.019	1
2024-01-24 15:20:00	37.700	37.708	37.956	37.700	0.020	1
2024-01-24 15:22:00	37.892	37.956	37.892	37.867	0.170	1
2024-01-24 15:24:00	37.879	37.867	37.923	37.879	-0.030	0
2024-01-24 15:26:00	37.812	37.923	37.812	37.617	0.292	1
2024-01-24 15:28:00	37.597	37.617	37.597	37.597	0.054	1
2024-01-24 15:30:00	37.590	37.524	37.632	37.590	-0.177	0

Accuracy	Precision	Recall	Specificity	F1 Score	Roc Auc Score
0.887446	0.857143	0.688525	0.958824	0.763636	0.823674

Рис. 4 – Дані за період 24 січня з інтервалом оновлення 2 хвилини

Важливо відзначити, що графіки будуть відображати динаміку вартості саме тих валютних пар, які ви вибрали для класифікації. Це дозволяє вам не лише відстежувати зміни на ринку у

реальному часі, але й порівнювати їх з результатами класифікації, щоб з'ясувати, наскільки ефективно ваша модель прогнозує рухи цих валютних пар. Такий підхід надає вам цінну інформацію для прийняття рішень на основі аналізу ринку та результатів прогнозування.

За допомогою цієї системи користувачі можуть ефективно аналізувати волатильність валютних пар, відстежувати їхню динаміку та здійснювати точні прогнози майбутніх рухів цін. Крім того, система дозволяє користувачам швидко та зручно змінювати параметри аналізу, вибирати різні алгоритми класифікації та переглядати реальний часовий графік зміни курсу валют.

Висновки. Результатом дослідження є розробка та впровадження інтелектуальної системи, яка здатна ефективно класифікувати рівень волатильності на валютних ринках. Ключовим етапом в розробці системи було попереднє оброблення даних, яке включало в себе очищення, нормалізацію та інші методи підготовки даних для моделювання. Далі проводився аналіз та порівняльне дослідження різних моделей класифікаторів для вибору найефективнішої. Також було проаналізовано ефективність реалізованих методів класифікації з використанням метрик; реалізовано обгортку інтелектуальної системи у вигляді телеграм-боту для взаємодії з користувачами та обробки їхніх запитів; інтегровано розроблені моделі в телеграм-бот для автоматичного аналізу запитів користувачів та надання прогнозів; проведено тестування розробленого телеграм-боту для перевірки його працездатності та надійності.

Таким чином, представлена інтелектуальна система класифікації волатильності валют має потенціал стати невід'ємною частиною аналітики фінансових ринків, допомагаючи їй користувачам отримувати важливу інформацію та робити обдумані рішення в умовах постійної динаміки на ринках.

Список бібліографічного опису

1. Yahoo. Yahoo Finance API [Електронний ресурс] / Yahoo – Режим доступу до ресурсу: <https://finance.yahoo.com/quote/UAN%3DX/history>. (дата звернення: 16.12.2023).
2. Preparing Your Dataset for Machine Learning: 10 Basic Techniques That Make Your Data Better. [Електронний ресурс] / altexsoft – Режим доступу до ресурсу: <https://www.altexsoft.com/blog/preparing-your-dataset-for-machine-learning-8-basic-techniques-that-make-your-data-better/>. (дата звернення: 20.12.2022).
3. Метрики в задачах машинного навчання. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/328372>. (дата звернення: 20.12.2022).
4. Ставицький А.В. Класифікаційні метрики. [Електронний ресурс] / Ставицький А.В. – Режим доступу до ресурсу: http://www.andriystav.cc.ua/Downloads/MITER/Lecture_04.pdf. (дата звернення: 20.12.2022).
5. Classification in Machine Learning: What it is & Classification Models. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.simplilearn.com/tutorials/machine-learning-tutorial/classification-in-machine-learning>. (дата звернення: 30.11.2023).
6. Types of Classification in Machine Learning. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.knowledgehut.com/blog/data-science/types-of-classification-in-ml>. (дата звернення: 30.11.2023).
7. Telegram FAQ: веб-сайт. URL: <https://telegram.org/faq> (дата звернення: 05.12.2023).

References

1. Yahoo. Yahoo Finance API [Electronic resource] / Yahoo - Resource access mode: <https://finance.yahoo.com/quote/UAN%3DX/history>. (date of application: 16.12.2023).
2. Preparing Your Dataset for Machine Learning: 10 Basic Techniques That Make Your Data Better. [Electronic resource] / altexsoft - Resource access mode: <https://www.altexsoft.com/blog/preparing-your-dataset-for-machine-learning-8-basic-techniques-that-make-your-data-better/>. (application date: 12/20/2022).
3. Metrics in machine learning tasks. [Electronic resource] – Mode of access to the resource: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/328372>. (application date: 12/20/2022).
4. Stavitskiy A.V. Classification metrics. [Electronic resource] / Stavitskiy A.V. – Mode of access to the resource: http://www.andriystav.cc.ua/Downloads/MITER/Lecture_04.pdf. (application date: 12/20/2022).
5. Classification in Machine Learning: What it is & Classification Models. [Electronic resource] - Resource access mode: <https://www.simplilearn.com/tutorials/machine-learning-tutorial/classification-in-machine-learning>. (application date: 11/30/2023).
6. Types of Classification in Machine Learning. [Electronic resource] - Resource access mode: <https://www.knowledgehut.com/blog/data-science/types-of-classification-in-ml>. (application date: 11/30/2023).
7. Telegram FAQ: Website. URL: <https://telegram.org/faq> (access date: 12/05/2023).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-12>

УДК 004.738+004.43

Іваненко Олександр Андрійович, бакалавр,

<https://orcid.org/0009-0000-6310-020X>

Марченко Олександр Іванович, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-4537-3420>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікоського», м. Київ, Україна

СПОСІБ УНІФІКОВАНОГО ОПИСУ ХМАРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ РІЗНИХ ПРОВАЙДЕРІВ

Іваненко О.А., Марченко О.І. Спосіб уніфікованого опису хмарної інфраструктури різних провайдерів. У даній статті запропоновано новий спосіб, який дозволяє описувати хмарну інфраструктуру різних провайдерів в простішому вигляді. Цей спосіб базується на уніфікації деталей, які описуються по різному у різних провайдерів хмарних сервісів, до більшого рівня абстракції, який є спільним для всіх провайдерів. Отриманий уніфікований опис на наступному кроці застосування способу компілюється в код у форматі Infrastructure as Code (IaC) потрібного хмарного провайдера. В результаті, запропонований спосіб, з однієї сторони, універсалізує опис хмарної інфраструктури, а, з іншої сторони, зберігає гнучкість налаштування більш комплексних систем, які потребують деталізації, характерної для кожного провайдера.

Ключові слова: хмарна інфраструктура, хмарний провайдер, Infrastructure as Code (IaC), хмарні ресурси, автоматизація опису.

Ivanenko O., Marchenko O. A unified technique of describing the cloud infrastructure of different providers. This article proposes a new technique to describe the cloud infrastructure of different providers in a simpler way. This technique is based on the unification of details that are described differently by different cloud service providers to a higher level of abstraction that is common to all providers. The resulting unified description is compiled into code in the Infrastructure as Code (IaC) format of the required cloud provider at the next step of the technique application. As a result, the proposed technique, on the one hand, universalizes the description of cloud infrastructure, and, on the other hand, retains the flexibility to configure more complex systems that require details specific to each provider.

Keywords: cloud infrastructure, cloud provider, Infrastructure as Code (IaC), cloud resources, description automation.

Постановка проблеми. Хмарні ресурси стали важливою частиною сучасної технологічної екосистеми, що дає розробникам і компаніям безмежні можливості для швидкого та гнучкого створення інфраструктури. Хмарні провайдери, такі як Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Cloud Platform та інші, від початку свого виникнення зробили доступними потужні обчислювальні ресурси, сервіси зберігання даних, мережеві послуги та багато інших сервісів, які дозволяють покращити технологічні елементи обробки даних. З іншого боку, з ростом кількості ресурсів, які можуть бути використані в хмарних середовищах, виникла потреба в більш керованих і ефективних засобах управління цими ресурсами. Використання засобів опису Infrastructure as Code (IaC) допомагає вирішити цю проблему. Способи опису IaC набувають все більшої популярності разом із розвитком хмарних технологій [1], оскільки у визначенні кодової інфраструктури використовуються концепції програмування, які дозволяють зберігати опис інфраструктури у вигляді коду. Це уможлиблює використання контролю версій для опису, спрощує управління кодом та робить інфраструктуру кросплатформеною. Але різні провайдери хмарних ресурсів, як правило, мають свої власні способи та засоби типу IaC, що призводить до суттєвого збільшення необхідних часових та людських ресурсів при розробці комплексних хмарних рішень, в яких використовуються послуги різних провайдерів одночасно. Тому розробка універсальних способів опису хмарної інфраструктури, які дозволяли б розроблювати такі комплексні рішення з меншими витратами є актуальною.

Термінологія.

IaC — Infrastructure as Code — підхід до опису та автоматизації управління інфраструктурними ресурсами [2].

EC2 — Elastic Compute Cloud — ресурс, що надає користувачам віртуальні машини [3].

Security Group - віртуальний брандмауер, який контролює вхідний та вихідний трафік [4].

CIDR — Classless Inter-Domain Routing — використовується для представлення діапазонів IP-адрес в компактній формі [5].

SSE — Server-Side Encryption — шифрування даних у місці призначення програмою або службою, яка їх отримує [6].

CNCF — Cloud Native Computing Foundation [7].

Load Balancer — мережевий сервіс, який розподіляє вхідний трафік між різними серверами чи екземплярами [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Компанія HashiCorp створила інструменти, які отримали широке визнання для опису та керування IaC на різних хмарних та віртуальних платформах, таких як AWS, Google Cloud та Azure. У роботі [9] представлено багато кодових прикладів, що ілюструють використання простої, декларативної мови програмування Terraform для розгортання та управління інфраструктурою з мінімальним набором команд. У роботі [10] розглядаються платформи та інструменти, які використовуються для створення та налаштування компонентів інфраструктури, а також надаються шаблони використання цих інструментів. У роботі [11] розглядається високорівневий спосіб опису ресурсів хмарної інфраструктури, але цей спосіб обмежується лише Terraform шаблонами.

Незважаючи на проведені дослідження, поки що відсутній єдиний інструмент, який був би уніфікованим для опису хмарної інфраструктури на різних платформах та залишався б високорівневим та простим у базовому налаштуванні. Такий інструмент дозволив би створювати описи ресурсів на більш високому рівні абстракції та спрощував б процес для менш досвідчених користувачів.

Спосіб опису хмарної інфраструктури CloudFormation. Зростання популярності хмарних сервісів вимагало нових методів автоматизації та управління ресурсами. У цьому контексті виникли засоби інфраструктурного програмування (IaC), що спрощують процеси розгортання та конфігурації хмарної інфраструктури.

Одним із ключових інструментів IaC є AWS CloudFormation [12], який надає можливість визначення інфраструктури у вигляді коду. За допомогою CloudFormation, розробники можуть описати всі компоненти своєї хмарної інфраструктури, включаючи віртуальні машини, бази даних, мережі та інші ресурси, у файлі JSON або YAML. Це дозволяє забезпечити повну та репродуктивну інфраструктуру, а також легко впроваджувати зміни та відновлювати систему у випадку неполадок. Недоліком цього способу є те, що він інтегрується лише з хмарним провайдером AWS. Якщо є потреба у використанні іншого хмарного провайдера, потрібно використовувати інші інструменти, що ускладнює розробку та робить проєкт менш гнучким.

Способи опису хмарної інфраструктури Terraform та Crossplane. Важливим інструментом опису хмарної інфраструктури є Terraform [13], розроблений компанією HashiCorp. Terraform є мультихмарним інструментом IaC, що дозволяє визначати інфраструктуру в коді та працювати з різними хмарними провайдерами, такими як AWS, Azure, Google Cloud та інші. Завдяки своїй гнучкості, Terraform дозволяє розробникам створювати конфігурації, які можна легко адаптувати для різних середовищ та вимог.

Додатковим прикладом еволюції у сфері автоматизації хмарної інфраструктури може слугувати Crossplane [14], розроблений у межах CNCF. Цей інструмент пропонує єдиний інтерфейс для керування ресурсами різних провайдерів, створюючи абстракцію від конкретних деталей кожного. Crossplane дозволяє користувачам спростити процес створення та керування хмарними ресурсами без необхідності глибокого вивчення конкретного інструментарію кожного провайдера. Не дивлячись на інноваційність та переваги, Crossplane не вирішує всіх проблем автоматизації хмарної інфраструктури. Деякі користувачі вказують на складність конфігурації та недостатню документацію, особливо для менш популярних хмарних провайдерів чи специфічних сценаріїв використання.

Загальні недоліки існуючих способів. Незважаючи на значний внесок інструментів IaC у спрощення та автоматизацію управління інфраструктурою, існують загальні недоліки. Висока деталізація ресурсів може призвести до складних конфігурацій, ускладнюючи розуміння та підтримку коду. Крім того, прив'язка до конкретного хмарного провайдера або інструменту може обмежити переносимість між різними середовищами. На сучасному етапі розвитку кодової інфраструктури все ще не існує повністю уніфікованого та високорівневого інструменту, який відповідав би всім потребам та вимогам користувачів. Існуючі способи та засоби, хоч і надають

значний рівень автоматизації, все ще виявляються специфічними для кожного хмарного провайдера та вимагають глибоких знань щодо їхньої роботи.

Відсутність єдиного стандарту опису ресурсів для різних провайдерів та невизначеність у визначенні високорівневих концепцій ускладнюють розробку універсального інструменту [15]. Зробити кодову інфраструктуру універсальною та зрозумілою для розробників буде викликом, який вимагає подальших досліджень та стандартизації в галузі автоматизації хмарної інфраструктури.

Постановка завдання. Запропонувати спосіб опису хмарної інфраструктури, який мав би високий рівень абстракції та уніфікації опису і забезпечував би універсальність для використання на різних платформах та у середовищах різних хмарних провайдерів, а також дозволяв би компіляцію цього опису у деталізований код для відповідних провайдерів, спрощуючи процес розгортання і керування хмарною інфраструктурою та забезпечуючи можливість такого керування користувачами незалежно від їхнього досвіду у галузі хмарних технологій.

Порівняння деталей опису базової інфраструктури існуючими способами. Для з'ясування можливостей універсалізації опису хмарної інфраструктури та пропозиції нового уніфікованого способу опису розглянемо деталі опису базової інфраструктури способами Crossplane, CloudFormation та Terraform у порівняльній формі. Для такого порівняльного аналізу та виокремлення однакових елементів різних інструментів опису хмарної інфраструктури у якості прикладу було обрано створення віртуальної машини EC2 з відповідною Security Group та механізму розподілу навантаження Load Balancer. Кожен з зазначених способів потребує оголошення провайдера хмарних послуг, де буде відбуватися наступний опис ресурсів (рис. 1).

```
Crossplane
apiVersion: aws.crossplane.io/v1alpha3

Cloudformation
AWSTemplateFormatVersion: '2010-09-09'

Terraform
Textprovider "aws" {
  region = "us-east-1"
}
```

Рис. 1 – Оголошення провайдера хмарних послуг

Оголошення нової групи безпеки потребує явного вказання типу ресурсу. В нашому випадку синтаксис опису типу ресурсу – групи *AWS Security Group* – є різним у різних провайдерів. Також потрібно вказати назву ресурсу – *SecurityGroupName* (рис. 2).

```
Crossplane
kind: SecurityGroup
metadata:
  name: SecurityGroupName

Cloudformation
Resources:
  SecurityGroupName:
    Type: AWS::EC2::SecurityGroup

Terraform
resource "aws_security_group" "SecurityGroupName"
  name = "SecurityGroupName"
  description = "Security Group"
```

Рис. 2 – Оголошення типу та імені для групи безпеки

При оголошенні групи безпеки обов'язковим є блок базових правил доступу до групи. Ці налаштування є базовими для всіх способів опису. Правило з назвою *protocol* вказує на те, що воно стосується транспортного протоколу TCP. Правила з назвами *from port* та *to port* встановлюють проміжок діапазону для вхідного порту. В нашому випадку цими правилами обмежується трафік,

який проходить через порт 80. Всі ці налаштування є базовими та використовуються у такому форматі в багатьох проєктах. Основним динамічним правилом є *cidrIP*, що вказує діапазон IP-адрес, які мають доступ до вхідного трафіку групи безпеки. Security Group створюється саме для того, щоб дати дозвіл відповідним адресам до потрібного ресурсу, тому це правило буде часто змінюватись. У наведеному прикладі використовується 0.0.0.0/0 – дозвіл будь-яким IP-адресам в мережі інтернет (рис 3).

```
Crossplane
spec:
  forProvider:
    ingress:
      - fromPort: 80
        toPort: 80
        protocol: tcp
        cidrBlocks:
          - 0.0.0.0/0

Cloudformation
Properties:
  SecurityGroupIngress:
    - IpProtocol: tcp
      FromPort: 80
      ToPort: 80
      CidrIp: 0.0.0.0/0

Terraform
ingress {
  from_port = 80
  to_port   = 80
  protocol  = "tcp"
  cidr_blocks = ["0.0.0.0/0"]
}
```

Рис. 3 – Оголошення правил доступу до групи безпеки

Розглянемо тепер створення віртуальної машини – екземпляру EC2. Для створення цього ресурсу також потрібно вказати тип ресурсу *AWS Instance* та ім'я *EC2InstanceName* при використанні кожного із способів опису (рис. 4).

```
Crossplane
kind: Instance
metadata:
  name: EC2InstanceName

Cloudformation
EC2InstanceName:
  Type: AWS::EC2::Instance

Terraform
resource "aws_instance" "EC2InstanceName"
```

Рис. 4 – Оголошення типу та імені для екземпляру EC2

Для створення екземпляру EC2 потрібно вказати такі характеристики як *imageId* та *instanceType*, де *imageId* – це ідентифікатор образу Amazon Machine Image (AMI), що визначає образ операційної системи, який буде використаний для створення екземпляра EC2. В даному прикладі *ami-34gh6h1o4782ga42n* є ідентифікатором конкретного AMI, який було обрано для екземпляра. *InstanceType* – це тип екземпляра EC2. В даному прикладі обрано найпростіший тип *t2.micro* (рис. 5).

```
Crossplane
forProvider:
  imageID: ami-34gh6h1o4782ga42n
  instanceType: t2.micro

Cloudformation
Properties:
  ImageId: ami-34gh6h1o4782ga42n
  InstanceType: t2.micro

Terraform
ami = "ami-34gh6h1o4782ga42n"
instance_type = "t2.micro"
```

Рис. 5 – Оголошення *imageId* та *instanceType* для екземпляру EC2

Наступним необхідним елементом для створення віртуальної машини є посилання на групу безпеки, яка буде контролювати вхідний трафік до створеного екземпляра. Кожен екземпляр пов'язується з однією чи кількома групами безпеки, які визначають правила фільтрації трафіку для цього екземпляра. У даному прикладі визначене посилання на створену вище групу безпеки *SecurityGroupName* (рис. 6).

```
Crossplane
securityGroupIDs:
  - SecurityGroupName

Cloudformation
SecurityGroupIds:
  - !Ref SecurityGroupName

Terraform
security_group = [aws_security_group.MySecurityGroup.id]
```

Рис. 6 – Оголошення посилання на групу безпеки

Ще одним ресурсом, який потрібно описати для даного прикладу хмарної інфраструктури, є механізм розподілу навантаження. Механізм розподілу навантаження, або LoadBalancer, використовується для рівномірного розподілу трафіку або робочих навантажень між різними серверами чи ресурсами в мережі. Як і в попередніх випадках, для створення цього ресурсу необхідно вказувати тип та ім'я (рис. 7).

```
Crossplane
kind: LoadBalancer
metadata:
  name: LoadBalancerName

Cloudformation
LoadBalancerName:
  Type: AWS::ElasticLoadBalancing::LoadBalancer

Terraform
resource "aws_elb" "LoadBalancerName"
```

Рис. 7 – Оголошення типу та імені для механізму розподілу навантаження

Для коректної роботи механізму розподілу навантаження потрібно описати доступні зони, в яких буде розгорнуто ресурс. У цьому прикладі для доступу були обрані зони *us-east-1a* та *us-east-1b* (рис. 8).

```

Crossplane
availabilityZones:
  - us-east-1a
  - us-east-1b

Cloudformation
AvailabilityZones:
  - us-east-1a
  - us-east-1b

Terraform
availability_zones = ["us-east-1a", "us-east-1b"]

```

Рис. 8 – Оголошення зон доступності для механізму розподілу навантаження

Блок *Listeners* визначає порти, на яких LoadBalancer слухатиме трафік, та протокол, по якому він буде перенаправляти його до екземплярів. В цьому прикладі, LoadBalancer слухатиме трафік на порту 80 і перенаправлятиме його по протоколу HTTP також на порт 80 екземплярів (рис. 9).

```

Crossplane
listeners:
  - loadBalancerPort: 80
    instancePort: 80
    protocol: HTTP

Cloudformation
Listeners:
  - LoadBalancerPort: 80
    InstancePort: 80
    Protocol: HTTP

Terraform
listener {
  instance_port      = 80
  instance_protocol  = "HTTP"
  lb_port            = 80
  lb_protocol        = "HTTP"
}

```

Рис. 9 – Оголошення портів та мережевого протоколу для механізму розподілу навантаження

Останнім полем опису механізму розподілу навантаження є блок *Instances*. Він визначає екземпляри EC2, які будуть обслуговувати трафік, отриманий від механізму розподілу навантаження. В даному прикладі використовується посилання на значення, що зазначене в ресурсі *EC2InstanceName*. Таким значенням може бути ім'я або ідентифікатор іншого ресурсу, наприклад, EC2 екземпляра (рис. 10).

```

Crossplane
instances:
  - EC2InstanceName

Cloudformation
Instances:
  - !Ref EC2InstanceName

Terraform
instances = [aws_instance.MyEC2Instance.id]

```

Рис. 10 – Оголошення посилання на екземпляр EC2

У всіх зазначених описах спостерігається висока деталізація та високі вимоги до кваліфікації розробників у контексті опису конфігурації інфраструктури. Але важливо відзначити, що частина налаштувань інфраструктурного коду є базовою, і ці налаштування можуть бути уніфіковані та приховані від розробника.

Запропонований спосіб опису хмарної інфраструктури. Авторами пропонується новий спосіб опису хмарної інфраструктури, який базується на уніфікації деталей, що описуються по різному у різних провайдерів хмарних сервісів, до більш високого рівня абстракції, та який має JSON-подібний синтаксис.

Для досягнення більшого рівня абстракції спрощуються або приховуються загальні блоки налаштування яких, зазвичай, повторюються у більшості проектів. Прикладами спрощених блоків можуть бути блоки *ingress* та *egress*, які вказують правила доступу до ресурсу, або блок *server_side_encryption_configuration*, який вказує SSE правила для хмарного сховища даних. При використанні запропонованого способу опису хмарної інфраструктури блоки *ingress* та *egress* спрощуються до визначення доступних IP-адрес (*cidrBlocks*), а всі інші елементи приховуються. Аналогічно блок SSE правил спрощується до вказання лише потрібного алгоритму шифрування.

Наприклад, на рис. 11 показаний повний опис шаблону мовою Terraform, який буде згенерований компілятором зі спрощеного опису, зробленого запропонованим способом опису (рис. 12).

```
ingress {
  from_port = 80
  to_port   = 80
  protocol  = "tcp"
  cidr_blocks = ["0.0.0.0/0"]
}

egress {
  from_port = 0
  to_port   = 0
  protocol  = "-1"
  cidr_blocks = ["0.0.0.0/0"]
}

server_side_encryption_configuration {
  rule {
    apply_server_side_encryption_by_default {
      sse_algorithm = "AES256"
    }
  }
}
```

Рис. 11 – Приклад опису блоків шаблону, які будуть згенеровані зі спрощеного опису запропонованим способом

```
ingress / egress
cidrBlocks: "0.0.0.0/0"

SSE config
sse.algorithm = "AES256"
```

Рис. 12 – Приклад спрощеного опису блоків шаблону запропонованим способом

Прикладом блоку опису, який може бути прихований, є блок *listener*, в якому вказуються основні порти та протокол доступу до ресурсу (рис. 13). Цей блок опису також буде присутнім у вихідному згенерованому шаблоні для можливості додавання додаткових налаштувань, але з

початкового опису за запропонованим способом він виключається, оскільки ці налаштування є базовими та розповсюдженими серед багатьох проєктів.

```
listener {  
  instance_port      = 80  
  instance_protocol  = "HTTP"  
  lb_port            = 80  
  lb_protocol        = "HTTP"  
}
```

Рис. 13 – Приклад блоку опису шаблону, який може бути прихований в початковому описі за запропонованим способом

Передбачається, що опис хмарної інфраструктури за запропонованим способом буде компілюватися у опис цієї інфраструктури мовами трьох розглянутих вище способів опису CloudFormation, Crossplane та Terraform для забезпечення гнучкості розробки та ефективної підтримки комплексної хмарної інфраструктури в різних проєктах. Тобто, в залежності від необхідності використовувати сервіси певного хмарного провайдера, компілятором буде генеруватися код опису інфраструктури способом саме цього провайдера, а початковий опис запропонованим способом буде залишатися сталим. Назва провайдера хмарних послуг, для якого компілятор буде генерувати код опису хмарної інфраструктури, зазначається на самому початку у вигляді, показаному на рис. 14.

```
provider: "aws"
```

Рис. 14 – Оголошення хмарного провайдера в описі запропонованим способом

Розглянемо опис ресурсів для того самого прикладу створення віртуальної машини EC2. Оголошення групи безпеки забезпечується вказанням тільки типу та імені ресурсу. Важливий елемент з визначення доступних IP-адрес також залишається, а всі інші деталі приховуються від користувача (рис. 15). Але всі ці деталі будуть присутні в згенерованому компілятором коді опису конкретного провайдера.

```
securityGroup SecurityGroupName {  
  cidrBlocks: "0.0.0.0/0"  
}
```

Рис. 15 – Оголошення групи безпеки в описі запропонованим способом

Оголошення екземпляру майже не зазнало змін, але запропонований JSON-подібний формат робить його більш простим і зручним. Як і раніше, вказано тип ресурсу, ім'я ресурсу, ідентифікатор віртуального образу та тип екземпляра. За допомогою символу «&» вказується посилання на будь-який інший ресурс. Наприклад, на рис.16 вказане посилання на групу безпеки.

```
instance EC2InstanceName {  
  id: "ami-34gh6h1o4782ga42n"  
  type: "t2.micro"  
  
  securityGroups: &SecurityGroupName  
}
```

Рис. 16 – Оголошення екземпляру EC2 в описі запропонованим способом

В оголошенні механізму розподілу навантаження було приховано базовий блок *listener*. Доступні зони вказуються за допомогою переліку декількох елементів, що записуються через кому. Посилання на екземпляр реалізовано за допомогою символу «&» (рис. 17).

```
loadBalancer LoadBalancerName {  
    zones: "us-east-1a", "us-east-1b"  
    instances: &EC2InstanceName  
}
```

Рис. 17 – Оголошення екземпляру EC2 в описі запропонованим способом

У результаті можна побачити, що при використанні запропонованого способу деталі опису деяких ресурсів приховуються, а опис інших елементів налаштування, що були розглянуті у прикладах, подається в більш читабельному та зручнішому форматі.

Висновки. Авторами запропоновано уніфікований спосіб опису хмарної інфраструктури, який робить процес опису більш абстрактним та простим. Для прикладу було показано опис створення групи безпеки, віртуальної машини та механізму розподілу навантаження способами AWS CloudFormation, Terraform та Crossplane. Було зазначено недоліки існуючих рішень та виділено схожі елементи, які можна уніфікувати. Особливість запропонованого способу полягає у тому, що для його використання не вимагається глибоких знань мережевих технологій, а процес конфігурації хмарної інфраструктури стає більш доступним для широкого кола користувачів.

Запропонований спосіб опису хмарної інфраструктури дозволяє створювати конфігурації для роботи з різними хмарними провайдерами, які використовують різні способи опису хмарної інфраструктури, в результаті чого конфігурування та управління інфраструктурою стають більш універсальними та простими. Важливо зазначити, що типи ресурсів, в залежності від провайдера, можуть відрізнитись, але запропонований спосіб надає можливість описувати інфраструктуру з генерацією детального опису різних типів ресурсів будь-яким з існуючих способів опису, що будуть реалізовані в компіляторі, на вхід якого подається уніфікований опис інфраструктури запропонованим способом. Результатом компіляції буде повноцінний скрипт, записаний відповідно до способу опису потрібного хмарного провайдера. Такий спосіб опису дозволяє командам розробників, що працюють над різними проектами, використовувати стандартизовані практики незалежно від обраного провайдера та інструментів, що використовуються в конкретному проєкті.

Важливим аспектом запропонованого способу є те, що він реалізований мовою, яка визначається формальною граматикою, що дозволяє легко розширювати можливості цього способу і реалізовувати компілятори з цієї мови у мови опису будь-яких провайдерів хмарних сервісів. Ця властивість запропонованого способу опису робить його перспективним для майбутнього використання, оскільки він може легко адаптуватися до змін в екосистемах хмарних сервісів, відображаючи нові тенденції у розробці інфраструктурного коду, які будуть з'являтися.

Список бібліографічного опису

1. Google Trends "Infrastructure as Code" . 2024. URL: <https://trends.google.com/trends/explore?date=2013-01-01%202023-01-01&q=Infrastructure%20as%20Code&hl=uk>
2. Infrastructure as Code . 2024. URL: <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/introduction-devops-aws/infrastructure-as-code.html>
3. Amazon EC2. 2024. URL: <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/ec2-networking-for-telecom/amazon-ec2.html>
4. Security groups and network ACLs. 2024. URL: <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/aws-best-practices-ddos-resiliency/security-groups-and-network-acls-bp5.html>
5. VPC CIDR blocks . – 2024. URL: <https://docs.aws.amazon.com/vpc/latest/userguide/vpc-cidr-blocks.html>
6. Protecting data with server-side encryption. 2024. URL: <https://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/userguide/serv-side-encryption.html>
7. Alysa Fallon Cloud Native Computing Foundation . 2024. URL: <https://www.techtarget.com/searchitoperations/definition/Cloud-Native-Computing-Foundation-CNCF>

8. Elastic Load Balancer . 2024. URL: <https://docs.aws.amazon.com/elasticloadbalancing/latest/userguide/what-is-load-balancing.html>
9. Yevgeniy Brikman, Terraform: Up and Running: Writing Infrastructure as Code – 2017 – С. 6-78. URL: <https://www.amazon.com/Terraform-Running-Writing-Infrastructure-Code/dp/1492046906>
10. Infrastructure as Code: Managing Servers in the Cloud 2016. С. 5-123. URL: <https://www.amazon.com/Infrastructure-Code-Managing-Servers-Cloud/dp/1491924357>
11. Хомутник Д. Ю., Марченко О.І. Високорівневий спосіб опису ресурсів хмарної інфраструктури. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2022. № 48. – с.117-123. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-48-18>
12. AWS CloudFormation URL: <https://aws.amazon.com/cloudformation/>
13. Terraform documentation URL: <https://www.terraform.io/docs>.
14. Crossplane Knowledge Base URL: <https://docs.crossplane.io/knowledge-base/>
15. Shein E. The most important cloud advances of the decade / Esther Shein // TechRepublic. 2019. URL: <https://www.techrepublic.com/article/the-most-important-cloud-advances-of-the-decade/>.

References

1. Google Trends, Infrastructure as Code, <https://trends.google.com/trends/explore?date=2013-01-01%202023-01-01&q=Infrastructure%20as%20Code&hl=uk>. Accessed 5 Jan. 2024
2. “Infrastructure as Code.” *Amazon*, Amazon Web Services, Inc., <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/introduction-devops-aws/infrastructure-as-code.html>. Accessed 5 Jan. 2024
3. “Amazon EC2.” *Amazon*, Amazon Web Services, Inc., <https://aws.amazon.com/ec2/>. Accessed 6 Jan. 2024
4. “Security groups and network ACLs.” *Amazon*, Amazon Web Services, Inc., <https://docs.aws.amazon.com/whitepapers/latest/aws-best-practices-ddos-resiliency/security-groups-and-network-acls-bp5.html>. Accessed 6 Jan. 2024
5. “VPC CIDR blocks.” *Amazon*, Amazon Web Services, Inc., <https://docs.aws.amazon.com/vpc/latest/userguide/vpc-cidr-blocks.html>. Accessed 6 Jan. 2024
6. “Protecting data with server-side encryption” *Amazon*, Amazon Web Services, Inc., <https://docs.aws.amazon.com/AmazonS3/latest/userguide/serv-side-encryption.html>. Accessed 6 Jan. 2024
7. Cloud Native Computing Foundation, Alyssa Fallon, <https://www.techtarget.com/searchitoperations/definition/Cloud-Native-Computing-Foundation-CNCF>. Accessed 7 Jan. 2024
8. “Elastic Load Balancer” *Amazon*, Amazon Web Services, Inc., <https://docs.aws.amazon.com/elasticloadbalancing/latest/userguide/what-is-load-balancing.html>. Accessed 7 Jan. 2024
9. Yevgeniy Brikman, Terraform: Up and Running: Writing Infrastructure as Code, 2017, p. 6-78., <https://www.amazon.com/Terraform-Running-Writing-Infrastructure-Code/dp/1492046906>
10. Infrastructure as Code: Managing Servers in the Cloud, 2016, p. 5-123., <https://www.amazon.com/Infrastructure-Code-Managing-Servers-Cloud/dp/1491924357>
11. Marchenko O.I., Khomutnyk D.Yu., High-level technique for description of cloud infrastructure resources, Computer-integrated technologies: education, science, production. 2022, № 48. – с.117-123.
12. “AWS CloudFormation” *Amazon*, Amazon Web Services, Inc., <https://aws.amazon.com/cloudformation/>. Accessed 8 Jan. 2024
13. “Terraform Documentation.” *Terraform*, HashiCorp, <https://www.terraform.io/docs/>. Accessed 9 Sep. 2022
14. Crossplane Knowledge Base, *Crossplane*. <https://docs.crossplane.io/knowledge-base/>. Accessed 9 Jan 2024
15. Shein, Esther. “The Most Important Cloud Advances of the Decade.” *TechRepublic*, <https://www.techrepublic.com/article/the-most-important-cloud-advances-of-the-decade/>. Accessed 7 Sep. 2022

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-13>

УДК 001.893

Козубцов Ігор Миколайович, д.пед.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-7309-4365>

Ліщина Валерій Олександрович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-2371-3850>

Сулім Вікторія Олегівна, асистент

<https://orcid.org/0009-0009-9532-7586>

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

МЕТОДИКА ВИПЕРЕДЖАЮЧОГО ВИКЛАДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «МЕТОДОЛОГІЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ» ЗДОБУВАЧАМ ДРУГОГО (МАГІСТЕРСЬКОГО) РІВНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ «КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ»

Козубцов І.М., Ліщина В.О., Сулім В.О. Методика випереджаючого викладання навчальної дисципліни «методологія наукових досліджень» здобувачам другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «комп'ютерні науки». Мета статті полягає у обґрунтуванні методики випереджаючого викладання дисципліни «Методологія наукових досліджень» здобувачам освітньої програми «Комп'ютерні науки» галузі знань 12 Інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання. Результатом дослідження стало обґрунтування методики випереджаючого викладання освітньої компоненти «Методологія наукових досліджень» на засадах рольової гри здобувачів вищої освіти у майбутнього викладача-лектора. За рахунок застосування оберненого перетворення здобувача вищої освіти у викладача досягнуто навчально-розвиваючу мету набуття студентами первинного навчального квазі-професійного досвіду із застосування методології наукових досліджень та практики викладацької діяльності. Науковою новизною є подальший розвиток теорії та практики методики викладання навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень» на кафедрі «Комп'ютерні науки» здобувачам другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерні науки» на основі ігрового (гейміфікованого) підходу.

Ключові слова: методика викладання; навчальна дисципліна; методологія наукових досліджень; здобувач; студент; комп'ютерні науки.

Kozubtsov I., Lishchina V., Sulim V. Methodology of advanced teaching of the academic discipline «methodology of scientific research» to applicants of the second (master's) level of higher education of the educational program «computer science». The purpose of the article is to substantiate the methodology of advanced teaching of the discipline "methodology of scientific research" to applicants of the educational program "Computer Science" of the field of knowledge 12 Information Technologies of the specialty 122 Computer Science of the second (master's) level of full-time and part-time higher education. The result of the study was the substantiation of the methodology of advanced teaching of the educational component "methodology of scientific research" based on the role-playing game of higher education applicants with a future teacher-lecturer. By applying the reverse transformation of a higher education applicant into a teacher, the educational and developmental goal of students acquiring primary educational quasi-professional experience in applying the methodology of scientific research and teaching practice has been achieved. The scientific novelty is the further development of the theory and practice of teaching the discipline "methodology of scientific research" at the Department of "computer science" to applicants of the second (master's) level of higher education of the educational program "computer science" based on the game (gamified) approach.

Keywords: teaching methods; academic discipline; methodology of scientific research; applicant; student; computer science.

Постановка завдання і зв'язок її з важливими науковими завданнями. За умов швидкого збільшення наукової та науково-технічної інформації, зміни принципів та технологій зростає потреба у систематизації наукових знань. Крім того, комп'ютеризація та інформатизація українського суспільства вимагає підготовлених висококваліфікованих фахівців магістерського рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерні науки» галузі знань 12 Інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки, які володітимуть спеціальними знаннями, вміннями та навичками з галузі інформаційних технологій, що сприятиме реалізації парадигми переведення до цифрової економіки держави [1]. Рішенням зазначеної актуальної проблеми має стати поглиблена теоретична та практична підготовка майбутніх висококваліфікованих фахівців в закладах вищої освіти (ЗВО), здатних до самостійної творчої роботи, впровадження у виробництво наукомістких технологій і пристосування до умов ринкових відносин. Одночасно це потребує знання методології наукових досліджень, методів організації і виконання науково-дослідної роботи (НДР), які допоможуть майбутнім фахівцям без надмірних ускладнень залучитися до професійної діяльності, втілювати наукові знання у практику, а також сприятиме розвитку раціонального і

творчого мислення.

В результаті війни перед системою вищої освіти з'явилися нові виклики:

1. Пошкодження та руйнування інфраструктури, приміщень ЗВО, втрата ними освітнього й дослідницького обладнання [2, с. 163];
2. В умовах війни через тривалі повітряні тривоги відбувається зриви освітнього процесу [3].
3. Потрібна методика навчання, що має гнучкий універсальний механізм забезпечення безперервності освітнього процесу в умовах війни, тривалих повітряних тривоги.

Враховуючи вище зазначені проблеми є потреба в зосередженні уваги на створенні безпечних умов для перебування на території ЗВО, але одночасно це активізувало викладачів до пошуку форм освітнього процесу для реалізації гнучкого універсального механізму забезпечення безперервності освітнього процесу в умовах війни, тривалих повітряних тривоги, а саме обґрунтування методики випереджаючого викладання навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень» здобувачам другого рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерні науки».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних публікацій свідчить про наявність у кожного ЗВО власної особливої робочої програми навчальної дисципліни та силабусів «Методологія наукових досліджень...». Це пояснюється автономією закладів вищої освіти та унікальність кожної освітньої програми. Тома детальний огляд цих силабусів та робочих програм в науковій статті опускаємо. Однак загальною прогалиною є відсутність методики викладання в умовах війни, повітряних тривоги або інших надзвичайних подій. Запропонована методика організації наукових досліджень в умовах запровадження комп'ютерно-орієнтованих засобів навчання [4] не вирішує означену проблему, незважаючи на накопичені ґрунтовні наукові напрацювання щодо вивчення проблеми методології наукових досліджень. В свою чергу, потребує впровадження набутий досвіду в систему підготовки здобувачів вищої освіти шляхом обґрунтування методики викладання навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень» [5]. Однак за умов випадкових переривів аудиторного навчання, наприклад, за рахунок повітряних тривоги, виникає проблема яким саме чином забезпечити неперервність подання навчальної інформації.

Рішення цього завдання покладається на викладача, що має здійснити вибір з множини можливих варіантів.

Наприклад, активне навчання має великі надії на покращення залучення студентів. Це не нова думка, її пропитували та заохочували ще у 1980-х роках. Завдяки численним перевагам активного навчання, його практикують багато викладачів у своїх групах. Викладачам наполегливо пропонується замислитися над своїми стилями викладання та працювати над удосконаленням педагогічних прийомів, щоб захопити та підтримувати інтерес студентів шляхом збільшення залучення студентів до освітнього процесу в ролі викладача. Незважаючи на те, що активне навчання використовувалося, як інструмент для залучення студентів, і зрештою підвищення рівня навчання, його рідко застосовували для прямого впливу на навчання відносно часу. У статті [6] досліджується застосування педагогіки активного навчання, щоб допомогти досягти максимального рівня навчання за обмежений період часу. Метод активного навчання, який використовується в цьому дослідженні, ґрунтується на класичній педагогіці, яка була розроблена на основі різних психологічних теорій навчання, мотивації та залучення. Після застосування цієї методики активного навчання, опитування студентів показало підвищення рівня навчання.

З точки зору нашого дослідження є раціонально підняти першоджерела з напрацювання випереджаючого навчання [7]. Ідея застосування випереджаючого навчання, як виявляється не є новою, а окремі педагоги вирішили осучаснити її найменувавши в «перевернутий клас». В реальності метод випереджаючого навчання забезпечує гнучкий універсальний механізм здобувачам глибоко вивчити навчальний матеріал, підготуватися до лекції у визначений позааудиторний час, і безумовно за територією ЗВО. Зазначений комплекс початкових заходів забезпечуватиме безперервність освітнього процесу в зазначених складних умовах. Для зазначених умов, попри активізації наукових пошуків щодо удосконалення методики викладання окремих навчальних дисциплін [3], ще відсутня методика викладання навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень».

Виділимо аспекти, що недостатньо вивчені. Аналіз досліджень засвідчив, що по при розробленості даної тематики відсутня методика випереджаючого викладання здобувачам другого

(магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерні науки» з дисципліни «Методологія наукових досліджень». Виходячи із зазначеного факту авторами обрано даний актуальний напрямок досліджень.

Мета статті. Обґрунтувати методику викладання дисципліни «Методологія наукових досліджень» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерні науки» як для денної так і заочної форм навчання.

Для досягнення мети в науковій статті визначено задачі дослідження:

1. Проаналізувати сучасний стан досліджень та публікацій.
2. Обґрунтувати методику випереджаючого викладання дисципліни «Методологія наукових досліджень» здобувачам другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерні науки» для денної та заочної форм навчання на засадах рольової гри здобувачів вищої освіти у майбутнього викладача-лектора.

Виклад основного матеріалу. Наукова та науково-технічна діяльність є невід'ємною складовою освітнього процесу ЗВО та націлена на інтеграцію наукової та навчальної діяльності.

Закон України «Про вищу освіту» визначає головні завдання наукової діяльності у вищих навчальних закладах, серед яких:

- єдність змісту освіти та програм наукової діяльності;
- безпосередня участь суб'єктів освітнього процесу в НДР ЗВО;
- організація наукових, науково-практичних, науково-методичних семінарів, конференцій, олімпіад, конкурсів, курсових, дипломних та інших робіт учасників освітнього процесу.

Наукова та науково-технічна діяльність у ЗВО організовується на підставі законів України «Про вищу освіту», «Про наукову і науково-технічну діяльність», статуту ЗВО. Законодавчими актами визначено активне залучення здобувачів вищої освіти до НДР, яка виконується на кафедрах. Таким чином, одночасно забезпечується одержання здобувачами вищої освіти нових знань, розвиток здібностей до творчого мислення, наукового аналізу явищ, процесів, що є принципово важливим завданням кафедри. У зв'язку із цим, до навчальних планів Луцького національного технічного університету було внесено навчальну дисципліну «Методологія наукових досліджень» [8].

Метою викладання освітньої компоненти «Методологія наукових досліджень» [9] є надання здобувачам вищої освіти необхідного обсягу знань у галузі наукових досліджень, методології та методики наукових досліджень; вимог, що висуваються перед дослідником з боку науки та наукового співтовариства; ознайомлення з формами звітів, методикою підготовки повідомлень, доповідей, наукових статей; розвиток та закріплення необхідних навичок з технології та організації наукової діяльності; підготовка їх до самостійного виконання наукової роботи.

Завдання вивчення дисципліни [9] полягає у формуванні в здобувачів базових теоретичних знань та оволодінні ними сучасними методологічними концепціями наукового пізнання, розуміння їх сильних та слабких моментів для подальшого використання у власних наукових розробках; оволодіння основами методики наукових досліджень та вмінням їх застосування в науковій практиці; формуванні цілісного бачення науково-дослідницького процесу, усвідомленні основних положень організації наукових досліджень, вдосконаленні вмінь здійснення інформаційного пошуку, у доборі й опрацюванні наукової інформації, у виборі об'єкту та суб'єкту дослідження, у формулюванні мети та завдань дослідження та розробки висновків.

В Луцькому національному технічному університеті курс «Методологія наукових досліджень» розроблено у відповідності до сучасних потреб з підготовки денної та заочної форм навчання здобувачів другого (магістерського) рівня освітньо-професійної програми «Комп'ютерні науки» з врахуванням потреби вирішення проблеми забезпечення неперервності освітнього процесу в умовах війни [9]. Опис навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень» подано на рис. 1.

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, СВО	Характеристика навчальної дисципліни	
		Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість кредитів – 4	галузь знань – 12 «Інформаційні технології»	Статус дисципліни нормативна Мова навчання українська	
Кількість залікових модулів – 4	Спеціальність – 122 «Комп'ютерні науки»	Рік підготовки: 4-й Семестр: 8-й	
Кількість змістових модулів – 2	Ступінь вищої освіти – бакалавр	Лекції: 15 год. Семінарські заняття: 30 год.	Лекції: 4 год. Семінарські заняття: 6 год.
Загальна кількість годин – 150		Самостійна робота: 105 год.	Самостійна робота: 140 год.
Тижневих годин – 10, з них аудиторних – 3		Вид підсумкового контролю – екзамен	

Рис. 1 – Опис навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень»

Найменування та опис компетентностей, формування котрих забезпечує вивчення дисципліни. Інтегральна компетентність полягає у здатності розв'язувати задачі дослідницького та/або інноваційного характеру у сфері комп'ютерних наук.

Загальні компетентності:

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;

ЗК02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;

ЗК04. Здатність спілкуватися іноземною мовою;

ЗК06. Здатність бути критичним і самокритичним;

ЗК07. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

Фахові компетентності спеціальності: СК 14. Здатність до оригінального мислення та проведення наукових досліджень, критичне осмислення проблем у сфері комп'ютерних наук та на межі галузей знань.

Програмні результати навчання. Після завершення вивчення дисципліни студент повинен:

РН2. Мати спеціалізовані уміння/навички розв'язання проблем комп'ютерних наук, необхідні для проведення досліджень та/або провадження інноваційної діяльності з метою розвитку нових знань та процедур;

РН20. Оцінювати якість розвитку процесів (запропонованих альтернатив розвитку процесів) за результатами бізнес аналізу в системі оптимального керування та прийняття рішень.

Зміст і особливості методики випереджаючого викладання. Методика випереджаючого викладання навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень» здобувачам другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерні науки», ґрунтується на розумінні методології, як вченні про організацію діяльності. Провідними новаторами цього вчення є А. Новіков, Д. Новіков, Л. Мараховський, Б. Сусь, С. Забара, І. Козубцов, І. Гевко, А. Степанюк, Ю. Хлапонін та ін. У відповідності до вчення та апробованої структури методології організації наукових досліджень [10], методологія організації наукових досліджень складається з фаз, стадій, етапів дослідження, що представлені на рис. 2. З урахуванням зазначеного авторами запропоновано відповідну структуру та змісту навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень», яка подана в табл. 1.

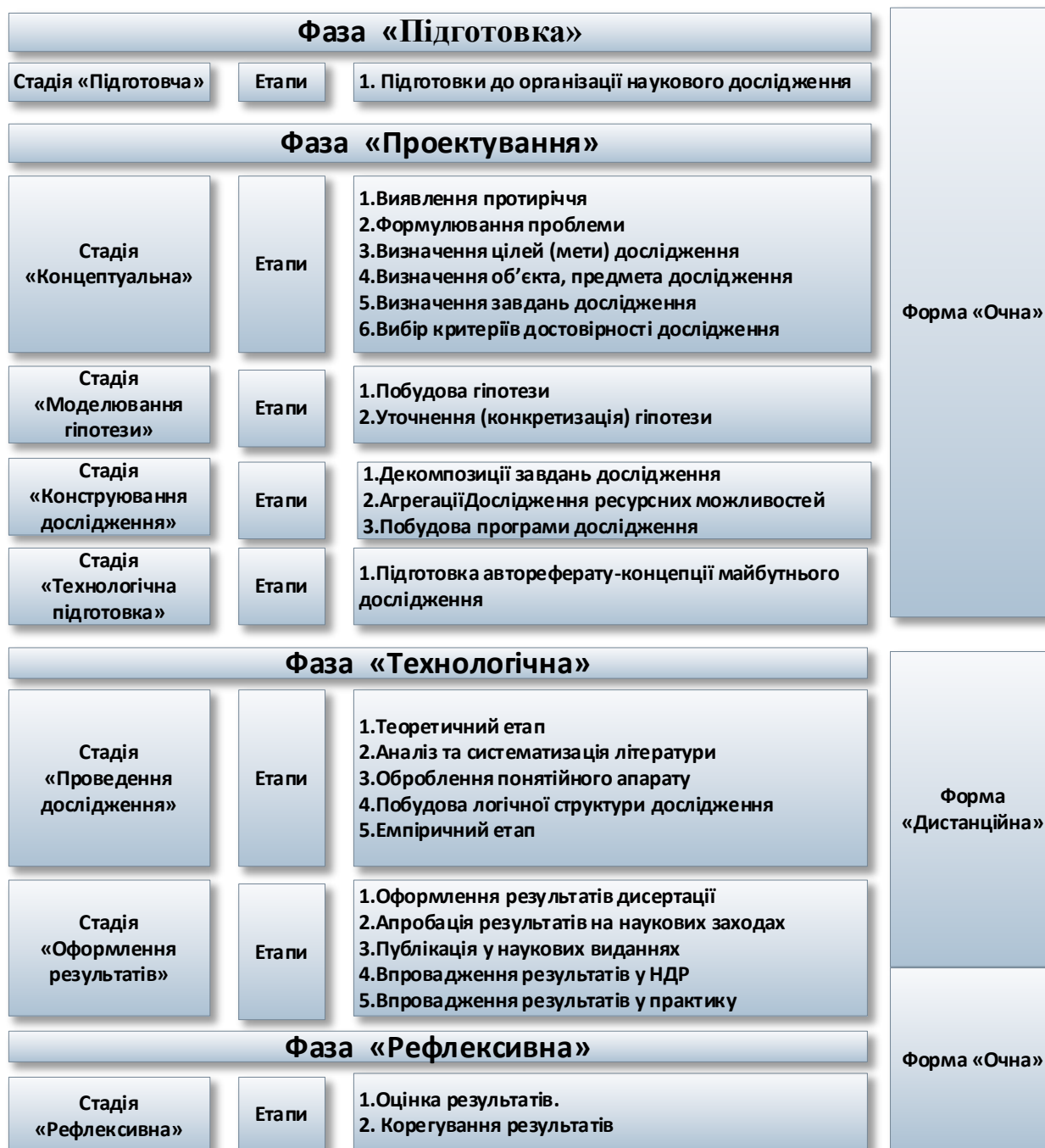


Рис. 2 – Методологія організації наукових досліджень

Обов'язковим елементом успішного засвоєння навчального матеріалу навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень» здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти є комбінування форм проведення занять. На разі вибір педагогічних технологій навчання є ключовою проблемою викладача – суб'єкта освітнього процесу [11]. Одночасно відсутність рекомендацій щодо формалізації у їх виборі, розширює ступінь свободи лектора у творчому пошуку і експериментуванню.

Педагогічною практикою підтверджено [12], що згідно Конуса Дейла найбільш сприйнятими до формуванню знань відносяться наступні методи навчання: дидактичні ігри; практичні заняття; навчання інших (взаємне навчання) та самостійна робота, а також виконання реальних дій або їх імітація, які дозволяють засвоїти до 90% нових знань.

Таблиця 1 – Структура навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень»

Найменування теми заняття	Кількість годин					
	Лекції		Семінарські заняття		Самостійна робота	
	Денна форма	Заочна форма	Денна форма	Заочна форма	Денна форма	Заочна форма
Змістовий модуль 1						
Тема 1. Наука та її роль у розвитку суспільства.	1		2		10	15
Тема 2. Наукове дослідження та методологічні основи організації наукового дослідження, його завдання та методи	2		4	1	15	20
Тема 3. Інформаційна база наукового дослідження	2	1	4	1	15	20
Змістовий модуль 2						
Тема 4. Вибір напрямку й планування НДР	2	1	6	1	20	25
Тема 5. Методика теоретичних і експериментальних досліджень	4	1	6	1	20	25
Тема 6. Технологічна стадія наукового дослідження. Оформлення отриманих результатів наукових досліджень їх оприлюднення та захист	4	1	8	2	25	35
Разом	15	4	30	6	105	140

Авторська методика випереджаючого викладання навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень» передбачає створення позитивних психолого-педагогічних умов зі спонукання здобувачів до набуття первинного практичного досвіду в процесі навчальної квазі-професійної діяльності [13].

Для забезпечення зв'язку теорії та практики розроблено методичні вказівки до практичної роботи [14]. Адже, практична навчальна квазі-професійна діяльність збагачує здобувачів умінням спрямувати себе до саморозвитку в напрямку майбутньої професійної діяльності, яка охоплює управлінську (менеджерську), наукову (дослідницьку) та педагогічну (викладацьку) діяльності.

Навчальна квазі-професійна управлінська (менеджерська) діяльність формується у студентів шляхом відповідального ставлення до самоорганізації самостійної роботи.

Самостійна робота здобувачів є основним засобом оволодіння навчальним матеріалом у час, вільний від лекційних і практичних занять (аудиторної роботи) [15]. В час самостійної роботи є потреба зорієнтувати увагу здобувачів на:

- роботу з опрацювання та вивчення рекомендованої літератури;
- підготовку до дискусій та інших запропонованих викладачем завдань;
- роботу над рефератом (навчальною статтею, тезами, доповіддю);
- роботу над індивідуальним науково-дослідним завданням тощо.

Методика викладання передбачає такі види навчальних занять: лекційні, практичні та самостійні заняття.

Вступну лекцію обов'язковому порядку проводить найбільш досвідчений лектор, з числа професорів. На цій лекції до студентів доводиться мета, завдання, структура навчальної дисципліни та обґрунтовується професійна потреба її вивчення майбутнім науковцям в галузі знань 12 Інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки. Крім того, лектор практично демонструє методику проведення лекції на найвищому рівні педагогічної майстерності, методологічну культуру, яка має відкарбуватися у студентів, як деякий еталон, до якого потрібно прямувати і намагатися з часом прийти, перевищити її, сформувавши власну педагогічну майстерність та методологічну культуру.

Професійна діяльність студентів, як майбутніх науковців, розпочинається з наукового осмислювання об'єкту, предмету і мети роботи та кінцевого результату. А сам хід виконання роботи є проект. Для студентів спеціальності 122 Комп'ютерні науки в більшості випадків цікавим виклад є в ігровій формі з наочним прикладом у вигляді алгоритму звітних етапів навчальної дисципліни [16].

Через кілька лекцій, зазвичай 4-6, за методикою пропонується активне залучення студентів в ролі майбутніх лекторів (викладачів). Даний педагогічний прийом надає можливість студентам подолати власний страх аудиторії, спробувати себе реалізувати в навчальній квазі-професійна діяльність, а також набути необхідних для подальшої діяльності навиків soft skills. В даному випадку можемо говорити про педагогічну складову. Для цього «штатний лектор» на передодні лекції ставить перед студентами завдання на самостійну роботу, визначає теми заняття, навчальні питання, які повинні опрацювати студенти. Здобувачі готуючись до лекції здійснюють пошук інформації, аналіз, перевірку на достовірність тощо, тобто в цілому набувають практичного досвіду наукової діяльності.

Технологія підготовки та проведення лекції студентами відпрацьована в контексті науково-методичного семінару кафедри [17], під час якого лектор контролює практичну фазу розвитку професійного досвіду, методологічної культури студента.

Структурну модель суб'єктно-об'єктної взаємодії лектора зі студентами під час лекційного науково-методичного супроводження, що описує процес фундаментальної ідеї Ф. Дістервега: «поганий учитель безпосередньо подає істину, хороший – вчить її знаходити». Ця ідея підкреслює особливу важливість роботи лектора щодо створення сприятливої виховної атмосфери, за якої здобувачі самі почнуть знаходити відповіді на навчальні питання. Для реалізації цієї істини слід дотримуватися принципу самостійної роботи студентів в технології науково-методичного супроводу, а взаємодію між лектором та студентами за алгоритмом (рис. 3).

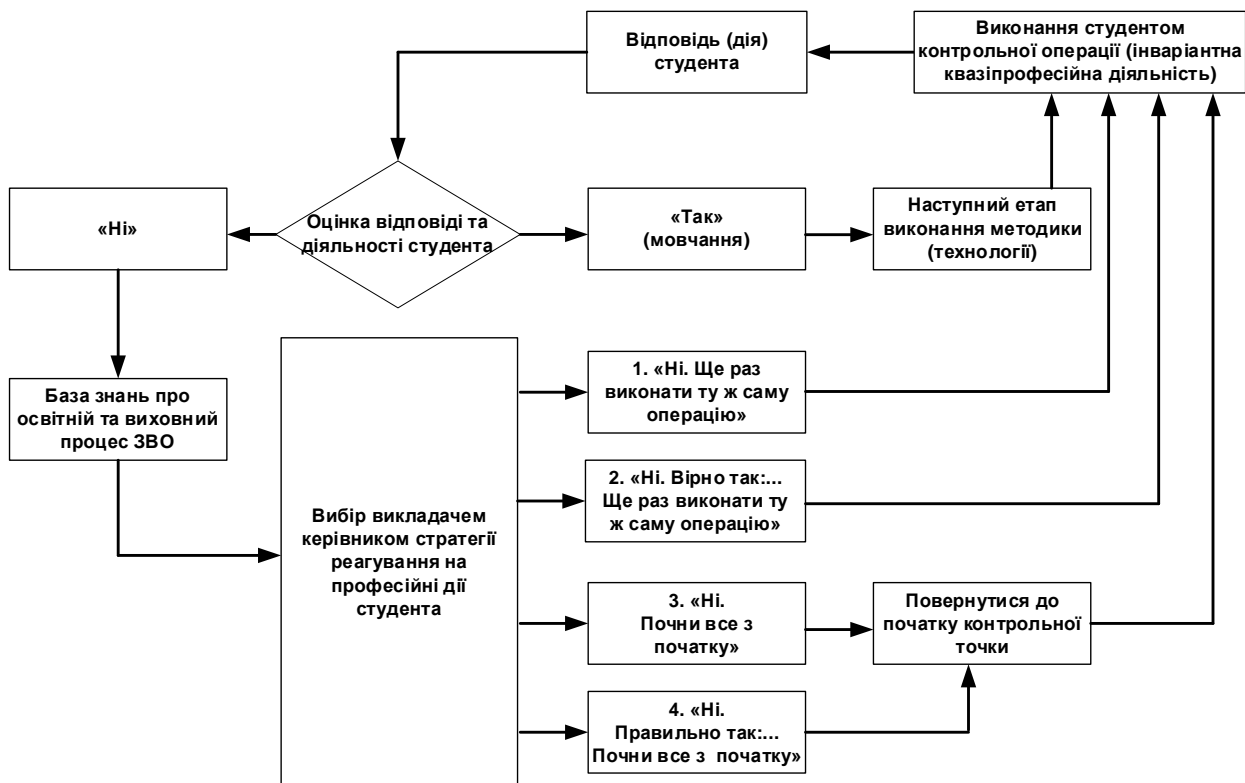


Рис. 3 – Алгоритм суб'єкт- суб'єктного реагування (лектора на результат дії студента)

За потреби лектор вносить корективи в педагогічний процес, визначає ротацію доповідача на іншого студента з продовженням доповіді по суті навчального питання. Таким чином, реалізовується принцип уважності слухачів та уміння до командної роботи, згуртованості колективів.

З точки зору психології, у процесі навчання здобувачів, відбувається засвоєння знань, що є перетворенням зовнішнього досвіду у внутрішні якості особистості.

Методи роботи лектора та діяльності студентів базується на використанні педагогічних технологій: проектної; програмованого навчання; проблемного навчання трансформували ідеї

[18].

Методикою викладання навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень» передбачає оцінити рівень сформованості здобувача (магістра), як майбутнього викладача в галузі знань 12 Інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки. Орієнтовні пункти оцінювання наведені в табл. 2.

Великий резерв тимчасового бюджету, що виділяється на самостійну роботу та методика випереджаючого навчання [7] дозволяє студентам глибоко вивчити навчальний матеріал, підготуватися до лекції, і як кінцевий результат, набути освітнього квазі-професійного досвіду для майбутньої діяльності. Це підтверджують результати проведеного дослідження. Успіхи здобувачів у навчанні залежать від часу, витраченого на позааудиторні заходи [19].

Ми, безумовно, погоджуємось з думкою авторів, що для вдосконалення викладання та засвоєння знань необхідно використовувати допоміжні технології [20]. Наприклад, використання гейміфікації, але таким чином, щоб метод навчання через гру не перетворювався на чисту гру [21; 22].

Слід зазначити що в час застосування інформаційно-комунікаційних технологій та комп'ютерної техніки прослідковується тенденція до згасання мотивації здобувачів вищої освіти (студентів, курсантів та слухачів) до сприйняття навчальної інформації за традиційних методів навчання [21; 11].

Таблиця 2 – Оцінка рівня викладання здобувачам (магістерського) рівня вищої освіти

Характеристики	Реалізація в діяльності лектора
Формулювання теми і визначення мети	Достатньо чіткі і зрозумілі для студентів
	Деяко розмито для студентів
	Залишилися незрозумілими для студентів
План і структура	Структура чітка, смислові частини виділені і взаємопов'язані
	Загальний план визначений, але переходи від однієї смислової частини до іншої залишилися нечіткими
Зміст	Важко стежити за розвитком теми, основні думки висловлювалися непослідовно
Уміння викликати інтерес до теми	Теоретичні положення аргументувалися, підкріплювалися фактами і прикладами
	Науково, доказово, але дуже складно для сприйняття
	Дуже популярно, переважав емпіричний матеріал
	Значення теми розкрито переконливо, матеріал ув'язувався з особистим досвідом студента
	Вказувалося лише на необхідність вивчення теми, використовувалися приклади, була відсутня опора на особистий досвід студента
Проблемний виклад	Значущість вивчення теми ніяк не мотивувалася, матеріал не підкріплювався прикладами
	Лектор загострював увагу на суперечностях, формулював проблемні питання, спонукав аудиторію до обговорення
	Лектор формулював проблемні питання і сам відповідав на них
Контакт з аудиторією	Лектор висловлював теоретичний матеріал, як щось загально визнане, що не вимагає доказів
	Контакт був повний, всі студенти працювали, лектор враховував «зворотний зв'язок»
	Іноді лектор втрачав контакт з аудиторією і студенти починали відволікатися
Культура мови лектора	Лекторові не вдалося встановити контакт з аудиторією і враховувати «зворотній зв'язок»
	Чітка дикція, оптимальний темп мови, емоційність викладу
	Дикція і темп мови нормальні, але був відсутній емоційний компонент
Манера	Були проблеми з дикцією, мовним темпом, емоційністю викладу
	Тримався упевнено, вільно міркував за темою, не користувався конспектом

поведінки лектора	лекції
	Тримався упевнено, але не володів навиком вільної мови, спирався на записи
	Тримався скуто, практично не відривався від тексту лекції
Використання засобів наочності	Активно використовувалися графічні способи подачі матеріалу та інші засоби наочності
	Зрідка використовувалася дошка
	Засоби наочності були відсутні
Вдалиий висновок	Висновок логічно завершував і узагальнював викладене
	Висновок був нечітким
	Висновку не було

Метою дослідження [23] є дослідити ставлення студентів ЗВО до використання Facebook, як одного з інструментів соціальних медіа, для покращення своєї комп'ютерної освіти. Цей курс є або обов'язковим для всіх студентів початкової освіти, або як курс за вибором для інших студентів, які навчаються на не технічних спеціальностях. Результати дослідження показали, що сайт Facebook є корисним інструментом для доставки матеріалів курсу та підтримки навчання. Студенти показали, що сприймають ці медіа для спілкування з іншими та пошуку матеріалів курсу та довідок. Більшість учасників відчули мотивацію та отримали задоволення від проходження курсу користуючись сайтом Facebook.

З аналітичної роботи [24, с.135] за геймофікацією величезний потенціал, в якому прихований позитивний потенціал до впливу на результативність навчального процесу». Отже, для відновлення мотивації здобувачів вищої освіти педагогами запропоновано застосовувати ділові ігрові методи навчання дорослих або елементи ігрової механіки.

З точки зору нашого дослідження актуальним при підготовці майбутніх висококваліфікованих фахівців магістерського рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерні науки» є розглядати гейміфікацію, як спосіб формування активної професійної поведінки майбутніх фахівців ІТ галузі [24], формальний і неформальний простір [22], інноваційну педагогічну освітньою технологією [25]. Таким чином, ми погоджаємось, що в сучасній вищій освіті спостерігається тенденція гейміфікації [26].

Зокрема варто звернути увагу на набуття практичних вмінь під час самостійної роботи над індивідуальним науково-дослідним завданням (рефератом) щодо оформлення згідно ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення та ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання [27; 28].

Висновки. Методика випереджаючого викладання навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень» здобувачам другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерні науки» галузі знань 12 Інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки на засадах гейміфікації у вищій школі дозволяє створити здобувачам інформаційно-навчальне середовище сприятливе до самостійного, активного опанування нових знань, професійних навичок і вмінь, зокрема критичне мислення, працювати в малій команді, бути готовим до співпраці; допомагає розкрити здібності і мотивує до самоосвіти.

Наукова новизна. Науковою новизною роботи є подальший розвиток теорії та практики методики викладання навчальної дисципліни «Методологія наукових досліджень» на кафедрі «Комп'ютерні науки» здобувачам другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерні науки» на основі ігрового (гейміфікованого) підходу, зацікавленні до набуття навчального квазі-професійного досвіду із застосування методології наукових досліджень та практики викладацької діяльності.

Перспективи подальших досліджень. Теоретичні результати становлять підґрунтя для подальшого дослідження з обґрунтування можливості застосування розробленої методики аналогічним чином для набуття навчального квазі-професійного досвіду із застосування знань з інших освітніх компонентів та практики викладацької діяльності.

Список бібліографічного опису

1. Відомості про самооцінювання освітньої програми 32809 Комп'ютерні науки. Рівень вищої освіти Бакалавр. Спеціальність 122 Комп'ютерні науки. Луцький національний технічний університет. 2021. 228 с.

https://lntu.edu.ua/sites/default/files/files12/kn_2021_1.pdf.

2. Освіта України в умовах воєнного стану. Інформаційно-аналітичний збірник. К.: Інститут освітньої аналітики, 2022. 358 с.
3. Освітній процес в умовах воєнного стану в Україні. Матеріали всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації, (Одеса, 3 травня – 13 червня 2022). Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2022. 504 с.
4. Науменко О.М. Методика організації наукових досліджень в умовах запровадження комп'ютерно орієнтованих засобів навчання. *Інформаційні технології і засоби навчання: електронне наукове фахове видання*. 2010. №6 (20). <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/395/346>.
5. Топольник Я. Особливості вивчення навчальної дисципліни «методологія наукових досліджень» в процесі підготовки майбутніх докторів філософії. *Гуманізація навчально-виховного процесу*. 2022. №. 1 (101). С. 16–23.
6. Khan A.A., Madden J. Speed Learning: Maximizing Student Learning and Engagement in a Limited Amount of Time. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. 2016. Vol.8. No.7. Pp.22–30.
7. Lysenkova S.M. The method of anticipatory learning: a book for teachers: from work experience. Enlightenment, 1988.
8. Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні науки» другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» галузі знань 12 «Інформаційні технології». Луцьк. ЛНТУ, 2022. 17 с. https://drive.google.com/file/d/1vRV7vXF50ys6KNmi9rm8_nh1inVkeUHQ/view.
9. Методологія наукових досліджень: Конспект лекцій з навчальної дисципліни для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерні науки» галузі знань 12 Інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки денної та заочної форм навчання / уклад. І.М. Козубцов. Луцьк: ЛНТУ, 2022. 242 с.
10. Козубцов І.М. Методологія організації роботи аспірантами над дисертаційним дослідженнями. Професійна освіта: проблеми і перспективи. 2013. Випуск 5. С. 16–22.
11. Козубцова Л.М., Козубцов І.М. До проблеми організації ефективного дистанційного навчання. І Міжнародна науково-практична конференція «Соціальні аспекти військово-професійної діяльності сектора безпеки і оборони: виклики сьогодення»: Збірник тез доповідей, (Харків, 20.05.2021 р.). НА НГУ. С. 284–286.
12. Dale E. Audio-Visual Methods in Teaching. 3rd ed. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1969.
13. Козубцов І.М. Теоретико-методологічна основа розвитку дослідницької компетентності молодих науковців: педагогічний досвід. *Розвиток дослідницької компетентності молодих науковців*. Матеріали І Всеукраїнського науково-методичного семінару, (Київ 27 січня 2015 р.). Інститут професійно-технічної освіти НАПН України. С. 76–81.
14. Методологія наукових досліджень: Методичні вказівки до практичної роботи з навчальної дисципліни для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерні науки» галузі знань 12 Інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки денної та заочної форм навчання / уклад. І.М. Козубцов. Луцьк: ЛНТУ, 2022. 32 с.
15. Методологія наукових досліджень: Методичні вказівки до самостійної роботи з навчальної дисципліни для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Комп'ютерні науки» галузі знань 12 Інформаційні технології спеціальності 122 Комп'ютерні науки денної та заочної форм навчання / уклад. І.М. Козубцов. Луцьк: ЛНТУ, 2022. 26 с.
16. Козубцов І.М. Метод віртуально-пізнавального представлення курсантам звітних етапів навчальної дисципліни. V-а науково-технічна конференція „Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”, (Київ, 20-21 жовтня 2010). ВІПІ НТУУ «КПІ». С. 144–147.
17. Kozubtsov I.N., Kozubtsova L.M. Pedagogical technology organization of scientific and methodological seminar of the department. *Pedagogik mahorat. Nazariy va ilmiy-metodik jurnal. O'zbekiston Respublikasi Buxoro davlat universiteti*. 2016. №1. С. 24–30.
18. Трубавіна І.М. Формування умінь самостійної роботи у студентів методами проблемного навчання в сучасному ВНЗ. *Вісник Луганського національного університету імені Тараса Шевченка. Педагогічні науки*. 2017. № 7(312). Ч. 2. С. 116–125.
19. Sharma N., Appukutti Sh., Garg U., Mukherjee J., Mishra S. Analysis of Student's Academic Performance based on their Time Spent on Extra-Curricular Activities using Machine Learning Techniques. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. 2023. Vol. 15. No. 1. Pp. 46–57.
20. Adebayo E.O., Ayorinde I.T. Efficacy of Assistive Technology for Improved Teaching and Learning in Computer Science. *International Journal of Education and Management Engineering (IJEME)*. 2022. Vol.12. No. 5. Pp. 9–17.
21. Kapp K. The gamification of learning and instruction game-based methods and strategies for training and education. San Francisco, USA: Pfeiffer, 2012.
22. Ткаченко О. Гейміфікація освіти: формальний і неформальний простір. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2015. Вип. 11. С. 303–309.
23. Fares I. Al-Mashaqbeh. Facebook Applications to Promote Academic Engagement: Student's Attitudes towards the Use of Facebook as a Learning Tool. *International Journal of Education and Management Engineering (IJMECS)*. 2015. Vol.7. No.11. Pp.60–66.
24. Бугасва В.Ю. Гейміфікація як спосіб формування активної професійної поведінки майбутніх фахівців ІТ-галузі. *Педагогіка та психологія*. 2018. №56. С. 129–135.
25. Петренко С.В. Gamification як інноваційна освітня технологія. *Інноватика у вихованні*. 2018. Т. 2. № 7. С. 177–185.
26. Волкова Н.П. Гейміфікація як один із трендів сучасної вищої освіти. *Сучасна вища освіта: проблеми та перспективи*: VI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів і науковців: тези доповідей (Дніпро, 22.03.2018 р.). С. 33–35.

27. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 2016. 31 с.
28. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 2016. 20 с.

References

1. Vidomosti pro samoosiniuvannia osvითnoi prohramy 32809 Kompiuterni nauky. Riven vyshchoi osvითy Bakalavr. Spetsialnist 122 Kompiuterni nauky. Lutskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet. 2021. 228 s. https://intu.edu.ua/sites/default/files/files12/kn_2021_1.pdf.
2. Osvita Ukrainy v umovakh voiennoho stanu. Informatsiino-analitychny zbirnyk. K.: Instytut osvითnoi analityky, 2022. 358 s.
3. Osvითii protses v umovakh voiennoho stanu v Ukraini. Materialy vseukrainskoho naukovo-pedahohichnoho pidvyshchennia kvalifikatsii, (Odesa, 3 travnia – 13 chervnia 2022). Odesa: Vydavnychiy dim «Helvetyka», 2022. 504 s.
4. Naumenko O.M. Metodyka orhanizatsii naukovykh doslidzhen v umovakh zaprovadzhennia kompiuterno oriantovanykh zasobiv navchannia. Informatsiini tekhnologii i zasoby navchannia: elektronne naukovе fakhove vydannia. 2010. №6 (20). <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/395/346>.
5. Topolnyk Ya. Osoblyvosti vyvchennia navchalnoi dystsypliny «metodolohii naukovykh doslidzhen» v protsesi pidgotovky maibutnykh doktoriv filosofii. Humanizatsiia navchalno-vykhovnoho protsesu. 2022. №. 1 (101). S. 16–23.
6. Khan A.A., Madden J. Speed Learning: Maximizing Student Learning and Engagement in a Limited Amount of Time. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. 2016. Vol.8. No.7. Pp.22–30.
7. Lysenkova S.M. The method of anticipatory learning: a book for teachers: from work experience. Enlightenment, 1988.
8. Osvითno-profesiina prohrama «Komp'uterni nauky» druhoho (mahisterskoho) rivnia vyshchoi osvითy za spetsialnistiu 122 «Komp'uterni nauky» haluzi znan 12 «Informatsiini tekhnologii». Lutsk. LNTU, 2022. 17 s. https://drive.google.com/file/d/1vRV7vXF50ys6KNmi9rm8_nh1inVkeUHQ/view.
9. Metodolohii naukovykh doslidzhen: Konspekt lektsii z navchalnoi dystsypliny dlia zdobuvachiv druhoho (mahisterskoho) rivnia vyshchoi osvითy osvითnoi prohramy «Komp'uterni nauky» haluzi znan 12 Informatsiini tekhnologii spetsialnosti 122 Komp'uterni nauky dennoi ta zaochnoi form navchannia / uklad. I.M. Kozubtsov. Lutsk: LNTU, 2022. 242 s.
10. Kozubtsov I.M. (2013). Metodolohii orhanizatsii roboty aspirantamy nad dysertatsiinym doslidzhenniamy. *Profesiina osvითa: problemy i perspektyvy*, 5, 16–22. (in Ukrainian).
11. Kozubtsova L.M., Kozubtsov I.M. (2021). Do problemy orhanizatsii efektyvnoho dystantsiinoho navchannia. I Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiia «Sotsialni aspekty viiskovo-profesiinnoi diialnosti sektora bezpeky i oborony: vyklyky sohodennia»: Zbirnyk tez dopovidei. Kharkiv: NA NHU, 284–286. (in Ukrainian).
12. Dale E. Audio-Visual Methods in Teaching. 3rd ed. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1969.
13. Kozubtsov I.M. Teoretyko-metodolohichna osnova rozvytku doslidnytskoi kompetentnosti molodykh naukovtsiv: pedahohichny dosvid. Rozvytok doslidnytskoi kompetentnosti molodykh naukovtsiv. Materialy I Vseukrainskoi naukovometodychnoho seminaru, (Kyiv 27 sichnia 2015 r). Instytut profesiino-tekhnichnoi osvითy NAPN Ukrainy. S. 76–81.
14. Metodolohii naukovykh doslidzhen: Metodychni vказivky do praktychnoi roboty z navchalnoi dystsypliny dlia zdobuvachiv druhoho (mahisterskoho) rivnia vyshchoi osvითy osvითnoi prohramy «Komp'uterni nauky» haluzi znan 12 Informatsiini tekhnologii spetsialnosti 122 Komp'uterni nauky dennoi ta zaochnoi form navchannia / uklad. I.M. Kozubtsov. Lutsk: LNTU, 2022. 32 s.
15. Metodolohii naukovykh doslidzhen: Metodychni vказivky do samostiinnoi roboty z navchalnoi dystsypliny dlia zdobuvachiv druhoho (mahisterskoho) rivnia vyshchoi osvითy osvითnoi prohramy «Komp'uterni nauky» haluzi znan 12 Informatsiini tekhnologii spetsialnosti 122 Komp'uterni nauky dennoi ta zaochnoi form navchannia / uklad. I.M. Kozubtsov. Lutsk: LNTU, 2022. 26 s.
16. Kozubtsov I.M. Metod virtualno-piznavalnoho predstavlennia kursantam zvitnykh etapiv navchalnoi dystsypliny. V-a naukovotekhnichna konferentsiia „Priorytetni napriamky rozvytku telekomunikatsiinykh system ta merezh spetsialnoho pryznachennia”, (Kyiv, 20-21 zhovtnia 2010). VITI NTUU «KPI». S. 144–147.
17. Kozubtsov I.N., Kozubtsova L.M. Pedagogical technology organization of scientific and methodological seminar of the department. *Pedagogik mahorat. Nazariy va ilmiy-metodik jurnal. O'zbekiston Respublikasi Buxoro davlat universiteti*. 2016. №1. C. 24–30.
18. Trubavina I.M. Formuvannia umin samostiinnoi roboty u studentiv metodamy problemnoho navchannia v suchasnomu VNZ. Visnyk Luhanskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Pedahohichni nauky. 2017. № 7(312). Ch. 2. S. 116–125.
19. Sharma N., Appukutti Sh., Garg U., Mukherjee J., Mishra S. Analysis of Student's Academic Performance based on their Time Spent on Extra-Curricular Activities using Machine Learning Techniques. *International Journal of Modern Education and Computer Science (IJMECS)*. 2023. Vol. 15. No. 1. Pp. 46–57.
20. Adebayo E.O., Ayorinde I.T. (2022). Efficacy of Assistive Technology for Improved Teaching and Learning in Computer Science. *International Journal of Education and Management Engineering (IJEME)*, 12, 5, 9–17.
21. Kapp K. (2012). *The gamification of learning and instruction game-based methods and strategies for training and education*. San Francisco, USA: Pfeiffer.
22. Tkachenko O. (2015). Heimifikatsiia osvითy: formalnyi i neformalnyi prostir. *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk*, 11, 303–309. (in Ukrainian).
23. Fares I. Al-Mashaqbeh. Facebook Applications to Promote Academic Engagement: Student's Attitudes towards the Use of Facebook as a Learning Tool. *International Journal of Education and Management Engineering (IJMECS)*. 2015. Vol.7. No.11. Pp.60-66.

24. Buhaieva V.Yu. (2018). Heimifikatsiia yak sposib formuvannia aktyvnoi profesiinoi povedinky maibutnikh fakhivtsiv IT-haluzi. *Pedahohika ta psykholohiia*, 56, 129–135. (in Ukrainian).
25. Petrenko S.V. (2018). Gamification yak innovatsiina osvithnia tekhnolohiia. *Innovatyka u vykhovanni*, 2, 7, 177–185. (in Ukrainian).
26. Volkova N.P. (2018) Heimifikatsiia yak odyv iz trendiv suchasnoi vyshchoi osvity. *Suchasna vyshcha osvita: problemy ta perspektyvy*: VI Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia studentiv, aspirantiv i naukovtsiv: tezy dopovidei. Dnipro, 33–35. (in Ukrainian).
27. DSTU 3008:2015 Informatsiia ta dokumentatsiia. Zvity u sferi nauky i tekhniky. Struktura ta pravyla oformliuvannia. Kyiv. DP «UkrNDNTs», 2016. 31 s.
28. DSTU 8302:2015. Informatsiia ta dokumentatsiia. Bibliografichne posylannia. Zahalni polozhennia ta pravyla skladannia. Kyiv. DP «UkrNDNTs», 2016. 20 s.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-14>

УДК 004.912

Котлярський Алекс Олександрович, магістрант

Петрашенко Андрій Васильович, к.т.н, доцент

<https://orcid.org/0000-0003-0239-1706>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ РЕСУРСІВ

Котлярський А.О., Петрашенко А.В. Спосіб підвищення ефективності використання хмарних ресурсів. У статті досліджено сферу оптимізації хмарних ресурсів. Досліджується система, побудована на машинному навчанні, спрямована на точне прогнозування робочих навантажень і автоматичне масштабування ресурсів, що забезпечує ефективне використання хмарних служб і зниження витрат. Машинне навчання дає змогу системі адаптуватися до коливань робочого навантаження, розпізнаючи закономірності та тенденції, забезпечуючи гнучкість у використанні ресурсів і швидку адаптацію до нових умов.

Ключові слова: Хмарні ресурси, оптимізація, машинне навчання, прогнозування робочих навантажень, автоматичне масштабування, ресурси обчислювальної хмари, точність прогнозування.

Kotliarskyi A., Petrashenko A. Method of increasing the efficiency of using cloud resources. The article examines the field of optimization of cloud resources. A system built on machine learning is being investigated, aimed at accurately predicting workloads and automatically scaling resources, which ensures efficient use of cloud services and lower costs. Machine learning enables the system to adapt to fluctuations in the workload, recognizing patterns and trends, providing flexibility in the use of resources and rapid adaptation to new conditions.

Keywords: Cloud resources, optimization, machine learning, workload forecasting, automatic scaling, computing cloud resources, forecasting accuracy.

Вступ. У сучасному цифровому світі використання хмарних ресурсів стає ключовим елементом для багатьох компаній та організацій, які прагнуть досягти оптимальної ефективності та знизити витрати на обчислювальні потужності. Проте, зростання складності завдань та змінність робочих навантажень ставлять перед ними виклик ефективного управління цими ресурсами. У зв'язку з цим актуальним стає розробка способів, які б забезпечили автоматизоване та точне управління хмарними ресурсами з метою максимізації їхньої використовуваності при мінімізації витрат. У статті досліджується підхід, побудований на основі машинного навчання, який спрямований на оптимізацію використання хмарних служб шляхом прогнозування робочих навантажень та автоматичного масштабування ресурсів. Цей підхід надає системі гнучкість у адаптації до змінних умов та швидку реакцію на зміни, що забезпечує оптимальне використання хмарних ресурсів і підвищує загальну ефективність обчислювальної інфраструктури.

Постановка задачі. Мета дослідження - оптимізація використання хмарних ресурсів через автоматичне масштабування за допомогою штучного інтелекту. Задачі включають аналіз навантажень, розробку алгоритмів масштабування, їх інтеграцію з інструментами штучного інтелекту, тестування та впровадження системи.

Проблема: ефективне використання хмарних ресурсів.

Метод: автоматичне масштабування з використанням штучного інтелекту.

Мета: оптимізація використання ресурсів.

Задачі: аналіз навантажень, розробка алгоритмів масштабування, їх інтеграція з інструментами штучного інтелекту, тестування та впровадження системи.

Аналіз існуючих підходів та алгоритмів

Актуальність проблеми ефективного використання хмарних ресурсів обумовлена зростанням популярності хмарних обчислювань серед організацій та підприємств у сучасному цифровому середовищі. З метою забезпечення оптимального використання цих ресурсів і підвищення продуктивності обчислювальних процесів виникає потреба в аналізі та вдосконаленні існуючих підходів та алгоритмів [1].

Одним із ключових підходів є планування задач, що полягає у розподілі робочих завдань між різними вузлами хмарної інфраструктури з урахуванням параметрів, таких як час виконання та наявність ресурсів. Крім того, важливим елементом є розробка алгоритмів автоматичного масштабування, які забезпечують адаптацію кількості ресурсів залежно від навантаження [1].

Використання методів прогнозування для передбачення змін в навантаженні також має суттєве значення, оскільки дозволяє системі планувати та адаптуватися до майбутніх змін.

Додатково, розробка методів машинного навчання для аналізу та оптимізації роботи хмарних систем є актуальною задачею. Такі методи можуть використовуватися для розпізнавання патернів в робочих навантаженнях, автоматичного виявлення аномалій та прийняття рішень щодо оптимального розподілу ресурсів [1]. Крім того, важливим елементом є впровадження систем моніторингу та контролю за ефективністю використання ресурсів, які дозволяють виявляти та виправляти проблеми з використанням ресурсів у реальному часі.

Огляд та аналіз існуючих підходів та алгоритмів на тему підвищення ефективності використання хмарних ресурсів є необхідним для подальшого вдосконалення та оптимізації процесів хмарного обчислення.

Проблема перевантаження хмарних ресурсів. Проблема ефективності використання хмарних ресурсів виникає з необхідності оптимального розподілу і використання доступних обчислювальних ресурсів у хмарному середовищі. Незважаючи на можливості масштабування та гнучкості, хмарні обчислення часто стикаються з проблемами. У багатьох випадках, хмарні ресурси можуть бути виділені неправильно або недостатньо ефективно, що може призвести до перевитрат або недостатньої продуктивності системи [2]. В деяких сценаріях роботи, системи хмарних обчислень можуть стикатися зі значними періодичними піками навантаження, які важко передбачити та обробити, що може призвести до непрацездатності системи у критичних моментах. Нестабільність хмарних середовищ та можливість витоку конфіденційної інформації можуть становити серйозну загрозу для безпеки та конфіденційності даних користувачів [2]. Неправильне розподілення ресурсів може призвести до надмірних витрат на інфраструктуру хмарних обчислень або, навпаки, до недостатнього використання можливостей, що може позначитися на фінансовій ефективності проекту.

Використання штучного інтелекту. Один з найбільш підходящих для використання в системі оптимізації хмарних ресурсів методів машинного навчання є метод класифікації з використанням алгоритму «Random Forest» (Випадковий ліс).

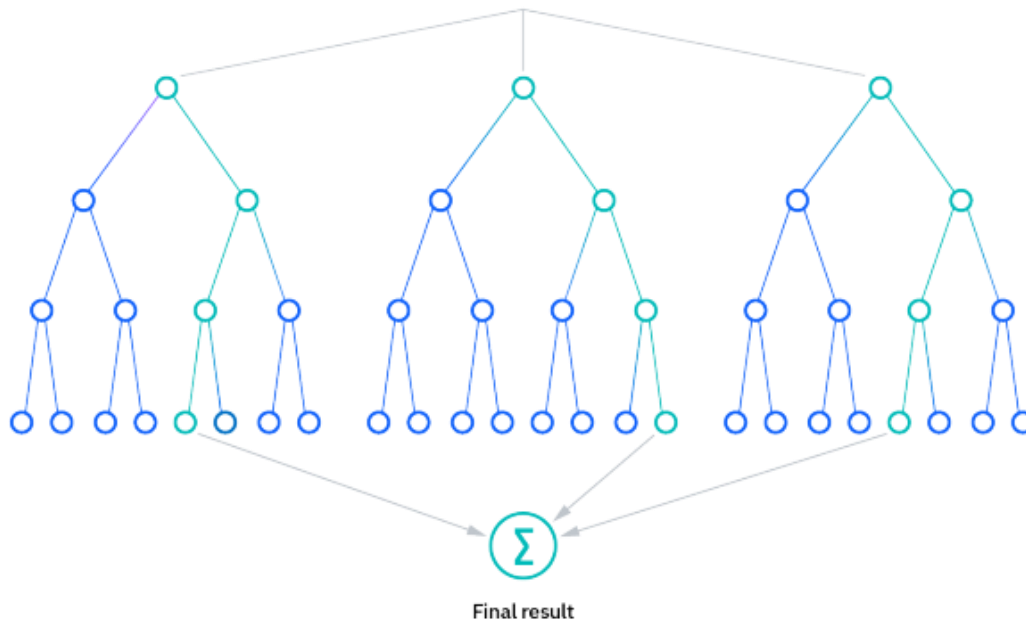


Рис.1 - Random Forest

Алгоритм «Random Forest» відноситься до класу ансамблевих методів машинного навчання, що базуються на рішеннях багатьох дерев прийняття рішень. Основна ідея полягає у створенні великої кількості різних дерев рішень та агрегації їх прогнозів для отримання більш точного та стійкого результату [3].

Переваги використання алгоритму «Random Forest» включають [3]:

- Random Forest зазвичай демонструє високу точність прогнозів завдяки агрегації результатів багатьох дерев рішень.

- Цей метод має вбудовану захист від перенавчання, оскільки він базується на випадковому виборі підмножин даних для побудови кожного дерева.

- "Random Forest" добре працює з великими обсягами даних та великою кількістю ознак, що робить його відмінним вибором для систем оптимізації хмарних ресурсів.

- Алгоритм «Random Forest» надає можливість оцінювати важливість кожної ознаки у прогнозуванні, що може бути корисним для подальшого аналізу та вдосконалення системи.

Отже, «Random Forest» є одним з найбільш підходящих методів машинного навчання для використання у системі оптимізації хмарних ресурсів, оскільки він поєднує високу точність прогнозів з ефективністю обробки великих обсягів даних та стійкістю до перенавчання.

Опис запропонованого методу

Реалізація системи оптимізації використання хмарних ресурсів шляхом використання методів машинного навчання включає послідовність ключових етапів, що ретельно розроблені для досягнення ефективності та оптимальності в процесі використання доступних обчислювальних потужностей у хмарному середовищі [4].

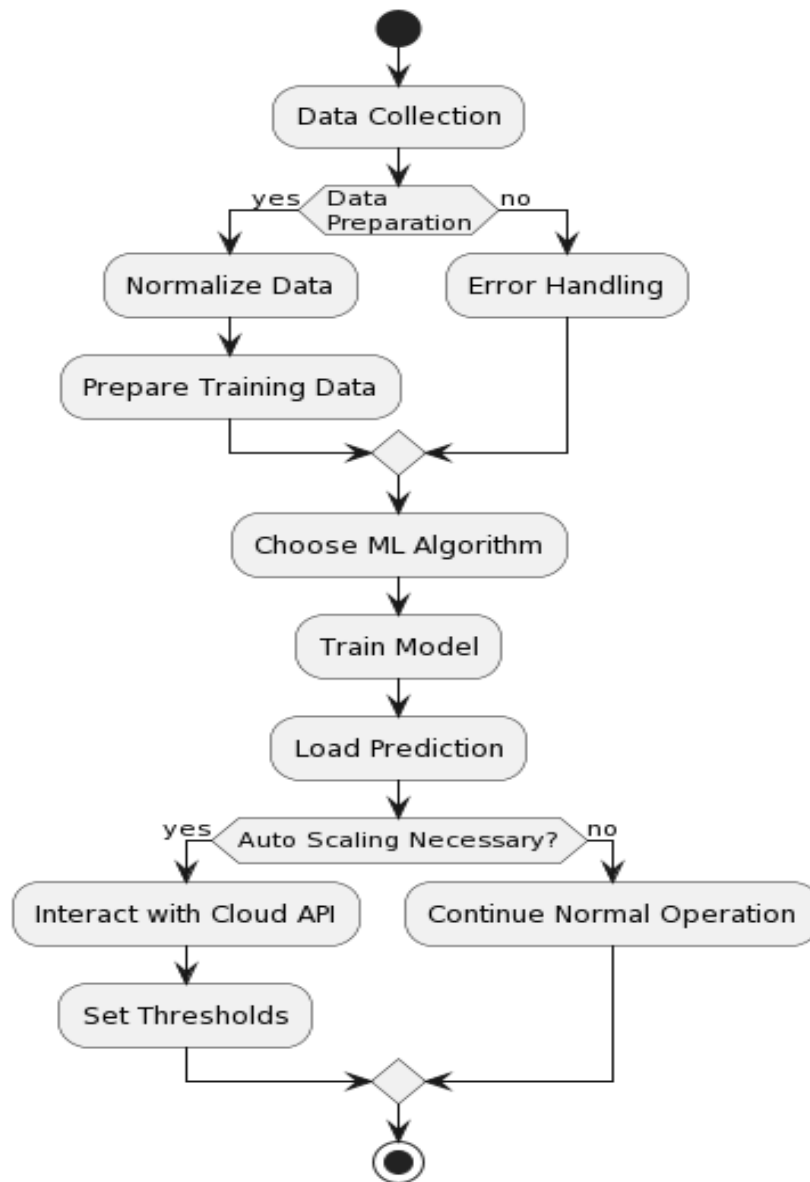


Рис.2 – Блок – схема алгоритму

Перший етап – це збір даних та їх аналіз. На цьому етапі здійснюється збір різноманітної інформації про використання ресурсів, що включає обсяги обробленої інформації, кількість активних користувачів, навантаження на сервери тощо. Крім того, проводиться збір додаткових даних про конкретні сервіси, таких як робочі години, тип подій та академічні періоди, що можуть впливати на роботу системи.

Другий етап передбачає підготовку даних, що включає створення тренувальної вибірки, що містить інформацію про навантаження та використання ресурсів, необхідну для тренування моделі машинного навчання.

Третій етап включає вибір відповідного алгоритму машинного навчання, його навчання на підготовлених даних та підключення навченої моделі до системи.

На четвертому етапі розробляються інтеграції, що дозволяють системі взаємодіяти з API хмарних платформ для автоматичного масштабування ресурсів. Визначаються порогові значення навантаження, при перевищенні яких система автоматично масштабує ресурси.

На п'ятому етапі використовуються додаткові характеристики сервісів для їх класифікації та розробки індивідуальних стратегій масштабування, враховуючи унікальні особливості кожного сервісу.

Останній етап передбачає тестування та вдосконалення системи на основі тестових даних та реальних умов експлуатації, що дозволяє підтвердити ефективність та надійність розробленої системи.

У разі потреби взаємодіє з хмарним API для налаштування ресурсів та встановлює порогові значення, інакше продовжує звичайну роботу.

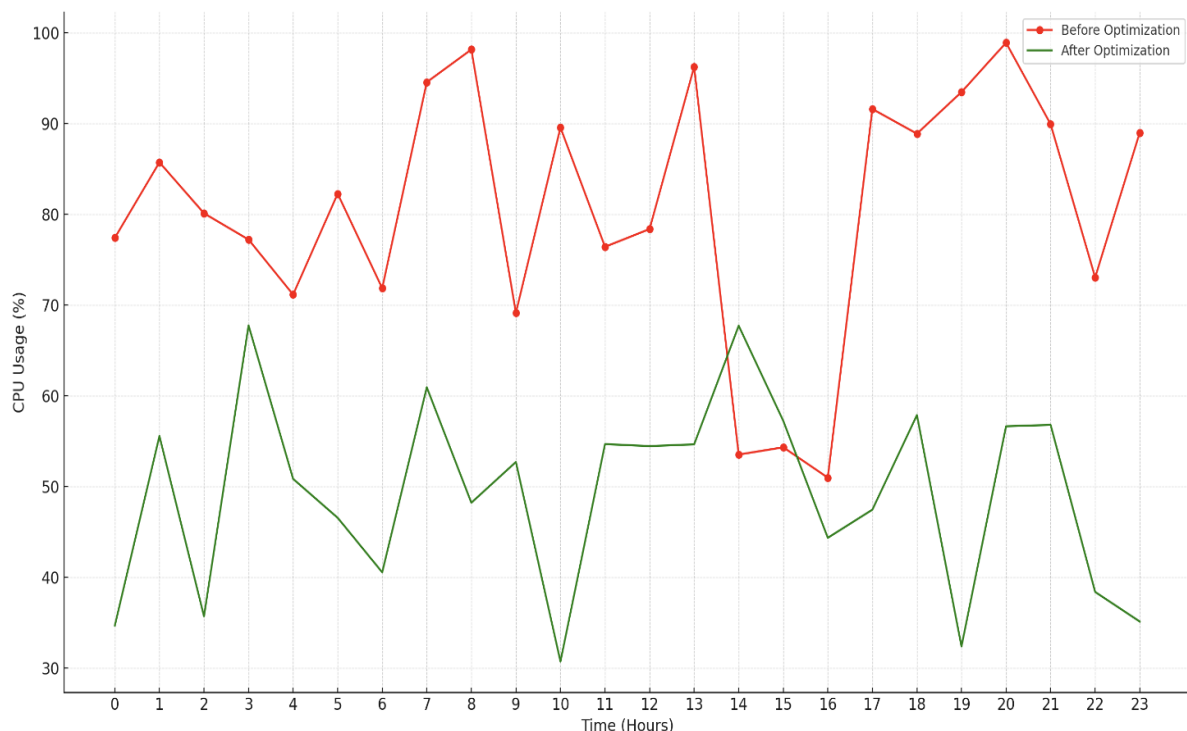


Рис.3 – Завантаження системи (використання ЦП) до та після оптимізації

До оптимізації: у системі спостерігалася більша варіативність у використанні ЦП, коли відсотки коливалися протягом дня. Це вказує на неефективне використання ресурсів, що призводить до можливого надлишку в періоди низького попиту та недостатнього в періоди пік.

Після оптимізації: впровадження алгоритму оптимізації призвело до помітного зниження варіабельності використання ЦП і загального зниження відсотка використання. Це передбачає більш ефективний розподіл ресурсів, динамічну адаптацію до робочого навантаження та потенційне зниження операційних витрат.

Таблиця 1 - Зміни у використанні CPU

Time (Hours)	Load Before Optimization (%)	Load After Optimization (%)
0	77.44	34.73
1	85.76	55.60
2	80.14	35.73
3	77.24	67.79
4	71.18	50.87

Ці дані показують, як оптимізація може вплинути на рівномірніше та ефективніше використання хмарних ресурсів, знижуючи загальні витрати та покращуючи продуктивність системи. Після оптимізації спостерігається значне зниження використання CPU у більшості випадків. Це свідчить про більш ефективне використання ресурсів, де система адаптується до поточних потреб без надмірного резервування потужностей, які насправді не використовуються.

Використання алгоритму «Random Forest» для оптимізації хмарних ресурсів показало свою ефективність. Цей метод машинного навчання забезпечив системі можливість вчасно адаптуватися до змін у використанні ресурсів, завдяки аналізу та прогнозуванню навантаження.

Висновки. Реалізація системи оптимізації використання хмарних ресурсів з використанням методів машинного навчання є перспективним та ефективним підходом для досягнення максимальної продуктивності та ефективності у хмарних обчисленнях. Послідовний аналіз та обробка даних, вибір оптимальних алгоритмів машинного навчання, а також автоматизоване масштабування ресурсів дозволяють забезпечити оптимальне використання доступних обчислювальних потужностей, зменшуючи витрати та забезпечуючи найвищий рівень сервісу для користувачів. Науково обґрунтований підхід до розробки та вдосконалення системи дозволяє не лише ефективно використовувати хмарні ресурси, а й підтримувати їх адаптацію до змінних умов, забезпечуючи стабільну та надійну роботу системи в усіх ситуаціях експлуатації.

Список бібліографічного опису

1. Cloud Optimization is About Delivering Business Efficiency. URL: <https://www.densify.com/resources/cloud-optimization/>.
2. MAAYAN G. 5 Technologies Powering Cloud Optimization. *GILAD DAVID MAAYAN*. URL: <https://devops.com/5-technologies-powering-cloud-optimization/>.
3. Maayan G. The Science of Cloud Cost Optimization. *Gilad David Maayan*. URL: <https://www.codemotion.com/magazine/devops/cloud/the-science-of-cloud-cost-optimization/>.
4. Gupta P. Machine Learning and Optimization Models for Optimization in Cloud. URL: <https://www.routledge.com/Machine-Learning-and-Optimization-Models-for-Optimization-in-Cloud/Gupta-Goyal-Chakraborty-Elngar/p/book/9781032028200>.

References

1. Cloud Optimization is About Delivering Business Efficiency URL: <https://www.densify.com/resources/cloud-optimization/>.
2. MAAYAN G. 5 Technologies Powering Cloud Optimization. *GILAD DAVID MAAYAN*. URL: <https://devops.com/5-technologies-powering-cloud-optimization/>.
3. Maayan G. The Science of Cloud Cost Optimization. *Gilad David Maayan*. URL: <https://www.codemotion.com/magazine/devops/cloud/the-science-of-cloud-cost-optimization/>.
4. Gupta P. Machine Learning and Optimization Models for Optimization in Cloud. *Elngar*. URL: <https://www.routledge.com/Machine-Learning-and-Optimization-Models-for-Optimization-in-Cloud/Gupta-Goyal-Chakraborty-Elngar/p/book/9781032028200>.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-15>

УДК 004.657

Лавренчук Світлана Василівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-5453-3924>

Христинець Наталія Анатоліївна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-4836-7632>

Савчук Ольга Володимирівна, здобувач

<https://orcid.org/0009-0005-0629-9968>

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

МОНІТОРИНГ ПЛАТФОРМИ YOUTUBE ЗАСОБАМИ SQL

Лавренчук С.В., Христинець Н.А., Савчук О.В. Моніторинг платформи YouTube засобами SQL.

Розглядаються можливості застосування мови SQL для аналізу платформи YouTube. Детально розглядаються бібліотеки, методи та SQL-запити, створено програмний продукт, що дозволяє отримати статистику популярності відео, аналізувати зміни кількості підписників каналів та класифікувати трендові теми.

Ключові слова: платформа YouTube, аналітика, база даних, python, статистика.

Lavrenchuk S., Khrystynets, N., Savchuk O. Monitoring the YouTube Platform Using SQL. The possibilities of using the SQL language to analyze the YouTube platform are considered. Libraries, methods and SQL queries are discussed in detail, the created software product allows you to obtain statistics on video popularity, analyze changes in channel subscribers and classify trending topics.

Keywords: YouTube platform, analytics, database, python, statistics.

Постановка проблеми. У сучасному світі відеоконтент стає все більш популярним і важливим засобом спілкування. Відеохостинг YouTube вважається однією з провідних платформ у цьому сегменті, кількість користувачів і відеоконтенту зростає з кожним днем. Згідно зі статистикою Similarweb [1], сайт YouTube.com посідає друге місце за кількістю переглядів в Україні, поступаючись лише Google. Враховуючи таке зростання, дані на цій платформі необхідно ефективно відстежувати та аналізувати, щоб визначати тенденції, розуміти вподобання споживачів і вдосконалювати стратегію контенту.

Основні завдання дослідження містять створення оптимізованих запитів мовою SQL для отримання статистики про популярність відео, для аналізу змін кількості підписників каналів, визначення та класифікації трендових тем. Отримані результати будуть корисні для авторів відео контенту, маркетологів та дослідників, які бажають краще розуміти динаміку та потенціал платформи YouTube для своїх потреб. Використання SQL дасть змогу ефективно обробляти та аналізувати великі обсяги даних, забезпечуючи точні та надійні результати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато дослідників, як академічних, так і комерційних, досліджували аналітику YouTube з різних точок зору [2-3]. Основні напрямки досліджень включають аналіз контенту, вивчення поведінки користувачів, алгоритмів рекомендацій, визначення тенденцій у відеоконтенті та аналіз впливу платформи на суспільство та культуру, а також на підприємництво в соціальних мережах [4].

В праці [5] розглядаються різні методи аналітики веб-сайтів (такі як поведінкова аналітика, конверсійна аналітика, тощо), які можна застосовувати також і до платформи YouTube.

Індійські науковці Ashwini T, Sahana LM, Mahalakshmi E, Shweta S Padti [6] розглядають можливості фреймворка Hadoop для розподіленої обробки великих даних у вигляді мультимедійного формату, зокрема на базі технології Hadoop HIVE, яка підтримує SQL-запити. Тут використано мову Java та СУБД MySQL.

Багато дослідників використовують можливості мови SQL для обробки й аналізу великої кількості даних, зібраних платформою YouTube. Наприклад, Брусенцов Юрій [7], студент Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» у дипломній роботі розробив програмне забезпечення для аналізу коментарів на YouTube із використанням сучасних інструментів розробки. Для створення серверної частини додатку було обрано фреймворк Fastify.js із платформою виконання Node.js, а для клієнтської частини — фреймворк Vue.js. Обрано систему керування базами даних MongoDB. В результаті було створено програму, яка дозволяє користувачу переглядати усі коментарі із YouTube-відео, виконувати пошук, фільтрацію, надає проаналізовані дані про текст коментарю, а саме тональність

тексту та мову, якою він написаний. Статистична інформація про аналізовані коментарі надається сервісом у вигляді графіків та діаграм [7].

Румунські дослідники здійснили багатовимірний аналіз даних [8] за допомогою Tableau Public обравши по топ-100 каналів із 17 різних категорій, вони в своєму рейтингу враховували кількість завантажених відео, кількість підписників і кількість переглядів. Вони також зробили семантичний аналіз тексту в описі каналів.

На платформі kaggle щорічно оновлюється набір даних [9], що містить статистику каналів YouTube з найбільшою кількістю підписок в форматі .csv, який і візьмемо за основу нашого дослідження.

Мета дослідження полягає у моніторингу платформи YouTube на основі статистичних даних за 2023 рік, а також для зручності роботи створенні програми у вигляді веб-сервісу з адаптивним графічним інтерфейсом, що дасть змогу здійснювати аналіз даних, таких як кількість передплатників, переглядів відео, тип каналу, популярність серед переглядачів на платформі YouTube з метою виявлення ключових тенденцій.

Основна частина дослідження.

Створено базу даних в СУБД MySQL, яка містить статистику каналів YouTube з найбільшою кількістю підписок (995 записів в таблиці), а також статистику власних каналів (рисунок 1).

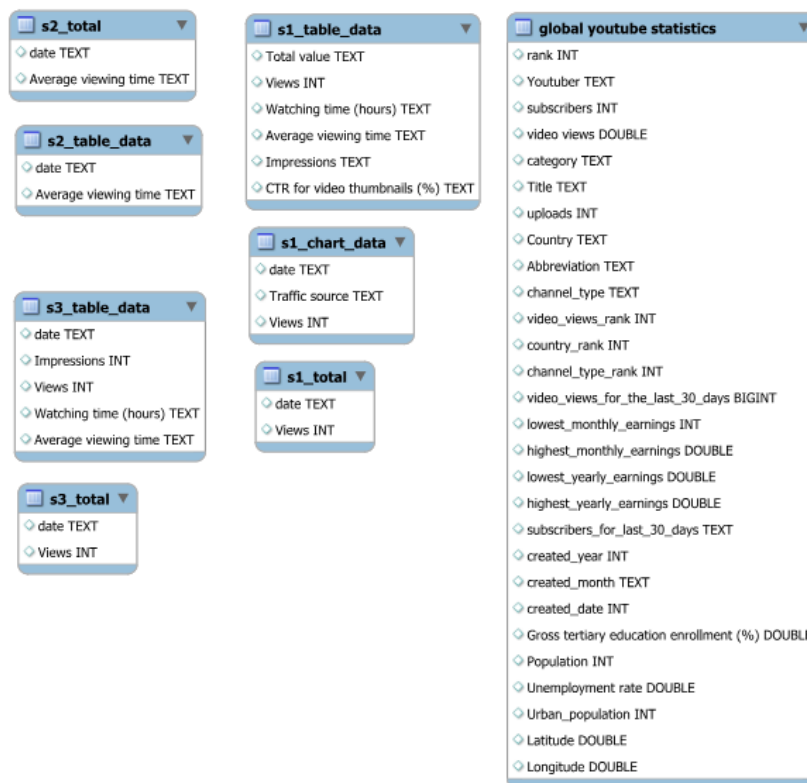


Рис. 1— Схема бази даних

Для того, щоб перевідчитися в достовірності, порівняємо дані, отримані з [9] та дані з сайту vidIQ [10] (рисунок 2). Для цього виберемо 10 найпопулярніших каналів за кількістю переглядів:

```
USE youtubestat;  
SELECT Youtuber, subscribers, `video views` FROM `global youtube statistics`  
ORDER BY subscribers DESC  
LIMIT 11
```

Youtuber	subscribers	video views
T-Series	245000000	228000000000
YouTube Movies	170000000	0
MrBeast	166000000	28368841870
Cocomelon - Nursery Rhymes	162000000	164000000000
SET India	159000000	148000000000
ннн Kids Diana Show	112000000	93247040539
PewDiePie	111000000	29058044447
Like Nastya	106000000	90479060027
Vlad and Niki	98900000	77180169894
Zee Music Company	96700000	57856289381
WWE	96000000	77428473662




Рис. 2— Порівняння даних з різних джерел

Як бачимо з рисунку 2, рейтинг каналів співпадає, за винятком того, що в базу даних з kaggle потрапив зайвий рядок (YouTube Movies), тому в SQL-запиті ми виводимо 11 позицій, а не 10.

Цікаво дізнатися чи потрапили в рейтинг канали з України:

```
SELECT Youtuber, subscribers, category FROM youtubestat.`global youtube statistics`
WHERE Country='Ukraine';
```

В результаті виконання запиту в базі даних знайшлося 8 каналів, проте три з них мають не коректну назву, тому ми їх до уваги не братимемо, розглянемо детальніше інші 5 каналів (таблиця 1).

Таблиця 1 – Українські канали з найвищим рейтингом

Youtuber 2023	Subscribers 2023	Subscribers 2024	category 2023	Country 2023	Country 2024	Language 2024	Creation data 2024
SlivkiShow	20400000	20700000	Entertainment	Ukraine	Ukraine	Rus	11.12.2012
News 24	17700000	6560000	News & Politics	Ukraine	Ukraine	Ukr	05.02.2006
SIS vs BRO	14200000	14100000	Entertainment	Ukraine	Canada	Eng	03.03.2016
Lady Diana	13500000	13800000	Entertainment	Ukraine	Ukraine	Rus	21.03.2016
VexTrex	13300000	13300000	Entertainment	Ukraine	USA	Eng	08.09.2014

В таблиці 1 дані, які містять в шапці «2023», взято з сайту сайту [9], а дані, що в шапці містять надпис «2024» - взято з платформи YouTube. Як бачимо з таблиці 1, дані не зовсім точні, зокрема канал «SIS vs BRO» позначено як український, а насправді він є канадським, так само як канал «VexTrex» є американським, а не українським. Тому можна зробити висновок, що рейтингу потрапили лише три канали, які вказали своєю країною Україну, крім того, лише один з них («News 24») містить україномовний контент.

Також з таблиці 1 можна помітити, що 4 з 5 каналів відносяться до категорії «розваги». Тому цікаво дослідити рейтинг категорій, щоб визначити найбільш популярні, для цього напишемо запит:

```
SELECT category, count(Youtuber) FROM youtubestat.`global youtube statistics`
GROUP BY category
ORDER BY count(Youtuber) DESC;
```

Як і передбачалося, найбільші рейтинги отримала категорія «Розваги», на другому місці категорія «Музика» (рисунок 3).

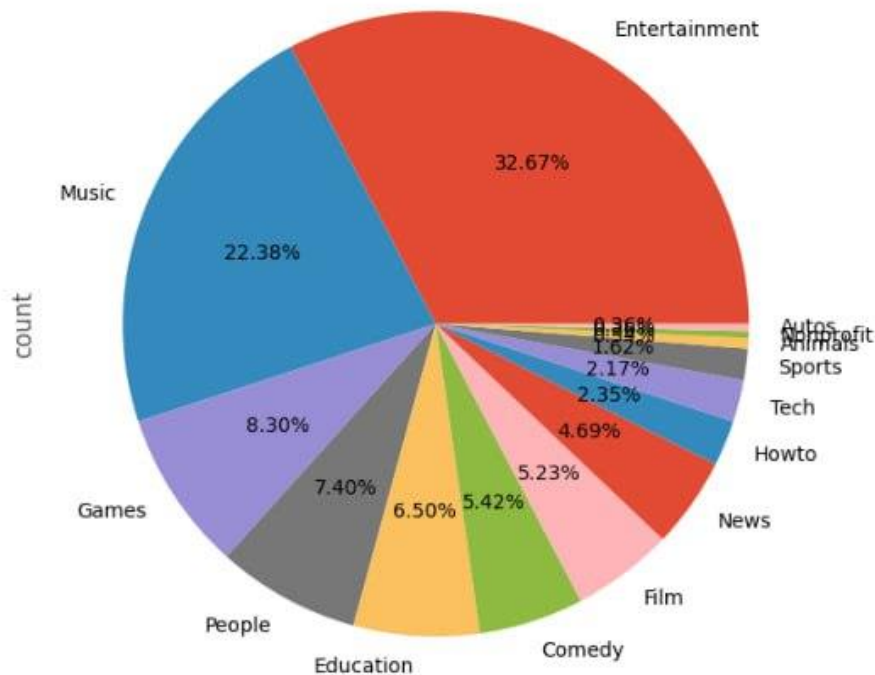


Рис. 3 – Рейтинг популярності YouTube-каналів за категоріями

Для зручності відображення аналітичних досліджень було створене програмне забезпечення у вигляді веб-сервісу для обробки даних та їх виведення у вигляді графіків. Дані зберігаються в базі даних MySQL або в форматі .csv, їх обробка здійснюється засобами мови Python з використанням бібліотек pandas, matplotlib, seaborn та Django для візуалізації та представлення результатів., веб-інтерфейс розроблений за допомогою HTML та CSS. Архітектура системи також враховує вимоги безпеки та захисту даних. Усі дані, що передаються та обробляються системою, захищені новітніми протоколами та технологіями шифрування. Безпека даних забезпечується на рівні сервера, бази даних і мережевого підключення.

Для обробки та візуалізації даних було використано різні модулі та бібліотеки, що зображено на рисунку 4.

```
from django.shortcuts import render
import io
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd
import numpy as np
import seaborn as sns
import urllib, base64
```

Рис. 4— Використані бібліотеки та модулі

from django.shortcuts import render — імпортування функції render з модуля django.shortcuts, яка використовується для рендерингу HTML-шаблонів.

Matplotlib, Pandas, NumPy, Seaborn — бібліотеки для роботи з даними та візуалізації графіків.

import urllib, base64 — бібліотеки для кодування зображення у формат base64, щоб його можна було вбудувати безпосередньо в HTML-сторінку.

os — модуль для роботи з функціями операційної системи, такими як отримання інформації

про файли та каталоги.

io — модуль для роботи з рядками та байтами у вхідних-вихідних операціях. Використовується для створення буферу для збереження графіків у вигляді байтів.

urllib — модуль для роботи з URL-адресами, використовується для кодування стрічок та формування URL для відображення графіків у веб-інтерфейсі.

base64 — модуль для роботи з кодуванням та декодуванням даних у форматі base64. Використовується для перетворення графіків у формат, який може бути відображений у HTML сторінці.

django.shortcuts — містить функції, які полегшують роботу з веб-інтерфейсом, зокрема функцію render для відображення HTML-шаблонів.

Результати статистичних дослідження платформи YouTube відображено у вигляді різних графіків, реалізація яких на веб-сторінках забезпечується фреймворком Django, приклад зображено на рисунку 5.

```
def most_popular_25(request):
    yt=load_table()

    plt.figure(figsize=(10, 10))
    yt_bp = sns.barplot(y='Youtuber', x='video views', data=yt,
                       order=yt.sort_values('video views', ascending=False).Youtuber.iloc[:25], palette='Spectral') #Top 25 channels
    plt.title('25 найпопулярніших каналів') #Title for graph
    yt_bp.set_xticklabels(['0b', '50b', '100b', '150b', '200b']) #Sets x labels

    plt.plot(range=10)
    fig=plt.gcf()
    buf=io.BytesIO()
    fig.savefig(buf, format='png')
    buf.seek(0)
    string = base64.b64encode(buf.read())
    uri = urllib.parse.quote(string)
    return render(request, 'most_popular_25.html', {'img': uri})
```

Рис. 5 — Код для створення графіку (стовпчаста діаграма)

Цей приклад коду визначає функцію most_popular_25 (request), яка аналізує дані та створює графік у вигляді стовпчастої діаграми для 25 найпопулярніших каналів на основі кількості переглядів відео. Далі графік зберігається у форматі PNG, конвертується в base64 та відображається на веб-сторінці «most_popular_25.html», що зображено на рисунку 6. Слід звернути увагу, що дані з рисунку 6 корелюються з даними рисунку 2.

Створений програмний продукт дозволяє робити досліджувати популярність каналів за різними критеріями, наприклад за типом або за останніми переглядами, тощо.

На початку свого розвитку YouTube намагався рекомендувати відео, які здобули найбільше кліків, в 2012 році в алгоритмі рекомендацій почали враховувати не лише кліки, але й час перегляду відео, на сьогоднішній день YouTube пропонує відео, які кожен окремий глядач, швидше за все, перегляне, а не відео, які переглядають інші люди. Персоналізовані пропозиції оцінюються відповідно до ефективності та якості відео, а також інтересу та поведінки глядачів.

Наша база даних містить окрім глобальної статистики ще й статистику власного каналу. Спробуємо дослідити джерела трафіку на своєму каналі, для цього напишемо запит:

```
SELECT `Traffic source`, sum(Views), sum(Views)/28283*100 AS '%'
FROM youtubestat.s1_chart_data
GROUP BY `Traffic source`
ORDER BY sum(Views) DESC;
```

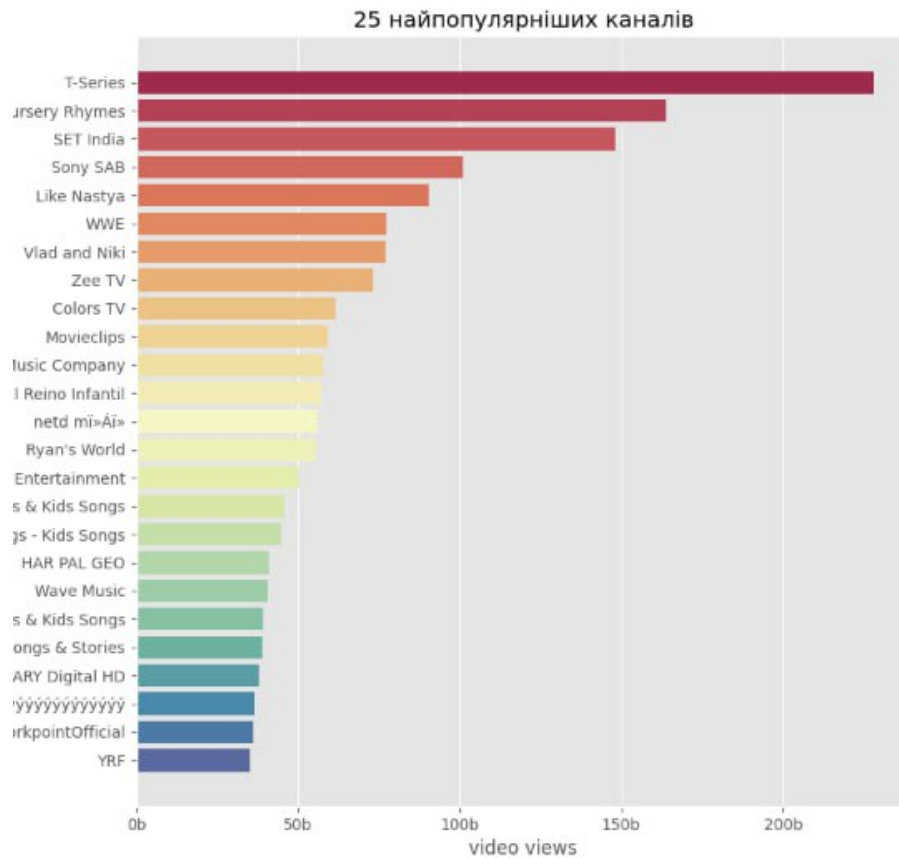


Рис. 6 — Діаграми для 25 найпопулярніших каналів

Результат виконання цього запиту наведено на рисунку 7.

Traffic source	sum(Views)	%
Рекомендовані відео	17095	60.4427
Функції вибору контенту	9307	32.9067
Сторінки каналів	575	2.0330
Адресний рядок, закладки, невідомі джерела	573	2.0260
Пошук на YouTube	566	2.0012
Інші сторінки YouTube	167	0.5905

Рисунок 7 — Джерела трафіку

Як бачимо з рисунку 7, більше 60 % трафіку займають саме рекомендовані відео, тому аналітичні дослідження платформи допоможуть краще підбирати контент та ефективніше потрапляти в списки рекомендованих відео.

Висновки. Створено базу даних в СУБД MySQL на основі csv-файлів з різних джерел (з платформи kaggle та з аналітики власного каналу). Розроблено програми у вигляді веб-сайту, що дає змогу здійснювати комплексний аналіз характеристик каналів YouTube з використанням мови SQL та інструментів візуалізації даних Python. Результати дослідження можуть бути корисними для маркетологів, дослідників та інших зацікавлених осіб, щоб ліпше розуміти платформу та розробляти стратегії взаємодії.

Список бібліографічного опису

1. Top Websites Ranking. Most Visited Websites in Ukraine. URL: <https://www.similarweb.com/top-websites/ukraine/> (дата зверення: 19.02.2024)
2. Аналітика YouTube: 14 показників для відстеження ефективності вашого відеоконтенту. URL: <https://wave.video/ua/blog/youtube-analytics-metrics/> (дата звернення: 20.02.2024)
3. Manko, B. A. (2023). Video advertising: Using YouTube analytics for the target audience. Journal of Information

Technology Teaching Cases, 13(1), 77-81.

4. Shetty, A., Abreo, B., D'Souza, A., Kondana, A., & Karimbi, K. M. (2021, May). Video Description Based Youtube Comment Classification. In Applications of Artificial Intelligence in Engineering: Proceedings of First Global Conference on Artificial Intelligence and Applications (GCAIA 2020) (pp. 667-678). Singapore: Springer Singapore.
5. Христинець, Н., Мельник, К., Фенюк, А., & Копчук, В. (2023). Аналітика веб-ресурсів як способи рейтингування інформаційних систем. КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, (53), 228-232. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-34>
6. Ashwini, T., Sahana, L. M., Mahalakshmi, E., & Shweta, S. P. YOUTUBE DATA ANALYSIS USING HADOOP FRAMEWORK. DOI: 10.33564/IJEAST.2021.v05i11.051
7. Брусенцов Ю. О. Веб-сервіс для аналізу коментарів на YouTube. Кваліфікаційна робота «Бакалавр». Київ, 2020. 26 с.
8. Lupşa-Tătaru, D. A., & Lixăndroiu, R. (2022). YouTube channels, subscribers, uploads and views: a multidimensional analysis of the first 1700 channels from July 2022. Sustainability, 14(20), 13112.
9. Global YouTube Statistics 2023. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/nelgiryewithana/global-youtube-statistics-2023/data> (дата звернення: 09.03.2024).
10. Top 50 YouTube Channels. Boost Your Views And Subscribers On YouTube - vidIQ. URL: <https://vidiq.com/youtube-stats/top/50/> (date of access: 10.03.2024).

References

1. Top Websites Ranking. Most Visited Websites in Ukraine. URL: <https://www.similarweb.com/top-websites/ukraine/> (дата звернення: 19.02.2024)
2. Аналітика YouTube: 14 показників для відстеження ефективності вашого відеоконтенту. URL: <https://wave.video/ua/blog/youtube-analytics-metrics/> (дата звернення: 20.02.2024)
3. Manko, B. A. (2023). Video advertising: Using YouTube analytics for the target audience. Journal of Information Technology Teaching Cases, 13(1), 77-81.
4. Shetty, A., Abreo, B., D'Souza, A., Kondana, A., & Karimbi, K. M. (2021, May). Video Description Based Youtube Comment Classification. In Applications of Artificial Intelligence in Engineering: Proceedings of First Global Conference on Artificial Intelligence and Applications (GCAIA 2020) (pp. 667-678). Singapore: Springer Singapore.
5. Khrystynets, N., Melnyk, K., Fenyuk, A., & Kopchuk, V. (2023). Analytics of web resources as ways of rating information systems. COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION, (53), 228-232. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-34>
6. Ashwini, T., Sahana, L. M., Mahalakshmi, E., & Shweta, S. P. YOUTUBE DATA ANALYSIS USING HADOOP FRAMEWORK. DOI: 10.33564/IJEAST.2021.v05i11.051
7. Brusentsov Yu. O. Web service for analyzing comments on YouTube. Qualifying work "Bachelor". Kyiv, 2020. 26 p.
8. Lupşa-Tătaru, D. A., & Lixăndroiu, R. (2022). YouTube channels, subscribers, uploads and views: a multidimensional analysis of the first 1700 channels from July 2022. Sustainability, 14(20), 13112.
9. Global YouTube Statistics 2023. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/nelgiryewithana/global-youtube-statistics-2023/data> (date of access: 09.03.2024).
10. Top 50 YouTube Channels. Boost Your Views And Subscribers On YouTube - vidIQ. URL: <https://vidiq.com/youtube-stats/top/50/> (date of access: 10.03.2024).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-16>

УДК 004:51:378(045)

Левчук Олена Володимирівна, к.пед.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0001-5046-2367>

Левчук Костянтин Іванович, д.іст.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0003-0459-622X>

Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна

ЦИФРОВА СТІЙКІСТЬ: ОЦІНКА РОЛІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ БЕЗПЕРЕРВНОСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ В КРИЗОВИХ УМОВАХ

Левчук О.В., Левчук К.І. **Цифрова стійкість: оцінка ролі інформаційних технологій у забезпеченні безперервності підготовки фахівців в кризових умовах.** В дослідженні проаналізовано вплив цифрової стійкості на якість і ефективність підготовки фахівців. Виокремлено конкретні технологічні проблеми, з якими стикаються здобувачі вищої освіти під час кризових умов, запропоновано ефективні рішення, враховуючи доступність та технологічну підтримку для різноманітних потреб у навчанні. Встановлено, що успішні стратегії цифрової стійкості передбачають активне впровадження адаптивних технологій, планування на випадок непередбачених ситуацій і розробку гнучких моделей навчання для реагування на несподівані виклики. Вивчено досвід студентів щодо ролі інформаційних технологій у дистанційному навчанні в умовах кризи, враховуючи їхні особистісні цілі, уподобання та очікування. Проведено порівняльний аналіз ефективності різних інформаційних технологій, які використовуються для підготовки спеціалістів в кризових умовах, оцінивши зручність їхнього використання та адаптованість до різноманітних навчальних середовищ. Вивчено стратегії, які використовують навчальні заклади для створення стійкості до цифрових технологій, наголошуючи на важливості інституційної політики, професійного розвитку викладачів та інвестицій в інфраструктуру.

Ключові слова: війна в Україні, технології навчання, дистанційна освіта, змішане навчання, освітні ресурси, студентоцентрована освіта.

Levchuk O.V., Levchuk K.I. **Digital sustainability: assessment of the role of information technologies in ensuring the continuity of specialist training in crisis conditions.** The study analyzed the impact of digital sustainability on the quality and effectiveness of specialist training. Specific technological problems faced by students of higher education during crisis conditions are highlighted, and effective solutions are proposed, taking into account accessibility and technological support for various learning needs. Successful digital resilience strategies have been found to involve proactive adoption of adaptive technologies, contingency planning, and the development of flexible learning models to respond to unexpected challenges. The experience of students regarding the role of information technologies in distance learning in crisis conditions was studied, taking into account their personal goals, preferences and expectations. A comparative analysis of the effectiveness of various information technologies, which are used to train specialists in crisis conditions, was conducted, assessing their ease of use and adaptability to various educational environments. Strategies used by educational institutions to build digital resilience are explored, emphasizing the importance of institutional policies, faculty professional development, and infrastructure investments.

Keywords: war in Ukraine, learning technologies, distance education, blended learning, educational resources, student-centered education.

Постановка проблеми. Освіта є особливою сферою життєдіяльності суспільства, яка має довгостроковий вплив на соціальний, економічний і політичний розвиток. За умов війни, яка набуває затяжного характеру, збереження університету як соціального інституту освітнього потенціалу відіграє важливу роль для повоєнного майбутнього країни.

З початком широкомасштабного російського вторгнення в Україну усі учасники освітнього процесу стикаються з низкою проблем. Так, в березні 2022 року практично у всіх регіонах України заклади вищої освіти (ЗВО) були на вимушених канікулах або працювали у дистанційному форматі [1]. В результаті бойових дій пошкоджено 157 закладів фахової передвищої та вищої освіти, 21 повністю зруйновано [2], тимчасово переміщено 31 заклад вищої освіти та 65 відокремлених структурних підрозділів ЗВО [3]. Продовження практики дистанційної форми навчання, яка склалася в умовах пандемії, була вимушеною та доцільною в початковий період війни. [4, с.31].

Новий «військовий» 2022/2023 навчальний рік розпочався для ЗВО України під впливом безпекових чинників – дистанційно навчалися (онлайн) – 37% студентів, очно (офлайн) – 9%, змішаній формі навчання віддали перевагу 54% ЗВО [2].

Варто зазначити, що в умовах воєнного стану, кожний регіон має свої специфічні особливості, які необхідно враховувати в навчальному процесі [5]. Серед них:

- наближеність до театру бойових дій,
- інтенсивність обстрілів та бомбардувань далекобійною зброєю,
- руйнування або пошкодження приміщень ЗВО, їх переміщення в більш безпечні регіони
- використання аудиторій, кампусів, гуртожитків «тилових» ЗВО евакуйованими установами та внутрішньо переміщеними особами тощо.

- забезпеченість учасників освітнього процесу укриттями що гранично визначає спосіб навчання у ЗВО.

ЗВО, які не перебувають у зонах проведення активних бойових дій або в безпосередній близькості від них (Вінницька, Волинська, Івано-Франківська, Закарпатська, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька, Чернівецька області) виконують особливу місію стосовно прийому та надання наявних можливостей для забезпечення житлом та приміщеннями евакуйованих здобувачів вищої освіти та науково-педагогічних і педагогічних працівників. прийому адміністрацій інших ЗВО для відновлення освітнього процесу [6].

В залежності від безпекової ситуації в регіонах, існують різні форми організації освітнього процесу. Зокрема, столичні ЗВО більшість з яких обрали змішану форму навчання (75%), застосовували таке поєднання: заняття з дисциплін циклу професійної підготовки (фахові) проводяться в аудиторіях, а дисципліни циклу загальної (теоретичної) підготовки – в онлайн-форматі із застосуванням синхронного та асинхронного режимів [7].

Загалом, ЗВО, які працюють у змішаному форматі надають перевагу двом формам: комбінованому календарному підходу до навчання, за якого для всіх здобувачів формати (офлайн та онлайн) по чергово змінюються з певною періодичністю (декілька тижнів або місяців) або за роками навчання – навчання в офлайн-форматі для молодших курсів, онлайн – для старших.

Використання безкоштовних цифрових ресурсів, освітніх онлайн-платформ (Coursera, UdeMy та edX (з березня 2022 р.)), можливість вільного доступу до ліцензійних інструментів організації навчання компаній Google та Zoom (з серпня 2022 р.) стало важелем для активного впровадження у ЗВО дистанційного (37 %) та змішаного навчання (25,1 %). Проте, на думку кожного четвертого (25,1 %) з опитаних здобувачів вищої освіти, рівень безпеки організації освітнього процесу в офлайн форматі є низьким. Про недостатній рівень захисту під час очного навчання вказали 17,3 % студентів ЗВО [2].

Тому, забезпечення якісної освітньо-наукової діяльності, конкурентоспроможної вищої освіти, яка має специфічні моделі реалізації, залежно від регіональних особливостей, є нагальною проблемою сьогодення [3].

Нині спостерігається критична роль інформаційних технологій. Адже вони відіграють ключову роль у підтримці безперервності освіти під час криз, слугуючи ключовим засобом для дистанційного навчання, співпраці та доступу до ресурсів.

Цифрову стійкість ми розуміємо як адаптивну здатність освітніх систем ефективно використовувати інформаційні технології для забезпечення безперервної підготовки фахівців навіть в умовах кризи. Вона охоплює різні компоненти, включаючи надійну онлайн-інфраструктуру, засоби зв'язку, безпечне керування даними та адаптивні методи навчання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Науковці відзначають важливість дистанційних технологій для студентів українських університетів в умовах воєнного часу.

Водночас, видається доволі дискусійною спроба авторів оцінити дистанційне навчання як масштабну інновацію. На наш погляд, використання в навчальному процесі виключно дистанційного навчання під час війни не сприяє вирішенню усіх освітніх завдань та залежить від впливу безпекових чинників [8].

Однак, слід відзначити інноваційні технології дистанційного навчання, які були апробовані під час пандемії, та можуть бути використані українськими університетами. Зокрема, поєднання інтерактивного онлайн-рецензування та методу перевернутого класу дало змогу покращити успішність слухачів, схильність до критичного та рефлексивного мислення [9].

Серед науковців зростає увага до динамічних засобів навчання. Але використання динамічної візуалізації для передачі змісту освіти (віртуальна дошка) під час онлайн навчання може бути ускладнене через недостатню швидкість сигналу в мережі. Тому дослідники пропонують метод сегментації навчального матеріалу як один із способів вирішення проблеми. [10] Загалом дистанційне навчання може бути успішним, коли воно спрямоване на збереження взаємодії між студентами та досвідченим викладачем з використанням інструментів відеоконференцій Zoom, Google Meet тощо.

У цій ситуації доставці контенту до споживача сприяє інтеграція з системою управління навчанням [11].

Вимушений перехід до дистанційної освіти виявив низку наслідків для викладання і вивчення природничих наук та математики. Традиційні синхронні форми навчання, які використовуються під час офлайн занять, успішно доповнюються асинхронними, при умові відповідного методичного та

інфраструктурного забезпечення [12]. Також увагу дослідників привертають особливості використання сучасних мобільних пристроїв для підтримки контекстного навчання. Вони роблять висновок, що успіх мобільного навчання залежить від підготовки студентів, передбачуваної та стабільної технології, сумісності освітнього контенту [13].

Доволі ефективною під час дистанційного та змішаного навчання є методика перевернутого класу. У цьому випадкові структура заняття, логіка курсу та інфраструктура зв'язку мають вирішальне значення для успіху [14]. Однак, успішність використання комп'ютерних технологій в математичній освіті дещо переоцінена [15].

Важливим фактором, який потрібно врахувати є свідоме руйнування російськими військами енергетичної інфраструктури України восени-взимку 2022-2023 років. Це призвело до ускладненого доступу здобувачів освіти до електропостачання та інтернет мережі. Мешканці сільських регіонів України виявились ще більш обмежені у доступі до онлайн освіти. В цій ситуації актуальності набуває досвід деяких країн Африки та Азії, в яких склалася подібна за наслідками ситуація під час пандемії коронавірусу. Дослідники вважають що за цих умов найкраще себе проявили технології змішаного навчання, які зменшували ризики соціально-економічної нерівності [16, 17].

Заслужує на увагу погляд щодо напрямів трансформації вищої освіти. Автори вважають що зміни в організації навчального процесу неминучі та відбудуться на основі змішаної моделі навчання. При цьому буде збережено досвід університету як соціального інституту та використано сучасні засоби масової комунікації [18].

Мета дослідження. Дослідити роль інформаційних технологій у вирішенні проблеми забезпечення неперервності навчання здобувачів вищої освіти в регіонах, де заклади вищої освіти не перебувають у зонах проведення активних бойових дій або в безпосередній близькості від них.

Виклад основного матеріалу дослідження. Поки триває війна в Україні, ми поставили за мету зібрати інформацію, визначити проблеми, оцінити труднощі з якими зустрічаються під час навчання здобувачі вищої освіти щоб розробити стратегії їх вирішення. Важливою особливістю даного дослідження є врахування регіональних особливостей, де ЗВО не перебувають у зонах проведення активних бойових дій або в безпосередній близькості від них.

Опитування проводилося після інтенсивних обстрілів української енергетичної інфраструктури, що можливо вплинуло на результати. В дослідженні брали участь студенти п'яти ЗВО міста Вінниці в приблизно в рівній кількості.

Організацію збору статистичних даних, ми виконували, дотримуючись системного підходу. На першому етапі нашою метою було з'ясування основних змін в доступі до освітнього процесу в здобувачів вищої освіти з початку повномасштабної війни в Україні. Для цього була створена гугл-форма №1, на питання якої відповіло 318 здобувачів (56,9% з міської місцевості, а 43,1% - сільської).

За результатами дослідження було з'ясовано, що оскільки Вінниччина виявилась відносно безпечним регіоном під час війни, то суттєвих змін в освітніх траєкторіях здобувачів не відбулося. Як виявилось змінити місце проживання через війну довелось тільки 17,3% здобувачам. Лише 38% респондентів зазначили, що вони вимушені були робити перерви у навчанні, в той час як 62% їх взагалі не робили.

Переважає більшість – 96,5% опитаних зазначили, що вони мали доступ до відповідних освітніх ресурсів. Лише невелика частина студентів мали обмежений доступ до таких ресурсів як підручники, методичні матеріали та онлайн-платформи. Близько 75% вдавалось регулярно відвідувати заняття. 83,8% респондентів задоволені підтримкою та ресурсами ЗВО під час війни, 96,2% мали доступ до онлайн-навчання, 86,7% регулярно спілкувалися зі своїми викладачами та одногрупниками, а 37,5% вдавалось поєднувати навчання та роботу. Водночас, близько 13% здобувачів заявили, що через брак спілкування з викладачами студентам стало складно отримати підтримку та рекомендації під час навчання.

Все ж, з огляду на постійну загрозу безпеці учасників освітнього процесу, часті повітряні тривоги, 75% респондентів зазначили, що підвищений стрес і занепокоєння вплинули на їхню здатність зосереджуватися та брати участь у навчальному процесі, 58,7% довелося змінити свої освітні цілі. (табл.1)

Таблиця 1 – Відповіді здобувачів вищої освіти щодо основних проблем та викликів, з якими вони стикнулись під час отримання освітніх послуг

Питання	Так, %	Ні, %
---------	--------	-------

Чи доводилося вам переїжджати?	17,3	82,7
Чи вдається вам поєднувати навчання і роботу?	37,5	62,5
Чи змушені ви були робити перерви у навчанні?	38	62
Чи доводилося вам змінювати свої освітні цілі?	58,7	41,3
Чи вдалося вам регулярно відвідувати заняття?	74,7	25,3
Чи відчували ви підвищений стрес або тривогу?	75	25
Ви задоволені підтримкою вашого навчального закладу?	83,8	16,2
Чи мали ви доступ до онлайн-освітніх платформ?	85,7	14,3
Чи вдалося вам регулярно спілкуватися з одногрупниками?	86,7	13,3
Чи мали ви доступ до онлайн-занять ?	96,2	3,8

В процесі бесід, інтерв'ю, спостережень з'ясувалось що основним викликом стали проблеми з електропостачанням та, зумовлені цим, збій у роботі інтернету, труднощі із отриманням або підтримкою технологій. Також майже половина респондентів відзначили зниження участі та залучення до навчання що пов'язано з посиленням стресу і занепокоєння, зменшенням мотивації. (табл.2)

Таблиця 2 – Відповіді здобувачів вищої освіти щодо основних чинників, які вплинули на якість їхньої освіти

Питання	Так, осіб	Ні, осіб
Відсутність гаджетів ІКТ	37	263
Невідповідні умови навчання	38	261
Відсутня комунікація з викладачами	49	250
Зменшення доступу до ресурсів	59	239
Відсутність персонального місця для навчання	61	235
Обмежена комунікація з викладачами	76	226
Зменшення фінансування освіти	81	217
Збій в навчальному процесі	112	190
Зниження участі та залученості	138	167
Обмежений доступ до інтернету	198	101
Відсутність доступу до інтернету	205	103
Відсутність електроенергії	240	65
Нерегулярна подача електроенергії	246	62

Також близько чвертини респондентів відзначали неадекватне навчальне середовище, наприклад, невідповідні умови навчання, зумовлені пошкодженням інфраструктури університетів, відсутність персонального місця для навчання (приватності, тиші чи комфортних навчальних приміщень), зниження участі та залучення (посилення стресу і занепокоєння, зменшення мотивації), зменшення фінансування освіти (зменшення ресурсів, доступних для навчання та підтримки).

Війна і відсутність доступу до освітніх ресурсів у 42,6% респондентів не зіграли жодного ефекту, в той час, як майже половину респондентів вплинули негативно.

Отже, ми з'ясували, що проблеми мають переважно інфраструктурний (пошкодження інфраструктури, збій в комунікації та транспорті, перебої в електропостачанні, економічна нестабільність), трохи менше - інституційний (збій в навчальному процесі, зменшення доступу до ресурсів та викладачів, невідповідні умови навчання, зменшення фінансування освіти, брак ресурсів, доступних для навчання та підтримки) та особистісний характер (переселення або евакуація, зниження залучення студентів, спричинене посиленням стресу і занепокоєння, зменшення їх мотивації до участі у навчальному процесі).

Респонденти давали наступні поради для покращення доступу до освітніх ресурсів і технологій для студентів університетів у постраждалих від війни районах: «Переходити на змішану форму навчання», «Забезпечити офлайн-режими на платформах закладів освіти», «Підтримувати навчання в асинхронному режимі із постійною підтримкою викладачів», «Надати доступ до інформаційних ресурсів інших навчальних закладів...», «Створювати «пункти незламності» для навчання», «Впроваджувати змішане навчання, особливо на модульні тижні, щоб залишитися вдома і виконувати завдання та не нервувати через тривоги», «Забезпечити стабільне електропостачання,

доступ до Інтернету, пристроїв, а також вчасне надання освітніх ресурсів та матеріалів», «Врахувати не ресурси та технології, а в першу чергу моральне виснаження ...».

Загалом, 67,4% студентів вважають, що існуюча система освіти у їхньому регіоні може впоратися з викликами, пов'язаними з війною.

Зважаючи на попередні дослідження, наступною метою стало з'ясування організаційних, професійних викликів та потреб, рівень технічного забезпечення здобувачів під час дистанційної освіти в умовах війни в Україні. В цьому опитуванні взяло участь 394 студентів ЗВО міста Вінниці.

В умовах, що склалися думки респондентів розділилися таким чином: 46,3% відзначили дистанційну форму, як оптимальну в умовах, що склалися, 32,8% - змішану та лише 20,9% - очну.

Загалом переважній більшості зручно використовувати технології для дистанційного навчання (дуже зручно – 47,1%, переважно зручно – 43,2%).

Щодо ефективності дистанційної освіти, то думки розділились приблизно навпіл. Від багатьох ефективніша (11,5%) до мало ефективна (11,2%). Під час дистанційного навчання близько 90% респондентів практично не відчували технічних труднощів, вважають гарними ресурси та підтримку (чудово оцінили 36,3%, переважно добре – 36,3%), які необхідні для успіху в навчанні та впевнені у своїй здатності виконувати завдання і оцінювання. Загалом, загальну якість свого досвіду дистанційної освіти вони оцінюють як чудово (35,3%) або переважно добре (52,8%). Близько 80% студентів зазначають наявність таких показників під час онлайн-занять, як: відповідальне ставлення, регулярність, розуміння змісту заняття, достатність обсягу питань та відповідей, достатня якість оцінювання, достатня якість дистанційного обміну навчальними матеріалами, достатня ефективність (табл. 3).

Таблиця 3 – Відповіді здобувачів вищої освіти щодо наявності показників, які прослідковувались під час онлайн-занять

Питання	Так, осіб	Ні, осіб
Достатня ефективність онлайн-класу для навчального процесу	302	71
Достатність обсягу питань та відповідей, отриманих через Інтернет	309	65
Розуміння змісту онлайн-заняття	312	59
Достатня якість оцінювання у процесі дистанційного навчання	318	56
Достатня якість дистанційного обміну навчальними матеріалами	328	45
Відповідальне ставлення з вашого боку до онлайн-занять	329	42
Регулярність онлайн-занять	335	35

Загалом респонденти розвіяли низку міфів про невинуватість дистанційної освіти. Зокрема, з думкою, що дистанційне навчання гірше ніж очне погоджуються лише 165 респондентів на противагу 203, які з цим не погоджуються.

Також дистанційна освіта здебільшого відповідає потребам студентів у взаємодії та співпраці в освітньому середовищі (чудово оцінили 32,3%, переважно відповідає – 45,4%). Проте, водночас половина респондентів має проблеми з відчуттям ізольованості та відірваності від колективу. Майже не відчувають лише 51,8% здобувачів.

Варто зазначити, що близько 80% респондентів відзначили таку перевагу дистанційного навчання, як гнучкість. (табл.4)

Таблиця 4 – Відповіді здобувачів вищої освіти щодо їхнього ставлення до дистанційних форм вищої освіти

Питання	Так, осіб	Ні, осіб
Диплом, який отриманий за дистанційною формою не цінується	102	264
Дистанційне навчання гірше ніж очне	165	203
Дистанційне навчання зручніше	297	72
Навчатися очно зручніше	132	235
Дистанційне навчання – це вимушена форма навчання	224	142
Навчатися очно цікавіше, оскільки є можливість особистого спілкування	248	120

Щоб оцінити затребуваність освітніх ресурсів, ми попросили студентів оцінити значимість найбільш згадуваних за 10 бальною шкалою (більшій значимості відповідав вищий бал). Неочікуваним для нас стало те, що з-поміж освітніх технологій студенти надали перевагу різним

месенджерам, Отож, для месенджерів (Telegram, Viber, Facebook) середній бал (M) виявився 7,6 з середнім квадратичним відхиленням (σ) 3,1. Наступним у рейтингу виокремлюється Google Meet ($M = 5,8$, $\sigma = 3,78$). Також варто відзначити стійку популярність You Tube ($M = 5,71$, $\sigma = 3,32$). Порівняно нижчу значимість надали таким популярним платформам як Zoom ($M = 4,53$, $\sigma = 3,7$), Moodle ($M = 4,1$, $\sigma = 3,58$), Microsoft Teams ($M = 3,8$, $\sigma = 3,59$), Google-class ($M = 3,7$, $\sigma = 3,43$). Порівняно таку ж значимість мають корпоративні освітні платформи ($M = 4,4$, $\sigma = 3,55$). Найменш популярним виявився Skype ($M = 1,97$, $\sigma = 2,12$).

Значна частка студентів зазначила, що в першу чергу для дистанційного навчання їм потрібен ноутбук або комп'ютер, смартфон, навушники. В переважній більшості вони ними й забезпечені. З 376 студентів лише 24, заявили, що вони не мають ноутбука чи комп'ютера, 38 не мають навушників та 13 не мають смартфона. Планшет та графічний планшет суттєво не впливали на якість дистанційної освіти.

Водночас, варто зазначити, що близько 20% студентів все ж відзначають певні труднощі під час дистанційного навчання, зазначаючи що їм важко задавати викладачу питання, навчатись в домашніх умовах, сконцентруватись на заняттях. Близько половині незручно коли викладач просить ввімкнути веб-камеру. Також відзначається більша самотність, ізоляваність та нестача неформального спілкування. Тому надалі ми вирішили з'ясувати ставлення респондентів до змішаних форм, як альтернативи дистанційним.

Трохи більше половини студентів ставляться до такої форми чудово або переважно добре, переважно не добре – 17,3%, а лише 19,9% - погано.

Респондентами відзначається гнучкість (65,8%), зручний зворотній зв'язок (43,8), і в рівних мірах – більші освітні можливості (35,3%), зручний контроль (36,1%) та індивідуальний підхід (33,1%).

На думку респондентів для успішної організації навчання під час війни, яке гарантувало б високоякісну освіту, потрібно розробити онлайн-платформи для навчання, надати доступ до досвідчених і кваліфікованих викладачів, а також до актуальних і відповідних навчальних матеріалів. Також студенти вказували на важливість забезпечення доступу до технологій та ресурсів університету, впровадження гнучких варіантів розкладу (наприклад чергування очних та дистанційних форм навчання, вечірні заняття та заняття у вихідні дні), підтримки психічного здоров'я, консультування щодо емоційних та психологічних проблем, співпраці з іншими установами для обміну ресурсами та передовим досвідом, моніторингові та оцінці ситуації для внесення корективів у свої освітні послуги.

Нижче подано типові пропозиції для покращення дистанційної освіти:

«Вважаю, що студенти, які взаємодіють із людьми, деякими технічними приладами пов'язаними з їхньою спеціальністю повинні мати змішану форму навчання, всіх інших залучити до дистанційної форми на період війни та у зимовий час», «Тут все залежить від викладача. Якщо викладач цікаво подає матеріал, то на його заняття буде цікаво ходити і очно, і дистанційно», «Дистанційна освіта це чудово, так як є можливість поєднувати освіту, та роботу», «Надати можливість студентам самостійно обирати платформи для проведення навчального процесу під час дистанційного навчання. До популярних платформ, якими користуються студенти відносяться Discord та Telegram», «Припинити використовувати Zoom, який вимагає додаткової реєстрації, додаткового застосунку та може зберігати дані у КНР»; «Moodle не надає необхідної гнучкості та конфіденційності, порівняно з Google Classroom та іншими аналогами». «Сприяти забезпеченню закладів освіти «корпоративними просторами» та проводити комунікацію з міжнародними компаніями-сервісами (Notion, TickTick, Coursera, Udemy, JetBrains тощо), аби студентські можливості для студентів країн ЄС/НАТО були доступні й українським студентам», «Підготувати більш детальні та прості програми, що допоможуть студентам краще зрозуміти матеріал, який вони вивчають, забезпечення можливості отримувати індивідуальну підтримку від викладачів»

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Інформаційні технології відіграють ключову роль у підтримці безперервності освіти під час криз, слугуючи основним засобом для дистанційного навчання, співпраці та доступу до ресурсів. Цифрова стійкість охоплює різні компоненти, включаючи надійну онлайн-інфраструктуру, засоби зв'язку, безпечне керування даними та адаптивні методи навчання. Щоб забезпечити неперервність навчання студентів ЗВО мають здійснити наступні кроки:

- запропонувати студентам гнучкі варіанти освітніх траєкторій щоб максимально використати наявні інфраструктурні ресурси ЗВО (генератори, доступ до інтернету, лабораторії, іншу матеріально-технічну базу) та врахувати їхні особистісні обставини що склалися в час кризи;

- незважаючи на виклики, пов'язані з війною, університет повинен шукати оптимальні форми надання студентам високоякісної освіти, еквівалентної тій, яку вони отримали б за традиційної підготовки. Це вимагає налагодження комунікації студентів з досвідченими і кваліфікованими викладачами, а також доступ до актуальних навчальних матеріалів;

- вивчити можливість створення платформи онлайн-навчання, до якої студенти матимуть доступ з будь-якого місця та в будь-який час, гарантуючи, що їх навчання не буде перервано загостренням бойових дій. Ця платформа може включати віртуальні класи, відеоконференції та інші освітні ресурси;

- при потребі забезпечити студентів технологіями та ресурсами, необхідними для участі в онлайн-навчанні, такими як ноутбуки, доступ до інтернету та програмне забезпечення щоб студенти могли продовжувати навчання та досягати своїх академічних цілей;

- надавати студентам підтримку психічного здоров'я та консультування під час і після кризи, оскільки вони можуть зіткнутися з емоційними та психологічними проблемами, пов'язаними з війною.

- співпрацювати з іншими університетами та навчальними закладами для обміну ресурсами та передовим досвідом для надання освітніх послуг під час війни.

- регулярно відстежувати та оцінювати ситуацію та вносити будь-які необхідні корективи у свої освітні програми та послуги, щоб гарантувати, що студенти продовжуватимуть отримувати високоякісну освіту за швидкозмінних обставин.

Також ми дійшли висновку, що під час війни освітні технології відіграють вирішальну роль у забезпеченні здобувачів якісною освітою. Завдяки цьому ЗВО можуть надати студентам ресурси, необхідні для продовження навчання та досягнення академічних цілей за різних безпекових ситуацій в регіоні.

За змішаних форм підготовки найкраще використовувати такі освітні технології:

- онлайн-навчальні платформи, які надають студентам доступ до матеріалів курсу, віртуальних класів і інструментів для відеоконференцій (Blackboard, Canvas і Moodle);

- віртуальні класи для проведення лекцій і групових обговорень, дозволяючи студентам брати участь у навчанні в реальному часі (Zoom, Microsoft Teams);

- інструменти відеоконференцій для проведення індивідуальних зустрічей або зустрічей у невеликих групах між викладачами та студентами (Skype і Google Meet). Це дозволяє учням отримувати персональну увагу та підтримку з боку викладачів;

- цифрові бібліотеки, які надають студентам доступ до широкого спектру наукових журналів і книг (Project MUSE, JSTOR);

- мобільні навчальні програми, щоб надати студентам доступ до освітніх ресурсів і курсів у дорозі (Duolingo, Coursera);

- месенджери для оперативного донесення інформації (Telegram, Viber, Facebook).

Вирішення проблеми вищої освіти у війсьній Україні має вирішальне значення для майбутнього країни та потребує узгоджених зусиль уряду, міжнародної спільноти та вищих навчальних закладів, щоб студенти, викладачі та співробітники мали доступ до якісних освітніх можливостей.

Список бібліографічного опису

1. Міністерство освіти і науки України (2022). *Освіта України в умовах воєнного стану. Інформаційно-аналітичний збірник*. Retrieved from <https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/serpneva-konferencia/2022/Mizhn.serp.nauk-prakt.konferentsiya/Inform-analityc.zbirn-Osvita.Ukrayiny.v.umovakh.voyennoho.stanu.22.08.2022.pdf>
2. Міністерство освіти і науки України (2022). *Особливості організації освітнього процесу в закладах вищої освіти в період дії воєнного стану*. Retrieved from https://nmc-vfpo.com/wp-content/uploads/2022/12/pk_rybalko.pdf
3. Міністерство освіти і науки України (2022). *Фахова передвища і вища освіта в умовах воєнного стану*. Retrieved from <https://mon.gov.ua/ua/news/fahova-peredvisha-i-visha-osvita-v-umovah-voyennogo-stanu>
4. Київський університет імені Бориса Грінченка (2023). *Вища освіта в Україні: зміни через війну. Аналітичний звіт*. Retrieved from <https://osvitanalityka.kubg.edu.ua/wp-content/uploads/2023/03/HigherEd-in-Times-of-War.pdf>
5. Міністерство освіти і науки України (2022). *Інтерактивна мапа зруйнованих та пошкоджених закладів освіти*. Retrieved from URL: <https://mon.gov.ua/ua/news/ministerstvo-osviti-i-nauki-ukrayini-zapuskaye-interaktivnu-mapu-zrujnovanih-i-poshkodzenih-zakladiv-osviti>

6. Міністерство освіти і науки України (2022). *Про деякі питання організації роботи закладів фахової передвищої, вищої освіти на час воєнного стану. Наказ від 07.03.2022 № 235*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0235729-22#Text>
7. Державна служба якості освіти України (2023). *Якість надання освітніх послуг столичними закладами вищої освіти в умовах воєнного стану*. Retrieved from <https://sqe.gov.ua/yakist-nadannya-osvitnikh-poslug-stoli/>
8. Budnyk, O., Kushniruk, S., Tsybulko, L., Shevchenko, A., Fomin, K., & Konovalchuk, I. (2022). Education innovations: new wartime experience of Ukrainian universities. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 13(5), 464-471. <https://doi.org/10.47750/jett.2022.13.05.042>.
9. Lin, H.-C., Hwang, G.-J., Chang, S.-C., & Hsu, Y.-D. (2021). Facilitating critical thinking in decision making-based professional training: An online interactive peer-review approach in a flipped learning context. *Computers & Education*, (173), 103266. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104266>.
10. Krieglstein, F., Schneider, S., Gröninger, J., Maik, B., Steve, N., Wesenberg, L., Suren, M., & Günter, D. (2023). Exploring the effects of content-related segmentations and metacognitive prompts on learning with whiteboard animations. *Computers & Education*, (194), 104702. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104702>.
11. Reguera, E., & Lopez, M. (2021). Using a digital whiteboard for student engagement in distance education. *Computers & Electrical Engineering*, (93), 107268. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107268>.
12. Yorkovsky, Y., & Levenberg, I. (2022). Distance learning in science and mathematics - Advantages and disadvantages based on pre-service teachers' experience. *Teaching and Teacher Education*, (120), 103883. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2022.103883>.
13. Fabian, K., & Topping, K. (2019). Putting "mobile" into mathematics: Results of a randomized controlled trial. *Contemporary Educational Psychology*, (59), 101783. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2019.101783>.
14. Staddon, R. (2022). A supported flipped learning model for mathematics gives safety nets for online and blended learning. *Computers and Education Open*, (3), 100106. <https://doi.org/10.1016/j.cao.2022.100106>.
15. Rakes, C., Ronau, R., Bush, S., Driskel, S., Niess, M., & Pugalee, D. (2020). Mathematics achievement and orientation: A systematic review and meta-analysis of education technology. *Educational Research Review*, (31), 100337. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100337>.
16. Mukuka, A., Shumba, O., & Mulenga, H. M. (2021). Students' experiences with remote learning during the COVID-19 school closure: implications for mathematics education. *Heliyon*, 7(7), e07523. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07523>.
17. Carius, A.C. (2020). Network Education and Blended Learning: Cyber University concept and Higher Education post COVID-19 Pandemic. *Research, Society and Development*. 9 (10), e8209109340. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.9340>
18. Dias, S., & Diniz, J. (2012). Blended Learning in Higher Education: Different Needs, Different Profiles. *Procedia Computer Science*, (14), 438-446. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.10.050>

References.

1. Ministry of Education and Science of Ukraine (2022). *Education of Ukraine under martial law. Informational and analytical collection*. Retrieved from [https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya/serpneva-konferencia/2022/Mizhn.serpn.ped.nauk-prakt.konferentsiya/Inform-analityc.zbirn-Osvita.Ukrayiny.v.umovakh.voyennoho.stanu.22.08.2022.pdf](https://mon.gov.ua/storage/app/media/zagalna%20serednya%20serednya/serpneva-konferencia/2022/Mizhn.serpn.ped.nauk-prakt.konferentsiya/Inform-analityc.zbirn-Osvita.Ukrayiny.v.umovakh.voyennoho.stanu.22.08.2022.pdf)
2. Ministry of Education and Science of Ukraine (2022). *Peculiarities of the organization of the educational process in institutions of higher education during the period of martial law. December 13, 2022, Kyiv*. Retrieved from https://nmc-vfpo.com/wp-content/uploads/2022/12/pk_rybalko.pdf
3. Ministry of Education and Science of Ukraine (2022). *Vocational pre-university and higher education under martial law*. Retrieved from <https://mon.gov.ua/ua/news/fahova-peredvisha-i-visha-osvita-v-umovah-voyennogo-stanu>
4. Borys Grinchenko Kyiv University (2023). *Higher education in Ukraine: changes due to the war*. Retrieved from <https://osvitanalityka.kubg.edu.ua/wp-content/uploads/2023/03/HigherEd-in-Times-of-War.pdf>
5. Ministry of Education and Science of Ukraine (2022). *Interactive map of destroyed and damaged educational institutions*. Retrieved from <https://mon.gov.ua/ua/news/ministerstvo-osviti-i-nauki-ukrayini-zapuskaye-interaktivnu-mapu-zrujnovanih-i-poshkodzhenih-zakladiv-osviti>
6. Ministry of Education and Science of Ukraine (2022). "About some issues of organizing the work of institutions of vocational pre-university and higher education during martial law." Order dated 07.03.2022 No. 235. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0235729-22#Text>
7. The State Service of Education Quality of Ukraine (2023). *The quality of provision of educational services by the capital's institutions of higher education in the conditions of martial law*. Retrieved from <https://sqe.gov.ua/yakist-nadannya-osvitnikh-poslug-stoli/>
8. Budnyk, O., Kushniruk, S., Tsybulko, L., Shevchenko, A., Fomin, K., & Konovalchuk, I. (2022). Education innovations: new wartime experience of Ukrainian universities. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 13(5), 464-471. <https://doi.org/10.47750/jett.2022.13.05.042>.
9. Lin, H.-C., Hwang, G.-J., Chang, S.-C., & Hsu, Y.-D. (2021). Facilitating critical thinking in decision making-based professional training: An online interactive peer-review approach in a flipped learning context. *Computers & Education*, (173), 103266. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104266>.
10. Krieglstein, F., Schneider, S., Gröninger, J., Maik, B., Steve, N., Wesenberg, L., Suren, M., & Günter, D. (2023). Exploring the effects of content-related segmentations and metacognitive prompts on learning with whiteboard animations. *Computers & Education*, (194), 104702. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104702>.
11. Reguera, E., & Lopez, M. (2021). Using a digital whiteboard for student engagement in distance education. *Computers & Electrical Engineering*, (93), 107268. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.107268>.

12. Yorkovsky, Y., & Levenberg, I. (2022). Distance learning in science and mathematics - Advantages and disadvantages based on pre-service teachers' experience. *Teaching and Teacher Education*, (120), 103883. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2022.103883>.
13. Fabian, K., & Topping, K. (2019). Putting "mobile" into mathematics: Results of a randomized controlled trial. *Contemporary Educational Psychology*, (59), 101783. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2019.101783>.
14. Staddon, R. (2022). A supported flipped learning model for mathematics gives safety nets for online and blended learning. *Computers and Education Open*, (3), 100106. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2022.100106>.
15. Rakes, C., Ronau, R., Bush, S., Driskel, S., Niess, M., & Pugalee, D. (2020). Mathematics achievement and orientation: A systematic review and meta-analysis of education technology. *Educational Research Review*, (31), 100337. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100337>.
16. Mukuka, A., Shumba, O., & Mulenga, H. M. (2021). Students' experiences with remote learning during the COVID-19 school closure: implications for mathematics education. *Heliyon*, 7(7), e07523. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07523>.
17. Carius, A.C. (2020). Network Education and Blended Learning: Cyber University concept and Higher Education post COVID-19 Pandemic. *Research, Society and Development*. 9 (10), e8209109340. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i10.9340>
18. Dias, S., & Diniz, J. (2012). Blended Learning in Higher Education: Different Needs, Different Profiles. *Procedia Computer Science*, (14), 438-446. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.10.050>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-17>

УДК 004.85

Недашківський Богдан Миколайович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-9886-2674>

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ ЗАДОПОМОГОЮ ЗОРОВОГО ТРАНСФОРМЕРА

Недашківський Б.М. Методи розпізнавання та обробки зображень за допомогою зорового трансформера.

У цій роботі основна увага зосереджена на використанні можливостей Зорового Трансформера (ViT) як основи для досліджень розпізнавання та обробки зображень. Використання даної архітектури мотивується її вмінням моделювати довгострокові залежності, таким чином долаючи обмеження, пов'язані зі згортковими нейронними мережами (CNN), які обмежені локальними рецептивними полями. Не зважаючи на ефективність зорового трансформера у зборі глобальної інформації, його виняткова залежність від таких даних є неоптимальною для сценаріїв із зображеннями з кількома мітками. Ці зображення за своєю суттю містять різноманітні об'єкти, що охоплюють різні категорії, масштаби та просторові відносини. У світлі цього дослідження визнається неефективність покладатися виключно на глобальну інформацію для ефективної обробки таких комплексних візуальних даних. Дослідження спрямоване на усунення цього обмеження шляхом дослідження стратегії, яка доповнює модель ViT додатковим механізмом, здатним включати контекстну інформацію, що стосується зображень із кількома мітками, завдяки інтеграції декількох мнововидів та їх злиттю у єдиний мнововид. Мета полягає в тому, щоб підвищити здатність моделі розрізняти та розпізнавати об'єкти, що характеризуються різноманітними атрибутами, розмірами та просторовим розташуванням. З'ясовуючи необхідність нюансованого підходу до вирішення проблем, пов'язаних із зображеннями з кількома мітками, це дослідження є спробою зробити внесок у поточний дискурс щодо вдосконалення методологій розпізнавання та обробки зображень. Дослідження стратегій доповнення ViT контекстно-залежними механізмами підкреслює прагнення до вдосконалення можливостей моделей на основі зору для більш надійних і універсальних застосувань у сфері комп'ютерного зору.

Ключові слова: зоровий трансформер, багатозорові зображення, моделювання, згорткові нейронні мережі, просторові відносини, механізми.

Nedashkivskiy B. Methods of Image Recognition and Processing Using The Vision Transformer. In this study, the primary focus is on leveraging the inherent capabilities of the pure Vision Transformer (ViT) as a foundational framework for research in image recognition and processing. The utilization of Transformer architecture is motivated by its proficiency in modeling long-range dependencies, thereby overcoming the limitations associated with Convolutional Neural Networks (CNNs), which are constrained by local receptive fields. Despite the efficacy of ViT in capturing global information, its exclusive reliance on such data proves suboptimal for scenarios involving multi-label images. These images inherently comprise diverse objects spanning various categories, scales, and spatial relations. In light of this, the study acknowledges the inadequacy of relying solely on global information for effective processing of such complex visual data. The research aims to address this limitation by investigating strategies that augment the ViT model with additional mechanisms capable of incorporating contextual information pertinent to multi-label images. The objective is to enhance the model's capacity to discern and recognize objects characterized by diverse attributes, dimensions, and spatial arrangements. By elucidating the need for a nuanced approach to address the challenges posed by multi-label images, this study endeavors to contribute to the ongoing discourse on advancing image recognition and processing methodologies. The exploration of strategies to complement ViT with context-aware mechanisms underscores a commitment to refining the capabilities of vision-based models for more robust and versatile applications in the realm of computer vision.

Key words: vision transformer, multi-label images, long-range dependency modeling, convolutional neural networks, spatial relations, context-aware mechanisms.

Вступ та постановка проблеми. Розпізнавання зображень з кількома мітками є складною, але важливою задачею комп'ютерного зору, що представляє унікальні проблеми порівняно з розпізнаванням з однією міткою. Ключова перешкода полягає в тому, щоб точно ідентифікувати об'єкти з різними категоріями, масштабами та просторовими розташуваннями на зображенні. Це завдання має значну актуальність у практичних застосуваннях, таких як автономне водіння, мультимодальний аналіз і розпізнавання атрибутів людини. Ранні дослідження показали, що, незважаючи на надійні можливості глобального представлення згорткових нейронних мереж для зображень, моделі, попередньо навчені на наборах даних з однією міткою, можуть не бути оптимальними для даних завдань.

Трансформер – це архітектура глибокого навчання, заснована на механізмі, відомому як багатоголова самоувага (Multi-head attention). Він не має повторюваних одиниць, і тому вимагає менше часу на навчання, ніж попередні повторювані нейронні архітектури, такі як довготривала короткочасна пам'ять (LSTM). Вхідний текст розбивається на n -грами, закодовані як токени, і кожен токен перетворюється на вектор за допомогою пошуку з таблиці вбудовування слів. На кожному рівні кожен маркер контекстуалізується в межах контекстного вікна з іншими

(незамаскованими) маркерами за допомогою паралельного механізму багатоголової самоуваги, що дозволяє посилити сигнал для ключових маркерів і мінімізувати менш важливі маркери. Останніми роками архітектура зорового трансформера, спочатку була популяризована в задачах обробки природної мови, набула значного поширення в спільноті комп'ютерного зору. Успіх зорового трансформера складно переоцінити, оскільки він використовує механізм самоуваги (self-attention) для ефективного захоплення далеких залежностей між різними регіонами у вхідних зображеннях. Ця трансформаційна здатність знайшла широке застосування в таких завданнях, як класифікація зображень, знаменуючи зміну парадигми в підходах до розпізнавання зображень.

Незважаючи на те, що глибокі нейронні мережі досягли безпрецедентних досягнень у вилученні ознак і аналізі шаблонів розпізнавання, їхня недостатня прозорість створює проблеми для додатків, які вимагають відстежуваних і зрозумілих рішень. Щоб вирішити цю проблему, дослідники активно досліджують різні підходи до покращення інтерпретації, прокладаючи шлях до прогресу в пояснюваному штучному інтелекті. Ця конвергенція проблем, пов'язаних з розпізнаванням та обробкою, а також пошуків інтерпретованих глибоких нейронних мереж закладає основу для всебічного дослідження розпізнавання та обробки зображень за допомогою зорового трансформера.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові діячі сьогодення внесли значний вклад у розробку розпізнавання та обробки зображень з використанням зорового трансформера.

У дослідженні [1] було запропоновано зоровий трансформер у поєднанні з пірамідалною архітектурою, використовуючи метод поділу-перетворення-злиття, щоб запропонувати груповий кодувальник, який використовує груповий кодер у трансформері, для отримання більшої кількості можливостей. Крім того всі шляхи мали однакову топологію в кожному агрегованому трансформері. Також було наголошено, що експериментальні результати можна покращити за рахунок удосконалення патча, механізму уваги та інших частин трансформера. Було показано, що кількість гілок шифратора є конкретною вимірюваною величиною. Виконувалися завдання класифікації зображень на наборі даних CIFAR-10 і виявлення об'єктів на наборі даних COCO 2017.

Робота [2] присвячена дослідженню ефективності моделі для розпізнавання зображень з кількома мітками з урахуванням екземплярів. Суть методу полягає в отриманні карт уваги з урахуванням екземплярів, які використовуються для створення прогнозних пропозицій за допомогою методу динамічної локалізації екземплярів. Пропозиції передбачення дозволяють вибирати локальні області екземплярів на необробленому зображенні для інтегрованого навчання з кількома мітками. Щоб досягти мети усвідомлення екземплярів, весь процес було розділено на два етапи. По-перше, було лінійно зіставлено високовимірні патч-токени зорового трансформера з низьковимірними картами функцій із семантичною усвідомленістю категорій. По-друге, була запропонована стратегія обмежень для посилення обмежень просторового відношення до низьковимірних особливостей через механізм self-attention, щоб отримати карти уваги з урахуванням екземплярів. Що стосується динамічної локалізації екземпляра, було використано підхід, заснований на локалізації слабоконтрольованого об'єкта, для отримання локальних функцій регіону екземплярів, які разом із глобальними функціями утворюють конвеєр із кількома видами.

Крім того, варто зазначити праці наступних науковців: Крім того, варто зазначити праці наступних науковців: Чжан Чжімін, Лей Чженьюй, Омура Масаакі, Хасегава Хідеюкі, Гао Шанце [3], Ямабе Това, Сайто Такеші [4], Мен Лінчен, Лі Хендуо, Чень Бор-Чунь, Лань Шіі, У Цзусюань, Цзян Лім Сер-Нам [5], Ван Пінпін, Чжан Сіньбі, Чжао Юянь, Лі Юеті, Сюй Кайшен, Чжао Шуайїнь [6], Фу Імін, Лі Чжун, Чжан Цзюей [7], Фі Х., Чан Нам [8], Чен Гуантао, Чжоу Яньцун, Гао Шань, Лі Ін'юй, Ю Хао [9], Ху Юбін, Чен Юнь, Лу Аньці, Цао Чжицян, Вей Давей, Лю Цзе, Лі Чжицзюнь [10], Константи́нідіс Димитріос, Папастратіс Іліас, Димитропулос Космас, Дарас Петрос [11], Бо Ян, Ван Сівей, Чжу Ень, Лю Сіньван, Чень Вей [12], Цзюй Жуй-Ян, Лінь Тін-Ю, Чан Жень-Шіун, Цзянь Цзя-Хао, Лінь Юй-Шіан, Хуан Лю-Жуй-І [13], Албайрак Абдулкадір [14], Чень Хевей, Сян Чен, Цю Дун, Хуан Сюсян [15] та інших.

Проте, беручи до уваги вище зазначену наукову документацію, питання, пов'язане з розробкою технологій розпізнавання та обробки зображень з використанням зорового трансформера, все ще залишається недостатньо дослідженим та потребує подальшого опрацювання.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження технологій розпізнавання та обробки зображень з використанням зорового трансформера.

Викладення основного матеріалу дослідження. Функція зорового трансформера полягає в розбиванні зображень на послідовності патчів у вигляді вхідних даних, а потім у використанні

багатьох складених блоків самоуваги (MSA) і прямої мережі (FFN) для моделювання довгострокових залежностей між ними. Формально для кожного вхідного зображення $I^{C \times H \times W}$, трансформerspочатку розбивається на 2D патчі з фіксованим розміром $X = [x_1, x_2, \dots, x_N]$, де N – кількість патчів, C , H і W позначають відповідно канал, висоту та ширину вхідного зображення. Потім ці патчі відображаються на D -вимірні будовування патчів $Z = [z_1, z_2, \dots, z_N]$ з лінійним шаром. Згодом маркер класу z_{cls} , додається до маркерів, слугуючи представленням всього зображення.

Позиційне вкладення E_{pos} також додається до цих токенів, щоб покращити їх позиційну інформацію. Таким чином, послідовність токенів, введених у модель трансформера, представлена таким чином:

$$Z = [z_{cls}; z_1, z_2, \dots, z_N] + E_{pos}, \quad (1)$$

де $z \in R^D$ та $E_{pos} \in R^{(N+1) \times D}$ відповідно.

Магістральна мережа моделі ViT складається з L -блоків, кожен з яких складається з MSA та FFN. Зокрема, l кодер в одній головці, послідовність токена Z_{l1} проектується в матрицю запиту $Q_l \in R^{(N+1) \times D}$, ключову матрицю $K_l \in R^{(N+1) \times D}$ і матрицю значень $V_l \in R^{(N+1) \times D}$. Тоді матриця самоуваги $A_l \in R^{(N+1) \times (N+1)}$ обчислюється як:

$$A_l = ASoft \max \left(\frac{Q_l K_l^T}{\sqrt{D}} \right) V_l = [a_{cls,l}; a_{1,l}, a_{2,l}, \dots, a_{N,l}] V_l \quad (2)$$

$A_{cls,l} \in R^{(N+1)}$ відома як матриця уваги класу, що відображає взаємодію між маркерами класу та іншими маркерами. Для більш ефективної уваги до різних підпросторів репрезентацій, матриця багатоголової уваги об'єднує вихідні дані кількох матриць одноголової самоуваги та проектує їх за допомогою матриці інших параметрів:

$$head_{i,l} = A(Z_l W_{i,l}^Q, Z_l W_{i,l}^K, Z_l W_{i,l}^V) \quad (3)$$

$$MSA(Z_l) = Concat(head_{i,l} \dots head_{H,l}) W_l^O \quad (4)$$

де $W_{i,l}^Q, W_{i,l}^K, W_{i,l}^V, W_l^O$ являють собою матриці параметрів у i -й головці уваги l -го блоку побудови, а $Z_{lde-nots}$ – вхідні дані в l блоці. Вихідні дані з MSA потім подаються в FFN для створення вихідних даних блоку збірки Z_{l+1} . Залишкові з'єднання також застосовуються до MSA та FFN наступним чином:

$$Z'_l = MSA(Z_l) + Z_l, Z_{l+1} = FFN(Z'_l) + Z'_l \quad (5)$$

Остаточний прогноз створюється класифікатором, який бере маркер класу $z_{cls,L}$ з останнього блоку побудови як вхідні дані.

Хоча зоровий трансформер забезпечує найсучаснішу продуктивність у добре відомих наборах даних тестування завдяки його здатності моделювати коротко- та довгострокові зв'язки між різними областями зображення, він не має локальних індуктивних зміщень, притаманних згортковим нейронним мережам і неефективно моделює локальну інформацію. Задля подолання даної проблеми спрямовано на посилення моделювання локальної структури шляхом введення згорток у трансформер, перепроектування процесу токенизації латок і впровадження локальних механізмів уваги, або прийняття ієрархічних структур, подібних до CNN.

Однак більшість ViT працюють лише в евклідовому просторі значень інтенсивності пікселів, не звертаючи уваги на той факт, що представлення даних в інших різновидах може бути корисним для їх продуктивності. Крім того, карти уваги мають тенденцію бути подібними в глибших шарах ViT, і їх представлення перестає покращуватися.

Запропонований у даному дослідженні метод, заснований на механізмі мультимноговидової багатоголової уваги (ММА) може покращити продуктивність будь-якого ViT, замінивши його стандартний механізм самоуваги. Щоб досягти цього, ММА перетворює вхідну послідовність у точки у многовидах Евкліда, SPD і Грассмана та обчислює відстані між ними в цих многовидах, щоб створити об'єднану карту уваги з високою розрізнявальною здатністю. Далі детально описано кожне різноманіття, а також те, як обчислюються та об'єднуються окремі карти відстаней, щоб сформувати точну карту уваги.

1) Евклідовий многовид. За запитом $Q \in R^{L \times D}$ і ключовим $K \in R^{L \times d}$ векторами евклідова карта відстані ММА обчислюється подібно до стандартного ViT як:

$$D_E(Q, K) = \frac{QK^T}{\sqrt{d}} \quad (6)$$

Карта відстані $D_E \in \mathbb{R}_{h \times L \times L}$, де h представляє кількість голів, виражає подібність між векторами запиту та ключами, причому більші значення позначають більшу відстань між двома векторами в евклідовому многовиді.

2) Многовид SPD. Являє собою особливий тип многовиду Рімана, який складається з точок, виражених у вигляді квадратних матриць M розміром $d \times d$, і позначається так:

$$S_{++}^d = \{M \in \mathbb{R}^{d \times d} : u^T M u > 0 \forall u \in \mathbb{R}^d - \{0_d\}\} \quad (7)$$

Щоб матриця розглядалася як точка в многовиді SPD, вона повинна бути симетричною і мати сформовані власні значення. Коваріаційні матриці володіють такими властивостями, тому їх можна вважати точками в многовиді SPD. Таким чином, включення коваріаційних матриць у обчислення ММА є корисним для продуктивності ВіТ завдяки включенню додаткової інформації про вхідні дані, що підвищує рівень представлення вихідних ознак.

Враховуючи вектори запиту $Q \in \mathbb{R}_{L \times d}$ і ключа $K \in \mathbb{R}_{L \times d}$, початково використовується операція лінійної проєкції, яка навчається, щоб зменшити розмірність векторів і підвищити обчислювальну ефективність запропонованого підходу. Зпрогнозований запит і ключові вектори можна визначити як $Q_p, K_p \in \mathbb{R}_{L \times s}$, де $s \in$ розмірністю проєкції. Після цього коваріаційні матриці цих векторів обчислюються у вигляді наступного співвідношення:

$$C_Q = \text{cov}(Q_p) = E[(Q_p - E[Q_p])(Q_p - E[Q_p])^T] \quad (8)$$

$$C_K = \text{cov}(K_p) = E[(K_p - E[K_p])(K_p - E[K_p])^T] \quad (9)$$

Завдяки своїм властивостям кожна з матриць $C_Q, C_K \in \mathbb{R}_{L \times s \times s}$ описує кластер L коваріаційних матриць, які лежать у точках на многовиді SPD. Потім відстань SPD між i коваріаційною матрицею запиту та j коваріаційною матрицею ключа обчислюється як:

$$D_{SPD}^{i,j}(C_Q^i, C_K^j) = \frac{\|C_Q^i, C_K^j\|_F}{s} \quad (10)$$

де $\|\cdot\|_F$ позначає норму Фробеніуса. Подібно до карти евклідової відстані, $D_{SPD} \in \mathbb{R}_{h \times L \times L}$ виражає подібність між векторами запиту та ключовими векторами та кількісно визначає відстані між двома векторами в многовиді SPD.

3) Многовид Грассмана є також спеціальним типом многовиду Рімана, який вкладає всі p -вимірні лінійні підпростори, які лежать у d -вимірному евклідовому просторі. Многовид Грассмана, позначений як $G(p, d)$, може бути представлений набором ортогональних матриць з ортогональної групи $O(p)$ наступним чином:

$$G(p, d) = \frac{\{X \in \mathbb{R}^{d \times p} : X^T X = I_p\}}{O(p)} \quad (11)$$

де X представляє будь-яку точку на многовиді Грассмана. Многовиди Грассмана зазвичай використовуються для моделювання послідовних і змінних у часі сигналів, оскільки будь-яка лінійна динамічна система може бути легко перетворена в точку у многовиді Грассмана. Як наслідок, перетворення вхідного простору в точки многовиді Грассмана може надати ВіТ додаткову інформацію щодо варіацій текстури та кольору наділянці зображення, що призводить до розширених представлень функцій із високою розрізнявальною силою.

4) Злиття многовидів. Після обчислення індивідуальних карт відстаней D_E, D_{SPD} і $D_G \in \mathbb{R}_{h \times L \times L}$ у кожному многовиді пропонуються дві операції, позначені як раннє та пізнє злиття, для отримання представлення вихідних характеристик.

При операції раннього злиття три карти відстаней об'єднані разом, а потім використовується операція тривимірної згортки q для вивчення по-елементної вагової матриці для виконання ефективного відображення відстаней у різних різновидах і генерації вихідного представлення ознак. Точніше, три карти відстаней об'єднані разом, утворюючи карту:

$$D_{concat} = BN(\text{concat}(D_E, D_{SPD}, D_G)) \in \mathbb{R}^{3 \times L \times L} \quad (12)$$

з BN , що позначає пакетну нормалізацію. Після цього обчислюється вагова матриця, щоб об'єднати різні карти відстаней оптимальним чином:

$$W_D = \text{soft max}(LeakyRELU(q(D_{concat}))) \in \mathbb{R}^{3 \times L \times L} \quad (13)$$

Вагова W_D відповідає за обчислення відповідних ваг поелементно для точного об'єднання різних відстаней. Нарешті, представлення вихідної функції V' обчислюється таким чином:

$$V' = \text{soft max}(\text{sum}(W_D \otimes D_{concat})) V \in \mathbb{R}^{L \times d} \quad (14)$$

де операція сумування (sum) застосовується до першого виміру добутку вагової матриці та

об'єднаних карт відстаней, фактично видаляючи перший вимір.

Пізнє злиття. У цій операції використовуються три паралельні механізми уваги, кожен з яких обробляє вхідні дані в різному многовиді, таким чином обчислюючи представлення характеристик многовиду:

$V'_E = \text{softmax}(D_E)V$, $V'_{SPD} = \text{softmax}(D_{SPD})V$ і $V'_G = \text{softmax}(D_G)V$ для евклідового, SPD та многовидів Грассмана відповідно. Тоді вихідна характеристика представлення $V' \in \mathbb{R}^{L \times d}$ дорівнює:

$$V' = L(\text{concat}(V'_E, V'_{SPD}, V'_G)) \quad (15)$$

де L виконує лінійну проекцію від розміру представлення зчеплених ознак $3d$ до кінцевого розміру представлення ознак d .



Рис. 1 – Зразки зображень із 8 класів набору даних ETH-80. Кожен стовпець містить зображення з одного класу

Експериментальна оцінка запропонованого методу була виконана з використанням набору даних ETH-80, який містить зображення 8 різних класів (яблуко, автомобіль, корова, чашка, собака, кінь, груша та помідор), з 10 об'єктами на клас (наприклад, 10 різних яблук) і 41 зображення на об'єкт, зроблене з різних 3D-ракурсів. Зразки зображень із набору даних показані на рисунку 1. В експерименті випадковим чином вибирали 5 зображень на об'єкт для навчання, а решту 36 використовували для тестування. Цей випадковий процес поділу повторювався 5 разів і повідомлялося про середню точність. Метою було передбачити правильний клас даного тестового зображення. Усі зображення ETH мають загальний розмір 256×256 .

Для розрахунку дескрипторів HOG використовували 16×16 -вимірні комірки, 9 бінів гістограми на комірку та 4-кратну блочну нормалізацію. Отриманий дескриптор HOG є $15 \times 15 \times 9 \times 4 = 8100$ – вимірним вектором із фіксованою нормою 225. Було також використано відсікання гістограми, де нормалізовані значення гістограми обрізалися на 0,2, а потім знову нормалізувалися.

Результати розпізнавання представлені в таблиці 1 для наступних методів:

- 1) Дескриптори HOG у SVM зі звичайним ядром RBF Евкліда Гауса.
- 2) Дескриптори HOG у SVM із геодезичним експоненціальним ядром.
- 3) Дескриптори коваріації в SVM з логарифмічним евклідовим ядром.
- 4) Класичний зоровий трансформер.
- 5) Запропонований зоровий трансформер з технологією многовидової самоуваги.

Таблиця 1 – Точність класифікації в наборі даних ETH-80. Злиття многовидів призводить до значного підвищення точності

Метод	Точність класифікації
HOG у SVM зі звичайним ядром RBF Евкліда Гауса	89.49 ± 0.91
HOG у SVM із геодезичним експоненціальним ядром	90.45 ± 0.79
HOG у SVM із геодезичним експоненціальним ядром	88.94 ± 0.34
Класичний зоровий трансформер	91.09 ± 0.42
Зоровий трансформер з технологією многовидової самоуваги	93.06 ± 0.69

Для обчислення дескриптора регіону коваріації кожного зображення використовувався вектор ознак $[x \text{ у } I | I_x | I_y | I_{xx} | I_{yy}]$, де x, y – розташування пікселів, I вказує значення інтенсивності, а I_x, I_y, \dots – похідні. Матриці коваріації, обчислені на основі цих характеристик, являють собою матриці 7×7 SPD, які лежать на многовиді $\text{Sym}+7$.

Висновки. Стаття представляє нову техніку розпізнавання зображень, яка використовує архітектуру Visual Transformer (ViT). Запропонований метод відхиляється від стандартного підходу

ViT, запроваджуючи складний механізм для обробки складних взаємозв'язків у межах зображень. На відміну від традиційного ViT, який покладається на багатосторонню самоувагу для моделювання довгострокових залежностей, техніка многовидової уваги привносить новий вимір у розуміння просторових зв'язків у зображеннях, завдяки чому модель демонструє підвищену продуктивність у захопленні складних функцій і тонкої контекстної інформації. Цей метод виявився особливо ефективним у зниженні обчислювальних витрат і підвищенні ефективності шляхом стратегічного зосередження на головних блоках.

Порівняно зі стандартним ViT, техніка многовидової уваги демонструє свою перевагу в обробці внутрішньої просторової надмірності в зображеннях. Можливість точного визначення та виділення відповідних регіонів значно сприяє точності та ефективності моделі.

Перспективами подальших досліджень є розробка більш ефективної методології впровадження зорового трансформера у розпізнавання та обробку зображень різних класів.

Список бібліографічного опису

1. Ju R. Lin T., Chiang J., Jian J., Lin Y., Huang L. Aggregated Pyramid Vision Transformer: Split-transform-merge Strategy for Image Recognition without Convolutions. 2022.
2. Hu Y., Jin X., Zhang Y., Hong H., Zhang J., Yan F., He Y., Xue H.. Diverse Instance Discovery: Vision-Transformer for Instance-Aware Multi-Label Image Recognition. 2022.
3. Zhang Z., Lei Z., Omura M., Hasegawa H., Gao S.. Dendritic Learning-Incorporated Vision Transformer for Image Recognition. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2024. №11. P. 539-541. DOI:10.1109/JAS.2023.123978.
4. Yamabe T., Saitoh T. Vision Transformer-Based Bark Image Recognition for Tree Identification. 2023. DOI:10.1007/978-3-031-25825-1_37.
5. Meng L., Li H., Chen B., Lan S., Wu Z., Jiang Y., Lim S. AdaViT: Adaptive Vision Transformers for Efficient Image Recognition. 2021.
6. Wang P., Zhang X., Zhao Y., Li Y., Xu K., Zhao S. Analysis of blood cell image recognition methods based on improved CNN and Vision Transformer. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*. 2023. DOI:10.1587/transfun.2023EAP1056.
7. Fu Y., Li Z., Zhang Z. Progressive Learning Vision Transformer for Open Set Recognition of Fine-Grained Objects in Remote Sensing Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2023. P. 1-1. DOI:10.1109/TGRS.2023.3309091.
8. Phi H., Tran N. Evaluation Of Vision Transformer On Weather Image Recognition. *Tra Vihn University Journal Of Science*. 2023. DOI:10.35382/tvujs.13.3.2023.2431.
9. Cheng G., Zhou Y., Gao S., Li Y., Yu H. Convolution-Enhanced Vision Transformer Network for Smoke Recognition. *Fire Technology*. 2023. № 59. P. 1-24. DOI:10.1007/s10694-023-01378-8.
10. Hu Y., Cheng Y., Lu A., Cao Z., Wei D., Liu J., Li Z.. LF-ViT: Reducing Spatial Redundancy in Vision Transformer for Efficient Image Recognition. 2024.
11. Konstantinidis D., Papastratis I., Dimitropoulos K., Daras P. Multi-Manifold Attention for Vision Transformers. *IEEE Access*. 2023. P. 12-15. DOI:10.1109/ACCESS.2023.3329952.
12. Bo Y., Wang S., Zhu E., Liu X., Chen W. Group-Attention Transformer for Fine-Grained Image Recognition. 2022. DOI:10.1007/978-3-031-06761-7_4.
13. Ju R., Lin T., Chiang J., Jian J., Lin Y., Huang L. Aggregated Pyramid Vision Transformer: Split-transform-merge Strategy for Image Recognition without Convolutions. 2022.
14. Albayrak A.. Vision Transformer Based Photo Capturing System. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2023. №11. DOI:10.17694/bajece.1345993.
15. Chen H., Xiang C., Qiu D., Huang X. Multicategory Image Recognition Based on Image Semantic Features and Transformer. *Mobile Information Systems*. 2022. P. 1-8. DOI:10.1155/2022/4508507.

References

1. Ju R. Lin T., Chiang J., Jian J., Lin Y., Huang L. Aggregated Pyramid Vision Transformer: Split-transform-merge Strategy for Image Recognition without Convolutions. 2022.
2. Hu Y., Jin X., Zhang Y., Hong H., Zhang J., Yan F., He Y., Xue H.. Diverse Instance Discovery: Vision-Transformer for Instance-Aware Multi-Label Image Recognition. 2022.
3. Zhang Z., Lei Z., Omura M., Hasegawa H., Gao S.. Dendritic Learning-Incorporated Vision Transformer for Image Recognition. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2024. №11. P. 539-541. DOI:10.1109/JAS.2023.123978.
4. Yamabe T., Saitoh T. Vision Transformer-Based Bark Image Recognition for Tree Identification. 2023. DOI:10.1007/978-3-031-25825-1_37.
5. Meng L., Li H., Chen B., Lan S., Wu Z., Jiang Y., Lim S. AdaViT: Adaptive Vision Transformers for Efficient Image Recognition. 2021.
6. Wang P., Zhang X., Zhao Y., Li Y., Xu K., Zhao S. Analysis of blood cell image recognition methods based on improved CNN and Vision Transformer. *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*. 2023. DOI:10.1587/transfun.2023EAP1056.
7. Fu Y., Li Z., Zhang Z. Progressive Learning Vision Transformer for Open Set Recognition of Fine-Grained Objects in Remote Sensing Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2023. P. 1-1. DOI:10.1109/TGRS.2023.3309091.
8. Phi H., Tran N. Evaluation Of Vision Transformer On Weather Image Recognition. *Tra Vihn University Journal Of*

Science. 2023. DOI:10.35382/tvujs.13.3.2023.2431.

9. Cheng G., Zhou Y., Gao S., Li Y., Yu H. Convolution-Enhanced Vision Transformer Network for Smoke Recognition. *Fire Technology*. 2023. № 59. P. 1-24. DOI:10.1007/s10694-023-01378-8.

10. Hu Y., Cheng Y., Lu A., Cao Z., Wei D., Liu J., Li Z.. LF-ViT: Reducing Spatial Redundancy in Vision Transformer for Efficient Image Recognition. 2024.

11. Konstantinidis D., Papastratis I., Dimitropoulos K., Daras P. Multi-Manifold Attention for Vision Transformers. *IEEE Access*. 2023. P. 12-15. DOI:10.1109/ACCESS.2023.3329952.

12. Bo Y., Wang S., Zhu E., Liu X., Chen W. Group-Attention Transformer for Fine-Grained Image Recognition. 2022. DOI:10.1007/978-3-031-06761-7_4.

13. Ju R., Lin T., Chiang J., Jian J., Lin Y., Huang L. Aggregated Pyramid Vision Transformer: Split-transform-merge Strategy for Image Recognition without Convolutions. 2022.

14. Albayrak A.. Vision Transformer Based Photo Capturing System. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2023. №11. DOI:10.17694/bajece.1345993.

15. Chen H., Xiang C., Qiu D., Huang X. Multicategory Image Recognition Based on Image Semantic Features and Transformer. *Mobile Information Systems*. 2022. P. 1-8. DOI:10.1155/2022/4508507.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-18>

УДК 004.934

Недашківський Сергій Миколайович, заступник голови з питань цифрового розвитку, цифрових трансформацій і цифровізації

<https://orcid.org/0000-0002-8222-6905>

Державне агентство водних ресурсів України, м. Київ, Україна

МЕТОДОЛОГІЯ ТА ПРИНЦИПИ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ЗАДОПОМОГОЮ ДЕФОРМОВАНИХ ЗГОРТКОВИХ МЕРЕЖ

Недашківський С.М. Методологія та принципи виявлення об'єктів за допомогою деформованих згорткових мереж. У динамічній сфері комп'ютерного зору впровадження штучного інтелекту започаткувало трансформаційну еру, пропонуючи неперевершену точність і ефективність ідентифікації об'єктів на зображеннях і відео. Це дослідження заглиблюється в сферу виявлення об'єктів, керованих штучним інтелектом, з особливим акцентом на ключовій ролі метаданих у покращенні розуміння та корисності при роботі з розпізнаними об'єктами. Співпраця між штучним інтелектом і метаданими не тільки підвищує точність виявлення об'єктів, але й відкриває інноваційні шляхи для вилучення й аналізу інформації. Метадані охоплюють ключові деталі, такі як клас об'єкта, місце виявлення, час виникнення та взаємозв'язки між об'єктами, надаючи інформацію для наступних програм, таких як автономні транспортні засоби, спостереження та доповнена реальність. Дослідницька стаття служить демонстрацією інтеграції вилучення метаданих і керування ними з системами виявлення об'єктів на основі штучного інтелекту, що підвищує точність ідентифікації та відстеження об'єктів. Це дослідження висвітлює взаємодію між штучним інтелектом і комп'ютерним зором, формуючи ландшафт, де точність і адаптивність заново визначають межі можливостей виявлення об'єктів. Співпраця між штучним інтелектом і метаданими стає ключовим рушієм у підвищенні загальної ефективності та результативності систем розпізнавання об'єктів, пропонуючи зазірнути в майбутнє інтелектуального аналізу зображень і відео.

Ключові слова: штучний інтелект, згорткові мережі, наука про дані, аналіз даних, обробка даних, презентації даних.

Nedashkivskiy S. Methodology And Principles of Object Detection in Deformable Convolutional Networks. In the dynamic field of computer imaging, the introduction of artificial intelligence began a transformation, contributing to the unsurpassed accuracy and efficiency of object detection in images and videos. This study delves into the field of AI-driven objects detection, with a particular focus on the key role of metadata in improving the understanding and utility of dealing with detected objects. The collaboration between artificial intelligence and metadata not only completes the accuracy of object detection, but also opens up innovative ways to extract and analyze information. Metadata captures key details such as object class, location of detection, time of occurrence, and relationships between objects, providing information for downstream applications such as autonomous vehicles, observables, and augmented reality. The research paper serves to demonstrate the integration of metadata extraction and management with artificial intelligence-based object detection systems, resulting in accurate object identification and tracking. This research illuminates the interaction between artificial intelligence and computer vision, shaping a landscape where accuracy and adaptability redefine the limits of object detection capabilities. The collaboration between artificial intelligence and metadata is becoming a key driver in increasing the overall efficiency and effectiveness of the object recognition system, offering a glimpse into further intelligent analysis of images and videos.

Key words: artificial intelligence, convolutional networks, data science, data analysis, data Processing, data Presentations.

Вступ та постановка проблеми. Виявлення об'єктів являє собою фундаментальну концепцію комп'ютерного зору, яка відіграє ключову роль у різних програмах різних галузей. Воно передбачає ідентифікацію та локалізацію об'єктів у зображенні чи відеопотоці. Основною метою є не лише розпізнавання присутності об'єктів, але й визначення їх конкретного розташування у візуальних даних.

Однією із відомих галузей, де виявлення об'єктів може бути застосованим є автономні транспортні засоби, це має вирішальне значення для забезпечення безпеки та ефективності навігації. Виявляючи та відстежуючи такі об'єкти, як пішоходи, транспортні засоби та перешкоди, автономні транспортні засоби можуть приймати обґрунтовані рішення, щоб уникнути зіткнень і пересуватися в складних умовах. Виявлення об'єктів також широко використовується в системах відеоспостереження, що дозволяє контролювати громадські місця, аеропорти та критичну інфраструктуру шляхом ідентифікації та відстеження підозрілих об'єктів.

Методи виявлення об'єктів зазвичай належать до підходів на основі нейронних мереж або до підходів, не заснованих на використанні нейронних мереж, для яких стає необхідним спочатку визначити ознаки об'єкту, а потім використовувати такий метод, як машина опорних векторів, щоб виконати його класифікацію. З іншого боку, нейронні методи здатні здійснювати наскрізне виявлення об'єктів без спеціального визначення функцій і зазвичай базуються на згорткових нейронних мережах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові діячі сьогодення внесли значний вклад у розробку методологій по виявленню об'єктів у деформованих згорткових мережах. Був проведений ряд досліджень для вирішення даної проблеми.

У [1] було запропоновано мережу регіональних пропозицій (RPN) для створення запропонованих областей і використано іншу мережу для використання цих запропонованих областей для виявлення об'єктів. Бокси, які, швидше за все, містять об'єкти навчальних зображень, були запропоновані за допомогою ранжирувальних блоків, які називаються прив'язками. Faster R-CNN показала такий результат: 73,2% mAP на VOC2007, ресурсі, що є набором даних для розпізнавання зображень. Однак, Faster R-CNN не повною мірою реалізувала виявлення об'єктів у режимі реального часу, оскільки функції обчислення вимагали багато часу. У роботі [2] продемонстрована техніка розпізнавання об'єктів за допомогою нейронної мережі YOLO (You Only Look Once), з використанням регресії – метрики для вимірювання того, наскільки добре передбачені обмежувальні рамки фіксують об'єкти. Це робиться шляхом обчислення середньоквадратичної похибки (MSE) між координатами передбачуваних та існуючих обмежувальних рамок. Вхідні зображення поділяються на кілька клітинок, і ймовірність класифікації та блоків прогнозується з кожної клітинки. Прогнози були зроблені на основі глобальної репрезентації із зображення та показали відмінний результат. Використовуючи концепцію регресії YOLO, а також спеціальний метод прив'язки Faster R-CNN, розроблено спосіб виявлення об'єкта всередині зображення за допомогою єдиної глибокої нейронної мережі [3], що створює прогнози ознак з карт різного масштабу. У кожному місці на карті об'єктів передбачений простір обмежувальних рамок було розбито на групу рамок за замовчуванням із різними пропорціями та масштабами.

Крім того, варто зазначити праці наступних науковців: Лоханде Рідам, Накхале Яш, Петкар Неха, Шейх Танзіла, Джанве Др., Лічоде Проф [4], Дуан Кайвен, Бай Сонг, Се Лінгсі, Ці Хунган, Тянь Ці [5], Абдул Бассім, Амін Самман, Мнаті Духа [6], Ядав Атул, Чатурведі Пратюш, Рані Шаллу [7], Кусума Патрісія, Соевіто Бенфано [8], Голлапаллі Гіта, Тотакура Ясвант, Касім Шалом, Доппалапуді Каліян [9], Сонг Ігуо, Лю Женю, Тан Руїнінг, Дуань Гуйфан, Тан Цзяньронг [10], Ден Зіхан, Лі Енг [11], Бхат Пуджа, Маквана Дхрув, Джоші Акшит, Раол Крішнарадж [12], Романо Бруно, Фаготто Ерік [13], Джалал Ахмад [14], Александріно Леандро, Оляей Хаді, Альбукерке Андре, Георгієва Петія, Драммонд Мігель [15], Мумтаз Фаріха, Ашраф Х., Джанджі Нур [16], Цю Хецянь, Лі Хунлянь, Ву Цінбо, Ши Хенкань, ВанЛаньсяо, Мен Фанман, Сюй, Ліньфен [17] та інші.

Проте, беручи до уваги вище зазначену наукову документацію, питання, пов'язане з методологіями по виявленню об'єктів у деформованих згорткових мережах, все ще залишається недостатньо дослідженим та потребує подальшого опрацювання.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження принципів виявлення об'єктів у деформованих згорткових мережах.

Викладення основного матеріалу дослідження. Розуміння важливості застосування такої концепції як виявлення об'єктів та користі поєднання її з такими винаходами штучного інтелекту, як нейронні мережі, а найчастіше саме зі згортковими нейронними мережами вимагає розуміння особливостей згорткових нейронних мереж.

Директор зі стратегії планування ресурсів підприємства в Cabernet Networks Group, Техас, США Чалла Нараяна [18] сформулював б обґрунтувань важливості виявлення об'єктів з використанням можливостей нейронних мереж:

1. Виявлення об'єктів допомагає інтерпретувати вміст візуальної сцени, що дозволяє комп'ютерам ідентифікувати та знаходити об'єкти, надаючи контекст для більш складної обробки. Виявлення об'єктів має вирішальне значення в промислових умовах для моніторингу руху продукту, автоматизації процесів і забезпечення контролю якості. Крім того, воно сприяє більшій незалежності людей з вадами зору, розпізнаючи та характеризуючи об'єкти та їх розташування.

2. Уникнення перешкод і навігація: виявлення об'єктів має важливе значення для виявлення та уникнення перешкод, орієнтування в оточенні та прийняття рішень на основі наявності об'єктів. Це особливо важливо для автономних транспортних засобів, дронів і робототехніки. Для систем безпеки спостереження виявлення об'єктів дозволяє ідентифікувати та контролювати об'єкти та людей у реальному часі, покращуючи виявлення загроз та реагування на них. У роздрібній торгівлі воно автоматизує процедури оформлення замовлення, відстежує продукти на полицях і керує запасами для підвищення продуктивності та задоволення споживачів.

3. Медична візуалізація та діагностика: у медичній візуалізації виявлення об'єктів

допомагає знаходити та ідентифікувати конкретні структури, сприяючи діагностиці та лікуванню. Це забезпечує точність ідентифікації об'єктів на зображеннях, сприяючи кращим результатам лікування.

4. Інтерактивні можливості та розваги: виявлення об'єктів слідує за рухами та жестами користувача в інтерактивних програмах та іграх, створюючи ефект занурення. Воно автоматично додає теги та класифікує фільми та зображення, спрощуючи пошук і організацію великих колекцій медіа.

5. Автоматизація та прискорення процесів: виявлення об'єктів автоматизує завдання в різних галузях, зменшуючи потребу в ручному втручанні та прискорюючи процедури. Програми доповненої реальності розпізнають об'єкти реального світу за допомогою виявлення об'єктів, покращуючи взаємодію з користувачем шляхом накладання цифрових даних або графіки.

6. Моніторинг навколишнього середовища та дослідження дикої природи: дослідники та природоохоронці отримують важливі дані для відстеження змін навколишнього середовища, моніторингу дикої природи та вивчення поведінки тварин. Моніторинг відіграє ключову роль у розумінні та збереженні екосистем.

Оскільки у цифрову епоху, кількість візуальних даних, від відеоспостереження до медичних зображень і безпілотних автомобілів, є занадто великою, вона вимагає точного виявлення об'єктів. Штучний інтелект, особливо з такими моделями глибокого навчання, як згорткові нейронні мережі, став надійним рішенням, яке з більшою точністю долає такі проблеми, як оклюзія та варіації масштабу.

Виявлення об'єктів зазвичай включає такі фундаментальні елементи:

– ідентифікація положення та розмірів об'єктів на зображенні. Це часто можна візуалізувати, окреслюючи об'єкти обмежувальними рамками, вказуючи їх просторові координати (x, y) і розміри (ширина та висота);

– присвоєння мітки або категорії кожному виявленому об'єкту із зазначенням його типу. Наприклад, у сцені з різними об'єктами функція виявлення об'єктів може визначити, чи наявні автомобілі, пішоходи, тварини чи інші об'єкти, і призначити відповідні мітки;

– моделі глибокого навчання, такі як згорткові нейронні мережі, часто використовуються для виявлення об'єктів. Ці моделі призначені для одночасного виконання задач локалізації та класифікації. Завдяки навчанню на великих наборах даних із позначеними зображеннями вони можуть розпізнавати об'єкти та точно визначати їх положення;

– великі набори даних із анотованими зображеннями. Вони зазвичай потрібні для ефективного навчання нейронних моделей виявлення об'єктів. Ці набори даних зазвичай включають зображення, де цікаві об'єкти позначені обмежувальними рамками та пов'язаними мітками класів. Під час навчання моделі вчать на цих прикладах точно передбачати положення та класи об'єктів на нових, небачених зображеннях.

Згорткова нейронна мережа являє собою регуляризований тип прямої нейронної мережі, яка сама вивчає розробку функцій за допомогою фільтрів. Зникаючі градієнти, які спостерігаються під час зворотного поширення в нейронних мережах, є можливість мінімізувати за допомогою регуляризованих вагових коефіцієнтів, однак кількість з'єднань залишиться без змін. Наприклад, для кожного нейрона в повністю пов'язаному шарі буде потрібно 10 000 вагових коефіцієнтів для обробки зображення розміром 100×100 пікселів. Однак, застосовуючи ядра каскадної згортки (або крос-кореляції), для обробки клітин розміром 5×5 потрібно лише 25 нейронів. Функції вищого рівня формуються на основі клітин максимального набору порівняно з функціями нижчого рівня.

Перевагою використання згорткової нейронної мережі є її можливість мати десятки або сотні шарів, кожен з яких навчається виявляти різні характеристики зображення. Фільтри застосовуються до кожного тренувального зображення з різною роздільною здатністю, а вихідні дані кожного згорнутого зображення використовуються як вхідні дані для наступного шару. Фільтри можуть починатися з дуже простих функцій, таких як яскравість та границі, і збільшуватися в складності до функцій, які однозначно визначають об'єкт.

Згорткова нейронна мережа стає здатною до деформування, тобто деформованою, коли вона включає в себе згорткові шари, що деформуються. Згорткові шари, що деформуються, є типом згорткового шару, який дозволяє динамічно коригувати місця просторової вибірки в згортковому ядрі під час прямого проходу на основі вивчених зсувів. Ця гнучкість дає змогу мережі краще адаптуватися до деформацій об'єктів і варіацій у вхідних даних.

У стандартній або недеформованій мережі згорткові ядра мають фіксовані регулярні сітки для вибірки вхідних характеристик. Незважаючи на ефективність, у багатьох випадках, вони можуть мати проблеми при роботі з об'єктами, які зазнають деформацій.

Деформовані згорткові нейронні мережі вирішують це обмеження шляхом введення деформованих згорткових шарів. Ці рівні дозволяють мережі вивчати просторові перетворення для кожної позиції в згортковому ядрі, дозволяючи мережі зосереджуватися на відповідних областях вхідних даних і краще обробляти деформовані структури в зображеннях.

Одним з ефективних типів згорткових нейронних мереж у використанні для виявлення об'єктів є R-CNN, яка являє собою мережу, що функціонує на локальному рівні та яку можна застосовувати для виявлення цілей. Її робота полягає в тому, щоб створити приблизно 2000 рекомендацій щодо певної області із зображення, потім стиснути його в попередньо навчену модель згорткової нейронної мережі, а потім застосувати метод опорних векторів для сортування функцій. Нарешті, границя запропонованої області змінюється за допомогою лінійної регресії, а область накладання усувається. Перевага R-CNN полягає в тому, що вона використовує переваги глибокого навчання, що підвищує точність і швидкість виявлення об'єктів. Процес виявлення об'єкту за регіональним типом з використанням нейронної мережі R-CNN наведено на рисунку 1.

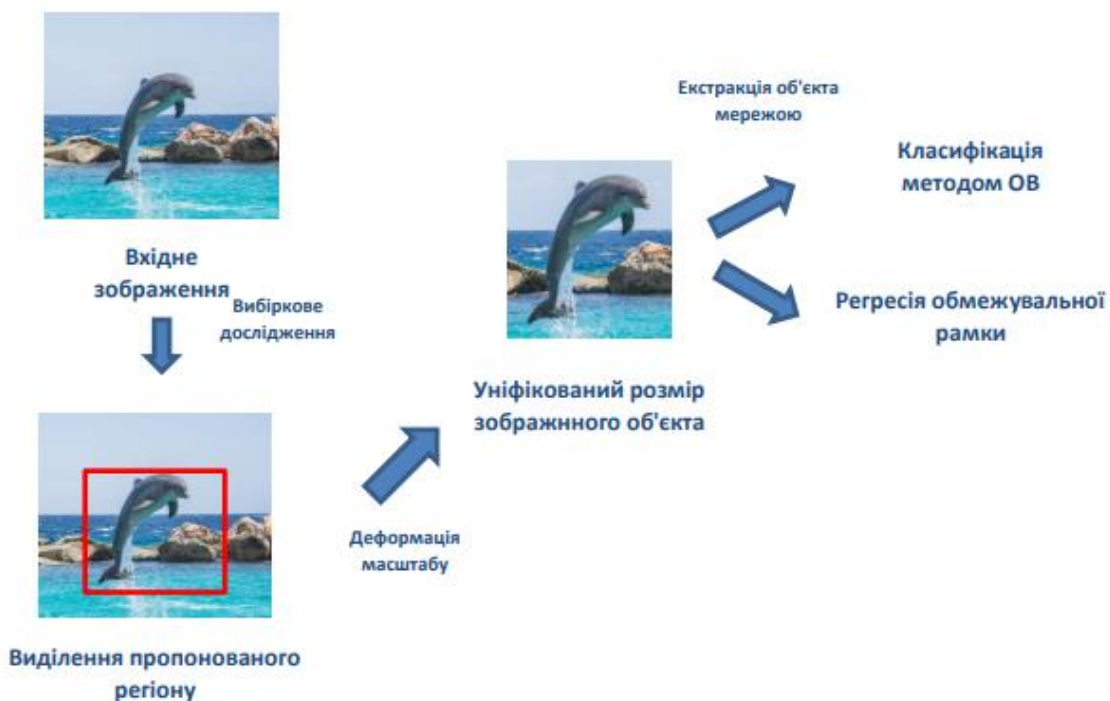


Рис. 1 – Процес виявлення об'єкту за регіональним типом з використанням нейронної мережі R-CNN

Однак, R-CNN також має деякі недоліки:

- низька ефективність виявлення. Через те, що кожен кадр-кандидат виділяється окремо, це призводить до великої кількості повторюваних обчислень, тому для виявлення потрібно багато часу.

- порушена точність виявлення. Операція масштабування поля-кандидата призводить до зміни форми та пропорції вихідного зображення, що впливає на розпізнавання ознак.

- складний навчальний процес. Генерація блоків-кандидатів, виділення ознак, класифікація та регресія виконуються окремо, що вимагає багаторазового ручного втручання, а зберігання проміжних даних також займає додатковий простір.

Використовується схема представлення орієнтованих об'єктів, яка застосовує зовнішні прямокутні рамки зі зміщенням для кодування та декодування орієнтованих обмежувальних рамок. Як показано на рисунку 2(а), неорієнтована обмежувальна рамка кодується як $(x, y, w, h, \Delta\alpha, \Delta\beta)$. Де (x, y) – центроїдна координата, ширина та висота зовнішнього горизонтального прямокутника рамки; $\Delta\alpha$ – горизонтальна координата найвищої вершини v_2 , зміщена від x ; $\Delta\beta$ – вертикальна

координата крайньої правої вершини v_3 , зміщена від u . Таким чином, можна кодувати і декодувати орієнтовані об'єкти, що дає змогу отримати теоретично орієнтовані обмежувальні прямокутники шляхом прямої регресії зміщення.

Приймаються п'ять рівнів функцій $\{P_2, P_3, P_4, P_5, P_6\}$ у якості вхідних даних та встановлюється згортковий шар 3×3 і два однотипні згорткові шари 1×1 до кожного рівня функцій. Необхідно призначити три горизонтальні прив'язки з трьома співвідношеннями сторін $\{1:2, 1:1, 2:1\}$ для кожного просторового розташування на всіх рівнях об'єктів. Основа має площу пікселів $\{32^2, 64^2, 128^2, 256^2, 512^2\}$ на $\{P_2, P_3, P_4, P_5, P_6\}$ відповідно. Кожна основа позначається 4-вимірним вектором $a = (a_x, a_y, a_w, a_h)$, де (a_x, a_y) є координатою центру основи, a_w і a_h представляють ширину та висоту основи. Один із двох однорідних згорткових шарів 1×1 є гілкою регресії: виведення зсуву $\delta = (\delta_x, \delta_y, \delta_w, \delta_h, \delta_\alpha, \delta_\beta)$ пропозицій відносно прив'язок. У кожному розташуванні карти об'єктів генеруються A пропозиції (A – це кількість прив'язок у кожному розташуванні, і в цій роботі воно дорівнює 3), таким чином, гілка регресії має $6A$ виходів. Шляхом декодування результатів регресії можна отримати орієнтовану пропозицію. Процес декодування описується так:

$$\begin{aligned} \Delta\alpha &= \delta_\alpha \cdot w, \Delta\beta = \delta_\beta \cdot h \\ w &= a_w \cdot e^{\delta_w}, h = a_h \cdot e^{\delta_h} \\ x &= \delta_x \cdot a_w + a_x, y = \delta_y \cdot a_h + a_y \end{aligned} \quad (1)$$

де (x, y) – координата центру прогнозованої пропозиції;

w і h – ширина та висота зовнішнього прямокутника прогнозованої орієнтованої пропозиції;

$\Delta\alpha$ і $\Delta\beta$ – зміщення відносно середин верхньої та правої сторін зовнішнього прямокутника.

Нарешті, створюються орієнтовані пропозиції відповідно $(x, y, w, h, \Delta\alpha, \Delta\beta)$.

На рисунку 2 зображена схему представлення орієнтованих об'єктів, яка називається представленням зміщення середньої точки. Чорні крапки є серединами кожної сторони горизонтальної рамки, яка є зовнішнім прямокутником орієнтованої обмежувальної рамки O . Помаранчеві крапки означають вершини орієнтованої обмежувальної рамки O . Зокрема, використовується орієнтована обмежувальна рамка O з шістьма параметрами $O = (x, y, w, h, \Delta\alpha, \Delta\beta)$, щоб представити об'єкт, обчислений за рівнянням (1).

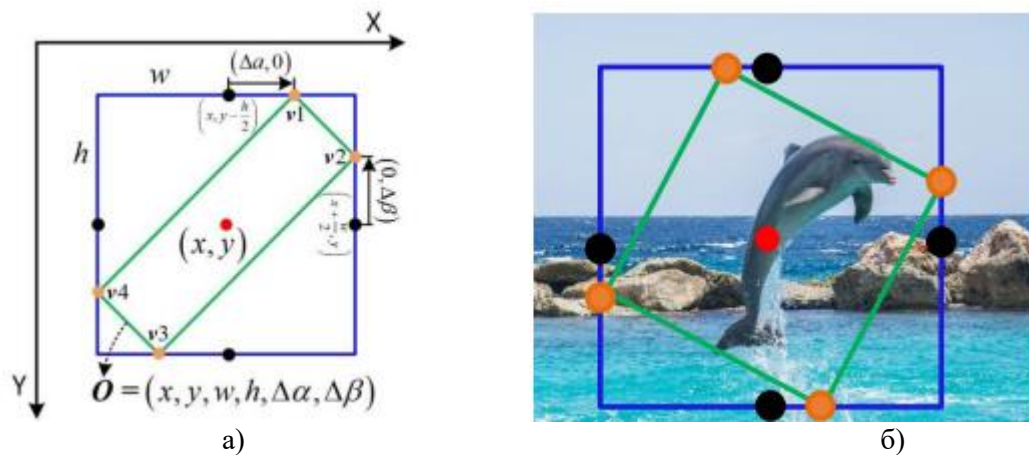


Рис. 2 – Ілюстрація представлення зміщення середньої точки: а) принципова діаграма зображення зміщення середньої точки; б) приклад представлення зміщення середньої точки

За допомогою шести параметрів можна отримати набір координат $v = (v_1, v_2, v_3, v_4)$ чотирьох вершин для кожної пропозиції. Тут $\Delta\alpha$ – зсув v_1 відносно середини $(x, y - h/2)$ верхньої сторони горизонтального прямокутника. Відповідно до симетрії, $\Delta\alpha$ являє собою зсув v_3 відносно нижньої середньої точки $(x, y + h/2)$. $\Delta\beta$ означає зсув v_2 відносно правої середньої точки $(x + w/2, y)$, а $-\Delta\beta$ є зміщенням v_4 відносно лівої середньої точки $(x - w/2, y)$. Таким чином, координати чотирьох вершин можна виразити так:

$$v_1 = \left(x, y - \frac{h}{2}\right) + (\Delta\alpha, 0)$$

$$\begin{aligned}v_2 &= \left(x + \frac{w}{2}, y\right) + (0, \Delta\beta) \\v_3 &= \left(x, y + \frac{h}{2}\right) + (-\Delta\alpha, 0) \\v_4 &= \left(x - \frac{w}{2}, y\right) + (0, -\Delta\beta)\end{aligned}\quad (2)$$

За допомогою способу представлення необхідно реалізувати регресію для кожної орієнтованої пропозиції шляхом прогнозування параметрів (x, y, w, h) для її зовнішнього прямокутника та визначення параметрів $(\Delta\alpha, \Delta\beta)$ для її середнього зміщення.

У процесі навчання нейронна мережа вчиться мінімізувати розбіжність між прогнозованими параметрами та базовими значеннями істинності для заданого набору навчальних зразків. Функція втрат призначена для мінімізації відхилень як у положенні (x, y) , так і в орієнтації $(\Delta\alpha, \Delta\beta)$ орієнтованих обмежувальних рамок. Це дає змогу мережі ефективно вловлювати орієнтири об'єктів та їх середніх точок.

У міру навчання згортоква нейронна мережа вдосконалює свою здатність передбачати представлення зміщення середньої точки для орієнтованих об'єктів у заданому наборі даних. Вивчене представлення дозволяє мережі добре узагальнювати невидимі приклади, покращуючи її продуктивність у задачах виявлення об'єктів, особливо коли йдеться про об'єкти неправильної форми або орієнтації.

Переваги використання запропонованого представлення зміщення середньої точки при виявленні об'єктів включають

– підвищену надійність: модель більш стійка до змін орієнтації об'єкта, що робить її придатною для сценаріїв, коли об'єкти можуть бути нахилені або повернуті;

– покращену локалізацію: явне представлення середніх точок і зсувів допомагає точно локалізувати об'єкт, сприяючи кращому передбаченню обмежувальної рамки;

– покращене узагальнення: навчене представлення дає змогу мережі добре узагальнювати різні форми та орієнтації об'єктів, що призводить до покращення продуктивності реальних наборів даних;

– зменшену неоднозначність: представлення зсуву середньої точки зменшує неоднозначність у локалізації об'єкта, забезпечуючи більш чітке розуміння меж об'єкта.

Висновки. У даному документі був зроблений огляд методів виявлення об'єктів на відео та зображеннях використовуючи згорткові нейронні мережі, зокрема локальний метод виявлення на основі нейронної мережі R-CNN. Загалом, існує процедура скринінгу для виявлення цілі на основі запропонованої області. Тому, з розвитком технологій точність стає все більшою, а процес з роками стає все простішим. Але загалом швидкість виявлення є досить повільною і не може задовольнити вимоги програми. Проте, з еволюцією та розвитком системи, за останні роки, її точність також постійно вдосконалюється і вона має переваги в практичному застосуванні. В останні роки завдяки науковим досягненням у галузі комп'ютерного зору широко використовуються глибокі нейронні мережі, алгоритм виявлення об'єктів, заснований на згорткових нейронних мережах, перевершив традиційний алгоритм. Однак залишаються труднощі, пов'язані, наприклад з питанням того, як навчити мережу виявляти об'єкти за умови обмеженого набору даних, чи як досягти достатніх вимог до точності в реальній області застосування.

На завершення, запропоноване представлення зсуву середньої точки, інтегроване в нейронну мережу для виявлення об'єктів, пропонує більш ефективний і надійний підхід до обробки орієнтованих об'єктів. Підвищена точність локалізації та узагальнення для різноманітних сценаріїв робить цю схему представлення багатобічним досягненням у сфері комп'ютерного зору та виявлення об'єктів.

Перспективами подальших досліджень є розробка більш ефективної методології по виявленню об'єктів за допомогою деформованих згорткових мереж.

Список бібліографічного опису

1. Ren S., He K., Girshick R., Sun J., Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39. 2016. № 6. P. 1137 – 1149.
2. Redmon J., Divvala S., Girshick R., Farhadi A. You Only Look Once: Unified, real-time object detection. *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), International Conference on IEEE*. 2016. P. 779 – 788.
3. Liu W., Anguelov D., Erhan D., Szegedy C., Reed S., Fu C., Alexander C., Berg SSD: Single Shot MultiBox

Detector. *CoRR*. 2015 DOI:abs/1512.02325

4. Lokhande R., Nakhale Y., Petkar N., Sheikh T., Janwe Dr., Lichode P. Object Detection. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 2023. P. 316-320.

DOI:10.48175/IJARSCT-14042.

5. Duan K., Bai S., Xie L., Qi H., Tian Q. CenterNet++ for Object Detection. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 2023. DOI:10.1109/TPAMI.2023.3342120.

6. Abdul B., Ameen S., Mnaty D. Object Detection Algorithm Using Deep Learning. 2024. № 9.

7. Yadav A., Chaturvedi P., Rani S. Object Detection and Tracking using YOLOv8 and DeepSORT. 2024. DOI:10.56155/978-81-955020-7-3-7.

References

8. Kusuma P., Soewito B. Multi-Object Detection Using YOLOv7 Object Detection Algorithm on Mobile Device. *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)*. 2023. № 5. P. 305-320. DOI:10.37385/jaets.v5i1.3207.

9. Gollapalli G., Thotakura Y., Kasim S., Doppalapudi K. Multi Object Detection. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2023. № 11. P. 1222-1229. DOI:10.22214/ijraset.2023.55817.

10. Song Y., Liu Z., Tang R., Duan G., Tan J. Cross-domain object detection by local to global object-aware feature alignment. *Neural Computing and Applications*. 2023. P. 1-14. DOI:10.1007/s00521-023-09248-8.

11. Deng Z., Li A. Object Detection Algorithms Based on Convolutional Neural Networks. *Highlights in Science, Engineering and Technology*. 2024. № 81. P. 243-251. DOI:10.54097/vyfg4e34.

12. Bhatt P., Makwana D., Joshi A., Raol K. Object Extraction and Detection Using U2-Net and YOLOv7. 2023. DOI:10.21203/rs.3.rs-3808815/v1.

13. Romão B., Fagotto E. Convolutional Neural Networks for Object Detection. 2024. DOI:10.4271/2023-36-0097.

14. Jalal A. Integrating Semantic Segmentation and Object detection for Multi-object labeling in Aerial Images. 2024.

15. Alexandrino L., Olyaei Hadi., Albuquerque André., Georgieva Petia., Drummond Miguel. 3D Object Detection for Self-Driving Vehicles Enhanced by Object Velocity. *IEEE Access*. 2024. DOI:10.1109/ACCESS.2024.3353051.

16. Mumtaz F., Ashraf H., Jhanjhi N. Moving Object Detection Using Deep Learning Algorithms. 2023. DOI:10.20944/preprints202312.1589.v1.

17. Qiu H., Li H., Wu Q., Shi H., Wang L., Meng F., Xu Linfeng. Learning Offset Probability Distribution for Accurate Object Detection. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*. 2023. № 20. DOI:10.1145/3637214.

18. Challa N. Artificial Intelligence for Object Detection and its Metadata. 2023. № 2. P. 121-133. DOI:10.17605/OSF.IO/FG3SQ.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-19>

UDC 004.7:004.032.4:006.3:681.3:006.6

Nesterov Vasyl, Data Analyst

<https://orcid.org/0009-0000-3204-1382>

IteI inc, Jacksonville, Florida, USA

OPTIMIZATION OF BIG DATA PROCESSING AND ANALYSIS PROCESSES IN THE FIELD OF DATA ANALYTICS THROUGH THE INTEGRATION OF DATA ENGINEERING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Nesterov V. Optimization of Big Data Processing and Analysis Processes in the Field of Data Analytics Through the Integration of Data Engineering and Artificial Intelligence. In this article, we provide an overview of the current state of artificial intelligence (AI) and big data analytics, which are the most needed needs of our age. This report is designed to provide an overview of the latest research and achievements in this rapidly growing field and to highlight, check and complement the many ways in which AI can be combined to improve data. The most important developments in the field of data analysis demonstrate the development of machine learning models, the importance of explaining AI, and the use of AI in computing. **Methodology:** for this research we have analysed the latest trend in the related field of AI and data engineering. We have short listed nine main papers for this report. Meta-analysis requires the use of descriptive and/or statistical methods to collect data from multiple studies on a particular topic. These ideas help build knowledge from many studies in both qualitative and quantitative ways. **Results:** The article provides an overview of the complexities of integrating large amounts of data with intelligence, exploring topics such as data integrity, social and ethical issues. Additionally, it introduces new applications across multiple industries and reveals opportunities to transform environmental monitoring, supply chain operations, cybersecurity, and health monitoring. Overall, this article provides the reader with an in-depth understanding of the latest advances and challenges in data mining and intelligence-based analysis. **Conclusion:** It contributes to the ongoing debate on how AI can be used to gain meaningful insights from massive data sets, and provides a forward-looking perspective on the potential impacts on multiple sectors of the economy and society in general. Another new concept that expresses the openness of AI algorithms is descriptive intelligence (XAI). Understanding and interpreting intelligence decisions is important because it plays an important role in information processing, especially in areas that require compliance with ethical and legal standards.

Keywords: Artificial Intelligence, Big Data Analytics, Data Processing Optimization, Machine Learning Models, Ethical AI in Data Analytics.

Нестеров В.Ф. Оптимізація процесів обробки та аналізу великих даних у сфері аналітики даних шляхом інтеграції інженерії даних та штучного інтелекту. У цій статті ми надаємо огляд сучасного стану штучного інтелекту (ШІ) та аналітики великих даних, які є найбільш затребуваними потребами нашого часу. Цей звіт має на меті надати огляд останніх досліджень і досягнень у цій швидкозростаючій галузі, а також висвітлити, перевірити і доповнити численні способи поєднання штучного інтелекту для покращення даних. Найважливіші події в галузі аналізу даних демонструють розробку моделей машинного навчання, важливість пояснення ШІ та використання ШІ в обчисленнях. Методологія: для цього дослідження ми проаналізували останні тенденції в суміжних галузях ШІ та інженерії даних. Ми відібрали дев'ять основних статей для цього звіту. Мета-аналіз вимагає використання описових та/або статистичних методів для збору даних з декількох досліджень на певну тему. Ці ідеї допомагають побудувати знання з багатьох досліджень як в якісному, так і в кількісному плані. Результати: У статті представлено огляд складнощів інтеграції великих обсягів даних з аналітикою, досліджено такі теми, як цілісність даних, соціальні та етичні питання. Крім того, вона знайомить з новими застосуваннями в різних галузях і розкриває можливості для трансформації моніторингу навколишнього середовища, операцій в ланцюгах поставок, кібербезпеки і моніторингу здоров'я. Загалом, ця стаття дає читачеві глибоке розуміння останніх досягнень і викликів у галузі інтелектуального аналізу даних та аналізу на основі розвідданих. Висновок: Ця стаття робить свій внесок у триваючі дебати про те, як можна використовувати ШІ для отримання значущих висновків з величезних масивів даних, і дає перспективний погляд на потенційний вплив на різні сектори економіки і суспільства в цілому. Ще одна нова концепція, яка виражає відкритість алгоритмів ШІ, - це описативний інтелект (ХАІ). Розуміння та інтерпретація рішень інтелекту має важливе значення, оскільки він відіграє важливу роль в обробці інформації, особливо в сферах, які вимагають дотримання етичних та правових норм.

Ключові слова: штучний інтелект, аналіз великих даних, оптимізація обробки даних, моделі машинного навчання, етичний ШІ в аналітиці даних.

Scientific problem statement. As big data analytics and operations merge with the data analytics world, the paper faces a questionable task as organizations face ever-increasing data volume, spread, and diversity. Due to the complexity of this environment, optimization must use an effective method that combines data mining and artificial intelligence (AI). In this case, the statement of the problem focuses on the need to coordinate these two factors to increase the efficiency, speed and accuracy of big data and analysis.

Unparalleled diversity and volume of data: Traditional operating systems cannot handle the large volume and variety of data that companies collect from different sources; because they store many forms of information and do not have a structure. This issue goes past the boundaries of conventional information

handling and capacity and requires superior approaches to oversee the integration of distinctive information sorts.

Inefficient information processing workflow: Current information handling workflows frequently include profound and long information upkeep, change, and integration forms. These wasteful aspects ruin the method of extricating valuable data from the information and constrain the adaptability of the investigation team.

These biases make it impossible to extract useful information from the data and limit the search team's flexibility. Organizations that need to quickly respond to business changes and embrace automation need to address these limitations.

Inadequate

Many of the large-scale data systems in use today have difficulty scaling to meet data development needs. Larger files cannot be displayed due to this limitation. It can reduce the success rate and make it impossible to evaluate the data search plan.

Low Processing Intelligence

Traditional data planning techniques cannot identify patterns, anomalies, and connections in comprehensive data. Advanced data science and machine learning require intelligence directed at data processing pipelines.

The evolution of data and AI integration is different

There is a separation between the data research, analysis and AI departments of the organization. These disciplines influence collaboration and therefore enhance joint activities. To close this gap, technology is needed to connect expertise in data science, research and big data analysis.

Privacy and Data Security Issues

As data analysis and processing becomes more difficult, the potential for security breaches and threats will also increase. Privacy concerns are increasing. While businesses gain access to sensitive data, they strive to protect the availability, confidentiality and integrity of that data. Finding the best balance between security and data availability is a key challenge in the optimization process.

Latest research and publications. Popularity and evolution of big data analytics using AI: AI is revolutionizing data analysis through the development of machine learning models, development of explanatory AI (XAI), and integration of Edge computing for time analysis. These advancements aim to improve accuracy and efficiency in processing large datasets, particularly in sensitive domains like healthcare and finance. Edge computing allows for faster decision-making, reduced latency, and more efficient handling of streaming data, crucial for applications like IoT devices [1, 2].

Automated Machine Learning (AutoML) tools and platforms have gained popularity, allowing organizations to automate the process of building, training, and deploying machine learning models. This democratization empowers users with varying levels of technical expertise to leverage the benefits of machine learning in their data analysis tasks.

Natural Language Processing (NLP) is increasingly integrated into big data analytics, allowing systems to understand and derive insights from unstructured textual data, making it easier to analyze vast amounts of text-based information. AI-driven predictive analytics is a focal point in industries like finance, healthcare, and marketing, enabling proactive risk management and strategic planning [3].

Data security and ethics are important as awareness of the need for data security measures and responsible AI practices increases. The integration of big data and AI technology has become unprecedented, allowing organizations to manage big data and high-performance AI-driven analytics in the network together.

According to the research, the following topics are addressed: AI-powered analytics faces many challenges, including data quality and importance, orchestration and design, ethically fair AI and bias reduction, scalability and resource optimization, and humans and machines. partnership. Ensuring data quality is critical to the success of AI-driven analytics, and organizations are investing in processes that improve data quality. Standardization efforts are important to promote interoperability and facilitate the integration of different AI technologies into the big data ecosystem [4]. Ethical AI and bias mitigation are a priority, with researchers exploring techniques to ensure fairness, transparency, and accountability in AI-driven analytics. Scalability and resource optimization are key considerations, with AI models needing to scale efficiently to handle the increasing volume of data. Human-AI collaboration is evolving, and designing interfaces and workflows that facilitate effective collaboration is crucial for harnessing the complementary strengths of human expertise and AI capabilities in data analysis tasks[4, 5].

Latest applications using AI in field of data science: With AI playing a critical role in illness prediction, therapy enhancement, and supply chain management, healthcare analytics is revolutionizing the way medical professionals manage their resources. Predictive analytics powered by AI helps businesses estimate demand, manage inventory, and increase productivity. AI is also being used to analyze the climate and environment, offering insights about changes in the environment and patterns in the climate. In order to address the effects of climate change and the management of natural resources, this data-driven strategy is essential. Furthermore, through real-time analysis of user behavior and network traffic patterns, AI-driven cybersecurity analytics assists in the identification and mitigation of threats [3, 6-9].

The research purpose: This article's goal is to give readers a thorough understanding of the most recent developments and analyses in the big data analytics and AI fields. The purpose of this article is to gain an understanding of how organizations can improve their data analysis and performance by identifying the strengths that exist at the intersection of these two transitions. The work explores several significant themes, such as the development of models for machine learning, the emergence of explainable AI, the use of AI in edge computing, including the increasing significance of ethical approaches in data analytics.

The article also discusses the difficulties of integrating AI with big data analytics, focusing on problems like data quality, compatibility, and the moral ramifications of AI-driven decision-making. It also looks at new uses in a variety of industries, showing how AI is changing cybersecurity, supply chain optimization, healthcare analytics, and environmental monitoring.

Essentially, the goal of this article is to provide readers with a thorough grasp of the most recent advancements in AI-based big data analytics by acting as a guide. The article aims to add to the larger conversation on using AI to extract valuable insights from big and complex databases while emphasizing the possible effects on many companies as well as society at large by looking at trends, obstacles, and new applications.

Main research material presentation: In the present era of information explosion, enterprises have a complex problem optimizing big data handling and analysis within the field of data analytics. As the amount, velocity, and diversity of data increase, so does the need for creative solutions to guarantee that the enormous datasets can effectively be converted into insights that can be put to use. Given this, combining data engineering with AI becomes a potent tactic to improve large data processing and analysis's overall effectiveness [1].

The Big Data Processing Environment: The emergence of big data has revolutionized the information management practices of enterprises. The sheer amount and variety of data being created, including both structured and unstructured information from several sources, is too much for traditional databases and processing techniques to handle. The exponential growth of information has created a pressing need for optimization solutions to enable enterprises to quickly extract useful insights.

The Function of Data Engineering: Throughout the optimization process, data engineering is essential. It entails creating and overseeing methods, tools, and structures for gathering, storing, and evaluating data. Data engineering is the basis for downstream analytics and includes operations like data input, cleansing, transformation, and integration. Workflows for processing data manually frequently create bottlenecks, which limit the adaptability of analytics groups and lengthen the amount of time it takes to provide insights that are actionable. In data engineering, automation and sophisticated technologies can lead to efficiency improvements. By decreasing manual involvement and increasing the pace at which information is made accessible for analysis, computerized information pipelines can optimize the procedure from data gathering to transformation. Optimizing data retrieval and storage methods also improves the overall efficiency of big data processing [2, 10].

Utilizing AI's Power: Through the introduction of intelligent data processing capabilities, AI expands the scope of big data analytics. A subset of AI known as machine learning algorithms is capable of pattern recognition, data analysis, and prediction without the need for explicit programming. By combining AI with data analysis, businesses can leverage insights hidden in complex data beyond the capabilities of traditional analytical methods [4]. AI's ability to perform predictive analysis is one of its strengths. Machine learning models can use historical data to predict future trends, allowing businesses to make informed decisions. Predictive capability is especially useful in situations where predicting user behavior, physical activity, or work performance is important [6].

Also, AI improves data processing results using cumbersome procedures. Accuracy and speed in tasks such as data classification, anomaly detection, and natural language processing can enable human analysts to focus more on research and management [4].

Integrated Alignment: True optimization can be found in the combination of AI and knowledge engineering. Although the two sometimes appear distinct from each other, their integration is necessary to realize the benefits of big data and success [11].

Automation in Data Science: Data engineering jobs will be greatly impacted by AI-driven automation. For example, using machine learning algorithms to streamline data cleaning processes can improve the accuracy of data preparation. Similarly, AI-driven automatic data integration solutions can adapt to changing data sources and formats to have diverse and dynamic analyzes [10].

Using Intelligent Data Processing for Analytics: Smart Features Like Adaptive Learning AI features instant pattern recognition when integrated with analytics. This allows analysis to change and advance over time in response to changing business needs and data trends. By combining data engineering methods with the complex analysis of AI, a strategy for the optimization of big data is created [3].

Scalability solution: One of the most important factors in processing big data is scalability. As information proceeds to grow, organizations must guarantee that their information operations can suit information development through flat scaling. Adaptability issues in conventional frameworks can lead to diminished execution and expanded uptime. Utilizing AI and data designing together opens up better approaches to unravel scaling issues. An AI-driven auto-scaling framework can distribute assets as required. By doing this, it is guaranteed that the data processing framework can be effortlessly scaled to prepare bigger data and at the same time give great execution [5].

About Safety and Security: As the investigation of huge data gets to be more troublesome, security and privacy issues ended up more imperative. To ensure delicate information, organizations must compromise between simple get to and rigid security methods. Manufactured intelligence can offer assistance illuminate this issue by taking successful security measures and utilizing prescient analytics to identify security dangers. Calculations utilizing machine learning can analyze client activity patterns to recognize peculiarities which will demonstrate vulnerabilities. Moreover, data can be secured utilizing privacy-oriented encryption strategies and mental property models amid examination and handling. A great methodology has been made to fathom these problems by combining information designing with AI-driven security measures and information management [7].

The crevice between AI and information designing: In spite of their benefits, data engineering and AI departments in companies frequently need communication. This gap has to be closed so that these locales can coordinated consistently. Through collaboration, data engineers and AI engineers can make coordinates arrangements that back each other's capabilities [11]. Collaborative teams combine specialized knowledge, skills, and knowledge engineering to achieve a more efficient approach. By establishing effective communication and consistent processes, we ensure that engineering data analysis informs the creation and development of intelligence models, generates feedback, and improves the overall process and analysis performance of big data [10,12].

Talent A lack and Skill Gap: The quick development of AI and big data analytics technologies has resulted in a skills shortage and skill gap that is widening. Finding and keeping experts in both data engineering and AI is a common challenge for organizations. It will take money, upskilling efforts, and deliberate recruiting to close this gap and create a workforce capable of navigating the intricacies of integrated big data optimization [13].

Practical Uses and Success Stories: To maximize big data processing and analysis, a number of businesses have effectively deployed combined data engineering and AI solutions. For instance, AI-driven algorithms are employed in the finance industry to instantly identify fraudulent transactions, improving security and guarding against financial losses. AI-powered predictive analytics in healthcare helps to maximize resource allocation and spot possible disease outbreaks [14].

Medical Data Analytics - AI is being used more and more in healthcare analytics to help with drug development, customized treatment, and diagnostics. In order to provide insights that support illness prediction and therapy, machine learning models examine patient data, medical records, and genetic data [3].

Supply Chain Optimization: - AI is a key component in supply chain management optimization. AI-powered predictive analytics aids businesses in demand forecasting, inventory optimization, and overall supply chain efficiency improvement [8].

Climate and Environmental Analysis: AI is being used to analyze environmental data in order to address natural resource management and climate change. Large datasets from sensors, satellites, and climate models are processed by machine learning algorithms to reveal patterns in the climate and changes in the environment [9].

Intelligence on Cybersecurity: AI-driven analytics plays a critical role in locating and reducing cybersecurity risks. Algorithms that employ machine learning examine trends in user activity and network traffic to instantly identify anomalies and possible security breaches [9].

Conclusions: The field at the nexus of AI and big data analytics is still dynamic and changing. The most recent evaluations draw attention to developments in models for machine learning, the significance of AI that can be explained, the incorporation of AI into edge computing, and the persistent problems with data quality, ethics, and scalability. The future of analytics for data across a range of sectors is anticipated to be shaped by the collaboration between big data and AI, as firms endeavor to extract significant insights from ever growing databases.

In conclusion, a revolutionary strategy for addressing the problems presented by the current data environment is the optimization of big data processing and analysis through the integration of data engineering and AI. Intelligent analysis and electronic data processing working together can increase efficiency and create new opportunities to collect information from large and diverse data sources.

The combination of data engineering and AI solves important problems such as capacity building, security and complexities. As business transitions into this field, it is important to promote collaboration between knowledge engineering and enterprise intelligence, connecting intelligence, keeping up with changes and technology. The interaction between these departments not only accelerates the current process, but also lays the foundation for future innovation in the dynamic field of big data analytics.

Future Directions: Future developments should leverage big data and analytics through the combination of AI and data engineering. Edge computing has gained importance because it processes data closer to its location rather than to the data center. Edge AI integration reduces the need to send large amounts of data and enables decisions to be made faster. Another new concept that expresses the openness of AI algorithms is descriptive intelligence (XAI). Understanding and interpreting intelligence decisions is important because it plays an important role in information processing, especially in areas that require compliance with ethical and legal standards. Furthermore, as AI models and algorithms continue to progress and hardware capabilities rise, new avenues for big data processing optimization are anticipated. If implemented at scale, quantum computing might improve data processing rates and make it possible to analyze extraordinarily complex information quickly.

References

1. C. Shang and F. You, "Data analytics and machine learning for smart process manufacturing: Recent advances and perspectives in the big data era," *Engineering*, vol. 5, pp. 1010-1016, 2019.
2. J. Li, M. S. Herdem, J. Nathwani, and J. Z. Wen, "Methods and applications for Artificial Intelligence, Big Data, Internet of Things, and Blockchain in smart energy management," *Energy and AI*, vol. 11, p. 100208, 2023.
3. Z. F. Khan and S. R. Alotaibi, "Applications of artificial intelligence and big data analytics in m-health: a healthcare system perspective," *Journal of healthcare engineering*, vol. 2020, pp. 1-15, 2020.
4. O. M. Araz, T. M. Choi, D. L. Olson, and F. S. Salman, "Role of analytics for operational risk management in the era of big data," *Decision Sciences*, vol. 51, pp. 1320-1346, 2020.
5. R. H. Hariri, E. M. Fredericks, and K. M. Bowers, "Uncertainty in big data analytics: survey, opportunities, and challenges," *Journal of Big Data*, vol. 6, pp. 1-16, 2019.
6. S. Benzidia, N. Makaoui, and O. Bentahar, "The impact of big data analytics and artificial intelligence on green supply chain process integration and hospital environmental performance," *Technological forecasting and social change*, vol. 165, p. 120557, 2021.
7. M. Andronic, G. Lăzăroiu, M. Iatagan, C. Uță, R. Ștefănescu, and M. Cocoșatu, "Artificial intelligence-based decision-making algorithms, internet of things sensing networks, and deep learning-assisted smart process management in cyber-physical production systems," *Electronics*, vol. 10, p. 2497, 2021.
8. R. Dash, M. McMurtrey, C. Rebman, and U. K. Kar, "Application of artificial intelligence in automation of supply chain management," *Journal of Strategic Innovation and Sustainability*, vol. 14, pp. 43-53, 2019.
9. A. Y. Sun and B. R. Scanlon, "How can Big Data and machine learning benefit environment and water management: a survey of methods, applications, and future directions," *Environmental Research Letters*, vol. 14, p. 073001, 2019.
10. S. Raschka, J. Patterson, and C. Nolet, "Machine learning in python: Main developments and technology trends in data science, machine learning, and artificial intelligence," *Information*, vol. 11, p. 193, 2020.
11. M. Naeem, T. Jamal, J. Diaz-Martinez, S. A. Butt, N. Montesano, M. I. Tariq, et al., "Trends and future perspective challenges in big data," in *Advances in Intelligent Data Analysis and Applications: Proceeding of the Sixth Euro-China Conference on Intelligent Data Analysis and Applications, 15-18 October 2019, Arad, Romania, 2022*, pp. 309-325.
12. J. Wang, C. Xu, J. Zhang, and R. Zhong, "Big data analytics for intelligent manufacturing systems: A review," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 62, pp. 738-752, 2022.
13. Z. Allam and Z. A. Dhunny, "On big data, artificial intelligence and smart cities," *Cities*, vol. 89, pp. 80-91, 2019.
14. A. Belhadi, K. Zkik, A. Cherrafi, and M. Y. Sha'ri, "Understanding big data analytics for manufacturing processes: insights from literature review and multiple case studies," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 137, p. 106099, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-20>

УДК 621.396

Озерчук Ігор Михайлович, провідний науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0001-7011-0772>

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, м. Київ, Україна

АРХІТЕКТУРА ПЛАТФОРМИ ПРОГРАМНО-ВИЗНАЧЕНОГО РАДІО НА ОСНОВІ ПРОЦЕСОРА ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Озерчук І.М. Архітектура платформи програмно-визначеного радіо на основі процесора загального призначення. У межах статті проведено розробку архітектури платформи програмно-визначеного радіо на основі процесора загального призначення. Наголошується, що прогрес у цифровій обробці радіосигналів, широке проникнення у всі сфери діяльності бездротових технологій зумовили появу нових видів радіосистем званих програмно-визначеним радіо. Підкреслюється, що основною тенденцією виступає локалізація аналогових елементів радіосистем (фільтрів, підсилювачів, генераторів несучої частоти, цифро-аналогових та аналого-цифрових перетворювачів) на входах/виходах радіосистем, широке застосування цифрових методів обробки радіосигналів, децентралізація цифрової обробки. Зазначається, що у класичному поданні програмно-визначена радіосистема (Software Defined Radio, SDR) являє собою центральний протокол, сигнально-інформаційний потік, процесор (або протокольний процесор), оснащений приймальним та передавальним блоками. Наведено архітектуру платформи SDR на основі GPP та підкреслено, що програмно-визначена радіосистема може складатися з кількох ПЛІС та обслуговувати кілька незалежних радіоканалів. Велика кількість комунікаційних процесорів забезпечує одночасну обробку кількох потоків даних. Самі собою комунікаційні процесори може бути кількох типів, кожен із яких оптимізовано до роботи з певним типом сигналів. Також, зазначається, що окремі типи процесорів можуть бути виділені для аналізу сигналів, збирання статистики або фільтрації пакетів. Можливості перепрограмування (повного чи часткового) дозволяють змінювати кількість та склад комунікаційних процесорів залежно від поточних умов роботи. Використання високошвидкісних сучасних послідовних приймачів, а також великої кількості паралельних каналів дозволяє поширити структуру між'єднань за межі одного кристала та з малими витратами поєднувати кілька ПЛІС у систему.

Ключові слова: канал, процесор, розробка, архітектура, платформа, програмно-визначене радіо, приймач.

Ozerchuk I. A Software-Defined Radio Platform Architecture Based on a General-Purpose Processor. Within the framework of the article, the architecture of the software-defined radio platform based on a general-purpose processor was developed. It is emphasized that progress in digital processing of radio signals, wide penetration of wireless technologies into all spheres of activity led to the emergence of new types of radio systems called software-defined radio. It is emphasized that the main trend is localization of analog elements of radio systems (filters, amplifiers, carrier frequency generators, digital-to-analog and analog-to-digital converters) at the inputs/outputs of radio systems, widespread use of digital methods of radio signal processing, decentralization of digital processing. It is noted that in the classic view, a software-defined radio system (Software Defined Radio, SDR) is a central protocol, a signal-information flow, a processor (or protocol processor), equipped with receiving and transmitting units. The architecture of the GPP-based SDR platform is presented and it is emphasized that a software-defined radio system can consist of several FPGAs and serve several independent radio channels. A large number of communication processors provides simultaneous processing of several data streams. Communication processors themselves can be of several types, each of which is optimized to work with a certain type of signals. Also, it is noted that certain types of processors can be dedicated to signal analysis, statistics collection or packet filtering. Possibilities of reprogramming (full or partial) allow changing the number and composition of communication processors depending on the current operating conditions. The use of high-speed modern serial receivers, as well as a large number of parallel channels, makes it possible to extend the structure of interconnections beyond the limits of one crystal and to combine several FPGAs into a system with low costs.

Key words: channel, processor, development, architecture, platform, software-defined radio, receiver.

Вступ та постановка проблеми. За останнє десятиліття кількість бездротових пристроїв, які використовуються різними бездротовими програмними доменами, такими як бездротові сенсорні мережі (WSN) [1], Інтернет речей (IoT) [2], базові станції стільникового зв'язку [3] тощо, надзвичайно зростає. Кілька бездротових технологій стандартизовано, щоб забезпечити взаємозв'язок між різними бездротовими пристроями, включаючи RFID, LoRa, 3GPP 3G/4G/5G тощо. Бездротовий пристрій може містити один або кілька бездротових приймачів-передавачів, що підтримують різні бездротові технології. Кожен трансивер виконує всі фізичні (PHY) і частину операцій рівня керування доступом до медіа (MAC) через інтегровані аналогові та цифрові схемні блоки. Дійсно, більшість аналогових операцій PHY-рівня реалізуються на виділеному та інтегрованому аналоговому обладнанні, такому як підсилювачі, радіочастотні (РЧ) синтезатори, фільтри тощо. Ця традиційна реалізація значно обмежує прямо чи опосередковано можливість програмування та гнучкість трансиверів для модернізації або роботи з кількома дротами.

Більше того, процесори бездротових трансиверів здебільшого запатентовані, що не дозволяє програмістам і дослідникам отримати доступ до перепрограмування коду. Альтернативним

рішенням, яке дозволяє програмістам і дослідникам легко керувати апаратним забезпеченням і програмувати програмне забезпечення бездротових приймачів-передавачів, є використання реалізації на основі процесора загального призначення (GPP) на основі програмно-визначеного радіо (SDR), яке є реконфігурованим. Крім того, оскільки рівні PHY і MAC виконуються в програмному забезпеченні хостом GPP і завдяки можливості реконфігурації та перепрограмуванню радіоприймача, платформу SDR можна використовувати для впровадження багатьох бездротових технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковий підхід до висвітлення питань особливостей реалізації процесора загального призначення є різномірним та масштабним. У сучасній науковій площині з'являються роботи присвячені дослідженням платформ програмно-визначеного радіо, їх структурній складовій та технікам реалізації.

С.М. Семендй [4] розглянув можливість використання непрофесійного SDR радіообладнання та програмно-апаратних платформ з відкритим вихідним кодом для розробки та верифікації алгоритмів протидії РЕБ та підвищення автономності БпЛА на полі бою.

І.С. Пятін та Ю.М. Бойко [5] провели оцінку спотворень сигналу у HDL-реалізації системи зв'язку на базі середовища розробки Xilinx Zynq-7000. Алгоритм оцінки та корекції зміщення частоти розроблений за критерієм максимальної правдоподібності. Підсистема відновлення синхронізації символів виконана на основі кола фазового автопідлаштування частоти (ФАПЧ).

Із зарубіжних авторів варто відмітити роботи таких науковців як: Ксонне Метью, Хваліте Джерома, Бол Девіда [6], Бріджес К. [7], Утрілла Раміро, Родрігес-Суррунеро, Роберто, Мартін Хосе, Розас Альба, Араужо Альваро [8], Шмідт-Кноррек До., Пакалет Р., Мінвеген А., Дайдерсен У., Кемпф Т., Кноп Р., Ашейд Р. [9], Урс Х., Редді Р. Венката Шива, Гудодагі Равеендра, Судхаршан К., Аравінд Би. [10], Беккер Джон, Старобінський Давид [11], Албяті Мохаммед, Дано Ерік, Раджамані Раві, Томпсон Емі [12], Манко Анджело, Кастрільо Вікторіо [13], Рамос Маріо, Камачо Брінес Рауль, Кадавід Стерв'ятник Паола, Урда Роберт, Рестрепо Хуліо [14], Ань Сюян, Юй Сюей, Сун Вейлун, Хан Ле, Ян Тінгін, Лі Чжаодун, Су Чжібао [15], Перотоні Марсело, Скаллоп Марк, Бартолеті Рафаель [16] та інших.

Однак незважаючи на масштабність наукових досліджень питання реалізації платформи програмно-визначеного радіо на основі процесора загального призначення не викликає сумнівів.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка архітектури платформи програмно-визначеного радіо на основі процесора загального призначення.

Викладення основного матеріалу дослідження. Конструкції реалізації звичайних бездротових трансиверів, як правило, не вистачає можливості перепрограмування, гнучкості та масштабованості. Таким чином, оновлення програмного забезпечення, зміна логіки спеціального апаратного забезпечення або повторне використання трансивера для реалізації стандарту бездротового зв'язку, відмінного від того, для якого розроблено трансивер, є обмеженими або відсутніми. Крім того, звичайні бездротові трансивери здебільшого запатентовані, що не дозволяє розробникам і дослідникам отримати доступ до перепрограмування набору інструкцій. Альтернативним рішенням для пом'якшення цих обмежень є використання платформ SDR. На додаток до функції програмування, платформа SDR також служить мультитехнологічним шлюзом, використовуючи кілька бездротових технологій за допомогою загального набору радіоприймачів [10]. Це також дозволяє повторно використовувати програмне забезпечення на кількох радіопристроях і завантажувати програмне забезпечення онлайн для впровадження нових стандартів і виправлення помилок.

Платформа SDR – це клас радіоприймачів, які керують аналоговою частиною RF/IF за допомогою плати аналогового пристрою з відкритим вихідним кодом, і реалізують всю цифрову частину за допомогою програмованого головного процесора. Програмований головний процесор може бути GPP, DSP ASIP або FPGA. У рамках даного дослідження розкрито особливості платформам SDR на основі GPP через її легку програмованість за допомогою мови високого рівня та її гнучкості для реконфігурації та обробки складних алгоритмів. Загальна архітектура платформи SDR на основі GPP проілюстрована на рис. 1. Вона в основному розділена на три частини: пристрій SDR, інтерфейс зв'язку і хост GPP. Кожен компонент платформи має свої параметри зв'язку, які сприяють загальній продуктивності платформи SDR.

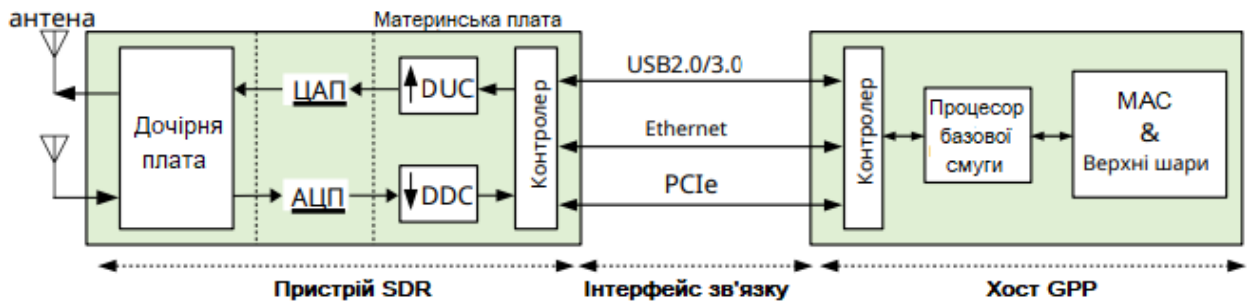


Рис. 1 – Загальна архітектура платформи SDR на основі GPP

Пристрій SDR – це невеликий портативний пристрій, який здатний передавати та приймати сигнали на різних частотах. Зазвичай він складається з керованих програмним забезпеченням аналогових РЧ/ПЧ і цифрових ПЧ інтерфейсів. Перша називається дочірньою платою, а друга – материнською.

Дочірня плата, по суті, відповідає за виконання аналогових функцій обробки РЧ/ПЧ, таких як фільтрація, підсилення, перетворення сигналів з РЧ в ПЧ і навпаки тощо. В основному діапазон робочих частот, ширина аналогової смуги частот і можливості каналу визначають сферу дочірньої плати для реалізації широкого спектру бездротових технологій з використанням пристроїв SDR. Дочірня плата з'єднує антену з материнською платою. Дійсно, більшість дочірніх плат інтегрують кілька ланцюгів вводу/ виводу для підключення кількох окремих антен, що забезпечує можливість одночасної передачі та прийому. Крім того, дочірні плати інтегрують аналогові входи/виходи для підключення АЦП і ЦАП материнської плати. На ринку дочірні плати є або окремими компонентами, або об'єднані з материнською платою, утворюючи єдину плату.

Материнська плата в основному відповідає за оцифрування та перетворення частоти дискретизації. Для виконання цих операцій материнські плати інтегрують АЦП/ЦАП і процесор DSP, які можна реалізувати за допомогою ASIC, DSP ASIP або FPGA. Він також об'єднує один або кілька комунікаційних інтерфейсів для з'єднання з хостом GPP. В основному він характеризується максимальною частотою дискретизації АЦП і ЦАП, роздільною здатністю АЦП і ЦАП, конструкцією процесора DSP і підтримуваним інтерфейсом зв'язку.

Материнська плата в пристроях SDR поєднує дочірню плату з хостом GPP. Він обмінюється вибіркою основної смуги з хостом GPP і аналоговими сигналами з дочірніми платами. Насправді отриманий аналоговий сигнал ПЧ від дочірньої плати спочатку оцифровується АЦП для отримання цифрових зразків ПЧ, а потім зменшується через DDC для отримання цифрових зразків основної смуги частот.

Нарешті, зразки базової смуги передаються на хост GPP через інтегрований інтерфейс зв'язку. У зворотному напрямку отримані зразки базової смуги спочатку підвищуються через DUC, щоб отримати цифрові зразки ПЧ, а потім ЦАП перетворюють на аналоговий сигнал ПЧ. Нарешті аналоговий сигнал ПЧ передається на дочірню плату [9]. На ринку материнські плати являють собою або окремі плати, що містять слоти для підключення дочірніх плат, або плату з інтеграцією дочірніх плат.

Дані передаються з хосту GPP на пристрій SDR і навпаки за допомогою дротових інтерфейсів зв'язку. Вони базуються на широко використовуваних комунікаційних інтерфейсах для передачі даних, таких як універсальна послідовна шина (USB 2.0, USB 3.0 тощо), Ethernet (стандартний, швидкий, гігабітний тощо) та взаємозв'язку периферійних компонентів (PCIe 1.x, PCIe 2.x тощо). Вони складаються з контролерів, таких як контролер мережевого інтерфейсу (NIC), встановлених як на хості GPP, так і на материнській платі SDR, для реалізації стандарту інтерфейсу зв'язку. Технологія комунікаційного інтерфейсу, реалізована контролером, має специфічні характеристики, визначені стандартами, такими як максимальна підтримувана швидкість, максимальний розмір корисного навантаження, максимальна довжина кабелю тощо. Щоб забезпечити більшу гнучкість швидкості передачі даних, деякі пристрої SDR включають кілька комунікаційних інтерфейсів. Контролери як пристрою SDR, так і хосту GPP мають реалізовувати однаковий стандарт інтерфейсу, але не обов'язково однаковою версією. Дійсно, різні версії одного стандарту можуть створювати з'єднання між двома сторонами, але вони повинні бути синхронізовані для ефективного обміну даними. У таких випадках стандарт зв'язку з найнижчою

швидкістю буде узгоджений шляхом автоматичного узгодження (як для Ethernet) або зворотної сумісності (наприклад, між USB 2.0 і USB 3.0) або вручну.

Хост GPP – це програмований пристрій, який може виконувати обчислювальні завдання на основі інструкцій, наданих програмним забезпеченням, що використовує мови програмування високого або нижчого рівня. Таким чином, хост GPP поєднує апаратне та програмне забезпечення та відповідає за їх взаємодію.

Компоненти вузла GPP здебільшого зібрані на одній платі. Ця плата містить внутрішні компоненти SOC, такі як GPP, внутрішня пам'ять, співпроцесори (GPU, DSP ASIP тощо) і можливі контролери для інтерфейсів зв'язку та зовнішні компоненти SOC, такі як зовнішня пам'ять, слоти розширення тощо.

GPP, який може бути мікропроцесором або мікроконтролером, відповідає за виконання цифрових операцій РНУ, MAC і верхнього рівня. На відміну від звичайних трансиверів, він має перевагу високого рівня програмування без модифікації апаратного забезпечення. Незважаючи на те, що він пропонує високу гнучкість для користувача, програмованість високого рівня зазвичай призводить до погіршення продуктивності процесора для задоволення вимог інтенсивних обчислювальних завдань обробки сигналів [11]. Дійсно, продуктивність (швидкість обробки) GPP значною мірою визначається тактовою частотою, де нижча тактова частота означає повільний процесор і менше споживання енергії.

GPP може мати одноядерний або багатоядерний процесор. Однак більшість GPP на даний момент базуються на багатоядерних (двоядерних, чотирьохядерних тощо) процесорах на одному фізичному центральному процесорі (CPU). Кожне ядро в багатоядерній однопроцесорній системі представляє один процесор або виконавчий блок, здатний виконувати процеси одночасно з іншими процесорами. Це збільшує кількість запитів, які потрібно обробити за один такт. Окрім тактової частоти та кількості ядер, на швидкість обробки істотно впливає архітектура системної шини (ширина шини, її тактова частота, кількість даних, які вона може передати за такт тощо). Розмір і рівень кешу ЦП також впливає на швидкість його обробки. Інші параметри, які можуть впливати на загальну швидкість обробки GPP, це кількість потоків, розмір пам'яті, кількість ALU, підтримка гіперпоточної обробки, розмір блоків SIMD (Single Instruction Multiple Data) тощо. Блоки SIMD дозволяють процесору виконувати одночасно одну і ту саму операцію для кількох блоків даних. Останні GPP підтримують архітектуру SIMD для підвищення продуктивності. Щоб досягти більшої обчислювальної продуктивності, GPP зазвичай доповнюються співпроцесорами, такими як GPU, FPGA та DSP ASIP.

Програмна частина хосту GPP керує роботою процесора, вхідним/ вихідним трафіком контролерів зв'язку та SDR-пристроєм. Зазвичай він розділений на три рівні: набір операцій, простір ядро та простір користувача. Набір інструкцій/операцій визначається як група операцій, які може виконувати процесор. Таким чином, код операції (об'єктний код), згенерований компілятором або асемблером може містити лише інструкції з цього набору. Набір операцій є одним із двох типів проектів архітектури набору операцій/інструкцій/команд (ISA): комп'ютери зі скороченим набором інструкцій (RISC) або комп'ютери зі складним набором інструкцій (CISC). ISA GPP може базуватися на CISC або RISC. Щоб використати переваги обох наборів інструкцій, сучасні GPP більшою мірою базуються на гібридному ISA (використовують зовнішні інструкції CISC, але внутрішні методи RISC). Крім того, використання RISC архітектури також може бути покращено шляхом додавання розширень дуже довгих машинних команд (VLIW), техніки, яка пропонує паралелізм рівня інструкцій.

Середнім рівнем архітектури програмної системи є ядро. Це серце операційної системи (ОС), що з'єднує простір користувача з апаратним процесором. Для взаємодії з апаратним забезпеченням ядро включає драйвери апаратного забезпечення, такі як драйвер процесора, драйвер жорсткого диска, драйвер мережевого контролера тощо. Для взаємодії з простором користувача ядро включає інтерфейс прикладних програм (API), який дозволяє програмам у просторі користувача отримувати доступ до системних ресурсів (наприклад, файлові системи, час GPP, віртуальна пам'ять тощо) та служби (наприклад, планування, обмін, обробка запитів на переривання (IRQ), перемикання контексту тощо). Саме ці служби впливають на продуктивність простору ядра з точки зору затримки та накладних витрат. Щоб зменшити затримку, необхідні додаткові функції, такі як обробник IRQ, планування процесу, зменшення кількості перемикань контексту тощо. З іншого боку, накладні витрати на ядро – це час, пов'язаний з керуванням такими ресурсами, як час GPP, пам'ять, диск тощо. Збільшення накладних витрат часто призводить до зменшення зайнятості

часу GPP і, як наслідок, пропускну здатності GPP. Оскільки для зменшення затримки ядра необхідні додаткові функції, накладні витрати ядра збільшаться. Очевидно, що існує компроміс між затримкою ядра та пропускну здатністю GPP, і баланс слід ретельно опрацювати відповідно до потреб користувача.

На вершині архітектури програмної системи знаходиться простір користувача, який складається з частини пам'яті, у якій виконуються програми користувача. Таким чином, програми користувача є функціями РНУ і МАС бездротових технологій. Програми користувача здебільшого написані з використанням мов програмування високого рівня, таких як С, С++, Java, Python, Matlab тощо. Також можна генерувати код програм користувача за допомогою текстових/ графічних мов програмування потоку даних, таких як програмування G, Python, С++, тощо. Ці мови програмування зазвичай входять до наборів інструментів розробки програмного забезпечення, таких як GNU Radio, LabVIEW, Matlab тощо. Набори інструментів надають бібліотеки для функцій DSP, бібліотеки для середовища виконання та компіляції, графічні засоби для створення графів потоку сигналів і генерування вихідного коду потокового графа тощо.

Компілятор користувацьких додатків є найважливішим елементом, який допомагає процесору досягти високої продуктивності та максимального часу виконання. Він відповідає за генерацію коду інструкції за допомогою ISA цільового процесора. Якщо підтримується велика різноманітність цільових процесорів, компілятор називається загальним. Загальні компілятори також реалізують оптимізацію для покращення продуктивності GPP шляхом збільшення рівня паралелізму за допомогою трьох механізмів: паралелізм на рівні інструкцій (ILP), який дозволяє виконувати кілька інструкцій одночасно, паралелізм на рівні потоку (TLP), який дозволяє одночасному або псевдоодностанному запуску кількох потоків на одному чи кількох ядрах, і паралелізм на рівні даних (DLP), який дозволяє виконувати декілька елементів даних одночасно. Це передбачає оптимальне генерування вихідного коду за розміром і часом виконання відповідно до цільового процесора.

Щоб реалізувати бездротову технологію на платформах SDR або використовувати існуючі реалізації, необхідно, щоб продуктивність обраної платформи SDR (пристрій SDR, інтерфейс зв'язку та хост GPP) відповідала принаймні вимогам цільової бездротової технології. Ці вимоги в основному наведені з точки зору діапазону робочих частот, пропускну здатності, швидкості символів, бітрейту, затримки тощо.

Смуга частот платформи SDR – це робочий діапазон частот, який покриває пристрій SDR. Визначається на дочірніх платах за сигналами гетеродина (LO), які генеруються синтезатором частоти, таким як синтезатор фазового автопідстроювання частоти (PLL). Велика смуга частот потребує широкого діапазону частот гетеродина, а отже, і широкосмугових синтезаторів частот. Щоб охопити діапазон частот, підтримуваних дочірніми платами, пристрої SDR повинні використовувати відповідний тип антени.

Будь-який аналоговий або цифровий сигнал має смугу пропускання, визначену як зайнятий діапазон частот, що переносить більшу частину його енергії. Цей діапазон змінюється на кожному етапі сигнального ланцюга. Отже, він може бути виражений по-різному відповідно до етапу обробки сигналу. Дійсно, на РЧ передньому етапі це виражається як аналогова смуга пропускання або ширина РЧ каналу. На етапі АЦП/ЦАП це виражається як частота дискретизації ЦАП/АЦП. Коли сигнал обробляється на цифровому передньому кінці (DFE), його пропускну здатність виражається як частота дискретизації DFE. У каналі зв'язку між DFE і GPP смуга пропускання обмежена швидкістю інтерфейсу зв'язку. На хості GPP пропускну здатність виражається як швидкість передачі символу.

Смуга пропускання, виміряна в Гц, визначається радіочастотним інтерфейсом (дочірньою платою) пристрою SDR. Він налаштований головним чином аналоговим фільтром низьких частот (LPF) для зміни частоти від 0 Гц до заданої частоти зрізу фільтру.

На материнській платі пристроїв SDR вбудований АЦП/ЦАП може підтримувати одну або кілька частот дискретизації. Найвище значення частоти дискретизації визначає найбільшу аналогову смугу пропускання. Використання вибіркової частоти дискретизації є кращим, ніж фіксованої частоти, щоб адаптувати реальну аналогову смугу пропускання до необхідної смуги пропускання, яка встановлена програмними вимогами до частоти та виражається частотою дискретизації DFE. Коли найближча частота дискретизації більша, ніж частота дискретизації DFE, необхідне коригування за допомогою процесу інтерполяції та децимації.

Висновки. У межах даної роботи розроблено та детально описано архітектуру платформи програмно-визначеного радіо на основі процесора загального призначення. Оскільки частота дискретизації DFE має бути близькою до бітрейту хосту GPP, її можна використовувати для визначення необхідної пропускної здатності каналу, визначеною потребами програми користувача на хості GPP. Оскільки необхідна пропускна здатність каналу включена в реальну аналогову пропускну здатність, частота дискретизації DFE має бути меншою, ніж реальна аналогова пропускна здатність. Крім того, частоту дискретизації DFE слід збільшити або зменшити, щоб відповідати тактовій частоті ЦАП і АЦП. Деякі пристрої SDR вимагають строго цілочисельної інтерполяції та коефіцієнтів проріджування, і дуже бажано, щоб ці коефіцієнти були парними, і набагато краще, якщо коефіцієнти будуть мати дві потужності. Таким чином, вказівка відповідної частоти дискретизації DFE є ще однією вимогою, яку має враховувати користувач.

Список бібліографічного опису

1. Kumar Avinash. Wireless Sensor Network (WSN). 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.26851.27681.
2. Зубок В.Ю., Давидюк А.В. Архітектура інтернету речей та моделі обробки даних / Міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні технології лінгвістичного аналізу»: Тези доповідей. К.: НАУ, 2022. 56 с.
3. Микитенко С. Принципи формування архітектури мереж стільникового зв'язку п'ятого покоління. Computer-integrated technologies: education, science, production. 2022. P. 111-116. DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2022-47-17.
4. Семендяй С. Використання технології когнітивного радіо для підвищення ефективності безпроводових систем передачі даних в умовах активного застосування засобів радіоелектронної боротьби. Кібербезпека: освіта, науки, техніка. Національний університет «Чернігівська політехніка», Чернігів, 2023. № 4(20). С. 220-229. DOI: 10.28925/2663-4023.2023.20.220229
5. Пятін І.С. Синхронізація систем зв'язку на основі SDR / Вісник Хмельницького національного університету. 2022. №5. С. 1-9.
6. Xhonneux Mathieu, Louveaux Jerome, Bol David. A sub-mW Cortex-M4 Microcontroller Design for IoT Software-Defined Radios. IEEE Open Journal of Circuits and Systems. 2023. P. 1-1. DOI: 10.1109/OJCS.2023.3270752.

References

7. Bridges C. Software Defined Radio (SDR) architecture to support multi-satellite communications. 2015. DOI: 10.1109/AERO.2015.7119186.
8. Utrilla Ramiro, Rodriguez-Zurrunero Roberto, Martin Jose, Rozas Alba, Araujo Alvaro. MIGOU: A Low-Power Experimental Platform with Programmable Logic Resources and Software-Defined Radio Capabilities. Sensors. 2019. № 19. P. 49-83. DOI: 10.3390/s19224983.
9. Schmidt-Knorreck C., Pacalet R., Minwegen A., Deidersen U., Kempf T., Knopp R., Ascheid G. Flexible front-end processing for software defined radio applications using application specific instruction-set processors. Conference on Design and Architectures for Signal and Image Processing, DASIP. 2012. P.1-8.
10. Urs H., Reddy R Venkata Siva, Gudodagi Raveendra, Sudharshan K., Aravind B. A Novel Algorithm for Reconfigurable Architecture for Software-Defined Radio Receiver on Baseband Processor for Demodulation. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-13577-4_11.
11. Becker Johannes, Starobinski David. Snout: A Middleware Platform for Software-Defined Radios. IEEE Transactions on Network and Service Management. 2022. P. 1-1. DOI: 10.1109/TNSM.2022.3215626.
12. Albayati Mohammed, Dano Eric, Rajamani Ravi, Thompson Amy. A Model-Based Engineering Approach for Evaluating Software-Defined Radio Architecture. Systems. 2023. №11. 480 p. DOI: 10.3390/systems11090480.
13. Manco Angelo, Castrillo Vittorio. An FPGA Scalable Software-Defined Radio Platform for UAS Communications Research. Journal of Communication. 2021. № 2. P. 42-51. DOI: 10.12720/jcm.16.2.42-51.
14. Ramos Mario, Camacho Briñez Raul, Buitrago Cadavid Paola, Urda Robert, Restrepo Julio. Software Defined Radio, a perspective from education. Frontiers in Education. 2024. №8. DOI: 10.3389/educ.2023.1228610.
15. An Xuyang, Yu Xuwei, Song Weilong, Han Le, Yang Tingting, Li Zhaodong, Su Zhibao. A Software-Defined Distributed Architecture for Controlling Unmanned Swarm Systems. Electronics. 2023. №12. P. 37-39. DOI: 10.3390/electronics12183739.
16. Perotoni Marcelo, Vieira Marcos, Bartolleti Rafael. Experiments with a Holographic Radar Based on Software Defined Radio. IEEE Latin America Transactions. 2023. №21. DOI: 10.1109/TLA.2023.10305239.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-21>

УДК 621.311.21

Орлов Микола Вікторович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-3329-4901>

Пасічник Володимир Володимирович, д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-5231-6395>

Національний університет Львівська Політехніка, м. Львів, Україна

НЕПЕРЕРВНА ОПТИМІЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРИ ВПРОВАДЖЕННІ МЕТОДОЛОГІЇ DEVOPS В ІТ ІНФРАСТРУКТУРАХ

Орлов М.В., Пасічник В.В. Неперервна оптимізація та управління ризиками при впровадженні методології DevOps в іт інфраструктурах. Автори статті пропонують комплексний погляд на важливі процедури та методи впровадження методології DevOps у сучасній сфері ІТ. Зокрема, у статті розглядають основні принципи DevOps, їхня роль у прискоренні циклу розробки програмного забезпечення та забезпеченні неперервного постачання нових версій високоякісних програмних продуктів. Підкреслюється, що запровадження методології DevOps не лише спрощує процедури інтеграції та розгортання, але й створює умови для постійної оптимізації процесів, виявлення та управління ризиками. Дослідники підкреслюють важливість реалізації принципів неперервного моніторингу, аналізу та оптимізації процесів, які можуть бути досягнуті завдяки застосуванню DevOps. Особлива увага в статті приділяється практичному застосуванню цих методів у реальних проєктах та їхньому впливу на покращення якості та швидкості розгортання програмного забезпечення. Зазначається, що завдяки впровадженню методології DevOps компанії можуть досягати значного зростання ефективності та конкурентоспроможності, а також забезпечувати високу якість своїх продуктів у вимогливому ринковому середовищі. У статті акцентується увага на важливості підготовки кваліфікованого персоналу та проведення SWOT-аналізу перед впровадженням методології DevOps. Висвітлюється потреба відповідної підготовки та навчання персоналу для розуміння та ефективного впровадження цієї методології, а також важливість наявності в команді фахівців з відповідними навичками та досвідом. Розглядається важливість проведення SWOT-аналізу для об'єктивної оцінки сильних та слабких сторін компанії, а також виявлення можливостей та загроз, пов'язаних з впровадженням методології DevOps. Це допомагає в розробці стратегії впровадження, визначення потенційних ризиків та пошуку шляхів їхнього уникнення або зменшення впливу на процеси розробки та управління ІТ-проєктами.

Ключові слова: інфраструктура, оцінка ризиків, DevOps, управління ризиками, масштабування, безперервна інтеграція, CI/CD, опис ІТ інфраструктури кодом

Orlov M., Pasichnyk V. Systemic assessment of risks and challenges in implementing the DevOps methodology in corporate IT infrastructures. The authors of the article offer a comprehensive view of the important procedures and methods of implementing the DevOps methodology in the modern IT sphere. In particular, the article considers the main principles of DevOps, their role in accelerating the software development cycle and ensuring the continuous delivery of new versions of high-quality software products. It is emphasized that the introduction of the DevOps methodology not only simplifies the integration and deployment procedures, but also creates conditions for continuous optimization of processes, detection and management of risks. Researchers emphasize the importance of implementing the principles of continuous monitoring, analysis and optimization of processes that can be achieved thanks to the application of DevOps. The article pays special attention to the practical application of these methods in real projects and their impact on improving the quality and speed of software deployment. It is noted that thanks to DevOps, companies can achieve a significant increase in efficiency and competitiveness, as well as ensure high quality of their products in a demanding market environment. The article emphasizes the importance of training qualified personnel and conducting a SWOT analysis before implementing the DevOps methodology. The need for appropriate training and education of personnel to understand and effectively implement this methodology is highlighted, as well as the importance of having specialists with relevant skills and experience in the team. The importance of conducting a SWOT analysis for an objective assessment of the company's strengths and weaknesses, as well as identifying opportunities and threats associated with the implementation of the DevOps methodology, is considered. It helps in developing an implementation strategy, identifying potential risks and finding ways to avoid them or reduce the impact on the processes of development and management of IT projects.

Keywords: Infrastructure, risk assessment, DevOps, risk management, scaling, continuous integration, CI/CD, infrastructure as code.

Постановка наукової проблеми. У сучасному високотехнологічному інформаційному суспільстві швидкість та якість розробки програмного забезпечення стали критичними факторами для конкурентоспроможності будь-якої компанії. З метою прискорення цього процесу та підвищення ефективності виникає потреба у використанні методологій, які спрямовані на автоматизацію та оптимізацію розробки, тестування та впровадження програмних продуктів. Однією з найбільш перспективних методологій у цьому контексті є DevOps.

Розроблення та супровід DevOps (Development and Operations) є підходом до розробки програмного забезпечення, що поєднує в собі культурні практики, інструменти та процеси для поліпшення співпраці між розробниками та операторами їх систем. Впровадження методології DevOps може значно підвищити швидкість розробки, скоротити час введення нових функцій та

виведення інноваційних послуг на ринок, а також загалом покращити загальну якість програмного забезпечення.

Впровадження методології DevOps в ІТ інфраструктурах сучасних фірм, компаній та корпорацій є одним з високотехнологічних інноваційних кроків щодо системного комплексного вдосконалення процесів функціонування відповідних бізнес середовищ. Промислова імплементація концептуально-цілісного підходу, що інтегрує процеси розроблення (Dev) та супроводження (Ops) програмних продуктів дозволяє суттєво підвищувати ефективність та прибутковість бізнесу в стислі терміни та з мінімізацією загальносистемних витрат.

Однією з головних проблем при впровадженні методології DevOps є необхідність постійної оптимізації та управління ризиками в ході розробки нових програмних продуктів та постійного вдосконалення ІТ інфраструктури. Не врахування зазначених ризиків може призвести до непередбачуваних збоїв та зниження системної продуктивності.

У статті розглянуто актуальні питання неперервної оптимізації та управління ризиками при впровадженні методології DevOps в ІТ інфраструктурах. Основна увага зосереджена на процесах постійного моніторингу, аналізу ризиків та вдосконаленні процесів для забезпечення стабільності та ефективності процедур розробки та високотехнологічної експлуатації програмного забезпечення.

Аналіз досліджень. Божич Велібор [1] відзначив, що є ряд ризиків, пов'язаних з впровадження методології DevOps, включаючи ризики безпеки, культурний спротив, відсутність або неналежний рівень стандартизації, інструментальні та технологічні ризики, а також недостатність інструментів масштабування. Для зменшення цих ризиків, організації повинні запроваджувати чіткі політики DevOps і процедури, встановлювати стандарти та найкращі практики, забезпечувати ефективне спілкування, співпрацю команд та ретельно оцінювати інструменти та технології.

Автори вважають, що високотехнологічні компанії, які використовують принципи DevOps, такі як Google, Amazon, Facebook, Etsy і Netflix, досягають значних успіхів. Посібник з методології DevOps містить рекомендації, як системно повторити такі вражаючі результати, інтегрувати управління програмними продуктами, розробку, контроль якості, ІТ-операції та інформаційну безпеку, щоб забезпечити зростання компанії та досягти конкурентних переваг на ринку[2].

Робота мала на меті подати практичну реалізацію DevOps і проаналізувати процеси доставки програмного забезпечення та автоматизовані внесення змін в ІТ інфраструктуру. Підхід базується на принципах концепції інфраструктура як код, в якій автоматично використовувалася платформа конфігурації – PowerShell DSC, що визначила надійне середовище для неперервного оновлення програмного забезпечення.

Досвід, отриманий в результаті роботи, в подальшому використовувалися при формуванні конкретного набору практик, які можуть сприяти переходу від традиційних підходів до автоматизації процесу неперервного оновлення програмного забезпечення [3].

Аналіз наукових публікацій зарубіжних та вітчизняних дослідників засвідчив що на даний час практично відсутні роботи загальносистемного характеру, які б містили зінтегровані знання та відомості про оцінку комплексів ризиків та викликів, а також формування цілісних системотехнічних політик їх подолання, при запровадженні методології DevOps в в корпоративних ІТ інфраструктурах. Також залишилися поза увагою науковців питання побудови оптимізаційних процедур та процесів управління ризиками про повномасштабної імплементації зазначеної методології в швидкооновлюваних високотехнологічних комплексах, в яких інформаційні платформи є базисом всіх бізнес процесів. Саме цим питанням автори статті приділятимуть основну увагу у своїх наукових розвідках.

Мета роботи. Метою даної роботи є аналіз особливостей впровадження методології DevOps в корпоративних ІТ інфраструктурах.

Об'єктом дослідження є процеси та інструменти впровадження методології DevOps в ІТ інфраструктурах.

Предметом дослідження є методи та засоби неперервної оптимізації та управління ризиками при впровадженні методології DevOps в корпоративних ІТ інфраструктурах.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- Провести аналіз процесів неперервної оптимізації та вдосконалення ІТ інфраструктур в контексті впровадження методології DevOps.

- Провести аналіз процесів управління ризиками при впровадженні методології DevOps в ІТ інфраструктурах.

- Сформувані методично-коректну послідовність кроків щодо підготовки кадрів та підвищення їх кваліфікації в контексті впровадження методології DevOps

Методи дослідження. При підготовці статті автори використовували знання та досвід, набутий в процесі практичних реальних розроблень та впроваджень, які вони здійснили або брали безпосередню участь у їх реальних втіленнях

Основними методами, які використовувалися авторами були:

Глибинні інтерв'ю з експертами з галузі DevOps, керівниками ІТ-підрозділів, керівниками проектів або фахівцями-практиками з досвідом впровадження методології DevOps.

Кейс-стаді: Аналіз успішних та невдалих випадків впровадження DevOps в корпоративних середовищах, включаючи підприємства однієї і тієї ж галузі і аналогічного масштабу.

SWOT-аналіз для визначення сильних і слабких сторін, спроможностей та потенційних загроз, пов'язаних з впровадженням методології DevOps.

Аналіз статистичних даних із внутрішніх джерел, який включає аналіз показників ефективності, швидкості реакції на проблеми, що виникають, затраченого часу на виправлення помилок.

Неперервна оптимізація та вдосконалення діяльності компанії. DevOps - це культурна та організаційна методологія, яка спрямована на покращення співпраці між розробниками програмного забезпечення (Development) і інженерами з розгортання та управління ІТ інфраструктурою (Operations). Головною метою DevOps є автоматизація процесів розробки, тестування, впровадження та моніторингу програмного забезпечення для забезпечення швидкості, надійності та стабільності постачання нового програмного продукту або надання послуги (сервісу)[4]. Системна характеристика методології DevOps на думку фахівців включає [5]:

Спільну відповідальність. В методології DevOps наголос робиться на спільну відповідальність за розробку, тестування, впровадження та експлуатацію програмного забезпечення всіма учасниками процесу.

Культуру співпраці. DevOps створює нову культуру співпраці та взаєморозуміння між розробниками і операторами ІТ інфраструктури, що сприяє швидкому реагуванню на зміни та розвитку програмного продукту.

Автоматизацію. Одним із основних принципів методології DevOps є автоматизація процесів розробки, тестування, впровадження та моніторингу за допомогою інструментів класу постійна інтеграція / постійне вдосконалення (CI/CD, Continuous Integration/Continuous Deployment) [6] та інших засобів.

Швидкість постачання. Методологія DevOps зорієнтована на забезпечення швидкого впровадження нових функцій та виправлення помилок, що дозволяє компаніям швидше реагувати на зміни ринку та нові вимоги користувачів.

Контроль версій. DevOps використовує системи контролю версій, зокрема, такі як Git, для оперативного відстеження змін в коді та спільної роботи розробників.

Моніторинг та звітність. Методологія DevOps передбачає реалізацію функцій моніторингу продукції та автоматичного створення звітів про її ефективність, що в свою чергу дозволяє оперативно виявляти проблеми та формувати відповідні системотехнічні заходи.

Одним з базових інструментів підвищення ефективності діяльності та вдосконалення процесів функціонування компонентів є формування та використання так званих ключових показників продуктивності КПП (KPI або Key Perfomance Indicators). Проаналізуємо роль КПП у процесах неперервної оптимізації та вдосконалення корпоративних ІТ інфраструктур [8, С. 69].

Використання КПП з точки зору якнайповнішого втілення методології DevOps відіграє в науковому аспекті ключову роль, оскільки дозволяє слідувати верифікованому доказовою базою при ухваленні ключових рішень та розробці стратегій оптимізації. Шляхом систематичного збору та аналізу даних можемо отримувати об'єктивні відомості щодо ефективності впроваджених змін, ідентифікувати фактори, які впливають на успіх або невдачу, та визначати найбільш перспективні напрями подальшого аналізу та розвитку. Такий підхід дозволяє підвищувати обґрунтованість дій та ухвалювати виважені та ефективні рішення.

Неперервна оптимізація та вдосконалення є одним з основних принципів методології DevOps, оскільки дозволяє забезпечити постійний ефективний розвиток процесів розробки та експлуатації програмного забезпечення з метою досягнення найкращих результатів.

Реалізація цього системного концепту передбачає постійне оцінювання процесів розробки та експлуатації. Це зокрема може включати оцінку часу майбутньої розробки, частоти випусків оновлених версій, якості програмного продукту та інших метрик.

При цьому в якості КПП можуть використовуватись такі параметри як кількість дефектів, допущених під час виробництва, час, витрачений на розробку нового функціоналу продукту, час, витрачений на виправлення помилок.

Впровадження змін на основі звітності передбачає збирання та аналіз даних щодо процесів розробки та експлуатації нових програмних продуктів дозволяє виявити слабкі місця та нові можливості щодо оптимізації процесів. На основі інформаційних методів звітності можна визначити пріоритети впровадження змін та відповідних вдосконалень. Як КПП можуть бути використані частота впровадження змін, час на впровадження нового функціоналу, час реагування на ідентифіковані нові проблеми.

Використання методів постійного покращення. Мова зокрема йде про такі методи як Kaizen (японський принцип постійного покращення) або PDCA (Plan-Do-Check-Act), що використовуються для систематичного покращення та вдосконалення процесів. Зазначені методи дозволяють здійснювати ефективний пошук шляхів підвищення ефективності та якості роботи. Як показники КПП при цьому можуть становити кількість успішно впроваджених ідей на основі методів постійного покращення, час, який пройшов від початкового генерування ідеї до її повного впровадження.

Автоматизація метричного аналізу передбачає збір та аналіз метрик, який забезпечує оперативний зворотний зв'язок щодо продуктивності та якісного перебігу процесів. Це сприяє оперативній ідентифікації нових проблемних місць та формуванню необхідних заходів для їхнього розв'язання. Показниками КПП можуть використовуватись рівень автоматизації процесів збору даних та їх аналізу, зменшення часу на опрацювання та візуалізацію метрик і т. ін.

Запровадження культури експериментів, при дотриманні якої співробітники постійно експериментують з новими підходами та запровадженням нових процесів, дозволяє забезпечити постійне покращення та вдосконалення.

Запровадження засобів зворотного зв'язку необхідне для забезпечення механізмів отримання зворотного зв'язку від користувачів та фахівців корпорації щодо якості та ефективності нових програмних продуктів та інноваційних виробничих процесів. Це підвищує оперативність виявлення проблеми та ухвалення необхідних рішень [7, С. 54]. При цьому в якості показників КПП використовують такі характеристики, як кількість інновацій, успішно впроваджених у програмному продукті, час на проведення експериментів та аналіз їхніх результатів. Неперервна оптимізація та вдосконалення є ключовими принципами методології DevOps, які дозволяють компанії постійно адаптуватися до змін вимог ринку та технологій, забезпечуючи надійну конкурентну перевагу.

Управління ризиками. Процеси управління ризиками є важливою складовою впровадження методології DevOps, оскільки дозволяють ідентифікувати, аналізувати та зменшувати потенційні загрози, які можуть виникати на етапах розробки та експлуатації програмного забезпечення. На рисунку 1 подано розгорнутий процес управління ризиками в складних системах, одним з варіантів використання якого є системна методологія DevOps, котра набуває щораз більшої популярності в корпоративних ІТ середовищах та службах підтримки та розвитку ІТ інфраструктури компаній та фірм.

Загалом управління ризиками передбачає реалізацію чітко означеної послідовності кроків, першим з яких є крок ідентифікації ризиків, потенційних загроз та особливостей, які можуть суттєво вплинути на процеси розробки та експлуатації програмного продукту. Це може бути реалізовано шляхом аналізу попередніх проблем, оцінкою поточного стану виробленого програмного продукту та виявлення слабких місць у виробничих та сервісних процесах [8, С.68].

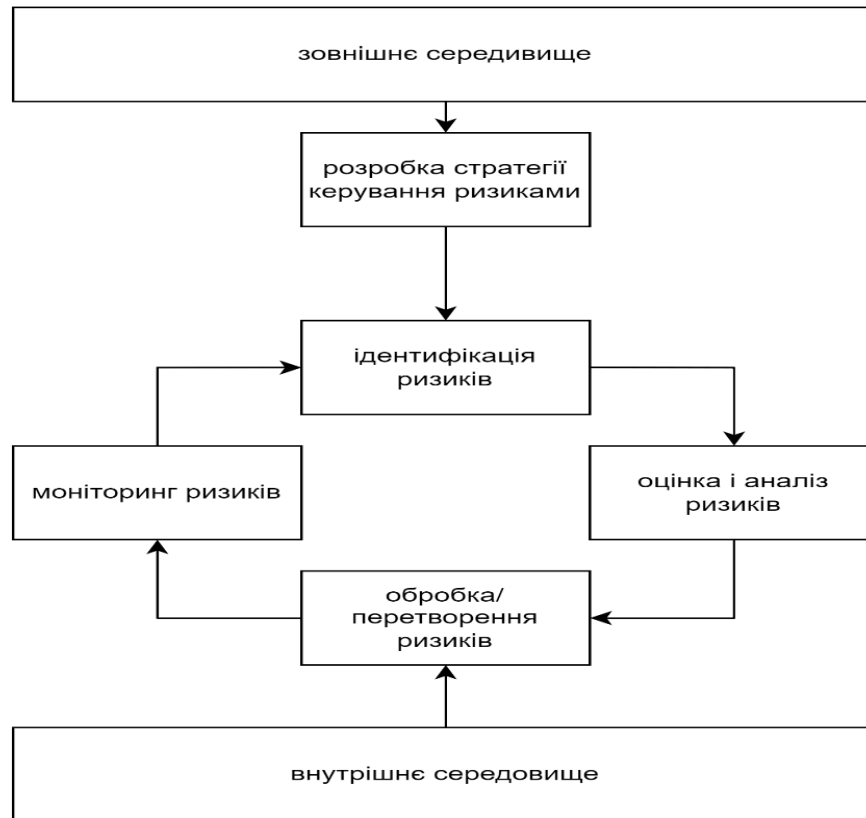


Рис.1 – Узагальнена схема управління ризиками при запровадженні методології DevOps

Серед найпоширеніших методів і способів ідентифікацій ризиків виділимо проведення аналізу ризиків із залученням команди проєкту та стейкхолдерів для виявлення можливих потенційних загроз, використання технік, таких як SWOT-аналіз [9].

	Корисно	Шкодить
Внутрішні	Сильні сторони	Слабкості
Зовнішні	Можливості	Загрози

Рис. 2 – Схема концепту «SWOT – аналіз»

Акронім SWOT вперше введений у 1963 році в Гарварді на конференції з проблем бізнес-політики професором Кеннетом Ендрюсом. Як КПП при цьому можуть виступати кількість ідентифікованих ризиків або рівень нереалізованих можливостей в порівнянні з рівнем загроз. При цьому інструментами виступають техніки проведення Brainstorming або матриці ймовірностей та рівнів впливу.

Оцінка ризиків проводиться після їхньої ідентифікації і включає процедури оцінювання ймовірностей їх виникнення та потенційні наслідки від їх реалізації. Це обумовлює визначення пріоритетів та ресурсів, необхідних для подолання найбільш критичних ризиків. Фіксуючи множину можливих методів і способів оцінювання ризиків слід виділити методи квалітативної та кількісної оцінки ризиків для визначення їхнього потенційного впливу та ймовірностей, а також методів аналізу кореляції для визначення взаємозв'язків між ними [10, С. 44]. При цьому як КПП можуть бути використані рівень кожного ідентифікованого ризику (наприклад, його ймовірність та

вплив), а в якості інструментів можуть виступити матриці ймовірностей та впливів, а також аналітичні методи зокрема такі, як метод Монте-Карло. На основі отриманих оцінок ризиків потрібно сформувавши конкретні стратегії управління ними. Це може включати уникнення ризиків, зменшення значущості їхнього впливу. Можливими методами і способами при розробленні стратегій управління ризиками можуть виступати процедури уникнення, зменшення, передача або прийняття ризику; розроблення планів дій та запобіжних заходів для кожного ідентифікованого ризику. Як КПП у цьому випадку можуть бути ефективність застосованих стратегій (наприклад, зменшення ймовірності або впливу ризику), а відповідними інструментами їх досягнення можуть виступити плани дій з управління ризиками та відповідні ризик-реєстри.

Впровадження контрмір. Після розробки стратегій управління ризиками належить впровадити конкретні контрміри для зменшення впливу ідентифікованих ризиків. Це може включати зокрема заходи безпеки, плани аварійного відновлення, страхування і т. ін. Методи і способи їх реалізації можуть фіксуватись як виконання планів дій, розроблених для кожного ідентифікованого ризику, або впровадження систем моніторингу та контролю для виявлення ризикових ситуацій та вчасного реагування на них. Показники КПП при цьому можуть подаватись як час впровадження контрмір та рівень ефективності застосованих заходів впровадження контрмір. Інструментами, з допомогою яких досягається зазначена стратегія є зокрема системи моніторингу та контролю, а також спеціалізовані програмні засоби для автоматизації процесів управління ризиками.

Моніторинг та аналіз ризиків. Після впровадження комплексу контрмір необхідно постійно моніторити та аналізувати ризики для виявлення нових загроз та оцінювання ефективності вжитих заходів. Це в свою чергу дозволяє оперативно реагувати на зміни у середовищі та мінімізувати вплив ідентифікованих ризиків. При цьому в якості методів і способів моніторингу та аналізу можуть використовуватись постійний моніторинг стану ризиків систем тривоги і сповіщень для своєчасного виявлення нових загроз, а також проведення аналізу ефективності впроваджених стратегій управління ризиками та розробка заходів для їх покращення. Параметрами КПП можуть виступати кількість виявлених нових ризиків та час реакції на виявлені ризики. Інструментами, які реалізують зазначені вище методи, можуть бути системи моніторингу та аналізу, а також програмні засоби формування звітності та аналітики. Управління ризиками - це ітеративний процес, який вимагає постійного вдосконалення та оптимізації. На основі аналізу результатів та досвіду можуть бути внесені зміни у стратегії та контрміри для забезпечення їх ефективності.

Навчання та розвиток персоналу. Навчання та розвиток персоналу є критичним аспектом успішного впровадження методології DevOps, оскільки дозволяє забезпечити команді необхідні навички та знання для ефективної роботи в новому середовищі. Проаналізуємо детальніше цей аспект, розгорнувши його у вигляді певної послідовності кроків, які у системному поєднанні складають фірмову методику розвитку людського капіталу [4, С. 53].

Навчання основам методології DevOps. Початкове навчання, включаючи розуміння базових концепцій, методологій та інструментів, є критичним для переходу до нової моделі розробки та експлуатації програмного забезпечення в корпорації.

Освоєння інструментів. Реалізація кроку передбачає отримання персоналом практичного досвіду роботи з інструментами, які використовуються в методології DevOps, такими як системи контролю версій (наприклад, Git), інструменти автоматизації розгортання (наприклад, Ansible, Puppet, Chef), системи моніторингу та журналювання всіх аспектів функціонування системи.

Курси та тренінги. Реалізація передбачає залучення зовнішніх провайдерів або спеціалізованих компаній для проведення курсів та тренінгів з методології DevOps. Це дозволяє персоналу отримувати ґрунтовні знання та практичний досвід від провідних експертів у галузі.

Внутрішньо фірмове навчання та менторство. Реалізується організацією шляхом створення внутрішньо фірмових програми навчання та менторства, за якими більш досвідчені співробітники діляться своїми знаннями та досвідом.

Участь у конференціях та фахових спільнотах, семінарах. Дозволяє отримувати оновлені знання, ділитися досвідом та відчувати глобальний рух та розвиток системи загалом.

Підтримка сертифікацій персоналу. Передбачає набуття кваліфікації та отримання сертифікатів фахівців в галузі DevOps, зокрема таких як AWS Certified DevOps Engineer, Docker Certified Associate, і т. ін., які підтверджують рівень знань та компетенції в зазначеній сфері.

Культура самовдосконалення. Передбачає отримання фаховим персоналом стимулів для постійного навчання та розвитку професійних навичок та компетенцій.

Ефективна реалізація функцій навчання та розвитку персоналу корпорації не лише забезпечує команди необхідними знаннями та навичками роботи в швидкозмінному середовищі DevOps, але й формує мотиваційну платформу та заохочує персонал до постійного розвитку та вдосконалення кваліфікації.

Співпраця з експертами та консультантами. Співпраця з експертами та консультантами є важливою складовою успішного впровадження методології DevOps, оскільки дозволяє організації скористатися попередньо набутими знаннями та досвідом фахівців. Розгорнемо цей аспект у послідовність кроків, які в системному поєднанні формують відповідний метод:

Крок 1. Оцінка потреб. Перш ніж розпочати співпрацю з експертами та консультантами, важливо провести оцінку потреб та визначити конкретні напрямки, в яких була б потрібна допомога. Це може бути як оцінка поточних процесів, ідентифікація слабких місць, планування стратегії впровадження тощо.

Крок 2. Пошук кваліфікованих фахівців. Після визначення потреби у консультаціях важливо знайти кваліфікованих та досвідчених фахівців у галузі DevOps. Це можуть бути як індивідуальні експерти, так і команди консультантів або спеціалізовані компанії.

Крок 3. Проведення аудиту. Експерти та консультанти можуть провести аудит поточних процесів та інфраструктури для ідентифікації проблемних місць та можливостей для вдосконалення. Це допоможе чіткіше зрозуміти, в яких саме аспектах варто розпочати оптимізацію.

Крок 4. Розроблення стратегії. На основі отриманих результатів аудиту експерти та консультанти можуть допомогти в розробці стратегії впровадження методології DevOps, яка враховувала специфіку організації та її базових принципів та цілей.

Крок 5. Навчання та підтримка персоналу. Окрім розробки стратегії, консультанти можуть надати послуги з навчання та фахової підтримки персоналу у впровадженні нових процесів та технологій. Це може включати зокрема проведення тренінгів, розробку документації, а також підтримку процесів переходу на нові технології.

Крок 6. Моніторинг та оцінка результатів. Після впровадження рекомендацій експертів важливо проводити постійний моніторинг та оцінювання їхньої ефективності. Це сприятиме вчасному виявленню нових проблем та коригуванню стратегії впровадження при необхідності.

Висновки. Формуючи інтегроване бачення щодо висновків за результатами проведеного авторами дослідження процесів неперервної оптимізації та управління ризиками при впровадженні методології DevOps в ІТ інфраструктурах слід зазначити важливість врахування наступних принципів, найважливішими серед яких є:

Неперервна оптимізація впровадження методології DevOps як постійного процесу, що потребує неперервного моніторингу та вдосконалення. Команди повинні систематично оцінювати ефективність процесів, здійснюючи пошук можливостей для покращення та впровадження нових інструментів та практик.

Управління ризиками впровадження DevOps може супроводжуватися ризиками, такими як технічні проблеми, збої у комунікації та впровадженні програмних продуктів з дефектами. Ефективне управління цими ризиками включає в себе їх ідентифікацію, оцінку, прийняття заходів щодо зменшення їх впливу та моніторинг їх стану впродовж всього процесу впровадження.

Постійний моніторинг є ключовим елементом успішного впровадження DevOps є постійний моніторинг процесів, ресурсів та результатів. Це дозволяє оперативно виявляти проблеми та відповідно реагувати на них, що сприяє швидкому вирішенню проблем та досягненню високої ефективності проєкту.

Оптимізація процесів є важливою частиною неперервного впровадження DevOps є оптимізація процесів розробки, тестування, впровадження та моніторингу. Це дозволяє командам забезпечити високу якість продукту, швидке впровадження нових функцій та ефективне вирішення проблем.

Подаючи узагальнені висновки до роботи присвячені питанням неперервної оптимізації та управління ризиками при впровадженні методології DevOps в ІТ інфраструктурах слід було підкреслити важливість реалізації процесів як підготовки фахівців так і проведення SWOT аналізу. Оцінка переваг, недоліків, можливостей та загроз, пов'язаних зі впровадженням методології DevOps, є ключовою для успішного її втілення. Системна інтеграція DevOps всіх компонентів та засобів сприяє підвищенню ефективності розробки, впровадження та експлуатації програмного забезпечення, а також зниженню ризиків, пов'язаних зі змінами в ІТ інфраструктурі компанії.

Однак важливо підкреслити, що успішне впровадження DevOps потребує від фахівців відповідного рівня кваліфікації та навичок. Необхідною є підготовка персоналу з урахуванням специфіки методології та унікальних особливостей ІТ інфраструктури компанії. Крім того, важливо враховувати індивідуальні особливості кожного ІТ проекту та оцінювати його потенційні ризики з метою ефективного управління ними.

Також можна відзначити, що системне впровадження методології DevOps може виявитися доволі складним трудомістким та ресурсозатратним процесом, який потребує ухвалення вольових системних рішень та рішучих дій з боку верхніх ешелонів управління організацією. Чисельні успішні інсталяції методології DevOps при належному плануванні, підготовці персоналу та аналізі ризиків зазвичай стають потужним інструментом підвищення конкурентоспроможності та інноваційності компанії.

Подані в статті результати аналізу базуються на практичному досвіді та реальних втіленнях методології DevOps в багатьох реальних ІТ проектах, які успішно реалізовувалися та продовжують реалізовуватись авторами.

Список бібліографічного опису

1. Božić, Velibor. (2023). DevOps -software development methodology. 10.13140/RG.2.2.11626.80327.
2. Gene Kim, Jez Humble, Patrick Debois, and John Willis (2016) The DevOps Handbook: How to Create World-Class Agility, Reliability, and Security in Technology Organizations", 480 p.
3. Siebra, C., Lacerda, R., Cerqueira, I., Quintino, J., Florentin, F., Silva, F. and Santos, A. From (2018) Theory to Practice: The Challenges of a DevOps Infrastructure as Code Implementation In Proceedings of the 13th International Conference on Software Technologies (ICSOFT 2018), pages 427-436 . DOI: 10.5220/0006826104270436
4. Що таке DevOps <https://www.unite.ai/uk/%D1%89%D0%BE-%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%B5-devops/>
5. Gene Kim, Jez Humble, Patrick Debois, and John Willis (2016) The DevOps Handbook: How to Create World-Class Agility, Reliability, and Security in Technology Organizations", 480 p.
6. CI/CD: Continuous Integration and Continuous Delivery/ geeksforgeeks 2024 – Режим доступу: <https://www.geeksforgeeks.org/ci-cd-continuous-integration-and-continuous-delivery/>
7. Резнікова О.О, Войтовський К.Є, Лепіхов А.В. (2020) Національні системи оцінки ризиків і загроз: кращі світові практики, нові можливості для України – Режим доступу: <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-06/dopovid-1.pdf>.
8. Шурда К.Е. Методи якісного та кількісного аналізу ризиків (2016). - Режим доступу: <https://journals.uran.ua/bnusing/article/download/226622/230832>.
9. Schawel, Christian, and Fabian Billing. "SWOT-Analyse." In *Top 100 Management Tools: Das Wichtigste Buch Eines Managers Von ABC-Analyse Bis Zielvereinbarung*, 249–51. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2012. https://doi.org/10.1007/978-3-8349-4105-3_82
10. Каменська Т. О. (2016) Ринкова економіка: статистичний аналіз та облік- Національна академія статистики, обліку та аудиту <http://194.44.12.92:8080/jspui/bitstream/123456789/1784/1/Kamenska%20T.%20O. 43-45.pdf>

References

1. Božić, Velibor. (2023). DevOps -software development methodology. 10.13140/RG.2.2.11626.80327.
2. Gene Kim, Jez Humble, Patrick Debois, and John Willis (2016) The DevOps Handbook: How to Create World-Class Agility, Reliability, and Security in Technology Organizations", 480 p..
3. Siebra, C., Lacerda, R., Cerqueira, I., Quintino, J., Florentin, F., Silva, F. and Santos, A. (2018) From Theory to Practice: The Challenges of a DevOps Infrastructure as Code Implementation In Proceedings of the 13th International Conference on Software Technologies (ICSOFT 2018), pages 427-436 . DOI: 10.5220/0006826104270436
4. What is DevOps? Access mode: <https://www.unite.ai/uk/%D1%89%D0%BE-%D1%82%D0%B0%D0%BA%D0%B5-devops/>
5. Gene Kim, Jez Humble, Patrick Debois, and John Willis (2016) The DevOps Handbook: How to Create World-Class Agility, Reliability, and Security in Technology Organizations", 480 p.
6. CI/CD: Continuous Integration and Continuous Delivery/ geeksforgeeks 2024 – Режим доступу: <https://www.geeksforgeeks.org/ci-cd-continuous-integration-and-continuous-delivery/>
7. Reznikova O.O, Voytovsky K.E, Lepikhov A.V. (2020) National systems of risk and threat assessment: best world practices, new opportunities for Ukraine - access mode : <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-06/dopovid-1.pdf>.
8. Shurda K.E. (2016) Methods of qualitative and quantitative risk analysis - access mode : <https://journals.uran.ua/bnusing/article/download/226622/230832>.
9. Schawel, Christian, and Fabian Billing. "SWOT-Analyse." In *Top 100 Management Tools: Das Wichtigste Buch Eines Managers Von ABC-Analyse Bis Zielvereinbarung*, 249–51. Wiesbaden: Gabler Verlag, 2012. https://doi.org/10.1007/978-3-8349-4105-3_82
10. Kamenska T. O. (2016) Market economy: statistical analysis and accounting - National Academy of Statistics, Accounting and Audit access mode <http://194.44.12.92:8080/jspui/bitstream/123456789/1784/1/Kamenska%20T.%20O. 43-45.pdf>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-22>

УДК 004.89

Проніна Ольга Ігорівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-7085-8027>

Голубець Артур Олексійович, магістр

<https://orcid.org/0000-0002-9944-0430>

Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро/м.Маріуполь, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ВЕКТОРНОГО УЯВЛЕННЯ УКРАЇНОМОВНОГО ТЕКСТУ

Проніна О.І., Голубець А.О. Математична модель формування векторного уявлення україномовного тексту.

У статті розглядається система яка визначає тональність тексту надісланого користувачем. Метою даної статті є побудова математичної моделі обробки текстових повідомлень, та визначення настрою в поставленому реченні. Використання даного модулю визначення тональності україномовного тексту може відігравати ключову роль у різних галузях та має велику перспективу для подальшої модернізації та розвинення в різних сферах діяльності. У цій роботі розроблено ефективну модель та датасет для обробки моделлю машинного навчання BERT. Заборонована модель та функція досягла досить високих показників в точності визначення тональності та настрою користувача. Модуль, який запропоновано на даний момент реалізована в форматі боту для соціальної мережі, яка визначає тональність у реальному часі.

Ключові слова: векторизація тексту, система визначення тональності, обробка речень, робота з Telegram.

Pronina O.I., Golubets A.O. Mathematical model of formation of vector representation of Ukrainian-language text.

In the article we consider a system that determines the tone of a text sent by a user. The aim of this article is to build a mathematical model of text message processing, and determining the mood of a sentence. Using of this module for determining the tone of the Ukrainian-language text can play a key role in various industries. a key role in various industries and has great prospects for further modernisation and development in various fields of activity. In this paper, we have developed an efficient model and dataset for processing by the BERT machine learning model. The proposed model and function achieved quite high performance in accurately determining the user's tone and mood. The module that proposed is currently implemented in the format of a bot for the social network, which determines the tone in real time.

Keywords: vectorisation text vectorisation, tone detection system, sentence processing, work with Telegram.

Постановка наукової проблеми. Системи виявлення тональності та векторизації тексту взагалі має досить широке значення та потреби. Головною проблемою та актуальністю на даний момент є те що данні системи наразі не дуже розповсюдженні, тим паче для україномовного тексту. Системи виявлення тональності існують та функціонують на разі дуже добре усього на англійській мові. Для інших мов майже не існують систем, які б коректно виявляли та розпізнавали емоційний стан користувача. Для українського тексту на разі існує всього 2 аналоги бібліотек, які мають його підтримку:

– пакет обробки української мови в бібліотеці SpaCy [1], яка представляє з себе систему розпізнавання та векторизації природної мови;

– бібліотека роботи для векторизації мови StyloMetrix [2], який призначений для векторизації та роботи з польською мовою, але також має можливості для роботи з англійською та українською мовами.

Ці бібліотеки, є молодими та досить прогресивними, але роботу які вони можуть виконувати – усього векторизації тексту на українській мові. Подальша робота з цими текстом в бібліотеках не розглядається що є досить суттєвим мінусом для їх використання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Формування структури даних є найголовнішим етапом для підготування, далі до обраного датасету вже приєднуються основні методи роботи. Перший метод роботи є векторизація обраного тексту який отриманий. У роботі [3] було розглянуто векторизацію тексту за допомогою двох методів направлених на обробку та векторизацію тексту Bag-of-Words та TF-IDF. Розглянуті методи були опрацьовані на невеликому переліку даних, автор зробив висновок, що векторизація тексту слугує основою NLP, дозволяючи машинам обробляти та витягувати значення з текстових даних. Використовуючи такі методи, як Bag-of-Words, TF-IDF, вбудовування слів і документів, система може перетворити необроблений текст на числове представлення, що полегшує вирішення різноманітних завдань NLP. Та надає можливості для подальшої обробки тексту у необхідному вигляді.

Для подальшої роботи для виявлення тональності на далі необхідно обрати перш за все тип якої самої тональності нам необхідно виявити. У роботі [4] автор зробив повний перелік існуючих

типів тональності для кожної з яких було зроблена деяка перевірка та визначена ефективність у обраній схемі. Також автором було запропоновано приблизний перелік та послідовність робіт яку необхідно провести для роботи.

Для токнізації автор пропонує більший перелік методів на відміну від попереднього, але ці методи, а саме Bag-of-Words, TF-IDF були також додані для формування роботи та векторизації тексту.

В заключному етапі було розглянуто основи тонального аналізу, починаючи з поняття, типів, підходів та проблем тонального аналізу. Також розглянуто алгоритми аналізу тональності та кроки для створення та оцінки моделей тонального аналізу з приблизними рекомендаціями до використання та сфер діяльності.

В статті [5] було розглянуто важливість аналізу складових частин речення в ході векторизації тексту. Автор статті запропонував робити обробку та перевірку вхідних даних за допомогою методу POS (Маркування частин речення). Проробляючи дані, автор брав за основу вибору вхідних даних з коментарів, підписів та постів політиків Facebook. Провівши випробування автор виявив, що використання готових пакетів і словників для аналізування прикметників може бути ефективним і економічно вигідним методом для дослідження емоційного забарвлення та суб'єктивності у текстах, уникаючи необхідності великої розміщеної навчальної бази даних. Проте, важливо підходити з обережністю при використанні цих інструментів для висновків. Використання прикметників як індикаторів суб'єктивності та настрою може бути не завжди надійним у різних контекстах, і зв'язок між окремими прикметниками та емоційним забарвленням не завжди може бути універсальним. Тому перед формулюванням остаточних висновків про зміст тексту важливо перевірити і валідувати цю модель, використовуючи допомогу фахівців у галузі програмування або інтегруючи аналіз з іншими методами визначення суб'єктивності.

Для розширення роботи з моделями для розрізання тексту автор статті [6] провів порівняння роботи моделі BERT та тронформерів. В статі за допомогою практичних реалізацій автор зробив висновки що за допомогою моделі BERT системи векторизації та з трансформерами система дає більш високі показники при навчанні, та дає можливість створення систем глибокого навчання. Ця стаття лягла в основу попередньої роботи, на базі якої було проведено аналізування інших великих датасетів.

На разі велика кількість бібліотек та статей, які були розглянуті націлені включно на використання та роботу на жаль з англійським текстом та сленговими виразами. У статті [7] було знайдено приблизне вирішення проблеми з пошуком даних для роботи з не дуже розповсюдженими мовами. Автор пропонує та розказує про навчання дата сету безпосередньо на готових текстах з різних сайтів та інформаційних ресурсах. У цій статті запропоновано модель розпізнавання емоцій на основі тексту.

Запропонована модель є поєднанням підходів глибокого та машинного навчання. Запропонований гібридний підхід використовує комбінацію трьох наборів даних, а саме: ISEAR, WASSA та набір даних Emotion-Stimulus. Запропонована модель має багато переваг, оскільки вона може працювати на багатотекстових реченнях, твітах, діалогах, ключових словах і словах лексики емоцій, які можна легко розпізнати. Згідно з класифікатором ML, SVM дає найвищу точність - 78,97%. У методі DL модель Bi-GRU досягає найвищої точності 79,46%, а модель CNN досягає найвищого показника F1 - 80,76. Гібридна модель досягла точності 82,39, пригадування - 80,40, оцінка F1 - 81,27, а точність - 80,11%.

На тему векторизації та обробки є безліч різних статей по роботі, але всі вони більш менш розглядають роботи однакових методів роботи з текстом там методами векторизації.

Мета дослідження. Підвищенні ефективності обробки україномовного тексту за рахунок розроблених методів які будуть аналізувати тональність та емоційний настрій тексту.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Побудова програми базується на базовій схемі створення програм з векторизацією тексту. Основний принцип роботи складає з функцій підготовки тексту для обробки, векторизація тексту, обробка тексту для визначення тональності та передача даних до інтерфейсу, який вже видає висновок. Принцип роботи можна побачити у рисунках 1-3.



Рис. 1 – Схема роботи алгоритму визначення тональності тексту

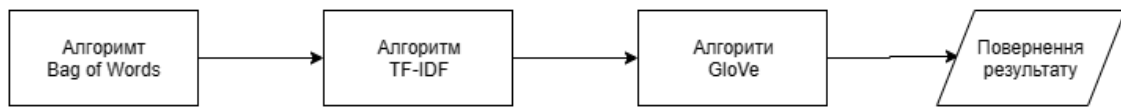


Рис. 2 – Схема роботи векторизації тексту

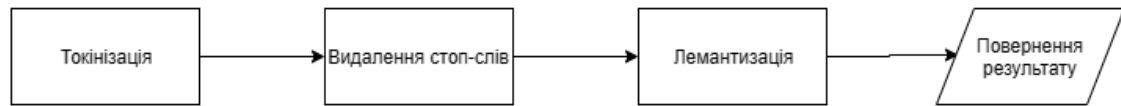


Рис. 3 – Схема попередньої обробки тексту

Після проведення попередньої підготовки в системі виконується векторизації та призначенню тексту ваги та значимості. Переведений текст до векторного вигляду, система передає всі дані до класифікатора, який виявляє який емоційний стан має кожне слово та загальна його вага. На виході користувач отримує значення до якого типу відноситься текст, позитивного або негативного та найбільше його значення.

Для роботи з текстом використовується 2 математичні моделі. По-перше математична модель роботи з текстом. В цій моделі наведена структура формування речення.

Текст повідомлення можна представити у вигляді множини речення, а речення в свою чергу складається з множини слів потужність якої дорівнює їхній кількості:

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_w\}; w = |T|, \quad (1.1)$$

де T – це множина слів в тексті,

$t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_w$ – слова тексту,

w – кількість слів в заданому тексті повідомлення.

Своєю чергою, усю множину слів тексту можна подати у вигляді об'єднання підмножин різних частин мови, при цьому кожне слово тексту може бути віднесено до однієї з цих підмножин:

$$T = \bigcup_{j=1}^k C_j; t_i \in C_j; i = \overline{1, w}; j = \overline{1, k}, \quad (1.2)$$

де C_j – під множина j -ої частини мови,

k – кількість частин мови, які існують.

При подальшій роботі з цієї математичною моделлю, система отримує кожне речення окремо, далі кожне речення береться за основу та розбиваються на множину слів, які вже далі передаються до наступної моделі та визначається тональність речення.

Для визначення тональності у даній роботі важливим показником є безпосередньо кожне слово, та речення, в контексті якого базується слово.

Процес векторизації тексту та його робота працює на базі двох відомих методів – мішка слів (Bag of Words) формула 1.3 та TF-IDF формула 1.4 - 1.6, які найбільш повно проходять векторизацією заданого тексту.

$$\text{BoWd} = (f_1, d, f_2, d, \dots, f_N, d), \quad (1.3)$$

де f_i, d – це частота токена i у документі d ,

N – кількість унікальних токенів у всій колекції документів D .

Перша за все необхідно виявити наскільки часто зустрічається. визначає, як часто певне слово зустрічається в документі. Вона розраховується за формулою 1.4.

$$\text{TF}(t, d) = \frac{\text{Кількість входжень терміна } t \text{ у документі } d}{\text{Загальна кількість слів у документі } d}, \quad (1.4)$$

де t – це термін який необхідно перевірити на кількість входжень,

d – документ або повідомлення яке аналізує.

Після аналізування кількості входження та формування множини термінів, які використовує поставлене речення необхідно визначити значимість цього терміну. Процес вимірює загальну значимість терміна. Високе значення IDF означає, що термін не часто зустрічається в корпусі. Це розраховується за формулою 1.5.

$$IDF(t, D) = \log\left(\frac{\text{Загальна кількість документів у корпусі } D}{\text{Кількість документів, що містять термін } t}\right), \quad (1.5)$$

де t – кількість вхідних термінів, які опрацьовуються;
 D – весь документ який оцінюється.

Після проведення аналізу значимості вхідних даних, перевіряємо та отримуємо показник TF-IDF шляхом отримання добутку величин. Для отримання добутку необхідно скористатися формулою 1.6.

$$TF - IDF(t, d, D) = TF(t, d) \times IDF(t, D), \quad (1.6)$$

де t – перелік термінів, які використовуються в аналізі,
 D – повний документ або текст який аналізується,
 d – речення або вираз токєну,
 TF – функція пошуку частих слів,
 IDF – функція виявлення ваги слів.

Таким чином, TF-IDF збільшується пропорційно кількості разів, як термін зустрічається в документі, але компенсується частотою терміна в корпусі, що допомагає знизити вплив часто вживаних слів.

Для подальшої роботи та навчання моделі за мовами машинного навчання використовують методи моделі BERT. BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) використовує досить складну архітектуру, яка базується на трансформерах. Для розрахунку моделі використовувалось формули множинного механізму уваги (1.7), за допомоги якого було основана формування та навчання попередньої моделі. Сам розрахунок опирається на звичайний механізм уваги формула 1.7.

$$\text{Attention}(Q, K, V) = \text{softmax}\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V, \quad (1.7)$$

де Q – Матриця запитів до моделі,
 K – Перелік ключів у матриці,
 V – Значення матриці за відповідним ключем,
 d_k – Розмірність використовуваних ключів.

Формування множинного механізму уваги базується на формулі зазначеній вище. Невідмінну від формули 1.7 множинний вибір буде приймати множену змінних які отримуються у ході формування одиничного механізму.

$$\text{MultiHead}(Q, K, V) = \text{Concat}(\text{head}_1, \text{head}_2, \dots, \text{head}_h)W^O, \quad (1.8)$$

де $\text{Attention}(Q, K, V)$ – формула одиничного вибору.

BERT використовує спеціальний токен [CLS] для класифікаційних завдань та [SEP] для розділення різних сегментів вхідного тексту.

Попереднє навчання складається з декількох частин цієї моделі. По-перше включає два головних завдання: Маскований LM (Masked Language Model, MLM) та Наступне Предикативне Завдання Речення (Next Sentence Prediction, NSP).

По-друге, MLM закриває частину вхідних токенів та намагається передбачити найбільш імовірні наступні пункти, а далі за допомоги NSP намагається передбачити, чи є друге речення логічним продовженням першого.

Для тестування системи було проведено експерименти з визначенням тональності простих речень, речень з синонімами, жаргонні речення, саркастичні речення. Система показала наступні результати наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники тестування

Тип речення	Відсоток вдалих визначень
Прості речення	80%
Речення з заміною синонімами	80%
Жаргоні речення та сленг	70%
Саркастичні	50%

При визначенні роботи було проведено також тестування на якість та впевненість системи в оцінці. Результати наведено у рисунку 4.

На даному графіці наведено кучність аналізу 400 простих повідомлень, усі повідомлення розділяються на 3 основні групи, а саме: позитивні речення – це речення, які мають показники позитивного більше ніж 70%, негативні речення – це речення з показниками негативного настрою більше 70%. Та невизначені, дані повідомлення мають позитивний або негативний висновок, в залежності від більшого показника, але більш за все ці повідомлення вважаються не визначеними.

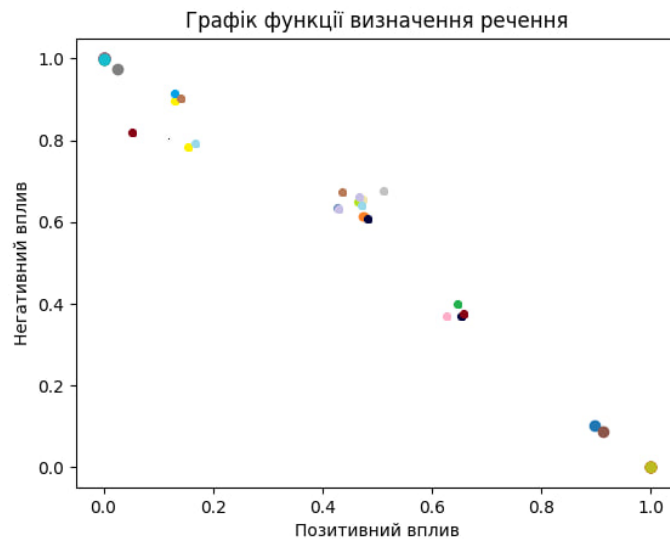


Рис. 4 – Графік кучності оцінки простих речень

Також було перевірено швидкісні можливості при навантаженні системи, які виявились досить лінійними. Вони показали, що на маленьких кількостях речень для обробки система обробляє 1 речення з середньою кількістю 15 слів. Приблизно 1 секунду. При підвищенні кількості цей показник зростає. Результати наведені на рисунку 5.

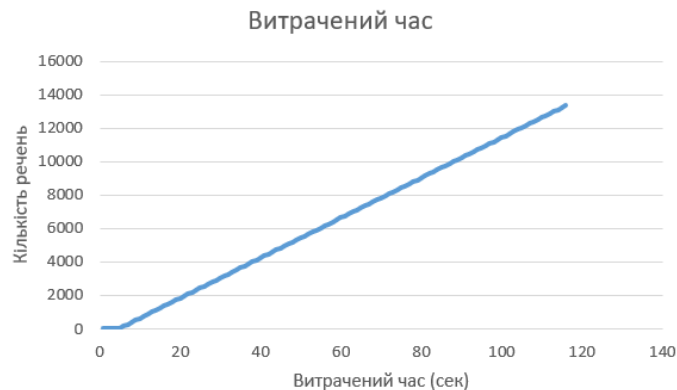


Рис. 5 – Час роботи

Аналізуючи проведені експерименти можна побачити що система працює досить вдало та система якісно може зробити аналіз тональності тексту, які отримує від користувача. Час роботи системи також досить приємний для роботи особливо на великій кількості речень.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. В ході роботи було реалізовано математична модель, датасет та програмне забезпечення для визначення тональності повідомлення Telegram. Застосування цього модуля має досить високу практичну здатність, модуль можна використовувати для аналізу переписок з клієнтами в інтернет магазинах, аналіз коментарів на фільми, товари, послуги, аналіз закладу та багато інших сфер, у яких необхідно робити оцінку саме текстових даних. Головною перевагою є те, що бібліотека працює з кількома мовами одночасно та працює з українською мовою що є найбільш значним плюсом в роботі цього модуля.

Крім того, розробка та подальше вдосконалення цього модуля зможе знайти своє застосування у сфері штучного інтелекту, який допомагає аналітичним платформам та платформам, які роблять оцінки якості. Розроблений датасет, який можна створити на основі розробленої моделі може повністю змінити сенс програми та збільшити її сферу використання що робить його більш ефективним та гнучким для роботи та адаптування під потреби.

Головним аспектом розробки є простота та багатофункціональність, що було повністю реалізовано та дозволило підвищити ефективність модуля у разі, а реалізація API робить його досить мобільним для використання

Список бібліографічного опису

1. Industrial-StrengthNaturalLanguageProcessing. – Режим доступу: <https://spacy.io/>
2. Stylo Metrix: AnOpen-SourceMultilingual Toolfor RepresentingStylometric Vectors - Режим доступу: <https://github.com/ZILiAT-NASK/StyloMetrix?ysclid=lqo420yxdm334651053>
3. Iliev, Rumen&Dehghani, Morteza&Sagi, Eyal. (2014). Automated Text Analysisin Psychology: Methods, Applications, andFutureDevelopments. Language and Cognition. 10.1017/langcog.2014.30.
4. Yeh, Cheng-Yu&Hwang, Shaw-Hwa. (2019). Efficient Detection Approach for DTMF Signal Detection. Applied Sciences. 9. 422. 10.3390/app9030422.
5. Acheampong, Francisca&Chen, Wenyu&Nunoo-Mensah, Henry. (2020). Text-BasedEmotionDetection: Advances, ChallengesandOpportunities.
6. Sentiment Analysiswiththe Use of Transformersand BERT Conference PaperJul 2023
7. Emotion Detectionand Recognition from Text Using DeepLearning. August 2022Co mputational Intelligenceand Neuroscience 2022(45-60):1-8
8. Khrystyna Shakhovska, Iryna Dumyn, Natalia Kryvinska, MohanKrishnaKagita, "An Approachfor a Next-Word Prediction for Ukrainian Language", Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2021, Article ID 5886119, 9 pages, 2021
9. Maruf, Abdullah&Khanam, Fahima&Haque, Md&Masud, Zakaria. (2022). Emotion Detection from Textand Sentiment Analysis of Ukraine Russia Warusing Machine Learning Technique. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 13. 868-882. 10.14569/IJACSA.2022.01312101
10. Zador, Anthony&Escola, Sean&Richards, Blake&Ölveczky, Bence&Bengio, Yoshua&Boahen, Kwabena&Botvinick, Matthew&Chklovskii, Dmitri&Churchland, Anne&Clopath, Claudia&DiCarlo, James&Ganguli, Surya&Hawkins, Jeff&Körding, Konrad&Koulakov, Alexei&LeCun, Yann&Lillicrap, Timothy&Marblestone, Adam&Olshausen, Bruno&Tsao, Doris. (2023). Catalyzingnext-generationArtificial Intelligence through NeuroAI. Nature Communications. 14. 10.1038/s41467-023-37180-x.
11. Yang, Siqin&Cai, Yeyi&Xie, Wen&Jiang, Minghu. (2021). Semantic and Syntactic Processing During Comprehension: ERP Evidence From Chinese QING Structure. Frontiersin Human Neuroscience. 15. 10.3389/fnhum.2021.701923.

References

1. Industrial-StrengthNaturalLanguageProcessing. — Link: <https://spacy.io/>
2. Stylo Metrix: AnOpen-SourceMultilingual Toolfor RepresentingStylometric Vectors - Link: <https://github.com/ZILiAT-NASK/StyloMetrix?ysclid=lqo420yxdm334651053>
3. Iliev, Rumen&Dehghani, Morteza&Sagi, Eyal. (2014). Automated Text Analysisin Psychology: Methods, Applications, andFutureDevelopments. Language and Cognition. 10.1017/langcog.2014.30.
4. Yeh, Cheng-Yu&Hwang, Shaw-Hwa. (2019). Efficient Detection Approach for DTMF Signal Detection. Applied Sciences. 9. 422. 10.3390/app9030422.
5. Acheampong, Francisca&Chen, Wenyu&Nunoo-Mensah, Henry. (2020). Text-BasedEmotionDetection: Advances, ChallengesandOpportunities.
6. Sentiment Analysiswiththe Use of Transformersand BERT Conference PaperJul 2023
7. Emotion Detectionand Recognition from Text Using DeepLearning. August 2022Co mputational Intelligenceand Neuroscience 2022(45-60):1-8
8. Khrystyna Shakhovska, Iryna Dumyn, Natalia Kryvinska, MohanKrishnaKagita, "An Approachfor a Next-Word Prediction for Ukrainian Language", Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2021, Article ID 5886119, 9 pages, 2021

9. Maruf, Abdullah&Khanam, Fahima&Haque, Md&Masud, Zakaria. (2022). Emotion Detection from Text and Sentiment Analysis of Ukraine Russia War using Machine Learning Technique. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 13. 868-882. 10.14569/IJACSA.2022.01312101
10. Zador, Anthony&Escola, Sean&Richards, Blake&Ölveczky, Bence&Bengio, Yoshua&Boahen, Kwabena&Botvinick, Matthew&Chklovskii, Dmitri&Churchland, Anne&Clopath, Claudia&DiCarlo, James&Ganguli, Surya&Hawkins, Jeff&Körding, Konrad&Koulakov, Alexei&LeCun, Yann&Lillicrap, Timothy&Marblestone, Adam&Olshausen, Bruno&Tsao, Doris. (2023). Catalyzing next-generation Artificial Intelligence through NeuroAI. Nature Communications. 14. 10.1038/s41467-023-37180-x.
11. Yang, Siqin&Cai, Yeyi&Xie, Wen&Jiang, Minghu. (2021). Semantic and Syntactic Processing During Comprehension: ERP Evidence From Chinese QING Structure. Frontiers in Human Neuroscience. 15. 10.3389/fnhum.2021.701923.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-23>

УДК: 519.862:005.334(045)

Радзіховська Лариса Миколаївна, к. пед. н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-0185-8036>

Гусак Людмила Петрівна, к. пед. н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-0022-9644>

Вінницький торговельно-економічний інститут Державного торговельно-економічного університету, м. Вінниця, Україна.

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ЕКОНОМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ В РИЗИКОЛОГІЇ

Радзіховська Л.М., Гусак Л.П. Використання методів економетричного аналізу в ризикології. Розглянуто особливості застосування методів економетрії до дослідження факторів ризику та прогнозування економічного ризику на основі кривої ризику. Зроблено висновок про те, що використання методів економетричного аналізу в ризикології дозволяє здійснювати оцінку тісноти зв'язків впливу факторів економічного ризику на його величину, проводити науково обгрунтоване прогнозування ризику шляхом підбору відповідної регресії кривої економічного ризику. А використання при цьому ІТ-технологій (зокрема, можливостей табличного процесора MS EXCEL) робить цей процес легким, зручним та економним у часі.

Ключові слова: економетричний аналіз, економетрія, економічний ризик, крива ризику, ризикологія, табличний процесор MS EXCEL.

Radzichovska L., Gusak L. Use of econometric analysis methods in rice science. The features of the application of econometric methods to the study of risk factors and economic risk forecasting based on the risk curve are considered. It was concluded that the use of econometric analysis methods in riskology allows to evaluate the closeness of the relationship of the influence of economic risk factors on its value, to carry out scientifically based risk forecasting by selecting the appropriate regression of the economic risk curve. And the use of IT technologies (in particular, the capabilities of the MS EXCEL spreadsheet) makes this process easy, convenient and time-saving.

Key words: econometric analysis, econometrics, economic risk, risk curve, riskology, spreadsheet processor MS EXCEL.

Постановка наукової проблеми. Нині ризик є невід'ємним супутником будь-якої економічної діяльності. Однією із характеристик ризику є його об'єктивність: ризик існує незалежно від того, визнають суб'єкти господарювання його присутність чи спростовують. І чим більше буде досліджене і спрогнозоване вказане явище, тим на кращі результати економічної діяльності можливо розраховувати.

Ризик – це дуже складне та багатогранне явище, яке необхідно враховувати у будь-якій сфері діяльності. Формування законодавчо-нормативної бази, методичних рекомендацій та іншої документації для ефективного управління ризиком потребує насамперед чіткого, логічного та послідовного тлумачення поняття ризику, визначення основних факторів впливу та формування класифікації для суб'єкту господарювання. Існують певні види ризиків, дії яких піддані усі без винятку організації, у тому числі і банки, але поряд із загальними є специфічні види ризику: ризик, який зв'язаний з особистістю підприємця, ризик, який пов'язаний з недостатністю інформації про стан зовнішнього середовища. Саме через багатоаспектність цього явища і визначає складність класифікації ризиків.[5].

Існування ризику досить довго ігнорувалось в нашій країні: дослідженням з теорії ризику стали приділяти увагу в 90-х роках ХХ століття в зв'язку з переходом економіки на ринкові рейки, кризовими явищами, що виникли в економічній ситуації у вказаний період.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині існує досить багато праць, присвячених теорії економічних ризиків, зокрема, сутності поняття «економічний ризик» (О.С. Бородіна, Коюда М.П., Коюда О.П., Семенютіна Т.В.) [2], [7], [9], видам ризиків (О.С. Дмитрова, О.І. Карінцева) [5], [6], аналізу економічних ризиків (М.Л. Вдовін М.О., Волошина-Сідей В.В., Шурда К.Е, та ін.) [3], [4], [10].

Метою статті є розгляд особливостей застосування методів економетричного аналізу до дослідження факторів ризику та прогнозуванні економічного ризику.

Виклад основного матеріалу. Методи економетрії, економетричного моделювання сьогодні досить часто застосовуються не лише в економічній діяльності людини, а й багатьох інших науках: соціології, психології, військовій справі та ін. Запропонуємо своє бачення використання методів економетрії в ризикології.

Одразу варто заважити, що кількісний аналіз ризику можливий лише за умови наявності початкового масиву статистичних даних. Для економетричних досліджень також потрібні початкові дані. Так, досить важливе значення в ризикології має вплив різних факторів ризику на досліджуваний процес. Зазвичай значимість факторів ризику (у випадку відсутності статистичних даних) прийнято з'ясовувати за допомогою експертних опитувань: експерти привласнюють ранги факторам, потім визначається найбільш значимий фактор (той, що має найбільший ранг), однак, при цьому обов'язковою є процедура оцінки узгодженості думок експертів за допомогою відповідних коефіцієнтів (Спірмена у випадку двох експертів чи двох груп експертів та конкордації – у випадку трьох та більше експертів). Також при цьому потрібно довести значущість отриманих результатів за допомогою статистичних критеріїв (Пірсона, Стьюдента).

Ми ж пропонуємо використати кореляційний аналіз як економетричний інструмент для оцінки тісноти впливу відповідного фактору ризику на його величину.

Відмітимо, що у ризикології донині немає єдиного універсального визначення ризику. Ризик зазвичай пов'язують із невизначеністю, ймовірністю, втратами та т. ін. Однак, говорячи про економічний ризик, найчастіше його вимірюють як величину недоодержання прибутку порівняно з прогнозованим варіантом.

Таким чином, маючи статистичні дані про величину недоодержання прибутку за певний проміжок часу (місяць, квартал, рік), та відповідні значення факторів ризику (кількість неякісної поставленої продукції, збитки від затримок поставок сировини і т. ін.) можна, використати інструменти кореляційного аналізу, оцінити тісноту зв'язку впливу кожного із факторів ризику на результуючий показник.

Зокрема, доцільно обчислювати коефіцієнти парної кореляції. Основна задача кореляційного аналізу полягає у виявленні взаємозв'язку між випадковими змінними шляхом оцінки парних (частинних) коефіцієнтів кореляції, обчислення і перевірки значимості множинних коефіцієнтів кореляції і детермінації. Кореляція безпосередньо не виявляє причинних зв'язків між параметрами, але встановлює чисельне значення цих зв'язків [1].

Отже, визначивши значення парних коефіцієнтів кореляції між величиною ризику та факторами ризику, з'ясовується не просто тіснота відповідного зв'язку: чим ближче по модулю знайдені значення до 1, тим сильніший зв'язок. Таким чином також визначаються фактори, що здійснюють найбільший вплив на величину ризику.

Проте, лише побудовою кореляційної таблиці не обмежуються в нашому випадку. Більш повне, детальне дослідження можливе за рахунок обчислення множинного коефіцієнта кореляції. Якщо піднести знайдене значення порахованого коефіцієнта до квадрату, отримаємо значення вибіркового множинного коефіцієнта детермінації. Тоді цей показник (бажано виміряний у відсотках) покаже, яку частку варіації ризику показує варіація факторів, які ми врахували. Наприклад, якщо цей коефіцієнт дорівнює 85 відсотків, то це означає, що на вказану кількість відсотків величина ризику залежить від врахованих факторів, решта 15 відсотків – це вплив інших (неврахованих) факторів.

Також можливо обчислити тісноту зв'язку між двома факторами ризику при фіксуванні чи виключенні впливу інших факторів. У цьому випадку розраховують вибіркові частинні коефіцієнти кореляції. Усі відповідні формули є у будь-якому посібнику з економетрії.

Так, наприклад, вибіркового часткового коефіцієнта кореляції розраховується за формулою:

$$r_{jk(1,2,\dots,m)} = \frac{R_{jk}}{\sqrt{R_{jj}R_{kk}}},$$

де R_{jk} , R_{jj} , R_{kk} – алгебраїчне доповнення до відповідних елементів матриці кореляційної матриці R . Частковий коефіцієнт кореляції, так як і парний коефіцієнт кореляції, змінюється від -1 до $+1$ [1].

У випадку, коли існує припущення, що певні фактори ризику пов'язані між собою, можна застосувати трискладовий критерій Фаррара-Глобера визначення мультиколінеарності в масиві факторів ризику.

Однак, ще досить плідно можливо застосовувати економетричні методи для прогнозування економічного ризику. Зазвичай це відбувається за допомогою побудови кривої ризику. Під кривою

економічного ризику класично розуміють залежність між величинами втрат прибутку та відповідними їм ймовірностями.

Як відомо, криву економічного ризику можливо побудувати статистичним методом (у випадку наявності статистичних даних) та методом експертних оцінок у випадку їх відсутності. Проте, в обох випадках можливо здійснити прогнозування на основі правильно підбраного рівняння регресії.

Пропонуємо підбирати рівняння залежності з використанням ІТ-технологій, а саме, можливостей табличного процесора MS EXCEL.

Розглянемо конкретний приклад.

Нехай статистичні дані про роботу підприємства за одним із напрямів його діяльності подано в таблиці. Необхідно, користуючись статистичним методом, розрахувати очікуваний рівень ризику (коефіцієнт ризику), розкид його значень. Побудувати графік зміни кривої ризику в часі. В областях ризику коефіцієнт ризику набуває таких значень: мінімального ризику – 0-25%; припустимого ризику – 25-50%; критичного ризику – 50-75%; катастрофічного ризику – 75-100%. Підібрати регресійну залежність, яка найбільш точно описує статистичні дані, та здійснити прогноз коефіцієнта ризику на наступний рік. В якості x_i візьмемо середні значення коефіцієнту ризику в кожній області.

Таблиця 1. Відносні частоти виникнення втрат

Місяць	Мінімального	Припустимого	Критичного	Катастрофічного
1	0,33	0,32	0,05	0,05
2	0,3	0,3	0,04	0,06
3	0,34	0,28	0,06	0,05
4	0,38	0,32	0,05	0,07
5	0,4	0,3	0,1	0,07
6	0,35	0,3	0,09	0,06
7	0,45	0,34	0,08	0,06
8	0,4	0,3	0,07	0,06
9	0,48	0,35	0,1	0,08
10	0,4	0,4	0,1	0,1
11	0,5	0,35	0,09	0,08
12	0,52	0,4	0,13	0,1

Тоді $x_1=0,125$, $x_2=0,375$, $x_3=0,625$, $x_4=0,875$,

Знайдемо очікуване значення коефіцієнта ризику та розкид його значень для першого місяця.

$$M_1=0,33 \cdot 0,125+0,32 \cdot 0,375+0,05 \cdot 0,625+0,05 \cdot 0,875=0,236;$$

$$D(X)=0,33 \cdot (0,125 - 0,236)^2 + 0,32 \cdot (0,375 - 0,236)^2 + 0,05 \cdot (0,625 - 0,236)^2 + 0,05 \cdot (0,875 - 0,236)^2 =0,038. \sigma\sqrt{0,038}\approx 0,198.$$

Аналогічно розраховуються відповідні показники для інших місяців і на основі отриманих даних будується крива ризику. Для побудови кривої економічного ризику та подальшого прогнозування доцільно скористатись можливостями табличного процесора MS EXCEL.

Електронна таблиця Excel дозволяє проводити розрахунки за формулами, представляти дані у вигляді діаграм, структурувати дані, робити вибірку з великих таблиць, створювати консолідовані таблиці та ін. Обробка тексту, управління базами даних — програма настільки потужна, що в багатьох випадках перевершує спеціалізовані програми-редактори або програми баз даних. Програма MS EXCEL забезпечує як легкість при поводженні з даними, так і їх збереження. Дана програма зуміє обчислити суми по рядках і стовпцях таблиць, порахувати середнє арифметичне, банківський відсоток або дисперсію, тут взагалі можна використовувати безліч стандартних функцій: фінансових, математичних, логічних, статистичних [8].

Розрахувавши в стовпчику F відповідні математичні очікування коефіцієнту ризику, будемо відповідну криву (рис 1).



Рис. 1 – Крива економічного ризику

Основною метою побудови кривої ризику є прогнозування майбутнього ризику. Найоптимальніший прогноз буде тоді, коли економетрично правильно вибрана крива підгонки. Зазвичай в економетрії застосовують статистичні критерії (зокрема, критерій Фішера) для оцінки адекватності побудованої моделі, розраховують середню похибку апроксимації, коефіцієнт детермінації, можливо також порівняти варіації залишків (суми квадратів відхилень теоретичних значень від емпіричних). Пропонуємо скористатись можливостями табличного процесора MS EXCEL, а саме, вибравши діалогове вікно «Додавання лінії тренда», здійснити її форматування (рис.2).

Для цього потрібно показати на діаграмі величину достовірності апроксимації (коефіцієнт детермінації), серед запропонованих основних регресій (експоненціальної, лінійної, логарифмічної, поліноміальної, степеневі) вибрати для прогнозу ту, яка має найвище значення вказаного коефіцієнта.

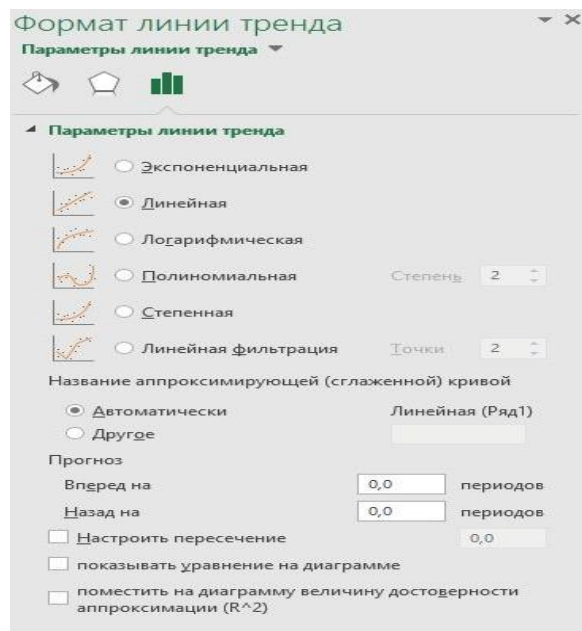


Рис. 2 – Вікно форматування лінії тренда.

У нашому випадку для експоненціальної маємо значення 0,882, для лінійної – 0,81, для логарифмічної – 0,64, поліноміальної – 0,64 і степеневі – 0,68. Отже, найбільш оптимальною є поліноміальна крива підгонки, для неї коефіцієнт детермінації є найбільшим і близьким до 1. Вибравши криву підгонки, використовуючи знову можливості MS EXCEL, в вікні форматування лінії тренда вибираємо кількість періодів для майбутнього прогнозу (в нашому випадку ми взяли 4)

і будуємо прогнозну криву ризику на 4 місяці вперед (рис. 3). За допомогою здійсненого прогнозу можна науково обґрунтовано стверджувати, яким буде коефіцієнт ризику на вказаний період.



Рис. 3 – Прогнозування коефіцієнту ризику на основі кривої підгонки

Зауважимо, що вказаний метод є негромідким, забирає мінімум часу та дає можливість на основі побудови кривої ризику здійснити прогнозування. Також варто відмітити, що його можливо застосовувати не лише у випадку статистичного методу побудови кривої ризику, а й у тих випадках, коли криву ризику будують з використанням методу експертних оцінок.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Таким чином, використання методів економетричного аналізу в ризикології дозволяє здійснювати оцінку тісноти зв'язків впливу факторів економічного ризику на його величину, проводити науково обґрунтоване прогнозування ризику шляхом підбору відповідної регресії кривої економічного ризику. А використання при цьому ІТ-технологій (зокрема, можливостей табличного процесора MS EXCEL) робить цей процес легким, зручним та економним в часі.

Список бібліографічного опису:

1. Бондар М.В., Рудомін Г.А. Економетрія. Методичні вказівки до виконання практичних робіт та самостійної роботи студентів з використанням ПК. Центр підготовки наукових та навчально-методичних видань ВТЕІ КНТЕУ, 2013. 107 с.
2. Бородіна О.С. Методичні підходи до сутності економічних ризиків та шляхів їх уникнення. *Економіка та держава*, 2010. № 7, С.21-23.
3. Вдовін М.Л., Дідик М.О. Оцінювання економічного ризику регіону за допомогою методів багатовимірної класифікації. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер. Економічні науки*, 2017. Вип. 24(2). С. 148-151.
4. Волошина-Сідей В.В. Аналіз оцінки ризиків як інструмент сталого розвитку підприємництва в умовах глобальних викликів та коронакризи *Класичний приватний університет*. Вип. 2(25). С.72-76.
5. Дмитрова О.С. Класифікація загроз та ризиків безпеки банку. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2015_11_125 (Дата звернення 07.01.2023).
6. Карінцева О.І. Науково-методичний підхід до оцінювання екологічного ризику різних видів економічної діяльності. *Маркетинг і менеджмент інновацій*, 2017. №7. С. 373-388.
7. Коюда П.М., Коюда О.П. Економічна сутність ризиків та їх класифікація. *Актуальні проблеми та перспективи розвитку фінансової кредитної системи України*: зб. наук. ст. Харків: Основа, 2001. С. 257 - 258.
8. Радзіхівська Л. М., Гусак Л.П. Використання табличного процесора MS EXCEL у викладанні дисциплін професійного спрямування в економічних ЗВО. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методи навчання в підготовці фахівців: теорія, досвід, проблеми*, 2019. вип. 54. с. 136-140.
9. Семенютіна Т.В. Економічні ризики, небезпеки, загрози: сутність та взаємозв'язок. *Економічний простір*, 2012. № 68. С. 106-113.
10. Шурда К.Е. Методи якісного та кількісного аналізу ризику. *Збалансоване природокористування*, 2020. № 4. С. 64-72.

References

1. Bondar M. V., Rudomin H. A. Econometrics. Methodical guidelines for performing practical works and independent work with the use of PC. Tsentr pidgotovky naukovykh ta navchalno- metodychnykh vydan VTEI KNTU, 2013. 107 s.
2. Borodina O. S. Methodical approaches to the essence of economic risks and ways to avoid them. *Economika ta derzhava*, 2010. № 7, S. 21-23.

3. Vdovin M.L., Didyk M.O. Otsiniuvannia ekonomichnogo ryzyku regionu za dopomogoiu metodiv bagatovymirnoi klasyfikatsii. *Naukovyi visnyk Hersonskogo derzhavnogo universitetu. Ser. Ekonomichni nauky*, 2017. Vyp. 24(2). S. 148-151.
4. Voloshyna-Sidei V.V. Analiz otsinky ryzykiv iak instrument stalogo rozvytku pidpriemnytstva v umovah globalnyh vyklykiv ta koronakryzy. *Klasychnyi pryvatnyi universitet*. Vyp. 2(25). S. 72-76.
5. Dmytrova O.S. Klasyfikatsiia zagroz ta ryzykiv bezpeky banku. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2015_11_125 (Data zvernennia 07. 01. 2023).
6. Karintseva O.I. Naukovo-metodychnyi pidhid do otsiniuvannia ekologichnogo ryzyku riznyh vydiv ekonomichnoi diialnosti. *Marketing I menedgment innovatsii*, 2017. №7. S. 373-388.
7. Koiuda P.M., Koiuda O.P. *Ekonomichna sutnist ryzykiv ta ih klasyfikatsiia. Aktualni problemy ta perspektyvy rozvytku finansovoi kredytnoi systemy Ukrainy*: zb. nauk. st. Harkiv: Osнова, 2001. S. 257-258.
8. Radzikhovska L. M., Gusak L. P. Vykorystannia tablychnogo prozesora MS EXCEL u vykladanni dystsyplin profesiinogo spriamuvannia v ekonomichnyh ZVO. __Suchasni informatsiini tehnologii ta innovatsiini metodyky navchannia v pidgotovtsi fahivtsiv: teoriia, dosvid, problemy, 2019. vyp. 54. s. 136-140.
9. Semeniutina T. V. Ekonomichni ryzyky, nebezpeky, zagrozy: sutnist ta vzaiemozviazok. *Ekonomichniy prostir*, 2012. № 68. S. 106-113.
10. Shurda K. E. Metody iakisnogo ta kilkisnogo analizu ryzyku. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia*, 2020. № 4. S. 64-72.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-24>

УДК 004.063.01

Самчук Людмила Михайлівна к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-2516-045X>

Повстяна Юлія Славомирівна к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-5426-4157>

Качула Іван Миколайович, студент

Повстяна Соломія Олександрівна, студент

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ПОБУДОВА ДІАГРАМИ ДІЯЛЬНОСТІ ДЛЯ ПРИНЦИПУ ПРОХОДЖЕННЯ ПРОЦЕДУРИ МРТ ЗАСОБАМИ UML

Самчук Л.М., Повстяна Ю.С., Качула І.М., Повстяна С.О. Побудова діаграми діяльності для принципу проходження процедури МРТ засобами UML. Діаграма діяльності для роботи МРТ (магнітно-резонансна томографія), що представлена в статті, дозволяє розібратися у принципах роботи цієї діагностичної техніки та зрозуміти важливість належної підготовки пацієнта перед проведенням МРТ. Діаграма демонструє, як будь-які рухи чи металеві предмети можуть спотворити отримані зображення та негативно вплинути на точність діагностики та наглядно показує, що МРТ використовує магнітні поля та радіохвилі для створення зображень внутрішніх органів та тканин. Розуміння принципів роботи МРТ та правильна підготовка пацієнтів допомагають отримати точні результати діагностики та встановити правильний діагноз. За допомогою МРТ лікарі можуть точно виявити хвороби та пошкодження в тканинах та органах, що раніше не були доступні для діагностики іншими методами. Таким чином, розуміння принципів роботи МРТ та належна підготовка пацієнта перед проведенням дослідження є ключовими факторами для отримання точних результатів діагностики та встановлення правильного діагнозу.

Ключові слова. Моделювання, медична діагностика, діаграми діяльності, уніфікована мова моделювання, UML, МРТ, точність діагностики, підготовка пацієнта, наукові дослідження.

Samchuk L., Povstiana Yu., Kachula I., Povstiana S. Construction of an activity diagram for the principle of passing the MRI procedure by means of UML. The activity diagram for MRI (magnetic resonance imaging), presented in the article, allows you to understand the principles of this diagnostic technique and understand the importance of proper patient preparation before MRI. The diagram demonstrates how any movement or metal objects can distort the images obtained and negatively affect the accuracy of the diagnosis and clearly shows that MRI uses magnetic fields and radio waves to create images of internal organs and tissues. Understanding the principles of MRI and proper preparation of patients help to obtain accurate diagnostic results and establish the correct diagnosis. With the help of MRI, doctors can accurately detect diseases and damage in tissues and organs that were previously not available for diagnosis by other methods. Thus, understanding the principles of MRI and proper preparation of the patient before the examination are key factors for obtaining accurate diagnostic results and establishing the correct diagnosis.

Keywords. Modeling, medical diagnostics, activity diagrams, unified modeling language, UML, MRI, diagnostic accuracy, patient training, scientific research.

Вступ. На сьогоднішній день у медицині відбувається глобальна переоцінка ролі методів лікування та діагностики соціально-значимих захворювань. Метод діагностичної медичної візуалізації застосовується у 80-90% випадків.

Сучасна медицина має доступ до великого набору діагностичних методів і методик, заснованих на різних фізичних принципах і технологіях. З цієї причини стає актуальним питання – як розвиватиметься радіологія найближчими роками? [1]. Попри розбіжності у основах методів променевої діагностики, можна назвати такі загальні тенденції у розвитку:

1. Збільшення роздільної здатності: розробляються нові методи та технології, що дозволяють отримувати більш детальні зображення з максимальною точністю.
2. Зменшення дози випромінювання: з'являються нові технології, такі як цифрова радіографія та комп'ютерна томографія, що дозволяють знизити дозу випромінювання, яку отримує пацієнт.
3. Збільшення швидкості та ефективності діагностики: розробляються нові алгоритми та програмне забезпечення, що дозволяють проводити діагностику швидше та ефективніше.
4. Розвиток гібридних методів: з'являються нові методи, які поєднують різні види променевої діагностики, такі як позитронна емісійна томографія та комп'ютерна томографія, що дозволяють отримувати більш точні та детальні зображення.
5. Розробка портативних та мобільних систем: розробляються нові технології, які дозволяють проводити діагностику в будь-яких умовах та місцях, таких як лікарні на місцевих ринках, що збільшує доступність медичної допомоги.

Ці тенденції демонструють, що променева діагностика розвивається в напрямку забезпечення більш точної, швидкої та ефективної діагностики з мінімальною дозою випромінювання, забезпечуючи доступність медичної допомоги в будь-яких умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З аналізу статті [2] про діаграму діяльності принципу роботи МРТ видно, що цей метод досить складний і вимагає високого рівня точності та стабільності у процесі його роботи. Діаграма діяльності допомагає уявити, які процеси відбуваються в системі МРТ та вказати на можливі проблеми, які можуть виникнути, якщо не будуть дотримані вимоги до підготовки пацієнтів та виконання процедури.

Також зазначається про важливість розуміння принципів роботи МРТ для медичних працівників та пацієнтів. Це допомагає забезпечити високу якість діагностики та отримання точних результатів.

Автор статті [3] досліджує можливість використання наночастинок для поліпшення якості зображень та збільшення чутливості МРТ до різних патологій. У статті описано різні типи наночастинок, які можуть використовуватися для МРТ, та їхні особливості. Також розглядається вплив різних факторів на якість отриманих зображень, таких як розмір та форм, концентрація та магнітна чутливість. Дослідження показали, що це може допомогти у виявленні різних захворювань, зокрема раку, та поліпшити якість зображень МРТ.

Як зазначив автор роботи [4], що МРТ є неінвазивним методом, який не використовує іонізуюче випромінювання. Крім того, єдиним параметром, який можна визначити за допомогою рентгенівського випромінювання, є електронна щільність.

Аналізуючи ці статті, можна зробити висновок, що діаграма діяльності є важливим інструментом для розуміння принципів роботи МРТ та її взаємодії з пацієнтом. Також стаття підкреслює значення новітніх технологій, які використовуються в МРТ, таких як наночастинок, які підвищують якість зображень та чутливість до різних патологій.

Виклад основного матеріалу. За останні кілька років магнітно-резонансна томографія (МРТ) перетворилася на дуже потужну та універсальну діагностичну техніку в медицині. Це, у свою чергу, призвело до поширення обладнання для МРТ і стимулювало величезну кількість досліджень. Над цим питанням працювали багато науковців, тому останні роки були дуже продуктивними для розвитку МРТ. Вчені та інженери щодня працюють над покращенням якості зображення, зменшенням часу сканування та розвитком нових методів діагностики. Також активно вивчається використання МРТ для дослідження функцій мозку та для моніторингу ефективності лікування онкологічних захворювань [5]. Магнітно-резонансна томографія - один з найперспективніших і швидко вдосконалених методів діагностики. Спираючись на останні досягнення електроніки, кріогенної техніки і новітні інформаційні технології, МР-томографія дозволяє за кілька хвилин отримати зображення, які можна порівняти з анатомічними зрізами. При МРТ можливо отримати серію тонких зрізів, побудувати тривимірну реконструкцію досліджуваної області, виділити судинну мережу, оцінити стан кісткових структур, суглобові хрящі, м'які тканини, паренхіматозні органи, візуалізувати всі структури головного мозку і спинний мозок, на всій його довжині [6].

Загалом, МРТ стала однією з ключових технологій в медицині та знаходить все більше застосування в діагностиці та лікуванні різноманітних захворювань.

Використання сучасних технологій у променевій діагностиці розширили можливості їх застосування для раннього виявлення захворювань на доклінічному етапі. Традиційно для цих цілей застосовувалася рентгенографія та флюорографія (діагностика захворювань легень, молочних залоз). З появою УЗД та КТ ефективність скринінгу якісно зросла. Ці технології дозволяють здійснювати виявлення практичних всіх груп найпоширеніших та соціально значущих захворювань.

Метод UML (United Modeling Language – уніфікована мова моделювання) є результатом спільної розробки фахівців інженерії програмного забезпечення та інженерії вимог [7]. Він широко використовується провідними розробниками програмного забезпечення як метод моделювання програмних продуктів на всіх стадіях життєвого циклу розробки програмних систем.

UML може бути застосована на всіх етапах життєвого циклу аналізу бізнес-систем і розробки прикладних програм. Різні види діаграм які підтримуються UML, і найбагатший набір можливостей представлення певних аспектів системи робить UML універсальним засобом опису як програмних, так і ділових систем. Діаграми дають можливість представити систему (як ділову, так і програмну) у такому вигляді, щоб її можна було легко розібрати та проаналізувати. Вони також можуть допомогти в ідентифікації можливих проблем, що виникають під час виконання системи, та

допомогти в їх вирішенні. Практично усі CASE-засоби (програми автоматизації процесу аналізу і проектування) мають підтримку UML. Моделі розроблені в UML, дозволяють значно спростити процес проходження МРТ та направити зусилля пацієнтів безпосередньо на реалізацію процесу.

Саме UML розроблена для розробки структури зорієнтованого на об'єкти програмного забезпечення, конструкції UML створюються з багатьох модельних елементів, які позначають різні частини системи програмного забезпечення. Елементи UML використовуються для побудови діаграм, які відповідають певній частині системи або точці зору на систему [8]. Одним із прикладів діаграми діяльності буде наступна діаграма (рис. 1), яка показує діяльність клінічного процесу:

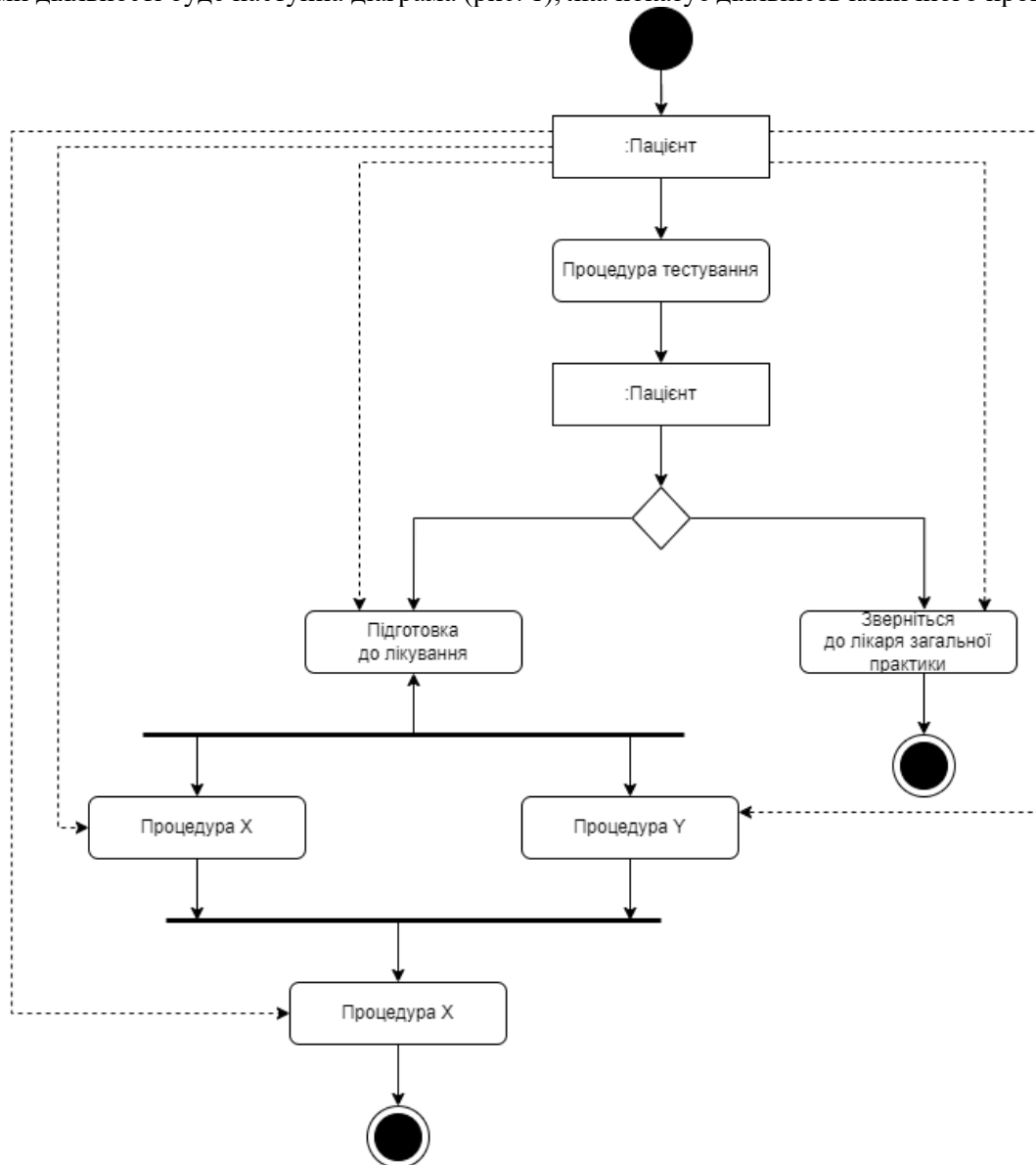


Рис. 1 – Діаграма діяльності для клінічного процесу

Діаграма діяльності показує нам наступну дію: пацієнта направляють до «Процедури тестування». Один із результатів перенаправляє потік діяльності на дію під назвою «Зверніться до лікаря загальної практики» і діяльність завершується. Інший результат перенаправляє потік до дії «Підготовка до лікування». Чорна смуга з двома потоками означає, що «Процедура X» і «Процедура Y» виконуються паралельно. Чорна смуга з одним потоком, що виходить з неї, перенаправляє потік до останньої дії під назвою «Призначити наступну зустріч», а заповнене коло з рамкою завершує дію [9].

Розглянемо опис функцій принципу проходження процедури МРТ та пройдемося по кожному кроку нашої діаграми (таблиця 1).

Таблиця 1 – Опис функцій принципу проходження процедури МРТ

Підготовка пацієнта до МРТ	Цей крок включає в себе перевірку медичного запису пацієнта та відповіді на різні питання щодо різних предметів, які можуть бути протипоказаними для проведення МРТ.
Наявність металевих предметів	Під час перевірки медичного запису пацієнта можна виявити наявність металевих предметів, які можуть бути протипоказані для МРТ.
Зняти всі металеві предмети	У разі виявлення металевих предметів пацієнт повинен зняти їх перед процедурою МРТ.
Пацієнт містить металеві імпланти	Перевірка пацієнта на наявність у нього металевих імплантів.
Використання передплечової обмотки на цих ділянках тіла	Якщо пацієнт має металеві імпланти, може використовуватися передплечова обмотка на цих ділянках тіла, щоб уникнути проблем зі зображенням.
Необхідність в окремих медичних приладах	Перевірка чи потрібно пацієнту додаткові медичні прилади, які встановлюють перед процедурою МРТ.
Встановлення катетеру, імплантату, пристрою для фіксації тіла або іншого необхідного приладу	У разі потреби можна встановити катетер, імплантат, пристрій для фіксації тіла або інший необхідний прилад перед проведенням процедури МРТ.
Розміщення пацієнта в тунелі МРТ	Після підготовки пацієнта до МРТ його розміщують у тунелі МРТ, де він повинен залишатися статичним під час процедури. При цьому, пацієнт повинен знаходитися в комфортному положенні, щоб уникнути рухів та дискомфорту, що може спотворити результати МРТ.
Надання протекторів для захисту від магнітного поля	Під час МРТ утворюється магнітне поле, яке може бути небезпечним для пацієнта. Тому надаються протектори, які захищають від магнітного поля.
Введення інформації про пацієнта в систему МРТ	Цей крок передбачає введення інформації про пацієнта в систему МРТ, яка може містити особисті дані, такі як ім'я, вік, медична історія тощо.
Налаштування обладнання	Перед початком процедури МРТ обладнання потрібно налаштувати та перевірити на справність для отримання якісного зображення.
Розміщення сполучень для передачі даних та контролю МРТ	Сполучення потрібно розмістити на тілі пацієнта для передачі даних і контролю МРТ.
Запуск процедури МРТ	Після налаштування обладнання та розміщення сполучень, процедуру МРТ можна запустити.
Увімкнення магнітного поля	На початку процедури вмикають магнітне поле, щоб розпочати отримання зображення.
Фур'є-аналіз	Це процес обробки сигналів, який дозволяє перетворити отримані сигнали на зображення.
Виконання резонансних вимірювань та обробка даних	Під час процедури МРТ виконуються резонансні вимірювання та обробка даних для отримання якісного зображення.
Попередня обробка	Отримані сигнали зберігаються і обробляються для видалення шуму та інших артефактів.
Використовуються математичні алгоритми для просторової обробки даних	Математичні алгоритми використовуються для обробки даних та отримання просторової інформації.
Дискомфорт чи біль у пацієнта	Під час процедури МРТ можуть виникнути дискомфорт чи біль у пацієнта, на даному етапі пацієнт дає знати чи відчуває він дискомфорт при проходженні процедури.

Біль через високий звук	Це перевірка на можливу проблему від пацієнта під час процедури МРТ, оскільки вона супроводжується дуже гучними звуками, які можуть викликати дискомфорт або біль у вухах пацієнта.
Використання спеціальних навушників або вушних протезів, які забезпечують звукоізоляцію	Для зменшення дискомфорту та болю у вухах пацієнта під час процедури МРТ, можуть використовуватися спеціальні навушники або вушні протези, які забезпечують звукоізоляцію.
Проходження додатково обстеження	Перевірка чи проходив пацієнт додаткове обстеження, та його результати.
Направлення на додаткове обстеження пацієнта	У разі, якщо виявлено проблеми під час процедури МРТ, може бути призначене додаткове обстеження пацієнта для визначення можливих причин та виявлення можливих проблем.
Експозиція до радіочастотних хвиль	Під час процедури МРТ, пацієнт піддається експозиції до радіочастотних хвиль, які дозволяють виявляти сигнали від водню в тілі пацієнта.
Отримання сигналів від водню	Радіочастотні хвилі збуджують ядра водню в тілі пацієнта, що дозволяє отримати сигнали від цих ядер.
Обробка сигналів	Отримані сигнали піддаються обробці для видалення шуму та інших артефактів.
Процес фазового кодування, який формує зображення	Після отримання сигналів від водню та їх обробки, МРТ система використовує процес фазового кодування, щоб сформувати зображення. Цей процес включає в себе зміну магнітного поля в різних точках області, яку досліджують, та реєстрування сигналів, що випромінюються від водню відповідно до змін поля. Ці сигнали збираються та перетворюються в комп'ютерні дані.
Отримання зображення	Після процесу фазового кодування МРТ система отримує 3D зображення з обраної частини тіла пацієнта. Зображення містить деталі про структуру тканин та їхній розташування.
Виконати операцію для інших частин тіла	Після того, як зображення було отримане та проаналізоване, можна продовжити процедуру МРТ для інших частин тіла пацієнта, якщо це необхідно.
Аналіз зображення медичним фахівцем	Останній крок полягає в аналізі зображення медичним фахівцем, який інтерпретує отримані дані та діагностує можливі захворювання. Він визначає, чи є аномалії на зображенні та їхню природу, та робить висновки про те, чи потрібне подальше обстеження, лікування чи хірургічне втручання.

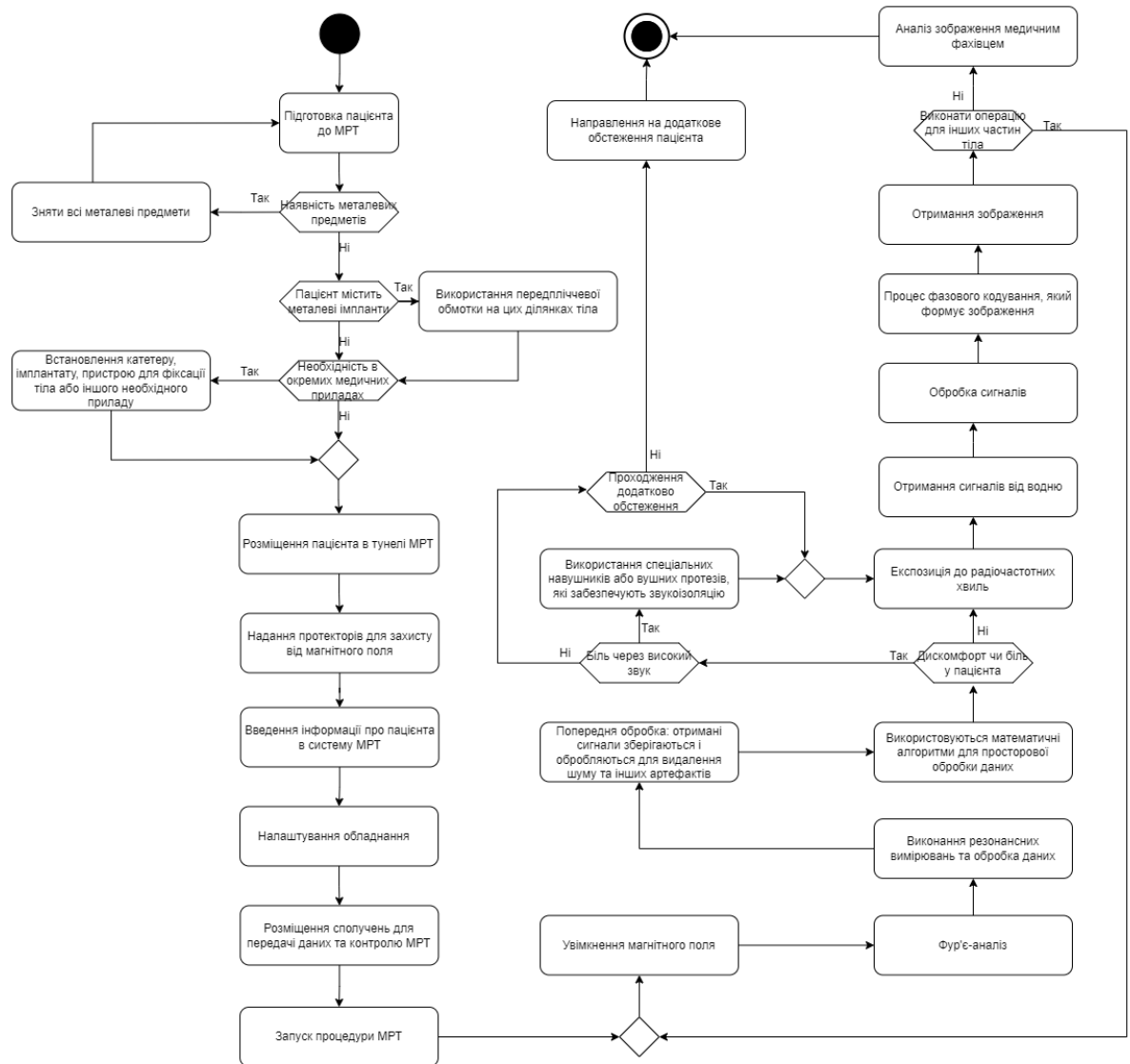


Рис. 2 – Діаграма діяльності принципу проходження процедури МРТ

Висновки. UML стає однією з найбільш використовуваних, бо вона містить всі зібрані переваги в порівнянні з іншими програмними середовищами: швидкість виконання операцій, стандартизований підхід, зручність використання, можливості автоматизації, підтримка різних видів моделювання.

UML надає можливість специфікувати, проектувати, візуалізувати та проводити документовані артефакти об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення. Поглиблення UML дає змогу введення власні текстові і графічні стереотипи, які сприяють процесу розширення сфери застосування програми не лише в галузі програмної інженерії. На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій у контексті об'єктно-орієнтованої парадигми UML підходить аналізу й проектування систем снайефективнішими.

Діаграма діяльності про принцип роботи МРТ дозволяє зрозуміти, як саме працює ця технологія, що дає змогу зробити точну діагностику пацієнтів. Діаграма також демонструє важливість точності та належної підготовки пацієнта перед проведенням МРТ, так як будь-які рухи чи металеві предмети можуть спотворити отримані зображення та негативно вплинути на точність діагностики.

Загалом, діаграма діяльності по принципу роботи МРТ нагадує нам про великий прогрес, який досягнуто в галузі медицини завдяки цій технології та іншим подібним розробкам, які дозволяють точно діагностувати та лікувати хвороби.

Список бібліографічного опису

1. Терновой С.К. Перспективы развития методов радиационной диагностики. Медицина, 2007.- С.229-234.
2. Maya Sharif. Special radiation techniques in radiotherapy - optimization, quality assurance and risk management. URL: <https://open.fau.de/handle/openfau/21877>
3. Magnetic Nanoparticles in Magnetic Resonance Imaging and Diagnostics by RÜMENAPP, Christine ; GLEICH, Bernhard ; HAASE, Axel 2012, Vol 29, Num 5, pp 1165-1179, 15 p.
4. An Overview of Magnetic Resonance Imaging (MRI) Academic Resource Center. URL:https://zbook.org/savetopdf/MDkyNA==#14b602_an-overview-of-magnetic-resonance-imaging-mri
5. Keller P. J. Basics of the magnetic resonance phenomenon. URL: <https://s30fb2821ec625b85.jimcontent.com/download/version/1511353921/module/5995317162/name/GE%20MR%20Principles.pdf>
6. Магнітно-резонансна томографія як сучасний метод візуалізації в кардіології. URL: http://health-ua.com/pics/pdf/ZU_2014_Cardio_1/74-76.pdf (дата звернення: 19.03.2023)
7. Новицький О.В. Розширення UML специфікації для моделювання семантичних об'єктів/Proceedings of the 10th International Conference of Programming UkrPROG. 2016. С-211-220.
8. Хацько Н.Є., Гавриленко С.Ю. Порядок створення та редагування моделей і діаграм UML. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи "Порядок створення та редагування моделей і діаграм в програмі Umbrello UML Modeller" : для студентів спеціальності 121 – Інформаційні технології / Уклад. Хацько Н.Є., Гавриленко С.Ю. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – 23с.
9. Carvalho E., Batilana A., Shah J., Payne P. Standardizing Clinical Trials Workflow Representation in UML for International Site Comparison. 2010 Nov 9;5(11):e13893. doi: 10.1371/journal.pone.0013893.

References

1. Ternovoi S.K. Prospects for the development of radiation diagnostic methods. Medicine, 2007. - P.229-234.
2. Maya Sharif. Special radiation techniques in radiotherapy - optimization, quality assurance and risk management. URL: <https://open.fau.de/handle/openfau/21877>
3. Magnetic Nanoparticles in Magnetic Resonance Imaging and Diagnostics by RÜMENAPP, Christine ; GLEICH, Bernhard ; HAASE, Axel 2012, Vol 29, Num 5, pp 1165-1179, 15 p.
4. An Overview of Magnetic Resonance Imaging (MRI) Academic Resource Center. URL:https://zbook.org/savetopdf/MDkyNA==#14b602_an-overview-of-magnetic-resonance-imaging-mri
5. Paul J. Keller Basics principles of magnetic resonance imaging. URL: <https://s30fb2821ec625b85.jimcontent.com/download/version/1511353921/module/5995317162/name/GE%20MR%20Principles.pdf>
6. Magnetic resonance imaging as a modern imaging method in cardiology. URL: http://health-ua.com/pics/pdf/ZU_2014_Cardio_1/74-76.pdf (дата звернення: 19.03.2023)
7. Novytsky O.V. An extension of the UML specification for modeling semantic objects //Proceedings of the 10-th International Conference of Programming UkrPROG. 2016. P.211-220.
8. Khatsko N.E., Havrylenko S.Yu. Procedure for creating and editing UML models and diagrams. Methodical instructions for performing laboratory work "The procedure for creating and editing models and diagrams in the program Umbrello UML Modeller" : for students of specialty 121 - Information technologies / Comp. Khatsko N.E., Havrylenko S.Yu. - Kharkiv: NTU "KhPI", 2019. - 23 p.
9. Carvalho E., Batilana A., Shah J., Payne P. Standardizing Clinical Trials Workflow Representation in UML for International Site Comparison. 2010 Nov 9;5(11):e13893. doi: 10.1371/journal.pone.0013893.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-25>

УДК 004.06

Семенюк Вадим Володимирович, старший інженер

<https://orcid.org/0009-0007-8670-4023>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ БАЗ ДАНИХ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ

Семенюк В.В. Аналіз та оптимізація продуктивності баз даних у розподілених системах. У роботі проведено аналіз та розкрито принципи оптимізації баз даних у розподілених системах. Наголошується, що в умовах швидко зростаючої бази цифрових користувачів високонавантажені програми – ті, які можуть обробляти від тисяч до мільйонів запитів за хвилину, – вимагають точного налаштування для задоволення попиту, що росте. Також розглядаються різні методи оптимізації та стратегії, необхідні підвищення продуктивності баз даних у розподілених системах. Спочатку аналізується важливість оптимізації коду від написання ефективних алгоритмів до використання правильних структур даних, підкреслюючи її вплив на зниження обчислювальної складності додатків, що входять до складу розподілених систем. Далі обговорюється актуальність оптимізації бази даних та досліджуються такі методи, як індексація, кешування та оптимізація запитів, які відіграють життєво важливу роль у збільшенні часу відгуку бази даних, а отже, і продуктивності програми. Докладно обговорюються основні покоління оптимізаторів запитів: оптимізація, керована певними фазами життєвого циклу (ODCP), і оптимізація, керована всіма фазами (ODAP). Схематично представлено фази життєвого циклу БД і процес оптимізації, що дозволяє наочно прослідкувати весь процес. Окреслено питання матеріалізованого та не матеріалізованого представлення, наведено особливості. Сформовано процес перезапису запиту в процесі оптимізації. Зазначається, що у процесі оптимізації запитів у паралельній обробці оптимальний послідовний план виконання, створений наприкінці фази оптимізації, перетворюється на паралельний план виконання після кроку розпаралелювання.

Ключові слова: база даних, розподілена система, оптимізація, аналіз, структура, продуктивність.

Semeniuk V. Analysis and optimization of database performance in distributed systems. The paper analyzes and discloses the principles of database optimization in distributed systems. It emphasizes that with a rapidly growing digital user base, high-load applications – those that can process thousands to millions of requests per minute – require fine-tuning to meet growing demand. Various optimization techniques and strategies needed to improve database performance in distributed systems are also discussed. First, the importance of code optimization is analyzed, from writing efficient algorithms to using the right data structures, emphasizing its impact on reducing the computational complexity of applications that are part of distributed systems. It then discusses the relevance of database optimization and explores techniques such as indexing, caching, and query optimization that play a vital role in increasing database response time and therefore application performance. The main generations of query optimizers are discussed in detail: optimization directed by specific lifecycle phases (ODCP) and optimization directed by all phases (ODAP). The phases of the database life cycle and the optimization process are schematically presented, which allows you to visually follow the entire process. The issue of materialized and non-materialized representation is outlined, features are given. The process of overwriting the request in the optimization process has been created. It is noted that in the process of query optimization in parallel processing, the optimal sequential execution plan created at the end of the optimization phase is transformed into a parallel execution plan after the parallelization step.

Key words: database, distributed system, optimization, analysis, structure, performance.

Вступ та постановка проблеми. Налаштування розширених баз даних у розподілених системах, які обробляють великі обсяги даних, таких як сховища даних [1, 2], є важливою проблемою для спільноти баз даних. Вимога до швидкого отримання результату запиту, виконаного в базі даних (БД), залишається незмінною для всіх користувачів. Адміністратор БД відповідає за реалізацію необхідних структур даних, щоб гарантувати продуктивність бази даних у розподілених системах.

Цей аспект роботи адміністратора є питанням фізичного дизайну, який називається налаштуванням бази даних. Фізичне проектування визначається як фаза життєвого циклу БД, на якій виконується впровадження структур для забезпечення ефективності БД. Метою фізичного проектування є оптимізація запитів, щоб результати запитів отримувалися максимально швидко [1].

Важливість фізичного дизайну зростає, оскільки оптимізатори запитів стають складнішими для роботи із запитами підтримки прийняття рішень [3]. Це посилення пов'язано з певними характеристиками, пов'язаними з розширеними базами даних у розподілених системах:

- складність схеми бази даних, де таблиці не мають однакових характеристик;
- складність запитів, які все частіше вимагають складних операцій, таких як об'єднання та агрегація;
- обсяг даних: максимізація даних у БД стає важливою, особливо з додатками БД, пов'язаними з Інтернетом і соціальними мережами;

- вимоги до часу відповіді на запити;
- різноманітність оптимізаційних структур.

Деякі принципи оптимізації застосовуються під час створення бази даних, такі як горизонтальна фрагментація, а інші під час експлуатації бази даних, такі як матеріалізовані перегляди. Це ускладнює процес вибору та використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формулювання наукової думки в окресі оптимізації баз даних у розподілених системах є різноманітною та масштабною. У сучасній науковій площині з'являються роботи присвячені дослідженням механізмів оптимізації баз даних для підвищення продуктивності систем.

С. В. Суліма та О. Д. Єрмолаєв [4] розробили метод оптимізації SQL-запитів спеціально для ситуацій, коли швидкість вибірки даних погіршується з часом. Цей метод включає заміну оператора IN на тимчасову таблицю та використання не кластеризованого індексу. Таким чином, він прискорює процес вибірки даних, зменшуючи логічні звернення.

У [5] проаналізовано недоліки сучасних методів для розподілу завдань у розподілених системах оброблення даних; створено оптимізований метод планування завдань на основі метаданих у РСОД, який ґрунтується на методології пошуку найближчих сусідів із використанням методу локалізованого хешування та алгебри скінчених предикатів; деталізовано процеси в модифікованому алгоритмі пошуку найближчих сусідів; розроблено архітектуру програмного рішення, що інтегрує оптимізований метод планування завдань на основі метаданих та алокації ресурсів; за допомогою практичного сценарію здійснено валідацію програмного рішення – використання створеного алгоритму в задачі планування для декодування відеоінформації.

Із зарубіжних авторів варто відмітити роботи таких науковців як: Лі Цзі, Чжан Цзячі, Чжоу Веньчао, Лю Юйхан, Чжан Шуай, Сюе Чжуомін, Сюй Дін, Фань Хуа, Чжоу Фангюань, Лі Фейфей [6], Аннесер Крістоф, Татбул Незіме, Коен Девід, Сюй Чженган, Пандіан Прітх, Маркус Райан [7], Ден Акін [8], Хоссейнзаде Шима, Парвареш Амірхоссейн, Фей Дітмар [9], Ткіндт Вінсент [10], Хуан Шіюе, Цінь Яньчжао, Чжан Сінї, Ту Яофен, Лі Чжунлянь, Цуй Бін], Каррас Арістейдіс, Каррас Христос, Перванас Антоніос, Сіутас Спірос, Зарольягіс Христос [12], Бхардвадж Анкур [13] та інших.

Однак, незважаючи на масштабність наукових досліджень, питання актуальності даної роботи не викликає сумнівів.

Постановка завдання. Метою роботи є аналіз та оптимізація баз даних у розподілених системах.

Викладення основного матеріалу дослідження. Оптимізація запитів у контексті баз даних у розподілених системах займає важливе місце серед різних поколінь баз даних: традиційних баз даних, баз даних XML, баз даних рішень, статистичних і наукових, і семантичних баз даних. Дійсно, програми баз даних завжди шукають більш ефективний час обробки запитів. Таким чином, оптимізація запитів полягає в переписуванні дерева виконання запиту для вибору найбільш ефективного плану виконання [3, 4]. Перед виконанням запиту виконується розбір для перевірки синтаксису та перекладу в алгебраїчні операції. Цей аналіз створює дерево операцій, які потрібно виконати. Однак можна трансформувати це дерево, щоб отримати інші еквіваленти, які пропонують різні засоби для отримання того самого результату. Ці дерева називаються планами виконання [5]. Роль механізму оптимізації (його також називають оптимізатором) полягає у створенні різних планів виконання та виборі найкращого.

Фізичний дизайн розвинувся та поступово охопив увесь життєвий цикл БД. Дійсно, процес оптимізації запитів поступово враховував параметри з фаз життєвого циклу проектування бази даних (концептуальний дизайн, логічний дизайн, фізичний дизайн і розгортання (рис. 1)) і мову запитів, що використовується цільовою системою керування базами даних (СУБД). Існує два основних покоління оптимізаторів запитів: оптимізація, керована певними фазами життєвого циклу (ODCP), і оптимізація, керована всіма фазами (ODAP).

Оптимізатори ODSP в основному базуються на вивченні алгебраїчних властивостей мови запитів, визначених на логічній моделі бази даних [6]. Одним із прикладів таких оптимізаторів є підхід на основі правил (RBA), який використовує інтуїтивно зрозумілий набір правил для оптимізації запитів.

Дійсно, деякі властивості дозволяють змінювати порядок алгебраїчних операторів, щоб отримати приріст продуктивності.

Оптимізатори ODAР з'явилися для подолання недоліків оптимізаторів ODCP. Вони враховують концептуальні, логічні, фізичні параметри та параметри розгортання. Як приклад – Cost-Based Approach (CBA). Цей підхід полягає в тому, що спочатку обчислюють вартість різних можливих стратегій, що відповідають планам виконання запиту відповідно до характеристик файлів, на яких встановлені зв'язки, а потім вибирають план із мінімальними витратами. Одна з дій оптимізаторів ODAР полягає в тому, щоб упорядкувати з'єднання (і встановити операції) для обробки якомога меншої кількості кортежів, якомога більше мобілізувати існуючі індекси та використовувати найефективніші алгоритми.

Для цього механізму оптимізації потрібні параметри з усіх фаз життєвого циклу (рис. 1):

- концептуальний рівень: довжина кожного атрибута кожної таблиці;
- логічний рівень: розмір (у термінах екземплярів) кожної таблиці;
- фізичний рівень: модель зберігання, яка використовується для зберігання таблиць (сховище рядків, сховище стовпців) і методів доступу до даних;
- рівень розгортання: характеристики диска, такі як розмір сторінки диска.

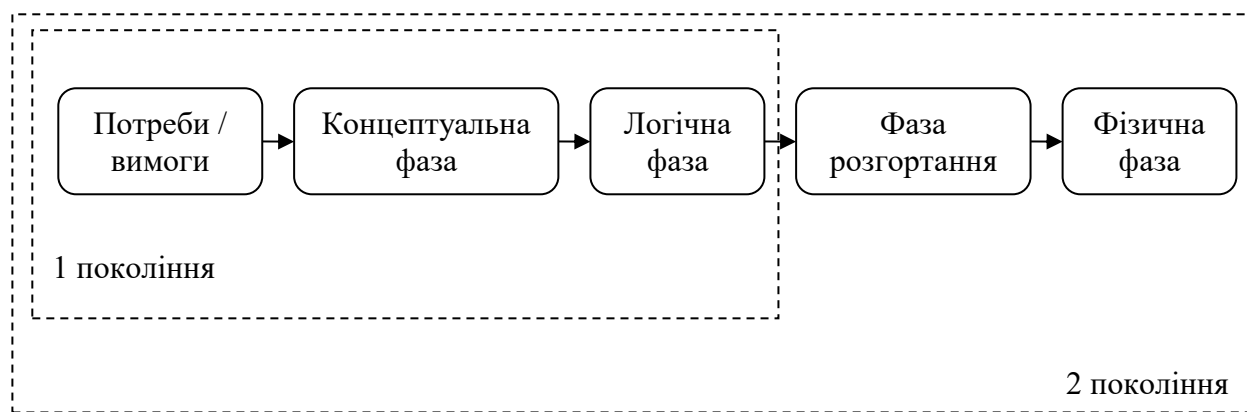


Рис. 1 – Фази життєвого циклу БД і процес оптимізації

Таким чином, оптимізація запитів ODAР чутлива до всіх фаз життєвого циклу розробки бази даних. Припустімо, змінюється мова запитів, тип бази даних, модель зберігання або платформа розгортання; потім слід переглянути процес оптимізації. Усі оптимізації часто розглядаються на фізичній фазі життєвого циклу.

Необ'єктно-орієнтовані бази даних беруть лише один параметр із концептуальної фази: словник даних. Концептуальна модель зрозуміло виражає потреби програми та знання предметної області для наступного користувача. Однак, використовується логічна модель, що є результатом нормалізації (у випадку реляційних баз даних) та адаптації до системи підтримки, яка, як правило, сильно відрізняється від концептуальної моделі. В об'єктно-орієнтованих базах даних оптимізатори враховують характеристики об'єктної моделі під час оптимізації: вирази шляхів, групування об'єктів, сканування вказівників, індекси шляхів та методи користувача [2].

Інструменти фізичного проектування також називають оптимізаційними структурами. Деякі з цих структур втручаються дуже рано в життєвий цикл БД; це випадок фрагментації, паралельної обробки та кластеризації, які розглядаються з концептуальної фази до створення на фазі розгортання. Інші – ближче до кінця свого життєвого циклу; це стосується індексів і матеріалізованих представлень, створених на етапі експлуатації.

Техніка індексування є дуже важливою опцією для налаштування бази даних для традиційних і розширених баз даних у розподілених системах. Індекси використовуються для покращення часу доступу до даних. Визначення індексів часто виконується під час роботи бази даних. Значна кількість індексів запропонована та підтримується комерційними та академічними СУБД. Перевагою індексів є прискорення пошуку інформації. Дійсно, індекс представляє таблицю, відсортовану за даним полем. Але в індексів є й недоліки: щоразу, коли створюється індекс, навантаження на СУБД збільшується. Таким чином, операції введення та обслуговування даних сповільнюються через наявність індексів, оскільки вони повинні бути негайно оновлені. Вибір набору індексів для оптимізації заданого навантаження запиту є складною проблемою.

Щоб відповісти на цю проблему, були запропоновані рішення за підходом ODCP, де використовуються певні правила, такі як використання атрибутів-кандидатів для індексування та частота запитів [3]. Цих правил недостатньо для успішного вибору. Щоб подолати цей тип вибору, пропонується формалізувати проблему вибору індексу (ISP) як задачу оптимізації відповідно до підходу ODAF. Оскільки дано:

- завантаження запитів Q , де кожен запит має частоту доступу;
- база даних або діаграма сховища даних, розгорнута на певній платформі;
- простір зберігання індексу S .

Проблема вибору індексу полягає в тому, щоб знайти кращу конфігурацію індексу, CI , що дозволяє оптимізувати Q , тобто зменшити загальну вартість виконання запитів, дотримуючись обмеження на зберігання. Розроблено кілька підходів до вирішення цієї проблеми [4]. Вони починаються з переліку всіх атрибутів кандидатів для індексації. Ці атрибути вибираються з атрибутів, присутніх у реченнях WHERE, GROUP BY і ORDER BY запитів. Запропоновано алгоритми відбору атрибутів, які можна індексувати; вони керуються математичною моделлю витрат, яка кількісно визначає якість отриманого рішення. До них належать генетичні алгоритми, симуляція відпалу або повне лінійне програмування. Один із цих підходів використовується в модулі What-if СУБД SQL Server [3].

Матеріалізоване представлення (MV) – це іменовані запит, результат якого постійно зберігається в базі даних. Матеріалізовані представлення покращують виконання запитів шляхом попереднього обчислення найдорожчих операцій, таких як об'єднання та збереження їх результатів у базі даних. Таким чином, деякі запити вимагають лише доступу до матеріалізованих представлень і, отже, виконуються швидше [6]. Матеріалізовані представлення використовуються для досягнення кількох цілей, таких як покращення продуктивності запитів або надання дублікатів даних (наприклад, кеш-пам'ять у проксі-серверах). Використання MV має три основні проблеми, а саме: проблема їх вибору, проблема їх підтримки та переписування запитів на основі представлень.

Проблему вибору матеріалізованих поглядів можна формалізувати наступним чином:

- авантаження запитів Q , де кожен запит має частоту доступу;
- схема БД або сховища даних, розгорнута на даній платформі;
- набір обмежень C (простір для зберігання, час обслуговування тощо).

Проблема вибору матеріалізованого представлення (MVSP) полягає в пошуку набору представлень, що зменшує загальну вартість виконання запитів Q і враховує обмеження C .

Таблиці бази даних змінюються та розвиваються зі швидкістю оновлення. Однак, якщо ці зміни не перенести на матеріалізовані об'єкти, їхній зміст застаріє, а їхні об'єкти більше не представлятимуть реальність. Обслуговування матеріалізованих представлень складається з перенесення модифікацій у таблицях бази даних на рівень матеріалізованих представлень. Це можна зробити за допомогою трьох підходів: періодичного, негайного та відстроченого. У періодичному підході [3] перегляди оновлюються постійно в певний час. При негайному підході [8] перегляди оновлюються негайно в кінці кожної транзакції. В останньому підході зміни поширюються у відкладений спосіб [9].

Обслуговування представлень може виконуватися шляхом перерахунку цих представлень із таблиць бази даних. Однак такий підхід дуже дорогий. Належне обслуговування представлень виконується, коли зміни (вставки, видалення, модифікації), зроблені у вихідних таблицях, можна поширювати на представлення без повного перерахунку їх вмісту. Для вирішення цієї проблеми запропоновано три типи обслуговування: поступове, автономне та пакетне [8].

Поступове обслуговування складається з ідентифікації нового набору кортежів, які потрібно додати до подання у разі вставки, або підмножини кортежів, які потрібно видалити з подання у разі видалення, без повної повторної оцінки подання. Пакетне обслуговування виконується за допомогою оновлених транзакцій.

Після вибору та створення представлень усі запити необхідно переписати на основі представлень. Але пошук найкращого перепису для запиту є ґрунтовним завданням [4]. Процес переписування запитів використовувався як техніка оптимізації для зменшення вартості оцінки запиту [4]. На рисунку 2 показано процес перезапису в процесі оптимізації. Система оцінює різні плани виконання і вибирає найкращий оптимальний.

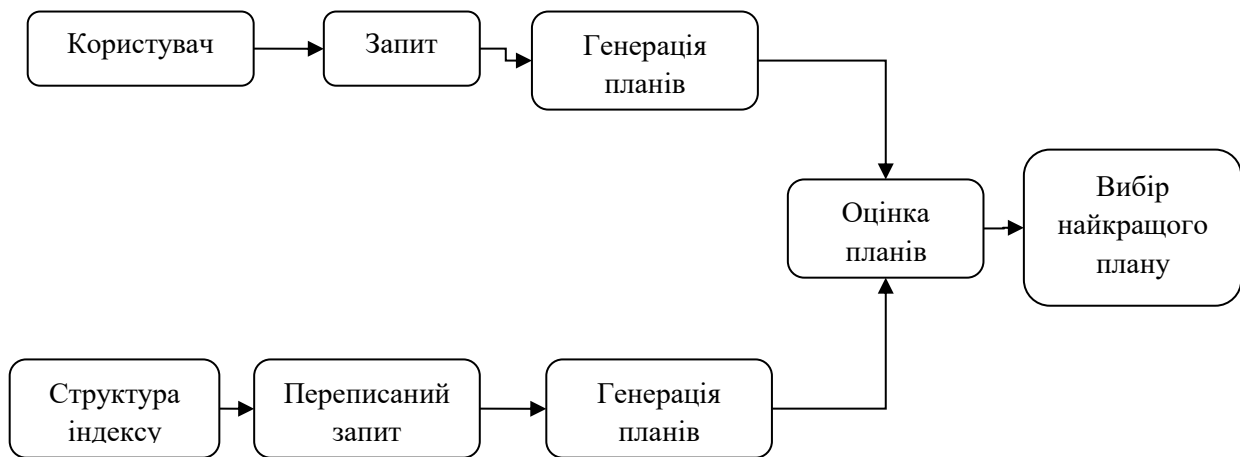


Рис. 2 – Процес перезапису запиту в процесі оптимізації

Горизонтальна фрагментація складається з розділення таблиці відповідно до її кортежів, щоб зменшити кількість доступів, які не потрібні для обробки запитів. Існує два типи горизонтальної фрагментації: первинна фрагментація [4] і похідна фрагментація [9]. Основна горизонтальна фрагментація таблиці базується на атрибутах, визначених у цій таблиці. Похідна горизонтальна фрагментація – це поширення фрагментації з однієї таблиці на іншу.

На відміну від інших оптимізаційних структур, таких як індекси та матеріалізовані представлення, де вибір схеми оптимізації зазвичай здійснюється, коли база даних працює (або створюється), вибір схеми фрагментації бази даних (або сховища даних) повинен бути прийнятий до її створення. Ця ситуація робить його вибір більш чутливим, ніж інші структури. Крім того, його також можна комбінувати з іншими оптимізаційними структурами, такими як індекси [4], матеріалізовані представлення [8] і паралельна обробка [5].

Масова паралельна обробка – це використання великої кількості процесорів або комп'ютерів для виконання набору узгоджених обчислень паралельно (тобто одночасно). У контексті баз даних, головним чином у великих даних, паралельна обробка вважається технікою для оптимізації запитів [9]. Для впровадження масової паралельної обробки використовувалися різні підходи, зокрема:

– грід-обчислення: у цьому підході обчислювальна потужність великої кількості розподілених комп'ютерів використовується за потреби, коли комп'ютер доступний для обробки запиту;

– комп'ютерний кластер: цей підхід використовує велику кількість процесорів, розташованих близько один до одного, для обробки запиту.

У такій централізованій системі дуже важливі швидкість і гнучкість взаємозв'язку процесорів.

У процесі оптимізації запитів у паралельній обробці оптимальний послідовний план виконання, створений наприкінці фази оптимізації, перетворюється на паралельний план виконання після кроку розпаралелювання. Для паралельного виконання запитів існує два рівні паралелізму: паралелізм між запитами та паралелізм усередині запитів.

Паралелізм між запитами полягає у використанні кількох процесорів в архітектурі для виконання кількох запитів одночасно;

Внутрішньо-запитовий паралелізм полягає у використанні кількох процесорів в архітектурі для виконання певного запиту. Існує дві форми внутрішнього паралелізму запитів: міжопераційний паралелізм і внутрішньо-операційний паралелізм. Взаємо-операційний паралелізм – це коли виконується кілька операцій одного запиту одночасно. Ці операції бувають незалежними або послідовними. Внутрішньо-операційний паралелізм розбиває дану операцію на набір завдань, кожна з яких розміщується на одному процесорі та виконує операцію алгоритму над частиною даних [7]. Деякі оператори, наприклад вибір і проектування, можна легко розбити на паралельні завдання. Інші, такі як об'єднання або декомпозиція, є більш складними.

Щоб полегшити паралельну обробку великих наборів даних, було запропоновано MapReduce, потужну алгоритмічну модель, яка використовує дві функції (map і reduce) [9]. Запити вказані як функції Map і Reduce. Інструменти були розроблені для представлення плану

паралельного виконання набором залежних завдань MapReduce. Завдання MapReduce містить фазу Map і Reduce. Кожна фаза створюється набором паралельних завдань типу Map або Reduce. Однак ця модель має проблеми систематичного читання та запису в розподілену файловою системою між двома завданнями; це сповільнює час виконання запиту.

Інша модель була запропонована та інтегрована в деякі інструменти, такі як Hive [5] і SparkSQL [10]. Читання з розподіленої файлової системи виконується лише на початку виконання запиту. Запис виконується тільки в кінці виконання запиту.

Оператори відношення згруповані в етапи, набір паралельних завдань створює кожен етап.

Групування об'єктів – це техніка, яка використовується для оптимізації об'єктно-орієнтованих баз даних. Вона полягає у зберіганні на одній сторінці об'єктів, пов'язаних асоціацією, щоб пришвидшити доступ до цих об'єктів шляхом навігації або приєднання [4]. Методи групування дозволяють помістити об'єкти з різних колекцій в одну групу. Групування дозволяє автономне використання пов'язаних об'єктів, які можуть існувати без пов'язаних об'єктів. У випадку об'єктів без головного або об'єктів, які спільно використовуються кількома головними, вибір сторінки зберігання неочевидний. Можна визначити групи за допомогою предикатів вибору або асоціації, щоб охопити широкий клас стратегій групування. Предикат вибору дає змогу, наприклад, визначити групу відповідно до предикату вибору. Предикат асоціації дає змогу, наприклад, визначити групу для кожного типу об'єкта.

Таким чином, індекси є основним інструментом фізичного проектування, і вони мають привілей розглядатися в усіх типах баз даних. Вони використовуються в перших базах даних (ієрархічні та мережеві бази даних), реляційних, об'єктно-орієнтованих, XML базах даних, сховищах і нових типах баз даних (бази даних NoSQL і Big Data). Матеріалізовані представлення використовуються та є дієвими в ситуаціях, коли вони мають справу з множинними запитами і потребують попереднього часткового або повного розрахунку. Вони з'явилися разом зі сховищами даних, але їх дизайн використовується не тільки в БД, наприклад, в проксі-серверах і веб-кешуванні. Індеси та матеріалізовані представлення можна використовувати разом для оптимізації сховищ даних [6]. Фрагментація – це рішення, яке полягає в наближенні даних користувача, які він часто запитує. У розподіленому середовищі, що стосується паралельної обробки, то їх використання зросло з новими типами баз даних, зокрема базами даних NoSQL і програмуванням типу MapReduce.

Висновки. У роботі проведено аналіз та розкрито принципи оптимізації баз даних у розподілених системах. Налаштування бази даних є дуже важливою фазою для забезпечення продуктивності БД, оскільки воно дає змогу реалізувати інструменти для швидкого отримання результатів запитів. Процес оптимізації, є центром налаштування бази даних, він наближений до життєвого циклу БД. Представлено огляд інструментів фізичного проектування та формально висвітлено проблеми їх вибору. Фізичне проектування не є застійним процесом, тобто воно не зупиняється після того, як структури вибрані та створені. Це вимагає регулярного моніторингу та переоцінки, щоб адаптувати структури до змін даних і параметрів платформи. Фізичний дизайн збагачується під час вертикальної еволюції бази даних з появою нових фаз і під час горизонтальної еволюції БД з розробкою нових інструментів і алгоритмів. Адміністратори даних повинні враховувати ці інструменти відповідно до типу бази даних під час налаштування у розподілених системах.

Список бібліографічного опису:

1. Saiarina Inna. Relational Database Work Optimization of the Transport Information System. Транспортні системи і технології. 2022. № 1. P. 261-266. DOI: 10.32703/2617-9040-2022-40-23.
2. Kheradkar Vivek, Vivek India, Shirgave S. Query Optimization in Uncertain and Probabilistic Databases. 2023. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3268445/v1.
3. Selvaraj Sivaraj. Advanced Database Techniques and Optimization. 2023. DOI: 10.1007/978-1-4842-9789-6_17.
4. Суліма С. В., Єрмолаєв О. Д. Метод оптимізації SQL запитів системи управління базами даних. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. 2023. № 2. С. 151-157. DOI: 10.26906/SUNZ.2023.2.151.
5. Козирев А. Д., Шубін І. Ю. Метод планування завдань оброблення даних у розподілених системах з обмеженою інформацією про доступні ресурси. Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. 2023. № 3 (25). С. 27-39. DOI: 10.30837/ITSSI.2023.25.027

References

6. Li Ji, Zhang Jiachi, Zhou Wenchao, Liu Yuhang, Zhang Shuai, Xue Zhuoming, Xu Ding, Fan Hua, Zhou Fangyuan, Li Feifei. Eigen: End-to-End Resource Optimization for Large-Scale Databases on the Cloud. Proceedings of the VLDB Endowment. 2023. № 16. P. 3795-3807. DOI: 10.14778/3611540.3611565.
7. Anneser Christoph, Tatbul Nesime, Cohen David, Xu Zhenggang, Pandian Prithviraj, Laptev Nikolay, Marcus Ryan. AutoSteer: Learned Query Optimization for Any SQL Database. Proceedings of the VLDB Endowment. 2023. № 16. P. 3515-3527. DOI: 10.14778/3611540.3611544.
8. Deng Aqin. Database task processing optimization based on performance evaluation and machine learning algorithm. Soft Computing. 2023. № 27. P. 1-11. DOI: 10.1007/s00500-023-08111-1.
9. Hosseinzadeh Shima, Parvaresh Amirhossein, Fey Dietmar. Optimization of OLAP In-Memory Database Management Systems with Processing-In-Memory Architecture. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-42785-5_18.
10. T'kindt Vincent. When Operations Research Meets Databases. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-42914-9_3.
11. Huang Shiyue, Qin Yanzhao, Zhang Xinyi, Tu Yaofeng, Li Zhongliang, Cui Bin. Survey on performance optimization for database systems. Science China Information Sciences. 2023. № 66. DOI: 10.1007/s11432-021-3578-6.
12. Karras Aristeidis, Karras Christos, Pervanas Antonios, Sioutas Spyros, Zaroliagis Christos. SQL Query Optimization in Distributed NoSQL Databases for Cloud-Based Applications. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-33437-5_2.
13. Bhardwaj Ankur. Exploring the Synergy between Query Optimization and Parallel Processing for Efficient Database Management. International Journal of Computer Applications & Information Technology. 2023 № 12. P. 453-460.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-26>

УДК 004.652

Федонюк Анатолій Ананійович, к.ф.-м.н., доцент<https://orcid.org/0000-0003-0942-227X>**Герасимчук Олена Борисівна**, к.ф.-м.н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-3025-9211>**Юнчик Валентина Леонідівна**, старший викладач<http://orcid.org/0000-0003-3500-1508>**Федонюк Юрій Анатолійович**, аспірант<https://orcid.org/0000-0003-0942-227X>

Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ БАГАТОВИМІРНОЇ СЕРЕДНЬОЇ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ФОРМУВАННЯ РЕЙТИНГУ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ ВУЗУ НА ПРИКЛАДІ ВОЛИНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ІМЕНІ ЛЕСІ УКРАЇНКИ

Федонюк А.А., Герасимчук О.Б., Юнчик В.Л., Федонюк Ю.А. Використання методу багатовимірної середньої для оптимізації формування рейтингу науково-педагогічних працівників вузу на прикладі волинського національного університету імені Лесі Українки. В роботі проаналізовано наявні інструменти для формування рейтингу, створено власний програмний продукт для імпортування даних викладачів із селекцією необхідних параметрів з існуючих баз даних. У самій програмі передбачено кілька алгоритмів для обрахунку за методом багатовимірної середньої рейтингу викладачів, сортування даних в порядку спадання (зростання) та візуалізацію результатів.

Ключові слова: багатовимірна середня, рейтинг, ранжування, науково-педагогічний працівник.

Fedonyuk A., Gerasymchuk O., Yunchyk V., Fedonyuk Yu. Utilization of the multidimensional mean method for optimizing the ranking formation of scientific and pedagogical staff of the university using the example of Lesya Ukrainka Volyn National University. The paper analyzes existing tools for ranking formation, develops a proprietary software product for importing teacher data with the selection of necessary parameters from existing databases. The program itself incorporates several algorithms for calculating teachers' rankings using the multidimensional mean method, sorting data in descending (ascending) order, and visualizing the results.

Keywords: multidimensional mean, ranking, sorting, scientific and pedagogical staff.

Постановка проблеми у загальному вигляді

Коректна оцінка вкладу кожного окремого науково-педагогічного працівника в загальну роботу вищого навчального закладу є надзвичайно важливим чинником в плані його розвитку і стимуляції діяльності на майбутнє. Саме тому необхідно мати інструмент для здійснення такої оцінки. Ми вважаємо таким інструментом рейтинг.

Інтенсивний динамічний розвиток українського суспільства можливий лише в тому випадку, коли в його ар'єргарді будуть правильно і ефективно працювати освітні процеси. Ці процеси включають в себе абсолютно всі ланки від дошкільної і до вищої освіти. І, оскільки, всі вони тісно пов'язані, то до вищої освіти приділяється величезна увага, оскільки, завдяки їй формуються спеціалісти самих найрізноманітніших напрямків суспільного укладу.

Ефективність роботи вищого навчального закладу напряму залежить від правильної організації всіх процесів: підбору кадрів, оплати праці, забезпечення належних умов праці персоналу, престижу, адекватної оцінки проробленої роботи за певний період тощо. Саме в цьому ракурсі дуже важливо мати ефективний інструмент кількісної оцінки всіх аспектів діяльності науково-педагогічних працівників вищого навчального закладу, адже тоді адміністрація може, спираючись на конкретну величину, яка характеризує конкретного викладача організувати комплексний мотиваційний процес, який включає оплату, заохочення, оприлюднення даних і т.д. Таким інструментом є рейтинг.

Рейтинг (від англ. - *rating*) - це індивідуальний числовий показник оцінки досягнень деякого суб'єкта в класифікаційному списку, який щорічно складається експертами відповідних галузей.

Фактично "рейтинг" - це система впорядкування у вигляді списку якості будь-яких об'єктів на основі кількісних показників, або рейтингових оцінок.

Згідно «Положення про рейтингове оцінювання викладача, кафедри, факультету (інституту) у Волинському національному університеті імені Лесі Українки» [1] сформовано мету рейтингового оцінювання в Університеті (рис.1.).

З аналізу базових документів університету випливає, що основними завданнями рейтингового оцінювання є ті, що відображені на рис.2. Для коректної реалізації цих завдань задекларовані вимоги до формування рейтингового оцінювання (рис.3.).



Рис.1 – Візуальне подання мети рейтингового оцінювання в Університеті, затвердженої «Положенням про рейтингове оцінювання викладача, кафедри, факультету (інституту) у Волинському національному університеті імені Лесі Українки»



Рис.2 – Структурна схема завдань рейтингового оцінювання згідно «Положення про рейтингове оцінювання викладача, кафедри, факультету (інституту) у Волинському національному університеті імені Лесі Українки»



Рис.3 – Задекларовані Вченою радою Університету вимоги до системи рейтингового оцінювання

Рейтинг формується за такою послідовністю: Рейтингове оцінювання викладача, кафедри, факультету (інституту) в Університеті здійснюється на основі показників діяльності лише штатних науково-педагогічних працівників. Склад експертної комісії для формування щорічних показників для розрахунку рейтингу викладача, кафедри, факультету (інституту) затверджується наказом ректора. Перелік показників для розрахунку рейтингу за результатами діяльності у поточному навчальному році затверджуються вченою радою Університету. Важливість кожного показника визначається кількістю балів за одиницю показника. Форми звітів з переліком показників для підрахунку рейтингів формуються у Центрі інноваційних технологій та комп'ютерного тестування і надсилаються електронною поштою на факультети (інститути). Викладачі, завідувачі кафедр і декани факультетів (інститутів) формують звіти за встановленими формами та подають їх технічному секретареві експертної комісії. На вимогу експертної комісії до звітів додаються довідкові матеріали, копії дипломів, наказів тощо, які підтверджують наведені у звітах показники.

Методика розрахунку рейтингу викладача згідно Положення про рейтинг оцінювання викладачів, кафедри, факультету (інституту) у Волинському національному університеті імені Лесі Українки [1] виглядає так:

В основу вибору критеріїв ранжування покладено систему рейтингових індикаторів, запропоновану Міністерством освіти і науки України для ранжування вищих навчальних закладів. Цей перелік доповнено показниками, характерними для діяльності факультетів (інститутів) Університету.

Для стимулювання постійної творчої активності науково-педагогічних кадрів індивідуальний рейтинг викладача включає: рейтинг **Prof**, який характеризує набутий кваліфікаційний потенціал, та рейтинг **Active**, який відображає його активність за основним напрямом діяльності.

Рейтинг викладача, який характеризує набутий кваліфікаційний потенціал, визначається за формулою:

$$Prof = n \cdot \sum_{i=1}^n a_i A_i, \quad (1)$$

де a_i – кількість балів відповідного показника;

A_i – значення показника відповідно до звіту викладача;

n – кількість заповнених позицій у переліку показників рейтингу **Prof**.

Рейтинг викладача **Active**, який характеризує активність навчально-методичної та громадської діяльності, визначається за формулою:

$$Active = \frac{\sum_{i=n+1}^m a_i A_i}{st}, \quad (2)$$

де m – загальна кількість показників рейтингу **Active**;

st – приведена ставка, $st = \frac{Vuk}{600}$, де Vuk – виконане річне навантаження викладача.

Загальний абсолютний рейтинг викладача Abs_RV розраховується за формулою:

$$Abs_RV = 0,3 \cdot Prof + 0,7 \cdot Active. \quad (3)$$

Для розрахунку відносного рейтингу викладача VRV у групі суб'єктів ранжування абсолютні значення рейтингів впорядковуються за спаданням значень і здійснюється їх згортка за формулою:

$$VRV_i = \frac{Abs_RV_i}{\max_i \{Abs_RV_i\}} \cdot 100, \quad i = \overline{1, k}, \quad (4)$$

де k – кількість суб'єктів ранжування (викладачів кафедри).

Запропонована методика передбачає накопичувальну систему формування рейтингу як викладача, так і адміністративного персоналу середньої ланки з різних аспектів діяльності: показників професійного зростання (40%), навчально-методичної роботи (30%), науково-дослідної роботи (20%) та навчально-виховної та організаційної роботи (10%).

При всіх перевагах та позитивах такої системи формування рейтингу, очевидним є те, що використовується формальний та так званий «ручний» підхід до визначення важливості конкретної форми діяльності науково-педагогічного працівника, і, як наслідок призначення конкретної кількості балів за визначений вид роботи. Такий підхід передбачає так звану «універсальність» кожного викладача вузу без врахування його особливого вкладу в розбудову університету. Адже очевидно, що є науково-педагогічні працівники, які акцентують свою діяльність на науковій роботі, і це в них забирає ліву частку часу, а є такі, які концентруються на методичній діяльності, проводячи значну роботу в плані навчання студентів. В умовах класичного університету обидві сфери діяльності вкрай важливі.

Тому ми пропонуємо відмовитись від жорсткого розподілу у відсотках на кожен вид діяльності і формувати рейтинг з використанням методу багатовимірної середньої.

Це дасть змогу сформувати по кожному окремому параметру, який включено до переліку рейтингової діяльності середнє значення серед усіх працівників, прирівняти це значення до 1 та визначити відносний показник для кожного НПП згідно кількісного показника з цього параметру.

На наступному етапі присвоюється коефіцієнт важливості кожному параметру згідно стратегії розвитку університету.

Знаходимо середнє значення відносних показників, з врахуванням коефіцієнта важливості для кожного науково-педагогічного працівника. Це і буде його рейтинг за звітний період.

Впорядковуємо таблицю викладачів в порядку спадання отриманої багатовимірної середньої і маємо структурований рейтинговий список викладачів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. З метою надання адміністрації Університету можливості ранжування всіх науково-педагогічних працівників, незалежно від їх напрямку, виду та специфіки діяльності, необхідно використовувати рекомендаційні системи, яким притаманна реальна допомога при реалізації процедури раціонального вибору (найкращого з погляду суб'єкта, що приймає рішення, в нашому випадку адміністрація Університету) одного або декількох об'єктів із множини аналогічних. При цьому, як правило, об'єктивна (числова) оцінка, що має статистичний характер, базується на низці спостережень про характер поведінки досліджуваної множини цих об'єктів.

Якщо кожен з елементів такої множини характеризується однією числовою характеристикою, то проблема вибору очевидна – якщо особа, яка приймає рішення, знає, якого результату бажає досягти. Достатньо розташувати елементи в порядку зростання вагових коефіцієнтів, що відображають ступінь їх привабливості. Однак, якщо в розрахунок приймається не одна, а дві, три або більше характеристик об'єктів, що порівнюються, проблема стає значно складнішою. Безпосереднє порівняння тут неможливе, бо у різних об'єктів є сильні і слабкі сторони. Доволі часто один з однотипних об'єктів перевершує інший за однією ознакою, та поступається йому за іншою. Завдання ще більше ускладнюється, якщо об'єкти характеризуються показниками, вимірними в різних одиницях. Звичайно, в деяких випадках можна довіритися інтуїтивним рішенням, оснований на емоційних мотивах. Так, зазвичай, і відбувається в повсякденному житті. Але ситуація змінюється, коли йдеться про вагомі рішення.

При вирішенні таких завдань необхідно, щоб емоційні мотиви у вербальній оцінці знайшли відображення в вагових коефіцієнтах. Інакше кажучи, потрібні інструменти, що дають змогу порівнювати об'єкти, які характеризуються множиною ознак, тобто на основі багатовимірних критеріїв, які необхідно враховувати при реалізації процедури вибору.

Найчастіше використовують алгоритми простого сумування кількості балів за різними критеріями, визначеними адміністрацією як пріоритетні. Причому, кількість балів по кожному критерію задається відносно «суб'єктивно» – рішенням рейтингової комісії, адміністрації Університету тощо. Так відбувається процедура в Волинському національному університеті імені Лесі Українки [1], в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка [5], Національному університеті «Львівська політехніка» [6] тощо.

Це чудовий інструмент для ранжування науково-педагогічних працівників за визначений період, але, на нашу думку, він містить недосконалості. У великих навчальних закладах

спостерігається типова картина, коли чітко розмежовуються фігуранти на початку таблиці ранжування завдяки великій кількості накопичених балів, а далі досить часто виокремлюються досить великі групи (з 2-12) людей з однаковою кількістю балів (рис.5).

Одним із інструментів, що використовується у процедурі вибору, є метод середніх. Особливим видом середніх величин є середня багатовимірна, яка є середньою величиною кількох ознак для однієї одиниці сукупності. Оскільки неможливо розрахувати середню величину за абсолютними значеннями різних ознак (різнотипових, виражених у різних одиницях виміру), то багатовимірна середня визначається у відносних величинах (частках, процентах тощо), як правило, у відношеннях абсолютних значень для одиниці сукупності до середніх значень цих ознак. Це найпростіший, проте дуже дієвий метод опрацювання результатів аналізу багатовимірних величин. Багатовимірна середня характеризує елемент множини за набором ознак, а звичайна середня характеризує множину елементів за однією ознакою.

Постановка задачі. Мета статті полягає у використанні методу багатовимірної середньої для формування ефективного, справедливого та адекватного рейтингу викладачів великого ЗВО, такого як Волинський національний університет імені Лесі Українки, реалізації цього методу засобами створеного власноруч програмного продукту, який би передбачав опрацювання великої кількості параметрів та ранжування за допомогою нього об'єктів (науково-педагогічних працівників Університету).

Визначення рангів об'єктів. Набір векторів $I_i, i=1,2,3, \dots, k$, що обрані як множина об'єктів, які підлягають ранжуванню, вважаються вихідними даними в задачах багатовимірного аналізу. Зазвичай це достатньо однорідний масив. Він складається з k різних векторів (об'єктів) однакової розмірності (кожен об'єкт охарактеризований заданим набором n різних ознак):

$$I_1 = \begin{pmatrix} x_{1,1} \\ x_{1,2} \\ \vdots \\ x_{1,n} \end{pmatrix}, I_2 = \begin{pmatrix} x_{2,1} \\ x_{2,2} \\ \vdots \\ x_{2,n} \end{pmatrix}, \dots, I_k = \begin{pmatrix} x_{k,1} \\ x_{k,2} \\ \vdots \\ x_{k,n} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Отже, $x_{j,l}$ є характеристикою j -го об'єкта за l -ю ознакою. Наприклад, потрібно ранжувати об'єкти, які охарактеризовані деяким числом різнорідних ознак. Для реалізації алгоритму буде зручно формалізувати вихідні дані у вигляді таблиці (табл. 1).

Таблиця 1 – Вихідні дані

Об'єкти	Характеристики ознак					
	x_1	x_2	...	x_j	...	x_n
I_1	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	...	$x_{1,j}$	...	$x_{1,n}$
I_2	$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	...	$x_{2,j}$	...	$x_{2,n}$
...
I_k	$x_{k,1}$	$x_{k,2}$	...	$x_{k,j}$	...	$x_{k,n}$
	$\overline{x_1}$	$\overline{x_2}$	...	$\overline{x_j}$	...	$\overline{x_n}$

Кожен з рядків цієї таблиці містить інформацію про один з об'єктів за всіма ознаками (різнорідні дані з різними одиницями виміру), а кожен стовпець – інформацію про кожен об'єкт за однією ознакою (однорідні дані з однаковою одиницею вимірювання).

Середнє арифметичне, обчислене за кожним із стовпців $\overline{x_j}$, де $j = 1, 2, \dots, k$, дає середнє значення ознаки для всієї групи об'єктів:

$$\overline{x_j} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{i,j}. \quad (6)$$

Для вигляду, що допускає порівняння, необхідно здійснити нормування даних k . З цією метою візьмемо дані кожного стовпчика, поділене на відповідне середнє за ознакою:

$$y_{i,j} = \frac{x_{i,j}}{\bar{x}_j} \quad (7)$$

У результаті нормування отримаємо безрозмірні значення $y_{i,j}$, що характеризують ознаки об'єктів. Якщо всі розглянуті об'єкти є достатньо однорідними, то отримані в результаті нормування величини не тільки позбавлені розмірності, але і є набором чисел, близьких до одиниці.

Величина $y_{i,j}$ показує, у скільки разів j -й показник, обчислений для i -го об'єкта, перевершує відповідне середнє значення цієї ознаки для усієї множини аналізованих об'єктів.

Після цієї процедури кожен об'єкт може бути охарактеризований за всіма нормованими ознаками середнім значенням – a_i , тобто одним числом. Тепер можливе ранжування за принципом “чим більше, тим краще” – або, навпаки, залежно від напрямку показників.

У табл. 2 через A_1, A_2, \dots, A_k позначено рейтинги (ранги) об'єктів, присвоєні їм на підставі порівняння їхніх узагальнених числових характеристик a_1, a_2, \dots, a_k .

У процесі реалізації цього алгоритму необхідно враховувати те, що всі характеристики ознак повинні бути рівнонаправленими, тобто, що більшого значення набуває характеристика, то кращим є стан об'єкта за цією ознакою.

Таблиця 2 – Ранжування методом багатовимірної середньої

Об'єкти	Характеристики ознак				Нормовані характеристики				Багатовимірні середні	Ранги
	x_1	x_2	...	x_j	y_1	y_2	...	y_n		
I_1	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	...	$x_{1,j}$	$y_{1,1}$	$y_{1,2}$	...	$y_{1,n}$	$a_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{1,i}$	A_1
I_2	$x_{2,1}$	$x_{2,2}$	...	$x_{2,j}$	$y_{2,1}$	$y_{2,2}$	...	$y_{2,n}$	$a_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{2,i}$	A_2
...
I_k	$x_{k,1}$	$x_{k,2}$	...	$x_{k,j}$	$y_{k,1}$	$y_{k,2}$	...	$y_{k,n}$	$a_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{k,i}$	A_k
	\bar{x}_1	\bar{x}_2	...	\bar{x}_j						

Для застосування методу багатовимірної середньої шляхом збору та внесення індивідуальних даних викладача, передбачених Положенням про рейтингове оцінювання викладачів, кафедри, факультету (інституту) у Волинському національному університеті імені Лесі Українки отримано дані – показниками слугують кількісні показники по всіх 64 пунктах, які передбачені в Додатку 1. до цього «Положення...» [1].

Під час реалізації методу засобами створеного нами програмного продукту показниками виступатимуть кількісні величини користувачів за усіма критеріями, передбаченими «Положенням...». Під об'єктами розуміють весь перелік науково-педагогічних працівників Університету.

Отже, для досягнення поставленої мети сформульовано і вирішено наступні завдання (рис.4.):

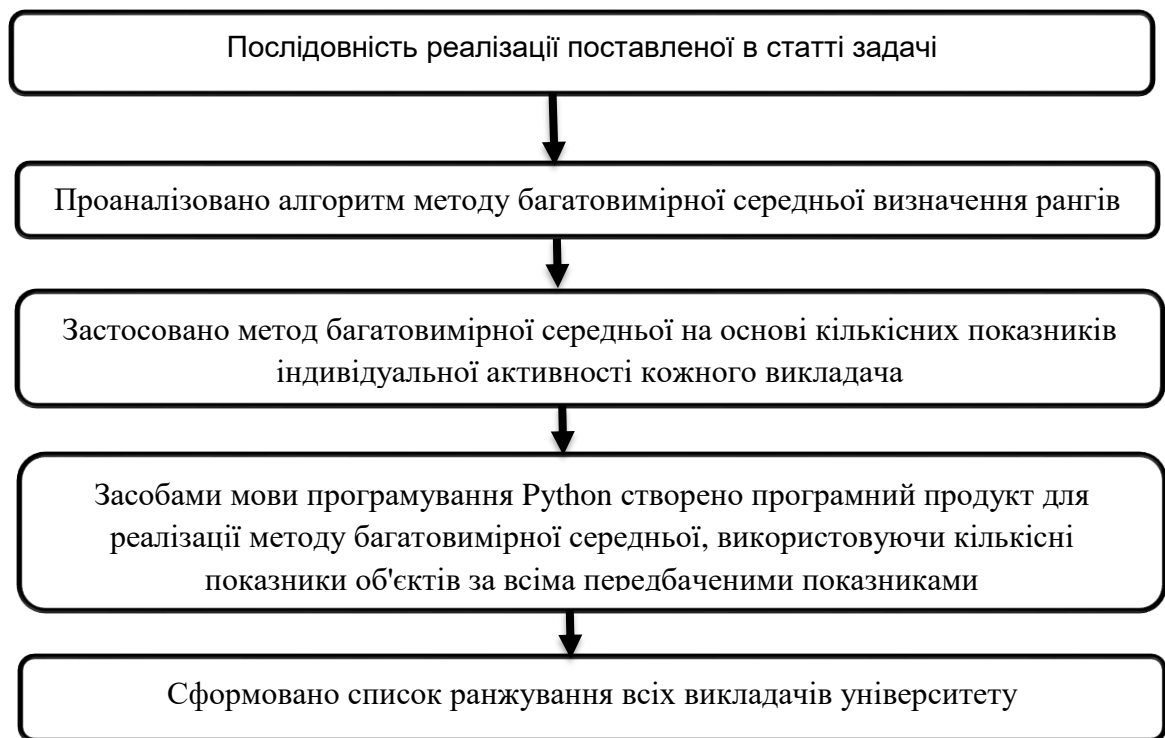


Рис.4 – Структурна схема реалізації використання методу багатовимірної середньої для оптимізації формування рейтингу науково-педагогічних працівників ВНУ.

Застосування методу багатовимірної середньої для визначення величин формування рейтингу викладачів Університету. Аналіз всіх відомих нам методик обрахунку рейтингу викладачів показує, що всі вони використовують просте сумування кількісних показників певних параметрів для кожної особи, а потім, внаслідок порівняння здійснюють ранжування.

Такий алгоритм ефективний, але має недоліки, особливо, коли доводиться порівнювати здобутки людей не з вершини списку, де градація очевидна, а в тій частині, де сумарна кількість балів для значної кількості науково-педагогічних працівників є однаковою (рис.5). Тут доводиться застосовувати якісь додаткові критерії розмежування. Найчастіше застосовують розташування за алфавітом, а це спричиняє «різничитання» та спотворення реальної картини дійсності, а іноді і не абсолютно правильного морального і матеріального заохочення. А це вже проблема.

Використання ж методу багатовимірної середньої усуває повністю дану проблему, оскільки сам алгоритм знаходження відносного показника за кожним параметром передбачає отримання дробового числа, яке ми можемо заокруглити до певного розряду відразу, або ж спочатку здійснити всі операції з ним, а заокруглення застосувати вже перед самою візуалізацією. Саме останню процедуру ми й передбачили в алгоритмі нашого програмного продукту. І це дало змогу безпечібно розташувати кожного науково-педагогічного працівника саме на його заслужено зайнятій позиції.

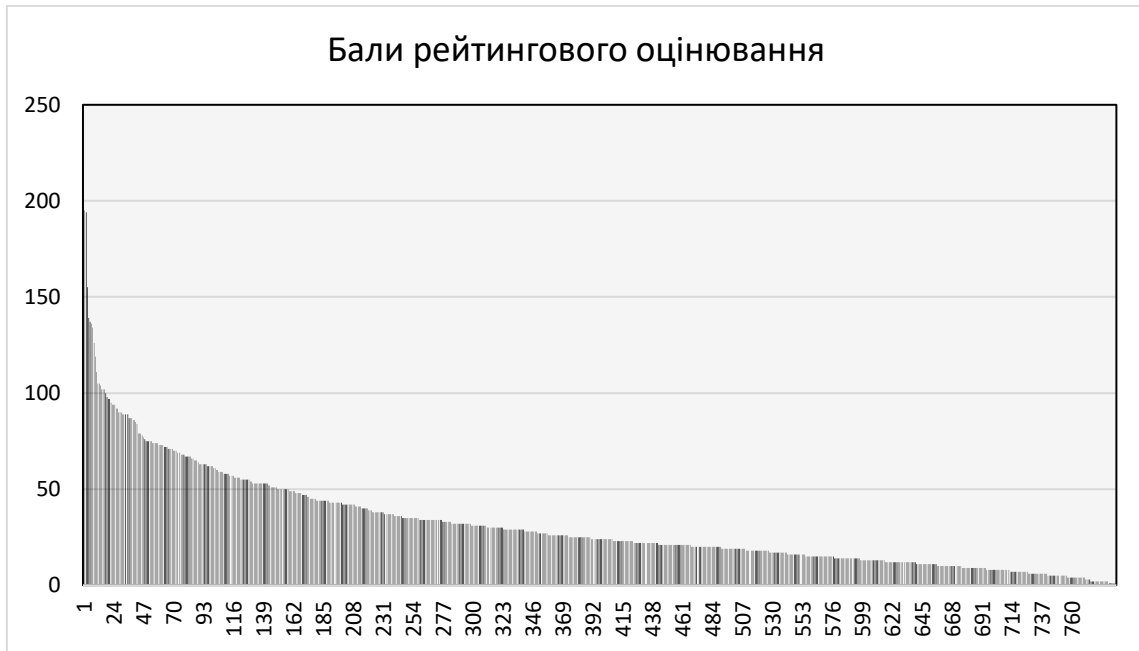


Рис.5 – Гістограма результатів рейтингового оцінювання науково-педагогічних працівників ВНУ шляхом простого сумування балів, визначених як пріоритетні для такого підрахунку.

Для реалізації методу засобами створеного нами програмного продукту, ми внесли реальні дані конкретних викладачів в комплексну базово-розрахункову таблицю (Табл.3).

```
# Функція для підключення до бази даних в MongoDB
def connect_to_mongodb():
    try:
        # Встановлення з'єднання з базою даних
        client = pymongo.MongoClient("mongodb://localhost:27017/")
        db = client["teachers_database"]
        collection = db["teachers"]
        return collection

    # Хендлер можливих помилок
    except Exception as e:
        print(f"Помилка підключення до MongoDB: {str(e)}")
        return None

# Функція для додавання даних до бази даних. Формат даних в parameters:
# {Name: **, Value: **}
def add_data(collection, name, parameters):
    try:
        # Схема для додавання даних
        data = {
            "Name": name,
            "Parameters": parameters
        }
        collection.insert_one(data)
        print(f"Дані для {name} успішно додані!")
    except Exception as e:
        print(f"Помилка додавання даних до MongoDB: {str(e)}")
```

Наступним кроком є знаходження середнього значення по кожному критерію (параметр x_{ij}) та формування відносних величин по кожному критерію для конкретного працівника (створення рядка сумування – «нормовані показники» p_{ij}).

```
# Функція для розрахунку суми поля 'Value' у параметрах
def calculate_score(parameters):
    res = sum(param["Value"] for param in parameters)
    return res
```

Таблиця 3 – Комплексна базово-розрахункова таблиця для внесення кількісних показників об'єктів по кожному параметру та їх обрахунку за методом багатовимірної середньої

№ п / п , i	Викладачі	Кількісні показники за поточний рік x_{ij}				Нормовані показники p_{ij}				Сума нормованих значень показників	Багатовимірні середня величина, P_i
		П ар ам ет р x_{i1}	Па ра ме тр x_{i2}	..	Па ра ме тр x_{ij}	Па ра ме тр p_{i1}	Па ра ме тр p_{i2}	..	Па ра ме тр p_{ij}		
1	Викл1	6	0	...	4	5,45	0	...	4,3	120,8	1,89
2	Викл2	1	2	...	1	0,91	2,25	...	1,08	69	1,08

n	Виклк	2	1	...	1	1,82	1,12	...	1,08	37	0,58
		1,1	0,89	...	0,93						

Необхідно визначити середню багатовимірну величину для кожного значення.

Для обчислення нормованого значення j -ї ознаки I -го тестування за формулою

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\bar{x}_j}, \quad (8)$$

необхідно спочатку визначити середнє значення j -ї ознаки для кожного параметра \bar{x}_j . Середнє значення для всіх об'єктів визначають як звичайну середню арифметичну.

В алгоритмі створеного нами на мові програмування Python програмного продукту передбачили відповідні обрахунки, згідно (6) та (7). Знайшли суму нормованих значень всіх показників для кожного об'єкта. І це дало змогу визначити багатовимірну середню величину P_i , яка, на нашу думку, є адекватною числовою величиною, яка реально відображає індивідуальний рейтинг кожного викладача Університету.

Причому, використання реалізованого нами алгоритму усуває проблему відносно великих груп з однаковими рейтинговими значеннями. Це забезпечується на етапі формування відносних рейтингових значень по кожному з параметрів, оскільки в процесі обчислення відношень (7) і (8) ми отримуємо дробові величини, які в таких випадках є близькими по значенню, але можуть відрізнятися десятими, сотими чи навіть тисячними значеннями. Але цього цілком достатньо для точного розташування конкретного об'єкта в таблиці рангів.

Проробивши цю процедуру, ми здійснюємо сортування таблиці (3) за полем «Багатовимірні середня величина» і отримуємо рейтинг всіх викладачів університету.

Функція для отримання та виведення відсортованих імен за рейтингом у спадяючому порядку

```
def print_sorted_names(collection):
    try:
        cursor = collection.find()
        data_list = list(cursor)
        # Реверсивне сортування з використанням анонімної функції
        data_list.sort(key=lambda x: calculate_score(x["Parameters"]),
reverse=True)
```

```
print("Відсортовані за рейтингом імена:")
for item in data_list:
    print(f"{item['Name']} - Рейтинг:
{calculate_score(item['Parameters'])}")
except Exception as e:
    print(f"Помилка отримання та сортування даних з MongoDB:
{str(e)}")
```

При використанні не абсолютних значень (відношень, відсотків, часток тощо) результати розрахунку середніх будуть визначені з похибками. Для точного розрахунку середніх необхідно знати абсолютні значення показників і на їх основі обчислювати відносні показники. У нашому випадку, для формування рейтингу Університету всі показники параметрів є кількісними величинами, що відображають надбання викладача за рік з конкретного виду діяльності. Отже, ці дані можна вважати абсолютними і такими, які не даватимуть похибки при розрахунку середніх.

Для здійснення самих розрахунків ми брали реальні значення кількості штатних викладачів у Волинському національному університеті імені Лесі Українки на момент написання статті – 780 одиниць (в Таблиці 3. за цю величину відповідає n). Також сталою була і величина j – кількість параметрів, які включені адміністрацією Університету для формування рейтингу в Положення. ($j = 64$).

Висновки. Проаналізувавши динаміку трансформації процесу формування рейтингу у Волинському національному університеті імені Лесі Українки з початку його реалізації в 2013 році і дотепер, ми виявили, що сам підсумковий підрахунок може бути здійснено більш ефективно і з врахуванням більшої кількості параметрів які застосовують у своїй професійній діяльності викладачі за допомогою методу багатовимірної середньої.

Застосувавши метод багатовимірної середньої на основі кількісних показників індивідуальної активності кожного викладача, ми сформували список ранжування всіх викладачів університету.

Отриманий список в основному корелює з офіційно оприлюдненими списками рейтингових оцінювань викладачів Університету, але усуває ряд недоліків, пов'язаних з кількістю рейтингових параметрів та з обмеженням кількісних показників об'єктів по деяких параметрах.

Причому, використання реалізованого нами алгоритму усуває проблему відносно великих груп з однаковими рейтинговими значеннями.

Отже, запропонований метод багатовимірної середньої, реалізований створеною нами програмою засобами Python для обрахунку рейтингу науково-педагогічних працівників ВНУ імені Лесі Українки є таким, що адекватно відображає індивідуальний внесок викладачів в розбудову вузу.

Список бібліографічного опису:

1. Положення про рейтингове оцінювання викладачів, кафедри, факультету (інституту) у Волинському національному університеті імені Лесі Українки [Електронний ресурс]. – https://vnu.edu.ua/sites/default/files/2022-06/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3%202022_0.pdf. Дата доступу: 19.07.2023.
2. Дубас Ю. Застосування методу багатовимірної середньої при формуванні індивідуальних навчальних траєкторій студентів ІТ-спеціальностей / Юрій Дубас, Наталія Кунанець // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Інформаційні системи та мережі. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. — № 7. — С. 70–77.
- 3.Рекомендаційні системи. Огляд: Energyfirefox [Електронний ресурс]. – <http://energyfirefox.blogspot.com/2013/12/blog-post.html>. Дата доступу: 19.01.2020
4. Как работают рекомендательные системы: Neurohive [Електронний ресурс]. – <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/rekomendatelnye-sistemy-modeli-i-ocenka/> – Дата доступу: 20.01.2020.
5. КНУ імені Тараса Шевченка / Рейтинг викладачів підрозділів природничого спрямування по факультетам: <https://science.knu.ua/research/ analytics/raitingfaculty2.php> / – Дата доступу: 19.09.2023.
6. НУ «Львівська політехніка» / Щорічне оцінювання науково-педагогічних і педагогічних працівників / <https://lpnu.ua/tszyao/shchorichne-otsiniuvannia-naukovo-pedahohichnykh-i-pedahohichnykh-pratsivnykh> / – Дата доступу: 19.09.2023.

References:

1. Regulations on the rating assessment of teachers, departments, faculties (institutes) at Lesya Ukrainka Volyn National University [Electronic resource]. - https://vnu.edu.ua/sites/default/files/2022-06/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%80%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B3%202022_0.pdf

- BB%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B3%202022_0.pdf. Access date: 19.07.2023.
2. Dubas Yu. Application of the multidimensional mean method in forming individual educational trajectories of IT specialty students / Yuri Dubas, Natalia Kunanets // Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic". Information systems and networks. - Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 2020. - No. 7. - P. 70–77.
3. Recommender systems. Overview: Energyfirefox [Electronic resource]. - <http://energyfirefox.blogspot.com/2013/12/blog-post.html>. Access date: 19.01.2020
4. How recommender systems work: Neurohive [Electronic resource]. - <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/rekomendatelnye-sistemy-modeli-i-ocenka/> - Access date: 20.01.2020.
5. Taras Shevchenko National University / Rating of faculty members of natural direction by faculties: <https://science.knu.ua/research/analytics/raitingfaculty2.php> / - Access date: 19.09.2023.
6. Lviv Polytechnic National University / Annual assessment of scientific and pedagogical staff / <https://lpnu.ua/tszyao/shchorichne-otsiniuvannia-naukovo-pedahohichnykh-i-pedahohichnykh-pratsivnykiv/> - Access date: 19.09.2023.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-27>

УДК 577.3

Федосов Сергій Анатолійович¹, д.ф.-м.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0003-3457-8911>

Замуруєва Оксана Валеріївна², к.ф.-м.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0003-0032-0613>

Никируй Любомир Іванович³, к.ф.-м.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-3754-0348>

Яремій Іван Петрович, д.ф.-м.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-8549-1173>

Яворський Ростислав Святославович³, доктор філософії (Фізика та астрономія), старший науковий співробітник,

<https://orcid.org/0000-0001-5690-7486>

¹Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

²Волинський національний університет імені Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

³Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ, Україна

ОЦІНКА НАУКОВОЇ ОБЛАСТІ КОМП'ЮТЕРНА ФІЗИКА ЗА АНАЛІТИЧНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ БАЗИ ДАНИХ SCOPUS

Федосов С.А., Замуруєва О.В., Никируй Л.І., Яремій І.П., Яворський Р.С. Оцінка наукової області комп'ютерна фізика за аналітичними можливостями бази даних Scopus. У статті показано аналітичні можливості міжнародної наукометричної бази даних Scopus. Проведено порівняльний аналіз передових публікацій світових і українських науковців в предметній категорії комп'ютерна фізика, індексованих у БД Scopus. Окреслено коло провідних видань, розглянуто особливості міжнародної співпраці у предметній категорії, проаналізовано фактори впливовості вчених різних країн на розвиток цієї наукової області. Сформульовано рекомендації для одержання якісної аналітичної оцінки результатів при аналізі і обробці даних з використанням БД Scopus.

Ключові слова: комп'ютерна фізика, публікації, наукові дослідження, БД Scopus.

Fedosov S., Zamurujeva O., Nykyruy L., Yaremiy I., Yavorskyi R. Evaluation of the scientific area of computer physics by the analytical capabilities of the Scopus database. The article shows the analytical capabilities of the Scopus international scientometric database. A comparative analysis of advanced publications of world and Ukrainian scientists in the subject category of computer physics, indexed in the Scopus database, was conducted. The range of leading publications was outlined, the peculiarities of international cooperation in the subject category were considered, and the factors of the influence of scientists of different countries on the development of this scientific area were analyzed. Recommendations for obtaining a qualitative analytical assessment of the results of data analysis and processing using the Scopus database were formulated.

Keywords: computer physics, publications, scientific research, Scopus database.

Постановка наукової проблеми.

Найвагоміші наукові результати, опубліковані після 1996 р., індексуються у міжнародній бібліографічній і реферативній базі даних Scopus. Scopus є удосконалений інструмент для відстеження цитованості статей, опублікованих у наукових виданнях. Пошуковий апарат Scopus інтегрований з пошуковою системою Scirus для пошуку вебсторінок і патентною БД, та має власні потужні аналітичні можливості. Однак, для об'єктивної оцінки цих результатів необхідними є додатковий аналіз і обробка даних.

Усе більш актуальними стають наукові дослідження, які є на стику різних галузей знань, наприклад, фізика і електроніка, фізика і комп'ютерні науки, тощо. Це є наслідком нових викликів, коли перед науковцями ставляться задачі, розв'язання яких потребують знаходження нових рішень, використовуючи дослідницькі бази інших наук. Тому закономірним є виникнення нових міжгалузевих чи мультиспеціальністних нових напрямків, серед яких комп'ютерна фізика.

Аналіз досліджень.

Оскільки концепція освіти для сталого розвитку на сьогодні не є інтегрованою в концепцію трансформації у закладах вищої освіти, важливими є дослідження в галузі університетської освіти [1]. Проблемним залишається питання підтримки створення нових міжгалузевих курсів, які часто вимагають сучасної і дорогої матеріальної бази, достатнього стимулу у науковців зі сторони своїх закладів [2]. Тому зміни пов'язані із введенням таких нових навчальних курсів відбуваються досить повільно [3]. Але саме міжгалузеві напрями мають найбільшу перспективу розвитку [4, 5]

Чисельні розрахунки фізичних властивостей напівпровідникових матеріалів електронної техніки і подальше моделювання конструкції пристроїв (сенсорів, сонячних, термо-, фото-елементів та ін.) на їх основі на даний час становлять значний науковий інтерес [6]. Застосування чисельного моделювання для симуляції розширених вимірювань на складних структурах, проектування та оптимізація передових конструктивних рішень для реалізації у сучасному напівпровідниковому приладобудуванні відкриває можливість зменшення часу та затрат на проведення дороговартісних експериментів [7]. У [8] авторами проведено аналіз публікацій авторитетних світових і українських науковців в області комп'ютерної фізики для розуміння закономірності щодо підтримки і розвитку цього напрямку у світі та в Україні і окреслено перспективи для спільних досліджень. У статті [9] критично аналізуються публікації вчених у напрямках «медична фізика» і «комп'ютерна фізика», розглянуто особливості міжнародної співпраці, окреслено коло провідних видань у наукових областях, проаналізовано фактори впливовості вчених різних країн на розвиток медичної і комп'ютерної фізики.

Постановка завдань. Метою дослідження є показати пошукові і аналітичні можливості БД Scopus, виконати порівняльний аналіз даних досліджень в світі та Україні у напрямі «Комп'ютерна фізика» на основі публікацій, індексованих у наукометричній БД Scopus, зробити спробу визначити специфіку даних в залежності від використання різних пошукових запитів.

Викладення основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Методологія досліджень. Проведено аналіз передових публікацій, індексованих у наукометричній базі Scopus з 1993 року. Для аналізу за ключовими словами «Computer physics» (Комп'ютерна фізика) відібрано статті із пошуку (Фільтр 1) у назві статті (Article title), анотації (Abstract) і ключових словах (Keywords) та тільки (Фільтр 2) у ключових словах (Keywords). Для порівняння аналізувалися найавторитетніші роботи, опубліковані авторами, які мають приналежність до наукових центрів у світі й в Україні.

Аналізувалися: афіліація, країни, наукові центри та прізвища авторів; видання, у яких здійснено публікацію та їх кількість; галузі знань, з якою позиціонується певна публікація; країни-партнери для українських науковців; наявність фінансової підтримки досліджень. Така методика була запропонована і апробована у [8, 9].

Аналіз результатів досліджень. На середину 2023 року у наукометричній БД Scopus відображено 62 627 (Фільтр 1) і 20 879 (Фільтр 2) документів, що відповідають критерію пошуку «Computer physics». Сумарний h-індекс для них складає $h = 401$ і 262 відповідно. На рис. 1 наведено діаграму країн із найбільшою кількістю публікацій, а також України. Для коректної порівняльної оцінки дані наведено у % від загальної кількості для кожної вибірки. Саме на ці 10 країн-лідерів припадає 95 % від загальної кількості публікацій з комп'ютерної фізики.

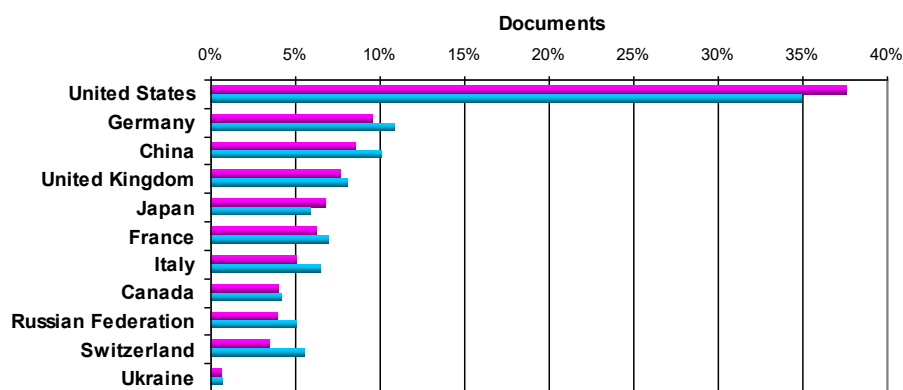


Рис. 1 – Діаграма країн із найбільшою кількістю публікацій і України з комп'ютерної фізики

На рис. 1 країни розташовані у порядку спадання кількості публікацій за «Фільтр 1» (рожеві стовпці). Відповідно до цих значень цікавим є порівняльний розподіл між двома заданими пошуками «Фільтр 1» і «Фільтр 2». Ці дані мають відмінний характер за пошуком по країнах не лише абсолютний, але й відносний. Хоча усі країни із найбільшою кількістю публікацій, незалежно від вибірки, входять у топ-10. Незаперечним лідером за кількістю публікацій (23 585 і 7 306) є США незалежно від пошукового фільтру. Серед однозначних країн-лідерів, також: Німеччина, Китай,

Великобританія тощо (рис. 1). Вченими зі США опубліковано більше третини всіх світових робіт – 38 і 35 % («Фільтр 1» і «Фільтр 2») відповідно. Крім США, переважаючим внеском 6,8 проти 5,9 % при використанні «Фільтр 1» має Японія. Другою за кількістю публікацій у світі (5 997 і 2 279) є Німеччина, де більша відносна кількість робіт з комп'ютерної фізики при «Фільтр 2» – 9,6 і 10,9 %. Приблизно така ж різниця за цим показником постерігається для Китаю, Франції, Італії, РФ, Швейцарії. Незалежно від заданого пошукового фільтра, лише для Великобританії та Канади майже однаковий (у %) внесок у світову науку.

Обґрунтованим є рейтинг провідних установ, які займають передові позиції за кількістю публікацій. Це науково-дослідні центри, які є незаперечними лідерами в дослідженнях з комп'ютерної фізики (табл. 1). В обох випадках («Фільтр 1» чи «Фільтр 2») лідируючу позицію займає *Європейська організація з ядерних досліджень* (Швейцарія), де працюють одні з найкращих світових науковців різних галузей знань для розв'язання найактуальніших проблем людства. Крім того, високі позиції водночас займають *Академія наук Китаю* (Китай), *Національний центр наукових досліджень* (Франція) і (усі із США) *Массачусетський технологічний інститут*, *Національна лабораторія ім. Лоуренса в Берклі*, *Стенфордський університет*, *Вісконсінський університет у Медісоні* тощо. Також, у залежності від вибірки в топ-10 науково-дослідних центрів входять: *Каліфорнійський університет в Берклі*, лабораторії – *Лос-Аламоська національна*, *Брукхейвенська національна*, *Національна прискорювальна ім. Енріко Фермі* (усі із США), *Токійський університет* (Японія), *Національний інститут ядерної фізики* (Італія). Закономірно, що усі провідні установи належать саме країнам-лідерам.

Таблиця 1 – Провідні науково-дослідні центри за кількістю публікацій у напрямі досліджень «Комп'ютерна фізика»

у назві статті, анотації і ключових словах	у ключових словах
Світові	
<i>European Organization for Nuclear Research, Switzerland</i>	<i>European Organization for Nuclear Research, Switzerland</i>
<i>Chinese Academy of Sciences, China</i>	<i>Chinese Academy of Sciences, China</i>
<i>CNRS Centre National de la Recherche Scientifique, France</i>	<i>CNRS Centre National de la Recherche Scientifique, France</i>
<i>Stanford University, US</i>	<i>Massachusetts Institute of Technology, US</i>
<i>Massachusetts Institute of Technology, US</i>	<i>Fermi National Accelerator Laboratory, US</i>
<i>Los Alamos National Laboratory, US</i>	<i>Lawrence Berkeley National Laboratory, US</i>
<i>Lawrence Livermore National Laboratory, US</i>	<i>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – INFN, Italy</i>
<i>University of California, Berkeley, US</i>	<i>University of Wisconsin-Madison, US</i>
<i>University of Wisconsin-Madison, US</i>	<i>Brookhaven National Laboratory, US</i>
<i>The University of Tokyo, Japan</i>	<i>Stanford University, US</i>
Українські	
<i>National Academy of Sciences in Ukraine</i>	<i>National Academy of Sciences in Ukraine</i>
<i>Institute for Condensed Matter Physics NASU</i>	<i>Vinnitsia National Technical University</i>
<i>National Science Center Kharkov Institute of Physics and Technology</i>	<i>National Science Center Kharkov Institute of Physics and Technology</i>
<i>Vinnitsia National Technical University</i>	<i>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»</i>
<i>Taras Shevchenko National University of Kyiv</i>	<i>Institute of Nuclear Research NASU</i>
<i>V.N. Karazin Kharkiv National University</i>	<i>Institute of Physics NASU & Taras Shevchenko National University of Kyiv & Lviv Polytechnic National University</i>
<i>Institute of Nuclear Research NASU</i>	
<i>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute</i>	
<i>Institute of Physics NASU</i>	

Для науковців з українських організацій (рис. 1) кількість публікацій присвячених проблемам комп'ютерної фізики значно менша ніж загальносвітова і, залежно від пошукового фільтра, становить 399 і 149 із h-індексом 36 і 18. Однозначними провідними українськими установами за кількістю публікацій з комп'ютерної фізики (табл. 1) є: *Національна академія наук України*, *Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»*, *Вінницький національний технічний університет*, *Київський національний університет імені Тараса Шевченка*, *Національний*

технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», а також інститути НАНУ – Інститут ядерних досліджень, Інститут фізики тощо.

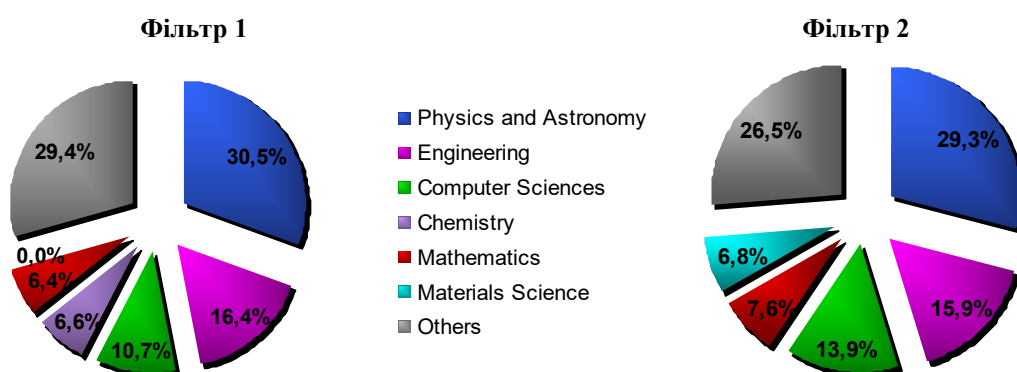
Зазвичай найбільшу кількість важливих результатів досліджень світових науковців опубліковано у авторитетних виданнях Q1 і Q2 (табл. 2). Але в залежності від заданого пошуку це різні журнали: *Journal of Chemical Physics*, *Physics in Medicine and Biology*, *Journal of Applied Physics*, *Applied Physics Letters* (Фільтр 1) і *Physical Review Letters*, *Computer Physics Communications* (Фільтр 2). Спільним у топ-5 є *Journal of Physics: Conference Series*. Також, значна кількість публікацій видана не лише у топових журналах, але й у великій кількості матеріалів конференцій, таких як *Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering*, *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record* та ін. Це вказує на важливість участі науковців у конференціях і представлення на них своїх результатів.

Українські науковці найчастіше публікують свої результати (табл. 2) у матеріалах конференцій: *Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering*, *CEUR Workshop Proceedings*, *AIP Conference Proceedings*. Значну їх кількість опубліковано також у виданнях Q1: *Journal of Chemical Physics* (Фільтр 1) і *Computer Physics Communications*, *Journal of Physics: Condensed Matter* (Фільтр 2).

Таблиця 2 – Найпоширеніші джерела видань(країна (SJR)) у напрямі досліджень «Комп'ютерна фізика»

у назві статті, анотації і ключових словах	у ключових словах
Світові дослідження	
<i>Journal of Chemical Physics</i> , US (Q1 1,1)	<i>Journal of Physics: Conference Series</i> , UK (Q4 0,21)
<i>Physics in Medicine and Biology</i> , UK (Q1 1,06)	<i>Physical Review Letters</i> , US (Q1 3,69)
<i>Journal of Applied Physics</i> , US (Q2 0,67)	<i>Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering</i> , US (0,19)
<i>Journal of Physics: Conference Series</i> , UK (Q4 0,21)	<i>Computer Physics Communications</i> , NL (Q1 1,32)
<i>Applied Physics Letters</i> , US (Q1 1,03)	<i>IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record</i> , US
Українські дослідження	
<i>Journal of Chemical Physics</i> , US (Q1 1,1)	<i>Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering</i> , US (0,19)
<i>Proceedings of SPIE The International Society for Optical Engineering</i> , US (0,19)	<i>CEUR Workshop Proceedings</i> , US (0,18)
<i>CEUR Workshop Proceedings</i> , US (0,18)	<i>Journal of Physics: Conference Series</i> , UK (Q4 0,21)
<i>Journal of Applied Physics</i> , US (Q2 0,67)	<i>Computer Physics Communications</i> , NL (Q1 1,32) & <i>Journal of Physics Condensed Matter</i> , UK (Q1 0,91)
<i>AIP Conference Proceedings</i> , US (0,19)	

Для всіх публікацій по світу пов'язаних з комп'ютерною фізикою, однозначно переважаючими (понад 70 %) є галузі знань «Фізика та астрономія», «Інженерія», «Комп'ютерні науки» і «Математика» (рис. 2а,б). У залежності від пошуку у топ-5 також входять «Хімія» і «Матеріалознавство».



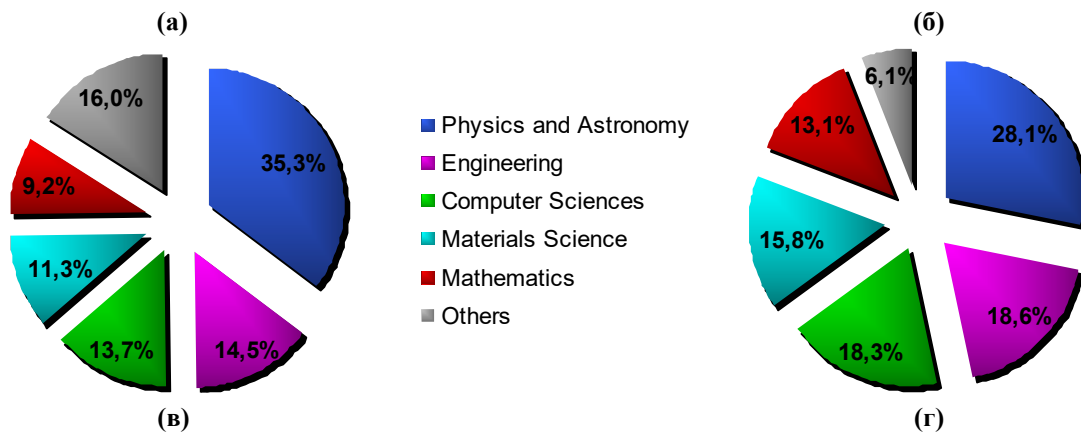


Рис. 2 – Переважаючі галузі знань при різних пошукових фільтрах публікацій з «Комп'ютерна фізика»: (а), (б) світових і (в), (г) українських

Для України переважаючі галузі такі ж як у світі (рис. 2в,г), з незначними відсотковими відмінностями в залежності від пошукової вибірки, і чіткішим спрямуванням публікацій за цими областями, а на інші галузі припадає лише 16 і 6,1 %, тоді як у світі – більше 26 %. Це показує про значно ширше використання комп'ютерної фізики у різних прикладних сферах. Не значно відрізняються світові відсоткові значення кількості публікацій проти українських пов'язаних з галузями знань «Фізика та астрономія» (30,5 і 35,3; 29,3 і 28,1 %), «Інженерія» (16,4 і 14,5; 15,9 і 18,6 %), «Комп'ютерні науки» (10,7 і 13,7; 13,9 і 18,3 %). Тоді як для галузей «Математика» (6,4 і 9,2; 7,6 проти 13,1 %) і «Матеріалознавство» (н/д проти 11,3; 6,8 проти 15,8 %) спостерігається значний «перекос». Перевага за кількістю публікацій галузі «Фізика та астрономія» вказує на те, що відповідні дослідження більше інтегровані саме до конкретних областей фізики або астрономії і перейшли у практичне русло, яке пов'язане з інженерією, інформатикою, матеріалознавством тощо.

Схожим є аналіз країн, з представниками яких частіше йдуть на співпрацю. Для України це науково-технічно розвинуті країни, які мають можливість надати матеріальну базу високого рівня. Закономірна така співпраця і значна кількість спільних публікацій з США, Польща, Німеччина Казахстан тощо (табл. 3). Як і при оцінках результатів за вищезгаданими критеріями, спостерігаємо серед країн-партнерів, залежно від пошуку також, незначні відмінності.

Таблиця 3 – Країни-партнери для українських досліджень у напрямі «Комп'ютерна фізика»

у назві статті, анотації і ключових словах	у ключових словах
United States	Poland
Poland	Kazakhstan
Germany	Germany
Kazakhstan	Russian Federation
Russian Federation	United States
France	France & Italy
Italy	Switzerland
United Kingdom	United Kingdom
Switzerland	

Найбільшими світовими організаціями, що фінансують дослідження в даній галузі – здебільшого організації з США (табл. 4): *National Science Foundation, U.S. Department of Energy, National Natural Science Foundation of China, National Institutes of Health, European Commission* тощо. Позиції цих найбільших організацій-спонсорів майже не залежить від заданого пошуку.

Таблиця 4 – Найбільші світові організації, що фінансують дослідження у напрямі «Комп'ютерна фізика»

у назві статті, анотації і ключових словах	у ключових словах
Світові дослідження	
<i>National Science Foundation</i>	<i>National Science Foundation</i>
<i>US Department of Energy</i>	<i>US Department of Energy</i>

<i>National Institutes of Health</i>	<i>National Natural Science Foundation of China</i>
<i>National Natural Science Foundation of China</i>	<i>National Institutes of Health</i>
<i>US Department of Health and Human Services</i>	<i>European Commission</i>
<i>European Commission</i>	<i>US Department of Health and Human Services</i>
<i>US Department of Defense</i>	<i>Deutsche Forschungsgemeinschaft</i>
<i>Deutsche Forschungsgemeinschaft</i>	<i>Engineering and Physical Sciences Research Council</i>
<i>Engineering and Physical Sciences Research Council</i>	<i>Seventh Framework Programme</i>
<i>Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology</i>	<i>US Department of Defense</i>
Українські дослідження	
<i>European Commission</i>	<i>European Commission</i>
<i>Ministry of Education and Science of Ukraine</i>	<i>Government of Canada</i>
<i>National Institutes of Health</i>	<i>Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada</i>
<i>National Science Foundation</i>	<i>Council of Canada</i>
<i>Deutsche Forschungsgemeinschaft</i>	<i>Russian Foundation for Basic Research</i>
<i>US Department of Health and Human Services</i>	<i>AUTO21 Network of Centres of Excellence</i>
<i>US Department of Energy</i>	<i>Agence Nationale de la Recherche</i>
<i>National Academy of Sciences of Ukraine</i>	<i>Canada Research Chairs</i>
<i>National Institute of General Medical Sciences</i>	<i>Chemical Sciences, Geosciences, and Biosciences Division</i>
<i>Alexander von Humboldt-Stiftung</i>	<i>Consiglio Nazionale delle Ricerche</i>
	<i>Delta</i>

Для України ситуація із державною підтримкою складніша. Спільним для обох пошукових запитів серед топ-спонсорів є лише *European Commission* (Бельгія) (табл. 4). Незначна кількість публікації, де вказано виконання за сприянням *НАНУ*, *МОНУ* і *ДФФД МОНУ*. Зате є публікації із українськими науковцями, дослідження яких підтримані *Government of Canada* і *Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada* (Канада) тощо. Фінансуються українські дослідження і світовими топ-спонсорами: *National Institutes of Health*, *National Science Foundation*, *Deutsche Forschungsgemeinschaft* тощо. Як правило, українські вчені виконують дослідження або в закордонних інституціях, в рамках гранту, або співпраці організацій. Тому вчені є співавторами багатьох спільних статей. Важливою проблемою у науковців з України є не деталізація на метаданих (відсутність спонсора), або виконання досліджень без фінансової підтримки. Як наслідок, із проіндексованих публікацій з українськими науковцями менше третини мають відомості про фінансування дослідження.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Аналітичні можливості БД Scopus дозволяють визначити основні тенденції розвитку комп'ютерної фізики у світі та Україні. Неоднозначність одержаних результатів від заданого пошукового алгоритму зумовлена рядом факторів. Зокрема, некоректний англomовний тег (ключові слів для пошуку) не дає однозначного правильного пошукового результату. Ні один з пошукових запитів не дає повної інформації – у першому випадку (Фільтр 1) результати завищені, у другому (Фільтр 1) лише частково відображені, і тому потребують додаткового аналізу і обробки. Сама ж оцінка результатів суттєво залежить від кількості даних. Значно краще відтворення мають світові дані в порівнянні з українськими, яких значно менше. При підготовці й оформленні публікацій необхідно приділяти важливу увагу анотації і ключовим словам, щоб вони в повній мірі відображали зміст і результати наукових досліджень статті.

Список бібліографічного опису

1. Леаль Фільо, В. Раат, С., Лаццаріні, Б., Варгас, В.Р., де Соуза, Л., Анхолон, Р., Кельхас, О.Л.Г., Хаддад, Р., Клавінс, М., Орлович, В.Л. (2018). Роль трансформації в навчанні та освіті для сталого розвитку. *Журнал чистого виробництва*, 199, 286–295. DOI: [10.1016/j.jclepro.2018.07.017](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.017)
2. Гувер, Е., Хардер, М.К. (2015). Що ховається під поверхнею? Приховані складності організаційних змін для сталості вищої освіти. *Журнал чистого виробництва*, 106, 175–188. DOI: [10.1016/j.jclepro.2014.01.081](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.081)
3. Уотсон, М.К., Лозано, Р., Нойес, К., Роджерс, М. (2013). Більш цілісна оцінка внеску навчальних програм у сталий розвиток: досвід інтеграції оцінки навчальних програм і сприйняття студентами Технологічного інституту Джорджії. *Журнал чистого виробництва*, 61, 106–116. DOI: [10.1016/j.jclepro.2013.09.010](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.010)

4. Феррер-Балас, Д., Бакленд, Х., де Мінго, М. (2009). Дослідження ролі університету в суспільстві для сталого розвитку через підхід системного переходу. Практичний приклад Каталонського технічного університету (КТУ). *Журнал чистого виробництва*, 17(12), 1075–1085. DOI: [10.1016/j.jclepro.2008.11.006](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.006)
5. Стерлінг, С. (2013). Сталый університет: виклик і відповідь. В *Сталый університет: прогрес і перспективи* (сс. 17–50). Абінгдон : Рутледж. DOI: [10.4324/9780203101780](https://doi.org/10.4324/9780203101780)
6. Моралес-Асеведо, А., Ернандес-Комо, Н., Касадос-Крус, Г. (2012). Моделювання сонячних елементів: метод підвищення їх ефективності. *Матеріалознавство та інженерія Б*, 177(16), 1430–1435. DOI: [10.1016/j.mseb.2012.01.010](https://doi.org/10.1016/j.mseb.2012.01.010)
7. Салій, Я.П., Яворський, Р.С. (2021). Моделювання перерозподілу імплантованої домішки, стимульованої вакансіями. *Матеріали сьогодні: Збірник матеріалів*, 35(4), 576–578. DOI: [10.1016/j.matpr.2019.11.017](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.017)
8. Никируй, Л.І., Федосов, С.А., Яремій, І.П., Замуруєва, О.В., Федосов, В.С., Сахнюк, П.В. (2021). Актуальні проблеми комп'ютерної фізики. *Перспективні технології та прилади*, 19, 104–109. DOI: [10.36910/6775-2313-5352-2021-19-17](https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2021-19-17)
9. Никируй, Л.І., Федосов, С.А., Яремій, І.П., Замуруєва, О.В., Тимошук, А.Б., Федосов, В.С. (2021). Прикладні області досліджень сучасної фізики: медична і комп'ютерна фізика. *Наукові нотатки*, 72, 36–44. DOI: [10.36910/775.24153966.2021.72.6](https://doi.org/10.36910/775.24153966.2021.72.6)

References

1. Leal Filho, W., Raath, S., Lazzarini, B., Vargas, V.R., de Souza, L., Anholon, R., Quelhas, O.L.G., Haddad, R., Klavins, M., Orlovic, V.L. (2018). The role of transformation in learning and education for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 199, 286–295. DOI: [10.1016/j.jclepro.2018.07.017](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.017)
2. Hoover, E., Harder, M.K. (2015). What lies beneath the surface? The hidden complexities of organizational change for sustainability in higher education. *Journal of Cleaner Production*, 106, 175–188. DOI: [10.1016/j.jclepro.2014.01.081](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.081)
3. Watson, M.K., Lozano, R., Noyes, C., Rodgers, M. (2013). Assessing curricula contribution to sustainability more holistically: Experiences from the integration of curricula assessment and students' perceptions at the Georgia Institute of Technology. *Journal of Cleaner Production*, 61, 106–116. DOI: [10.1016/j.jclepro.2013.09.010](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.010)
4. Ferrer-Balas, D., Buckland, H., de Mingo, M. (2009). Explorations on the University's role in society for sustainable development through a systems transition approach. Case-study of the Technical University of Catalonia (UPC). *Journal of Cleaner Production*, 17(12), 1075–1085. DOI: [10.1016/j.jclepro.2008.11.006](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.006)
5. Sterling, S. (2013). The sustainable university: Challenge and response. In *The sustainable university: Progress and prospects* (pp. 17–50). Abingdon : Routledge. DOI: [10.4324/9780203101780](https://doi.org/10.4324/9780203101780)
6. Morales-Acevedo, A., Hernández-Como, N., Casados-Cruz, G. (2012). Modeling solar cells: a method for improving their efficiency. *Materials Science and Engineering B*, 177(16), 1430–1435. DOI: [10.1016/j.mseb.2012.01.010](https://doi.org/10.1016/j.mseb.2012.01.010)
7. Saliy, Ya.P., Yavorskyi, R.S. (2021). The redistribution modeling of implanted impurity stimulated by vacancies. *Materials Today: Proceedings*, 35(4), 576–578. DOI: [10.1016/j.matpr.2019.11.017](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.017)
8. Nykyruy, L.I., Fedosov, S.A., Yaremiy, I.P., Zamurujeva, O.V., Fedosov, V.S., Sakhnyuk, P.V. (2021). Current Problems of Computer Physics. *Perspective Technologies and Devices*, 19, 104–109. DOI: [10.36910/6775-2313-5352-2021-19-17](https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2021-19-17)
9. Nykyruy, L., Fedosov, S., Yaremiy, I., Zamurujeva, O., Tymoshchuk, A., Fedosov, V. (2021). Applied Fields of Modern Physics Research: Medical and Computer Physics. *Scientific Notes*, 72, 36–44. DOI: [10.36910/775.24153966.2021.72.6](https://doi.org/10.36910/775.24153966.2021.72.6)

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-28>

УДК 004.8:621.391

Беляков Роберт Олегович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-9882-3088>

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ, Україна

ІЄРАРХІЧНА МОДЕЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ НАЗЕМНО-ПОВІТРЯНОЇ КОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Беляков Р.О. Ієрархічна модель інтелектуального управління наземно-повітряної комунікаційної мережі спеціального призначення. У сучасних наземно-повітряних мобільних мережах, які включають комунікаційні вузли із різними технічними характеристиками, мають велику розмірність – тисячі користувачів із запитом на різноманітні сервіси, один із викликів полягає у забезпеченні ефективного управління. Така масштабність та динамічна природа середовища функціонування створює значне функціональне навантаження на систему управління, вимагаючи декомпозиції задач управління. Ефективне рішення вбачається у чіткому розділенні цілей на користувачькі та мережеві, що дозволить оптимізувати роботу мережі та задовольнити потреби абонентів. Проведений аналіз існуючих моделей методів та алгоритмів координації, управління та оптимізації у багаторівневих системах наземно-повітряних комунікаційних мереж типу Ad-Hoc показав, що вони здебільшого мають вузькоспрямовані завдання реалізації окремих цільових функцій. В статті вперше запропоновано ієрархічну модель інтелектуального управління наземно-повітряної комунікаційної мережі, що з точки зору загальної структури відповідає існуючій ієрархічній моделі для управління наземними мобільними радіомережами, однак розширена описом повітряної мережі. Крім того, в статті показано процес функціональної взаємодії між рівнями вузол – вузол-метаагент – вузол-координатор у вигляді алгоритму. Для оптимізації процесу міжрівневої взаємодії пропонується застосувати алгоритми машинного навчання із підкріпленням. Також в статті математично описано процес управління політиками винагород та штрафів. Встановлено, що ітеративні методи забезпечують більшу гнучкість та адаптивність, але можуть вимагати більше часу для знаходження оптимального рішення, проте у випадку завчасного формування статистичної вибірки функціонування окремих підсистем управління, можливе застосування безітеративних методів оптимізації на початковому етапі функціонування, а також зменшення часу ітеративного процесу донавання інтелектуальних систем управління вузлів-координаторів та вузлів-метаагентів.

Ключові слова: інтелектуальне управління, машинне навчання із підкріпленням, прогнозування, модель мобільності, наземно-повітряна комунікаційна мережа, мобільна базова станція, мобільний користувач, система управління, радіозв'язність, мультикастова група, SDR

Bieliakov R. Hierarchical model of intelligent management of special purpose ground-air communication network.

In modern ground-air mobile networks, which include communication nodes with different technical characteristics, have a large dimension – thousands of users with requests for various services, one of the challenges is to ensure effective management. Such large-scale and dynamic nature of the operating environment creates a significant functional load on the management system, requiring the decomposition of management tasks. An effective solution is seen in the clear separation of goals into user and network goals, which will allow optimizing the network and meeting the needs of subscribers. The analysis of existing models of methods and algorithms for coordination, management and optimization in multi-level systems of Ad-Hoc type ground-air communication networks showed that they mostly have narrowly focused tasks of implementing individual target functions. In the article, for the first time, a hierarchical model of intelligent control of the ground-air communication network is proposed, which, from the point of view of the general structure, corresponds to the existing hierarchical model for the control of land mobile radio networks, but expanded by the description of the air network. In addition, the article shows the process of functional interaction between the node – node-metaagent – node-coordinator levels in the form of an algorithm. To optimize the process of interlevel interaction, it is proposed to apply machine learning algorithms with reinforcement. The article also mathematically describes the process of managing rewards and fines policies. It has been established that iterative methods provide greater flexibility and adaptability, but may require more time to find the optimal solution, however, in the case of early formation of a statistical sample of the functioning of individual control subsystems, it is possible to use non-iterative optimization methods at the initial stage of functioning, and reduce the time of the iterative process of retraining intelligent management systems of coordinator nodes and metaagent nodes.

Keywords: intelligent control, machine learning with reinforcement, prediction, mobility model, ground-air communication network, mobile base station, mobile user, control system, radio communication, multicast group, SDR

Постановка наукового завдання.

Для управління процесами інформаційного обміну в перспективних наземно-повітряних комунікаційних мережах (НПМ) класу MANET і FANET (рис. 1), однією із задач управління є розділення мережі на підмережі або зони. Враховуючи, що НПМ можуть складатись із підмереж, а саме: наземних комунікаційних вузлів, мобільних базових станцій, безпроводових сенсорних мереж, підмереж повітряних комунікаційних аероплатформ, при чому розмірність таких підмереж може сягати тисяч абонентів, кожен з яких може мати запити на реалізацію різних сервісів для забезпечення інформаційного обміну, а отже, створювати дуже високе «функціональне навантаження» на процес управління. Тобто, для реалізації процесу управління НПМ необхідно здійснювати декомпозицію задач і забезпечити два основних класи цілей управління –

користувальницькі та мережеві.

В класичному розумінні управління мережею може здійснюватися централізовано – через центр управління мережею або децентралізовано з використанням алгоритмів адаптивного та/або інтелектуального управління. У кожному із способів управління для прийняття оптимальних або субоптимальних рішень необхідно вирішити протиріччя, що виникає при зборі, обробці та обміні великою кількістю даних про стани вузлових елементів в динамічному середовищі функціонування, пов'язане із обсягами службової та корисної інформації.

Таким чином, **актуальним** є завдання розробки нової ієрархічної моделі взаємодії вузлових елементів перспективної наземно-повітряної комунікаційної мережі спеціального (військового) призначення для забезпечення заданої якості інформаційного обміну в умовах високої динаміки середовища функціонування.

Метою статті є розробка ієрархічної моделі взаємодії інтелектуальних систем управління вузлів наземно-повітряних комунікаційних мереж спеціального (військового) призначення та визначення функціональних зв'язків ієрархічної структури наземної та повітряної мережі.

Об'єктом дослідження є процеси збору та обробки інформації про стан вузлових елементів та середовища функціонування для формування управляючих впливів для реалізації мережевих і користувальницьких цільових функцій. Відповідно, **предметом дослідження** є моделі, методи та алгоритми координації та оптимізації у багаторівневих системах.

Основними завданнями статті є наступні:

1. Аналіз існуючих моделей, методів та алгоритмів координації та оптимізації у багаторівневих системах управління наземно-повітряних комунікаційних мереж типу Ad-Hoc.
2. Дослідження особливостей функціонування наземно-повітряних комунікаційних мереж.
3. Формалізація запропонованої ієрархічної моделі взаємодії інтелектуальних систем управління вузлів наземно-повітряних комунікаційних мереж спеціального (військового) призначення.

Аналіз останніх публікацій.

Більшість проаналізованих наукових праць із предметної області були спрямовані на вирішення вузьконаправлених задач управління за певними критеріями. Наприклад, в дослідженні [1] запропоновано метод розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації комп'ютерної мережі. Запропоновано оптимізаційну модель оновлення комп'ютерної мережі. Дана модель враховує такі параметри як вартість оновлення, пропускну здатність, інтенсивність відмов і класифікована як багатокритеріальна задача. Для розв'язку цієї задачі запропоновано використати метод квазіоптимізації локальних критеріїв. Для оптимізації локальних задач використано симплекс-метод.

В статті [2] пропонується мультиагентна модель системи підтримки прийняття рішення по управлінню розподіленими об'єктами. В статті визначена цільова функція мультиагентної множини реструктуризації систем підтримки прийняття рішень (СППР) у виді сумарного максимального часу збору даних вузлами СППР.

У науковій праці [3] запропоновано функціональну модель системи управління наземно-повітряними мережами у вигляді ієрархії взаємодії центру управління, систем управління телекомунікаційними аероплатформами, систем управління наземними вузлами. Проведено класифікацію задач управління повітряними мережами, визначено множину цільових функцій управління мережами. Розглянуто особливості побудови моделі прийняття рішень з управління мережею телекомунікаційних аероплатформ.

Стаття [4] присвячена розробці моделі інтелектуального управління ресурсами наземної комунікаційної мережі класу MANET. Управління мережами MANET є складним завданням через їхню динамічну природу, високу мобільність вузлів, обмежені ресурси: енергію батареї, технічні характеристики комунікаційних засобів, протоколи різних рівнів моделі OSI, та потребу реалізації функцій управління на вузловому і мережевому рівні в умовах відсутності централізованого контролю.

В роботах [5, 6] для об'єднання різнорідних інтелектуальних агентів (ІА) в інтелектуальній системі управління (ІСУ) мобільної радіомережі (МР) в роботі вперше запропоновано ієрархічну модель взаємодії ІА, суть якої полягає в концептуальному представленні ІСУ МР у вигляді ієрархічної структури з вертикальними зв'язками, які визначають підпорядкованість задач управління МР.

В статті [7] розглянуті основні підходи, методи (протоколи) фізичного, каналного, мережевого, транспортного, прикладного рівня моделі OSI побудови повітряних мереж класу FANET для їх інтеграції в наземну мобільну комунікаційну мережу з урахуванням особливостей динамічної топології та ресурсних обмежень, та визначено, що завдання синтезу наземно-повітряних комунікаційних мереж вимагає розробки нових та удосконалення існуючих підходів (методів, методик, алгоритмів) для формування управлінських рішень.

В статті [8] запропоновано інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень, при чому дослідження базується на нейромережевому алгоритмі зграї моржів для оцінки стану об'єкта в динамічному середовищі. Дослідження [9] базується на штучній нейронній мережі алгоритму зграї сарани для пошуку управляючого рішення.

В статті [10] розкрито загальний підхід до вирішення задач оптимізації в складних ієрархічних системах, та зосереджено увагу на критеріях оптимальності з використанням ітеративних і безітеративних методів. Отже, аналіз літературних джерел із предметної області дозволяє припустити, що системне представлення процесу управління наземно-повітряною комунікаційною мережею потребує подальшого розвитку, систематизації, узагальнення, та опису функціональної взаємодії із використанням новітніх наукових підходів.

Виклад основного матеріалу.

Постановка задачі. Розглядається наземно-повітряна комунікаційна мережа (НПМ) спеціального (військового) призначення значної розмірності (сотні мобільних вузлів), які випадково розташовані на заданій території і функціонують при відсутності будь-якої комунікаційної інфраструктури загального користування. Кожен наземний комунікаційний вузол (НКВ) описується як об'єкт, що має: певний тип носія (людина – мобільний користувач (МК), транспортна платформа – мобільна базова станція (МБС)), батарея, процесор, пам'ять, прийомо-передавач, антена, система позиціонування, систему управління (СУ). Кожен повітряний комунікаційний вузол – комунікаційна аероплатформа є елементом повітряної комунікаційної мережі, і може бути розміщений на БПЛА коптерного або літакового типу із власною батареєю, процесором, пам'яттю, прийомо-передавачем, антенною системою, системою позиціонування, системою управління (СУ). В загальному комунікаційне обладнання вузлів НПМ виконане у вигляді SDR. Управління повітряним рівнем (цільовими функціями повітряного рівня), що складається із КА здійснюється із МБС через головний вузол КА-ГВ.

В процесі функціонування МК змінює своє місцезнаходження та здійснює інформаційний обмін заданого типу трафіка в залежності від своїх спеціальних завдань, а управління переміщенням МК не здійснюється, тобто МК мають стохастичну, але прогнозовану поведінку переміщення.

СУ мобільних користувачів, реалізують процес збору даних власного стану (місцезнаходження, пропускної здатності, часу затримки доставки повідомлень, енергії батарей тощо), з метою формування управляючих впливів СУ мобільних базових станцій для забезпечення функціонування НПМ в динамічних умовах із заданим рівнем якості.

Система управління МБС на транспортних платформах забезпечує прогнозування стану наземної комунікаційної мережі в зоні радіозв'язності МБС та формує управляючі рішення щодо зміни місця розташування і оптимізації використання мережевих і каналних ресурсів за певними алгоритмами та протоколами на кожному із рівнів взаємодії.

Системи управління можуть бути побудовані із використанням методів та алгоритмів нейронних мереж та машинного навчання. Виконання функцій моніторингу та управління мережевими (НПМ) цільовими функціями можливе в ручному режимі посадовими особами центру управління мережею (ЦУМ) розміщеному на МБС.

Основне завдання ієрархічної моделі взаємодії інтелектуальних систем управління вузлів наземно-повітряних комунікаційних мереж полягає в забезпеченні управління цільовою структурою НПМ в автоматичному режимі в реальному часі з урахуванням динаміки середовища функціонування.

Задано: НПМ представляється у вигляді сукупності трьох підмереж різних рівнів ψ , кожна з яких задається у вигляді графа $G^\psi = (V^\psi, E^\psi)$ із множиною вершин $V^\psi = \{v_i\}$ і множиною ребер $E^\psi = \{(v_i, v_j)\}$, $i, j = \overline{1, N_\psi}$, $\psi = \overline{1, 3}$ (1- мережа мобільних наземних комунікаційних вузлів НМ, 2 – мережа мобільних базових станцій, 3 – мережа вузлів повітряного рівня на КА).

Кожна підмережа ψ -го рівня керується через систему управління (рис. 1) для реалізації двох основних класів задач два основних класи задач: перший – комунікаційні $U_{\text{ком}}$; другий – $U_{\text{пер}}$ переміщенням вузлів (МБС і КА)

$$U(t) = \{U_{\text{ком}}(t), U_{\text{пер}}(t)\}. \quad (1)$$



Рис. 1 – Система управління комунікаційними вузлами НІМ

Задачі управління переміщенням $\psi=1$ мережі не вирішується, а початкова статистична вибірка метрик переміщення наземних комунікаційних вузлів представлена із використанням моделі мобільності, представленої у [11].

Обмеження та вимоги:

площа переміщення мобільних вузлів залежить від задач підрозділу в якому реалізується процес інформаційного обміну;

інформація про параметри стану вузлів (координати розміщення, рівень енергії батарей, об'єм даних) збирається при первинному обміні hello-пакетами та оновлюється згідно алгоритму функціональної взаємодії при реалізації задач управління комунікаційною складовою.

Необхідно: розробити ієрархічну модель взаємодії інтелектуальних систем управління вузлів наземно-повітряних комунікаційних мереж полягає в забезпечення управління цільовою структурою НІМ в автоматичному режимі в реальному часі з урахуванням динаміки середовища функціонування, що забезпечить виконання функцій управління НІМ за рахунок Q-го складу підсистем системи формування рішень управління та вирішить проблему інтеграції мережі повітряного рівня [7].

Ієрархічна модель інтелектуальної системи управління наземно-повітряної комунікаційної мережі.

Існуюча ієрархічна модель [5, 6] взята за основу для побудови запропонованої ієрархічної моделі, показаної на рисунку 2, і представлена трьома основними рівнями управління:

Виконавчий рівень (нульовий рівень) включає в себе безпосереднє управління ресурсами: маршрутизацію, управління радіоресурсами, потоками даних, безпекою тощо. Кожен вузол на цьому рівні має автономні функції і здатен до самостійного прийняття рішень на основі власних параметрів і стану мережі, $C_{rp}^q(k)$ – множина векторів службової інформації, $P_{qr}(k)$ – множина векторів впливу середовища.

Вузловий рівень (перший рівень) уособлює метаагентів (I_{1q}, U_{1q}) , $q = \overline{1, Q}$, які координують діяльність агентів нульового рівня, із множиною функціональних підсистем P_{qr} , $q = \overline{1, Q}$, $r = \overline{1, R}$.

Вони відповідають за оптимізацію управління залежно від загальних цілей $Y_{1q}(k)$ і стану $Z_{1q}(k)$ мережі, вибираючи найкращі стратегії управління $U_{1qr}(k)$.

Мережевий рівень (другий рівень) представлений вузлом-координатором (I_2, U_2) , що корегує цільові функції метаагентів першого рівня з урахуванням загальної ситуації у мережі або її частині.

В загальному, поняття ієрархічного управління [10] передбачає структурування мережі на декілька рівнів управління, що може призвести до збільшення обсягу службової інформації та довжини маршруту. Це пов'язано з тим, що кожен рівень мережі може вимагати власного набору інформації для маршрутизації та управління, що в свою чергу, збільшує загальну кількість комунікаційних повідомлень.

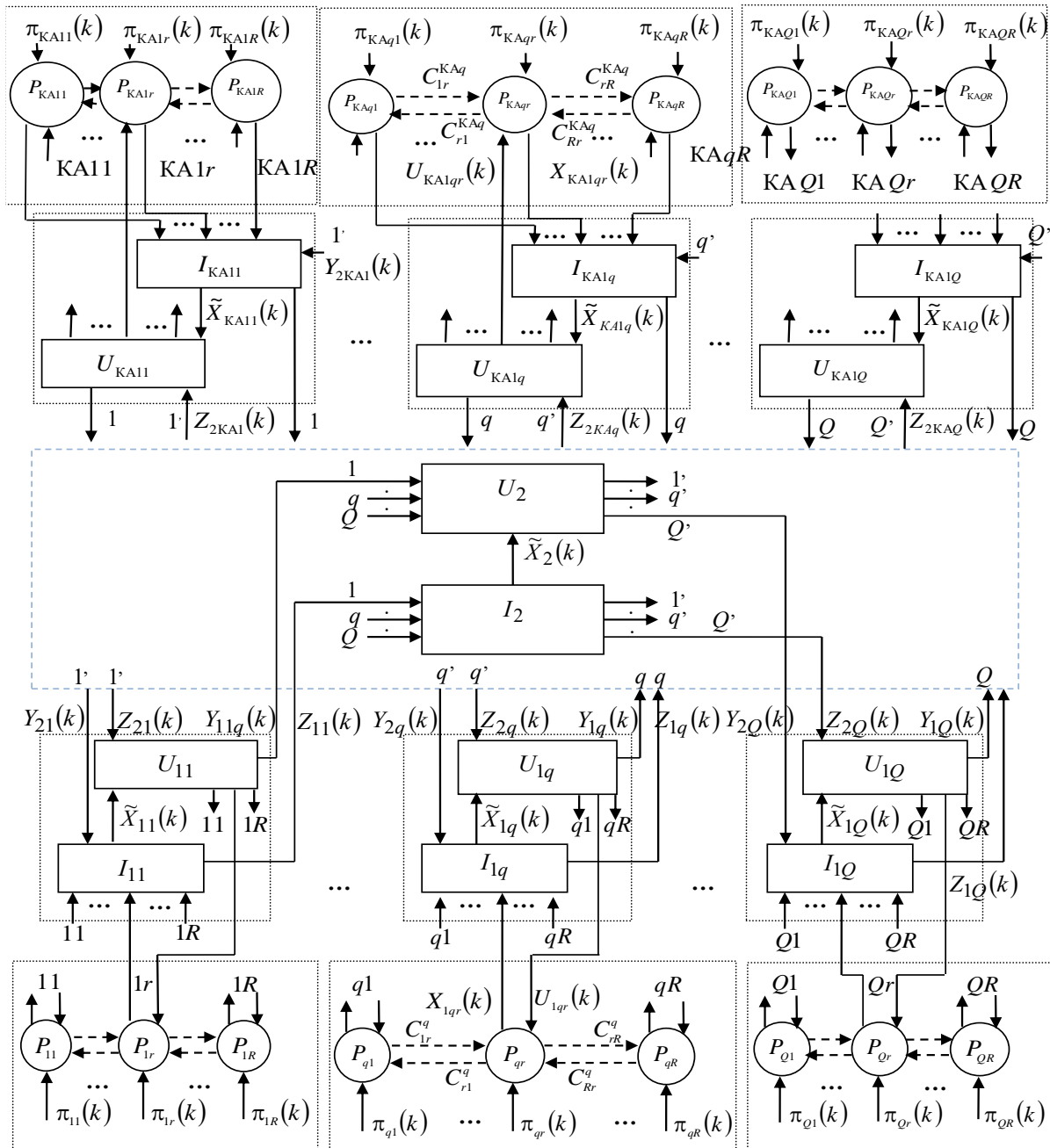


Рис. 2 – Ієрархічна модель взаємодії вузлових інтелектуальних систем управління, побудованих з використанням технологій інтелектуальних агентів та мультиагентних систем

Ітеративність процесу управління. Запропонована ієрархічна модель відображає структуру функціональних взаємозв'язків в складних багатопараметричних системах управління мобільними

комунікаційними мережами, однак зображена на рисунку 2, побудована відповідно до існуючого підходу [5, 6], а система управління потребує уточнення з точки зору процесу прийняття управлінських рішень для реалізації процесів функціонування підсистем показаних на рисунку 1.

У статті [6] описано можливість застосування як ітеративних, так і безітеративних методів оптимізації для покращення ефективності мережі та зменшення негативних наслідків, пов'язаних зі збільшенням службової інформації.

Застосування ітеративних методів дозволяє поступово доопрацьовувати рішення, виходячи з отриманої в ході попередніх ітерацій інформації, тим самим покращуючи ефективність управління. Безітеративні методи, в свою чергу, застосовуються для досягнення оптимального рішення без необхідності повторного перегляду вже прийнятих рішень, що може бути ефективно при наявності достатньо повної та точної апріорної інформації, що практично не можливо в умовах високої динаміки середовища функціонування.

Для зменшення негативного впливу збільшення обсягу службової інформації, моделі та алгоритми мають бути спроектовані таким чином, щоб оптимізувати використання мережевих ресурсів, забезпечити ефективний обмін даними між різними рівнями мережі та мінімізувати загальну кількість необхідних комунікацій.

Враховуючи вище зазначене, включення механізмів прогнозування в модель управління може значно покращити її ефективність, дозволяючи адаптувати мережу до майбутніх змін у поведінці вузлів та загальному стані мережі, що в свою чергу, сприяє оптимізації розподілу ресурсів і підвищенню надійності мережі.

Основні математичні співвідношення.

Кореню дерева направленої графу відповідає інтелектуальна система управління так званого вузла-координатора (I_2, U_2) , на практиці в реальних мобільних комунікаційних мережах таких підструктур може бути багато, але все ж умовно-прогнозована кількість знаючи розмірність мережі та її початкові налаштування і технічні характеристики.

Наприклад, інтелектуальні системи управління «другого рівня» або агенти можуть бути представлені фізично у вигляді систем управління мобільних базових станцій, яка буде агентами для забезпечення зв'язку із головними вузлами повітряної мережі та головними вузлами наземної для підтримки функціональної взаємодії інтелектуальних вузлів і управління мережевим ресурсом мережі, підмережі, зон, груп, мультикастових груп як повітряного так і наземного рівня.

Вершинам дерева відповідає набір підсистем наземної комунікаційної підмережі –

$$\{(I_{11}, U_{11}), (I_{12}, U_{12}), \dots, (I_{1Q}, U_{1Q})\};$$

та повітряної комунікаційної мережі –

$$\{(I_{KA11}, U_{KA11}), (I_{KA12}, U_{KA12}), \dots, (I_{KA1Q}, U_{KA1Q})\},$$

і представляють Q метаагентів вузлових інтелектуальних систем управління, що реалізують цільові функції виконавчого (нульового рівня).

Кожна підсистема (I_{1q}, U_{1q}) та (I_{KA1q}, U_{KA1q}) для $q = 1, 2, \dots, Q$, складається із:

- блоку контролю станів (ідентифікації) I_{1q}, I_{KA1q} , для збору та аналізу інформації;

- блоку управління U_{1q}, U_{KA1q} , для розробки та виконання управлінських рішень множини цільових функцій цільової структури (1).

У свою чергу, кожна підсистема першого рівня $(I_{1q}, U_{1q}), (I_{KA1q}, U_{KA1q}), q = \overline{1, Q}$ пов'язана з множиною функціональних підсистем нульового рівня $P_{qr}, P_{KAqr}, q = \overline{1, Q}, r = \overline{1, R}$, кожна з яких розташована на відстані двох ребер від кореня дерева. Кожна із підсистем нульового рівня реалізує цільові функції шляхом обміну службовою інформацією [6].

Для q -ї підсистеми управління першого рівня $(I_{1q}, U_{1q}), q = 1, 2, \dots, Q$, на рисунку 2, введемо наступні позначення:

$X_{1qr}(k)$ – множина векторів стану q -го ІА, де $X_{1qr}(k) = \{x_{1qr}^a(k)\}, a = 1, 2, \dots, a_{1qr}$, розмірності $a_{1qr} \times 1$;

$\widetilde{X}_{1q}(k)$ – множина узагальнених векторів оцінок стану q -ї підсистеми першого рівня, де $\widetilde{X}_{1q}(k) = \{\widetilde{x}_{1q}^a(k)\}, a = 1, 2, \dots, a_{1q}$ розмірності $a_{1q} \times 1$;

$U_{1qr}(k)$ – множина векторів управління q -ї підсистеми першого рівня, які спрямовані r -му ІА нульового рівня, де $U_{1qr}(k) = \{u_{1qr}^b(k)\}, b = 1, 2, \dots, b_{1qr}$ розмірності $b_{1qr} \times 1$;

$Y_{1q}(k)$ – множина векторів управління q -ї підсистеми першого рівня, які надсилаються підсистемі управління верхнього рівня (вузлу-координатору), де $Y_{1q}(k) = \{y_{1q}^d(k)\}$, $d = 1, 2, \dots, d_{1q}$ розмірності $d_{1q} \times 1$;

$Z_{1q}(k)$ – множина векторів оцінок стану q -ї підсистеми першого рівня, які надсилаються підсистемі управління верхнього рівня (вузлу-координатору), де $Z_{1q}(k) = \{z_{1q}^d(k)\}$, $d = 1, 2, \dots, d_{1q}$ розмірності $d_{1q} \times 1$.

Для q -ї підсистеми управління КА на першому рівні:

$X_{KA1qr}(k)$ – множина векторів стану q -го ІА КА, де $X_{KA1qr}(k) = \{x_{KA1qr}^a(k)\}$, $a = 1, 2, \dots, a_{1qr}$ розмірності $a_{1q} \times 1$;

$\widetilde{X}_{KA1q}(k) = \{\widetilde{x}_{KA1q}^a(k)\}$, $a = 1, 2, \dots, a_{1q}$ розмірності $a_{1q} \times 1$;

$U_{KA1qr}(k)$ – множина векторів управління q -ї підсистеми КА першого рівня, які спрямовані r -му ІА КА нульового рівня, де $U_{KA1qr}(k) = \{u_{KA1qr}^b(k)\}$, $b = 1, 2, \dots, b_{1qr}$ розмірності $b_{1qr} \times 1$;

$Y_{KA1q}(k)$ – множина векторів управління q -ї підсистеми КА першого рівня, які надсилаються підсистемі управління верхнього рівня (вузлу-координатору КА), де $Y_{KA1q}(k) = \{y_{KA1q}^d(k)\}$, $d = 1, 2, \dots, d_{1q}$ розмірності $d_{1q} \times 1$;

$Z_{KA1q}(k)$ – множина векторів оцінок стану q -ї підсистеми КА першого рівня, які надсилаються підсистемі управління верхнього рівня (вузлу-координатору КА), де $Z_{KA1q}(k) = \{z_{KA1q}^d(k)\}$, $d = 1, 2, \dots, d_{1q}$ розмірності $d_{1q} \times 1$.

Методи машинного навчання в процесах управління. Інтеграція механізмів прогнозування в ієрархічні моделі управління мережами може суттєво підвищити ефективність систем управління, що здатні адаптуватися до динамічних умов експлуатації та забезпечити високий рівень продуктивності та надійності мережі.

Процеси прогнозування в моделях управління мережею можуть включати:

Аналіз статистичних даних про стан мережі та поведінку вузлів для ідентифікації тенденцій та патернів, які можуть бути використані для прогнозування майбутніх станів;

Моделювання на етапі планування мережі. Розробка математичних або імітаційних моделей, здатних відобразити поведінку мережі та її компонентів з метою визначення потенційних майбутніх сценаріїв зміни станів вузлів (мереж, підмереж, зон), для дослідження ефективності сформованих управлінських рішень в умовах динамічної зміни середовища.

Застосування машинного навчання. Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу великих обсягів даних та автоматичного виявлення закономірностей, на основі яких можна побудувати прогнози про майбутній стан мережі та поведінку вузлів.

Адаптивне управління. Розробка управлінських стратегій, які автоматично адаптуються відповідно до прогнозованих змін, дозволяючи мережі бути гнучкою та ефективно реагувати на майбутні виклики, тобто адаптивно змінювати стратегії застосування методів оптимізації з точки зору ітеративності процесу.

Алгоритм прийняття рішення вузлом-координатором з використанням методу машинного навчання із підкріпленням.

Процес обробки векторів стану від наземних та повітряних вузлів НПМ для управління політикою винагород алгоритму машинного навчання і прогнозування стану в наземно-повітряній мережі для формування управлінських рішень інтелектуальним метагентом «першого» рівня включає:

1. *Ініціалізація векторів стану.* Для кожного моменту часу k , наземні вузли та повітряні комунікаційні аероплатформи генерують вектори стану, $X_{1qr}(k)$ – для наземних вузлів і $X_{KA1qr}(k)$ – для повітряних вузлів, які відображають поточний стан кожного «інтелектуального» вузла.

$$X_{1qr}(k) = \{x_{1qr}^a(k)\}_{a=1}^{a_{1qr}}, \quad X_{KA1qr}(k) = \{x_{KA1qr}^a(k)\}_{a=1}^{a_{1qr}}. \quad (2)$$

2. *Агрегація та узагальнення станів.* Узагальнені вектори станів $\tilde{X}_{1q}(k)$ та $\tilde{X}_{KA1q}(k)$ формуються з агрегації векторів станів відповідних наземних і повітряних вузлів:

$$\tilde{X}_{1q}(k) = f_{\text{арп}}(X_{1qr}(k)), \quad \tilde{X}_{KA1q}(k) = f_{\text{арп}}(X_{KA1qr}(k)), \quad (3)$$

де $f_{\text{арп}}$ – функція агрегації, яка може включати, взяття середнього, медіани, максимуму, мінімуму

або інші методи статистичної обробки векторів стану.

3. *Прогнозування стану вузлів.* Використовуючи статистичні дані стану та поточні узагальнені вектори станів, вузол-метаагент застосовує модель машинного навчання із підкріпленням для прогнозування майбутніх станів вузлів:

$$\widehat{X}_{1q}(k+1) = \mathcal{M}_{\text{прог}}(\widehat{X}_{1q}(k), \mathcal{H}_{1q}), \quad \widehat{X}_{\text{КА}1q}(k+1) = \mathcal{M}_{\text{прог}}(\widehat{X}_{\text{КА}1q}(k), \mathcal{H}_{\text{КА}1q}), \quad (4)$$

де $\mathcal{M}_{\text{прог}}$ - модель прогнозування, \mathcal{H}_{1q} і $\mathcal{H}_{\text{КА}1q}$ - статистичні дані для відповідних вузлів.

Процес прогнозування станів наземних і повітряних вузлів відбувається не незалежно, а взаємозалежно, особливо у сценаріях, де повітряні аероплатформи (КА) виконують функції ретрансляторів для наземних користувачів в зоні радіозв'язності (покриття). Ця взаємодія суттєво впливає на процес прогнозування стану обох типів вузлів.

Для врахування взаємозв'язку між наземними вузлами та повітряними ретрансляторами в процесі прогнозування можна використати модель, яка інтегрує інформацію з обох джерел:

$$\widehat{X}_{1q}(k+1) = \mathcal{M}_{\text{прог}}(\widehat{X}_{1q}(k), \mathcal{H}_{1q}, \mathcal{J}_{\text{КА} \rightarrow 1q}(k)),$$

$$\widehat{X}_{\text{КА}1q}(k+1) = \mathcal{M}_{\text{прог}}(\widehat{X}_{\text{КА}1q}(k), \mathcal{H}_{\text{КА}1q}, \mathcal{J}_{1q \rightarrow \text{КА}}(k)),$$

а із урахуванням взаємодії з іншим типом вузлів, а також управлінських рішень та оцінки стану, які були сформовані або отримані від інших вузлів-метаагентів (першого рівня) або від вузла-координатора (другого рівня).

$$\widehat{X}_{1q}(k+1) = \mathcal{M}_{\text{прог}}(X_{1q}(k), \mathcal{H}_{1q}, U_{1qr}(k), Y_{1q}(k), Z_{1q}(k), I_{\text{КА} \rightarrow 1q}(k)), \quad (5)$$

$$\widehat{X}_{\text{КА}1q}(k+1) = \mathcal{M}_{\text{прог}}(X_{\text{КА}1q}(k), \mathcal{H}_{\text{КА}1q}, U_{\text{КА}1qr}(k), Y_{\text{КА}1q}(k), Z_{\text{КА}1q}(k), I_{1q \rightarrow \text{КА}}(k)), \quad (6)$$

де $\mathcal{J}_{\text{КА} \rightarrow 1q}(k)$ – інформація про взаємодію з повітряними ретрансляторами (КА), яка впливає на стан наземних вузлів; $\mathcal{J}_{1q \rightarrow \text{КА}}(k)$ – інформація про взаємодію з наземними вузлами, яка впливає на стан повітряних ретрансляторів.

Під моделлю прогнозування $\mathcal{M}_{\text{прог}}$ у контексті управління інформаційним обміном, мається на увазі математична або алгоритмічна схема, яка здатна аналізувати поточні та статистичні дані про стан мережі, щоб визначити майбутні стани вузлів в деякий момент часу $k+1$. Ця модель може використовувати різні методи машинного навчання, статистичні алгоритми або евристичні правила для прогнозування, як, наприклад, нейронні мережі, регресійний аналіз або алгоритми рішення на основі підкріплення.

Щодо статистичних даних для наземних вузлів та для повітряних ретрансляторів \mathcal{H}_{1q} , $\mathcal{H}_{\text{КА}1q}$ – включають в себе записи про попередні стани вузлів, дії, які були здійснені, та винагороди, які були отримані. За своєю суттю, це інформація про швидкість переміщення вузлів, зміни в доступності ресурсів, втрати пакетів під час передачі даних тощо. Статистичні дані використовуються для "навчання" моделі прогнозування, дозволяючи їй виявляти закономірності та тенденції, які можуть бути корисні при прогнозуванні майбутніх станів мережі [11].

Інформація взаємодії $\mathcal{J}_{\text{КА} \rightarrow 1q}(k)$ та $\mathcal{J}_{1q \rightarrow \text{КА}}(k)$ стосується даних, які відображають взаємодію між наземними вузлами та повітряними ретрансляторами в певний момент часу. Це може включати сигнали про наявність або відсутність радіо-доступності, інформацію про якість каналу, дані про навантаження на мережу (маршрут, канал), інформацію про пропускну спроможність тощо. Важливо враховувати цю інформацію, оскільки вона дозволяє більш точно моделювати стан мережі, враховуючи взаємозалежність між різними типами вузлів та їхню роль у загальній структурі мережі.

Механізм взаємодії між наземними вузлами та КА може бути реалізований через спільну функцію оцінки стану, яка враховує як власні спостереження вузлів, так і отримані дані від інших вузлів мережі. Це дозволяє уточнити прогноз стану, забезпечуючи більш точне та ефективне управління вузловими ресурсами мережі.

4. Оновлення політики винагороди:

На основі прогнозованих станів, вузол-метаагент оновлює політику винагород $pi_{\text{нов}}$, враховуючи потенційні винагороди за різні дії:

$$pi_{\text{нов}} = \arg \max_{a_k} E [R | \widehat{X}_{1q}(k+1), a_k],$$

де R - функція винагороди, а з урахуванням механізмів можливої взаємодії, маємо

$$pi_{\text{нов}} = \arg \max_{a_k} E [R | \widehat{X}_{1q}(k+1), \widehat{X}_{\text{КА}1q}(k+1), a_k],$$

$$pi_{1нов} = \arg \max_{a_{1q}, a_{KA1q}} E [R | \widehat{X}_{1q}(k+1), \widehat{X}_{KA1q}(k+1), a_{1q}, a_{KA1q}], a_{1q} \in U_{1qr}(k), a_{KA1q} \in U_{KA1qr}(k). \quad (7)$$

Зв'язок між політикою винагород і станом інтелектуальної системи управління в загальному вигляді:

$$Q(s, a) = E \left[R(s, a) + \gamma \max_{a'} Q(s', a') \right],$$

де $Q(s, a)$ – цінність виконання дії a в стані s , $R(s, a)$ – негайна винагорода за виконання дії a в стані s , γ – коефіцієнт дисконтування, який визначає важливість майбутніх винагород, s' – наступний стан системи після виконання дії a , $\max_{a'} Q(s', a')$ – максимальна цінність будь-якої дії a' в новому стані s' .

Політика $pi(s)$ забезпечує формування дії a для кожного стану s , максимізуючи очікувану цінність

$$pi(s) = \arg \max_a Q(s, a).$$

Процес функціонування вузла-координатора (агента другого рівня) відбувається за тим же загальним підходом, за алгоритмом описаним (1-6), та відповідно до (7), політика винагород агента другого рівня

$$pi_{2нов} = \arg \max_{Y_{2q}, Y_{2KAq}} E [R | \widehat{X}_2(k+1), Y_{2q}, Y_{2KAq}].$$

Таким чином, запропонований алгоритм прийняття рішення вузлом-координатором (вузлом-метаагентом) з використанням методу машинного навчання із підкріпленням дозволяє системі адаптуватися до майбутніх змін, забезпечуючи ефективне управління ресурсами.

Застосування алгоритмів машинного навчання може покращити точність управлінських рішень, знижуючи витрати та підвищуючи продуктивність.

Однак, по-перше, процеси прогнозування та оновлення політик вимагають значних обчислювальних ресурсів; по-друге, неточні прогнози інтелектуальних агентів (метаагентів) можуть призвести до субоптимальних управлінських рішень.

Варто зазначити, що механізми управління мобільними комунікаційними наземно-повітряними мережами можуть бути представлені як ітеративними так і неітеративними методами оптимізації, вибір яких залежить від специфіки задачі та доступних обчислювальних ресурсів. Ітеративні методи забезпечують більшу гнучкість та адаптивність, але можуть вимагати більше часу для знаходження оптимального рішення. Разом з тим, побудова імітаційної моделі на етапі планування [11] дозволять сформувати статистичну вибірку функціонування окремих підсистем управління «першого рівня», і дозволять здійснити безітеративну оптимізацію на початковому етапі функціонування (розгортання), і скоротити час на ітеративний процес донавчання інтелектуальних систем управління вузлів-координаторів та вузлів-метаагентів. Важливо також враховувати можливість затримок у прийнятті рішень, особливо у динамічних мережах з високими вимогами до часу реакції.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

В результаті досліджень – встановлено, що завдання управління наземно-повітряною комунікаційною мережею потребує комплексного підходу. Системи управління складних комунікаційних мереж доцільно розподіляти на підсистеми із специфічною цільовою структурою, а управління ними є складним багатопараметричним і багатокритеріальним оптимізаційним завданням. Компоненти таких мереж представлені у вигляді різнотипного обладнання, носії якого мають різні фізичні характеристики. Використання наявної інформації про склад, кількість та тип ресурсів можливо застосувати для моделювання систем (підсистем) на етапі планування і формування статистичної вибірки функціонування мережі. У зв'язку з тим, що основною метрикою для інформаційного обміну і побудови топології мереж є взаємне місцезнаходження мобільних користувачів, знання їх прогнозованих зон функціонування, типів обладнання, протоколів на різних рівнях моделі взаємодії відкритих систем, швидкостей їх переміщення, рельєфу місцевості та перешкод, можливо завчасно сформувати навчальну вибірку станів вузлових елементів і відповідно скоротити час прийняття рішення. В свою чергу це дозволяє знизити ступінь невизначеності під час формування управлінських рішень на етапі оперативного управління.

Визначено, що основним завданням запропонованої ієрархічної моделі взаємодії інтелектуальних систем управління вузлів наземно-повітряних комунікаційних мереж полягає в забезпечення управління цільовою структурою НІМ в автоматичному режимі в реальному часі з урахуванням динаміки середовища функціонування.

Встановлено, що з точки зору функціональної взаємодії, систему управління НІМ можна представити у вигляді направленою графа, що включає три основні рівні – виконавчий, вузловий та мережевий. Однак, це не означає, що в такому випадку здійснюється тільки ієрархічний метод маршрутизації в мережі, а створює передумови для централізованого підлаштування, моніторингу, резервування мережі. З одного боку це може призвести до збільшення службової інформації, але з іншого може забезпечити більш гнучке і точне управління. Для вирішення згаданого протиріччя в статті показано математичну залежність функціональної взаємодії із використанням алгоритму машинного навчання із підкріпленням, що дозволить здійснювати управління цільовими структурами вузлового та мережевого рівня за змішаним принципом – на початковому етапі безітеративно, а згодом ітеративно, оновлюючи політику штрафів та винагород.

Напрямок подальшого дослідження є формування імітаційної моделі наземно-повітряної комунікаційної мережі визначеного кількісного і якісного складу із використанням різних модифікацій алгоритмів машинного навчання із підкріпленням.

Список бібліографічного опису

1. Mojseenko O. V. Метод розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації комп'ютерної мережі. *METHODS AND DEVICES OF QUALITY CONTROL*. 2018. № 2(41). С. 62–68. URL: [https://doi.org/10.31471/1993-9981-2018-2\(41\)-62-68](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2018-2(41)-62-68) (дата звернення: 20.03.2024).
2. Будур І. М., Бойко С. А. Мультиагентна модель системи підтримки прийняття рішення по управлінню розподіленими об'єктами. *Системи озброєння і військова техніка*. 2020. № 3(63), С. 54–61. URL: <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.63.08> (дата звернення: 20.03.2024).
3. Романюк В. А., Степаненко Є. О. Модель прийняття рішень по управлінню повітряною мережею. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2019. № 3. С. 84–95.
4. Беляков Р., Фесенко О. Модель інтелектуального управління ресурсами наземної комунікаційної мережі класу MANET. *INFORMATION TECHNOLOGY AND SOCIETY*. 2023. № 3 (9). С. 6–14. URL: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2023.3.1> (дата звернення: 20.03.2024).
5. Координація цільових функцій інтелектуальних систем управління тактичними радіомережами класу MANET / О. Я. Сова та ін. *Збірник наукових праць ВІТІ ДУТ*. 2014. № 4. С. 31–40.
6. Сова О. Я., Міночкін Д. А., Ошурко В. М. Ієрархічна модель взаємодії інтелектуальних агентів у системах управління мобільними радіомережами класу MANET. *Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»*. 2015. С. 15–17.
7. Bieliakov R. Проблема інтеграції повітряної мережі класу FANET в мобільну комунікаційну мережу спеціального призначення. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2023. № 53. С. 263–276. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-40> (дата звернення: 20.03.2024).
8. The development of method for increasing the decision making efficiency in organizational and technical systems / O. Lytvynenko et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 6, no. 4 (126). P. 23–31. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.293675> (date of access: 20.03.2024).
9. Development of a solution search method using an improved locust swarm algorithm / V. Tyurin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. Vol. 5, no. 4 (125). P. 25–33. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287316> (date of access: 20.03.2024).
10. Катренко А. В., Савка І. В. Механізми координації у складних ієрархічних системах. *Видавництво Львівської політехніки*. 2008. № 1. С. 156–166.
11. Bieliakov R., Fesenko O. Модель мобільності наземної комунікаційної мережі спеціального призначення. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2023. № 51. С. 130–138. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-51-17> (дата звернення: 20.03.2024).

References

1. Mojseenko, O. V. (2018). Metod rozv'iazku zadachi bahatokryterialnoi optymizatsii kompiuternoi merezhi. *Methods and Devices of Quality Control*, (2(41)), 62–68. [https://doi.org/10.31471/1993-9981-2018-2\(41\)-62-68](https://doi.org/10.31471/1993-9981-2018-2(41)-62-68)
2. Budur, I. M., & Boiko, S. A. (2020). Mulyahentna model systemy pidtrymky pryiniattia rishennia po upravlinniu rozpodilenyi ob'ektamy. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*, (3(63)), 54–61. <https://doi.org/10.30748/soivt.2020.63.08>
3. Romaniuk, V. A., & Stepanenko, Ye. O. (2019). Model pryiniattia rishen po upravlinniu povitrianoi merezheiu. *Zbirnyk naukovykh prats VITI*, (3), 84–95.
4. Bieliakov, R., & Fesenko, O. (2023). Model intelektualnoho upravlinnia resursamy nazemnoi komunikatsiinoi merezhi klasu manet. *Information Technology and Society*, (3 (9)), 6–14. <https://doi.org/10.32689/maup.it.2023.3.1>
5. Sova, O. Ya., Minochkin, D. A., & Oshurko, V. M. (2015). Iierarkhichna model vzaiedodii intelektualnykh ahentiv u systemakh upravlinnia mobilnymy radiomerezhamy klasu manet. *Zbirnyk materialiv Mizhnarodnoi nauково-tekhnichnoi konferentsii «PERSPEKTYVY TELEKOMUNIKATsII»*, 15–17.
6. Sova, O. Ya., Romaniuk, V. A., Stempkovska, Ya. A., & Symonenko, O. A. (2014). Koordynatsiia tsilovykh funksii intelektualnykh system upravlinnia taktychnymy radiomerezhamy klasu manet. *Zbirnyk naukovykh prats VITI DUT*, (4), 31–40.
7. Bieliakov, R. (2023). Problema intehratsii povitrianoi merezhi klasu FANET v mobilnu komunikatsiinu merezhu spetsialnoho pryznachennia. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*, (53), 263–276. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-40>

8. Lytvynenko, O., Bieliakov, R., Vakulenko, Y., Hrinkov, V., Pokhodenko, B., Boiko, S., Kanishov, V., Drozdyk, Y., Kovtun, Y., & Leinyk, D. (2023). The development of method for increasing the decision making efficiency in organizational and technical systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(4 (126)), 23–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.293675>
9. Tyurin, V., Bieliakov, R., Odarushchenko, E., Yashchenok, V., Shaposhnikova, O., Lyashenko, A., Stanovskyi, O., Melnyk, B., Sus, S., & Dvorskyi, M. (2023). Development of a solution search method using an improved locust swarm algorithm. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5(4 (125)), 25–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287316>
10. Katrenko, A. V., & Savka, I. V. (2008). Mekhanizmy koordynatsii u skladnykh iierarkhichnykh systemakh. *Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki*, (1), 156–166.
11. Bieliakov, R., & Fesenko, O. (2023). Model mobilnosti nazemnoi komunikatsiinoi merezhi spetsialnoho pryznachennia. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*, (51), 130–138. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-51-17>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-29>

УДК 621.396

Кудряшов Андрій Сергійович, аспірант

<https://orcid.org/0009-0008-6087-3248>

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, м. Одеса, Україна

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ТА БЕЗПЕКА У МОБІЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ 5G ТА 6G

Кудряшов А.С. Штучний інтелект та безпека у мобільних технологіях 5G та 6G. У межах статті проведено дослідження штучного інтелекту та безпеки у мобільних технологіях 5G та 6G. Підкреслено, що у 5G використовуються технології, такі як програмні мережі (SDN), віртуалізація мережевих функцій (NFV), штучний інтелект (ШІ) і хмарні мережі, які є новими у сфері телекомунікацій. Разом ці ключові технології допомагають реалізувати мобільну мережу 5G та 6G, здатну надавати послуги, що виходять далеко за межі високошвидкісного широкопasmового підключення з малою затримкою в будь-який час і в будь-якому місці, однак вони також призводять до збільшення кількості загроз кібербезпеці, ніж будь-коли раніше. Детально описано особливості архітектури безпеки технології 6G, зазначається, що архітектура безпеки 6G повинна підтримувати базову концепцію безпеки нульової довіри (ZT) у мережі мобільного зв'язку, щоб мінімізувати проблему захисту мережі від зовнішніх атак у зв'язку зі збільшенням потужності IPsec і брандмауерів. Наголошується, що особиста інформація користувачів повинна зберігатися та використовуватися відповідно до протоколів, узгоджених між постачальником послуг, оператором мобільної мережі (MNO), абонентом і MNO, щоб забезпечити їх безпеку. Підкреслено, що система 6G повинна позбутися існуючих методів шифрування з асиметричним ключем, оскільки квантові комп'ютери зроблять їх небезпечними, а рішення постквантової криптографії (PQC), такі як криптографія на основі решітки, криптографія на основі коду, багатоваріантна поліноміальна криптографія та підпис на основі хешу сформулюють надійне підґрунтя для захисту та належного рівня безпеки. Розкрито функції безпеки та механізми підвищення безпеки майбутньої архітектури 6G. Очікувана інтелектуальна система 6G призначена для вдосконалених механізмів і методів штучного інтелекту для підтримки високих вимог до послуг, необхідних можливостей і нових вимог до різновидів використання.

Ключові слова: мобільні технології, захист, атака, штучний інтелект, машинне навчання, безпека.

Kudriashov A. Artificial Intelligence and Security in 5g and 6g Mobile Technologies. The article examines artificial intelligence and security in 5G and 6G mobile technologies. It is highlighted that 5G uses technologies such as software-defined networking (SDN), network functions virtualization (NFV), artificial intelligence (AI) and cloud networks that are new to the telecommunications industry. Together, these key technologies help realize a 5G and 6G mobile network capable of providing services that go far beyond high-speed, low-latency broadband anytime, anywhere, but they also lead to more cybersecurity threats than ever before. The features of the security architecture of 6G technology are described in detail, and it is noted that the security architecture of 6G must support the basic concept of zero trust (ZT) security in the mobile communication network to minimize the problem of protecting the network from external attacks due to the increase in IPsec power and firewalls. It is emphasized that users' personal information must be stored and used in accordance with protocols agreed between the service provider, the mobile network operator (MNO), the subscriber and the MNO to ensure their security. It is emphasized that the 6G system must get rid of existing asymmetric key encryption methods, as quantum computers will make them insecure, and post-quantum cryptography (PQC) solutions such as lattice-based cryptography, code-based cryptography, multivariate polynomial cryptography, and signature-based hash will form a reliable basis for protection and an appropriate level of security. The security features and security enhancement mechanisms of the future 6G architecture are disclosed. The expected 6G intelligent system is designed for advanced mechanisms and methods of artificial intelligence to support high service requirements, necessary capabilities, and new demands for varieties of use.

Key words: mobile technologies, protection, attack, artificial intelligence, machine learning, security.

Вступ та постановка проблеми. В останні роки радіомережі п'ятого покоління (5G) були впроваджені в усьому світі реалізуючи такі функції як: масове підключення, надзвичайна надійність і гарантована низька затримка [1]. З іншого боку, враховуючи постійний розвиток цифрових технологій, 5G, не зможе задовольнити всі майбутні потреби. Передбачається, що технологія бездротової мережі шостого покоління (6G) запропонує ширше покриття, менше споживання енергії, повний спектр і економічну ефективність із покращеною безпекою. Мережі 6G задовольнять ці потреби шляхом розгортання нових технологій, таких як множинний доступ, схеми кодування каналів, численні технології антен і хмарні периферійні обчислення. 6G впливає на чотири важливі майбутні зміни. По-перше, він пропонує інтегровану комунікаційну мережу повітря-земля-космос-море шляхом розгортання безлічі мереж. По-друге, нові радіодіапазони покращать пропускну здатність мережі та швидкість передачі даних, включаючи міліметрові хвилі (mmwave) та оптичний зв'язок. По-третє, 6G забезпечить нове покоління інтелектуальних програм і послуг, що використовують технології штучного інтелекту (ШІ) і великих даних у відповідь на масивні набори даних, створені гетерогенними мережами з різними сценаріями зв'язку, широкою смугою пропускання і більшою кількістю антен. По-четверте, мережева безпека та конфіденційність повинні бути зміцнені та вдосконалені для технологій та програм 6G. Обробка даних, виявлення

загроз, аналіз трафіку та шифрування даних вважаються найбільш критичними проблемами в мережах 6G.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковий підхід у сфері мобільних технологій 5G та 6G є різноманітним та масштабним. У сучасній науковій площині з'являються роботи присвячені дослідженням каналів пропускання та ураження, підвищення рівня кібербезпеки технологій 5G та 6G, тощо.

М.В. Васильківський, М.В. Будаш та О.С. Болдирева [2] розглянули автономну інформаційну безпеку, яка буде однією з ключових функцій створення благонадійної архітектури телекомунікаційної мережі 6G. Авторами визначено особливості захисту систем і кінцевих користувачів від нападу зловмисників у міру їх виникнення із використанням запропонованої архітектури мережі та про активного підходу.

У [3] розглянуто шлях розвитку 6G і подальше зростання технологій. Досліджено найсучасніші технології 5G і зазначено необхідність вивчення 6G. Беручи до уваги поточний і новий розвиток безпроводового зв'язку, передбачено, що 6G охоплюватиме три основні аспекти, а саме: мобільний ультраширокий зв'язок, суперінтернет речей (IoT) і штучний інтелект (ШІ). Терагерцевий (ТГц) зв'язок можна використовувати для підтримання мобільного ультраширококуткового зв'язку, симбіотичне радіо та супутниковий зв'язок можна використовувати для досягнення суперінтернету речей, а методи машинного навчання є перспективними кандидатами для ШІ.

У роботі [4] розглянута мобільна мережа 6G, включно з мотиваціями, сценаріями використання, вимогами, підтримуваними дослідницькими проектами та технологіями. Було детально проаналізовано еволюцію і розширені функції 5G, щоб передбачити критичні вимоги до 6G і підкреслити їх можливості. Було запропоновано кілька потенційних застосувань, їхні переваги, концепції та напрямки досліджень 6G.

Із зарубіжних авторів варто відмітити роботи таких науковців як: Сяоху Ю, Ван Чен-Сян, Хуан Цзе, Гао Сіці, Чжан Цзайчен, Ван Майкл, Хуан Юнмін, Чжан Чуань, Цзян Яньсян, Ван Цзяхен, Чжу Міннь, Шен Біннь, Ван Дунмін, Пан Чживень, Чжу Пенчен, Ян Ян, Лю Зенінг, Дін Чжан, Тао Сяофен, Лян Ін-Чанг [5], Еміліано Лейте Хосе Роберто, Урсіні Едсон, Хмелевські Адао, Сілва Антоніу [6], Шарма Гурав, Патель Друвін, Сакс Йоахім, Андраде Марілет, Фаркас Янош, Хармат Янош, Варга Балаш, Бернхард Х.-П., Музаффар Рахіб, Ахмед Махін, Дюрр Франк, Брукнер Дітмар, Монтесдеока Едгардо, Уатра Дрісса, Чжан Хунвей, Гросс Джеймс [7], Шарац Марко, Павлович Нікола, Баканін Турджман Фаді, Адамович Саша [8], Мітра Рупендра, Ронг Бо [9], Джаханхані Хамід, Кендзьєрський Стефан, Хуссейн Усама [10], Мухейдат Фаді, Даджані Халіл, Тавалбе Лоай [11], Чхабра Соня, Ейден Манпріт, Сабхар, Аль-Асаді Мустафа [12], Оунза Джайрус [13], Фатіма Зайнаб, Аршад Садія, Анділб Марія, Зардарі Шахніла [14], Хан Шах Халід, Шивакоті Ніраджан, Стасінопулос Пітер, Уоррен Метью [15] та інших.

Однак незважаючи на масштабність наукових досліджень питання актуальності даної роботи не викликає сумнівів.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження штучного інтелекту та безпеки у мобільних технологіях 5G та 6G.

Викладення основного матеріалу дослідження. Архітектура безпеки технології 6G є головною умовою сьогодення. Оскільки 6G має бути більш відкритою мережею, ніж 5G, межа між внутрішньою та зовнішньою мережею буде поступово стиратися. У результаті поточні заходи безпеки мережі, такі як IPsec і брандмауери, не будуть достатньо потужними, щоб захистити мережу від зовнішніх атак. Архітектура безпеки 6G повинна підтримувати базову концепцію безпеки нульової довіри (ZT) у мережі мобільного зв'язку, щоб мінімізувати цю проблему. ZT – це парадигма безпеки, яка наголошує на захисті системних ресурсів. Архітектура нульової довіри (ZTA) – це архітектура безпеки, яка використовує концепцію ZT і містить зв'язки між об'єктами мережі (NE), процесами протоколів і правилами доступу. Тому ZTA має бути основою архітектури безпеки 6G.

Проблеми безпеки віртуалізації потребують використання системи з безпечним рівнем віртуалізації, який включає технологію безпеки, що ідентифікує приховане шкідливе програмне забезпечення. Крім того, гіпервізор повинен забезпечувати повне розділення обчислень, сховищ і мереж різних мережевих служб за допомогою захищених протоколів, таких як TLS, SSH, VPN і так далі. Інтроспекція віртуальної машини (VMI) – це функція гіпервізора, яка перевіряє та виявляє ризики безпеки, аналізуючи інформацію реєстру vCPU, файли вводу-виводу та пакети зв'язку

кожної віртуальної машини (VM), щоб запобігти проникненню. Під час використання контейнеризації операційна система повинна відповідним чином установити привілеї різних контейнерів і запобігти монтуванню основних системних каталогів і прямому доступу до файлового контейнера головного пристрою.

Керування вразливими місцями, спричиненими використанням, оновленням і видаленням відкритих вихідних кодів, є найважливішою справою при вирішенні питань безпеки з відкритим вихідним кодом. Ось чому швидке виявлення загроз вимагає автоматизованої системи керування, яка може виявляти вразливості та застосовувати виправлення. Потрібен додатковий крок, щоб забезпечити швидке та безпечне застосування виправленого програмного забезпечення за допомогою безпечної технології. Крім того, необхідно створити структуру управління безпекою для обробки:

- вразливостей відкритого коду з довгострокового погляду,
- змін у сприйнятті розробника,
- розгортання Security рішення.

Безпека даних за допомогою штучного інтелекту ґрунтується на принципі гарантованого захисту від атак. Створення моделей ШІ в надійній системі є першим кроком у цьому процесі. Крім того, необхідно використовувати такий метод, як цифрові підписи, щоб перевірити рівень якості захисту. Якщо виявлено шкідливу модель штучного інтелекту, система повинна виконати операції самовідновлення або автовідновлення. Система також повинна обмежити збір даних для навчання штучного інтелекту.

Особиста інформація користувачів повинна зберігатися та використовуватися відповідно до протоколів, узгоджених між постачальником послуг, оператором мобільної мережі (MNO), абонентом і MNO, щоб забезпечити їх безпеку. Особиста інформація зберігається в надійному середовищі виконання (TEE) і надійному програмному забезпеченні за допомогою системи 6G, яка також зменшує або робить анонімним обсяг інформації, яка стає загальнодоступною під час її використання. Автентичність і авторизація повинні бути перевірені, перш ніж MNO оприлюднить особисту інформацію. Іншим варіантом є використання гомоморфного шифрування під час роботи з інформацією користувача, щоб дані могли бути доступні в зашифрованому вигляді. Рішення на основі штучного інтелекту, такі як схема розвантаження з урахуванням конфіденційності на основі навчання, також можуть використовуватися для збереження конфіденційності місцезнаходження користувача та шаблонів використання.

Система 6G повинна позбутися існуючих методів шифрування з асиметричним ключем, оскільки квантові комп'ютери зроблять їх небезпечними. Рішення постквантової криптографії (PQC), такі як криптографія на основі решітки, криптографія на основі коду, багатоваріантна поліноміальна криптографія та підпис на основі хешу, були в центрі уваги багатьох дослідників. У порівнянні з Рівестом–Шаміром–Адлеманом (RSA), довжина ключа, яка зараз розглядається у PQC буде у багато разів більшою. PQC, ймовірно, матиме більшу обчислювальну вартість, ніж поточний метод RSA. Як наслідок, дуже важливо, щоб PQC був належним чином інтегрований у продуктивність апаратного/програмного забезпечення мережі 6G і потреби в обслуговуванні.

Дизайн мережі 6G значно відрізнятиметься від 5G. По-перше, 6G може забезпечити автоматизацію мережі та мережу як послугу (NaaS). NaaS дозволяє абонентам налаштовувати мережі. Ключові технології включають мережу на основі намірів, наскрізне програмне забезпечення, хмаризацію та глибоку віртуалізацію функцій. По-друге, швидке впровадження хмарних мереж і програмного забезпечення з відкритим кодом для мережевих компонентів core/RAN передбачає «повну відкритість» майбутнього 6G. 6G може бути першою стільниковою системою, яка повністю підтримує штучний інтелект. Це бачення перетворить «підключені речі» 5G на «підключений інтелект» 6G, причому штучний інтелект зрештою контролюватиме більшість мережевих операцій і вузлів.

Архітектуру безпеки 6G потрібно буде адаптувати, щоб увімкнути нові додатки та інтеграцію моделі мережі космос–повітря–земля–море. Поточна архітектура безпеки 3GPP може потребувати суттєвих змін. Оператори мережі будуть критично важливими гравцями для оновлення доступу до мережі та архітектури безпеки. Постачальники послуг надають додаткові послуги (онлайн-розваги) і платформи (хмарне зберігання, аналітика даних) для розробників і користувачів. Постачальники послуг оновлять безпеку домену додатків і архітектури на основі послуг. Розробникам ігор XR/AR доведеться посилити безпеку для хмарних/граничних програм або

ввімкнути нові API безпеки (відповідно до послуг сторонніх постачальників). Мережі 6G можуть пропонувати мобільне сховище та інші послуги. Таким чином, вони можуть допомогти покращити безпеку служби багатьма способами. Нарешті, користувачі можуть не вплинути на зміни, якщо вони замінять пристрої або зареєструють нові SIM-карти. Архітектуру безпеки 6G можна розділити на рівні, щоб охопити всі питання безпеки та виклики для всіх об'єктів 6G. Вона складається з фізичного рівня, рівня підключення та рівня додатків. Кожен рівень покращує нові функції безпеки, які можуть покращити безпеку мереж 6G.

Функції безпеки та механізми підвищення безпеки майбутньої архітектури 6G:

1. Безпека доступу до мережі: 6G вимагає нових систем автентифікації та криптографії. Це 6G-АКА, квантово-безпечна криптографія та безпека фізичного рівня. Мотивація для хмарних і відкритих програмованих мережевих технологій у 6G вимагає нової автентифікації, щоб 6G міг використовувати концепції безпеки 5G, такі як єдина платформа автентифікації для мереж відкритого доступу. Для їх виконання потрібні численні додаткові функції. Наприклад, протокол 6G-АКА має гарантувати, який компонент, функція сервера автентифікації (AUSF) або функція прив'язки безпеки (SEAF), визначатиме автентифікацію в міжзрівовому зв'язку. 6G-АКА повинна мати можливість автентифікувати заявлену ідентифікацію кінцевої точки в програмованій мережевій інфраструктурі з глибокими фрагментами. Безпека фізичного рівня може захистити мережі 6G IoT від небезпек, включаючи атаки уособлення, і покращити керування доступом до мережі. Найсуттєвішою відмінністю в адмініструванні абонентів 6G порівняно з 5G є впровадження нового підходу до керування ідентифікацією користувачів.

2. Безпека мережевого домену: виникне потреба в нових відкритих методах автентифікації через поширення 6G на неземні мережі, такі як супутниковий і морський зв'язок.

3. Безпека домену користувача: автентифікація за допомогою біометрії або служби без пароля для механізмів контролю доступу була довгоочікуваною функцією безпеки 6G. Багато програм десятиліттями поклалися на методи безпеки на основі паролів. На жаль, є кілька недоліків. Деякі з них легко зламати, зберігати їх дорого та важко запам'ятати. Автентифікація на основі мозкової хвилі або серцевого ритму може забезпечити більш безпечний і покращений механізм роботи з користувачем у майбутньому.

4. Безпека домену програми: обидві сторони повинні пройти автентифікацію, щоб довірчі мережі 6G працювали. Взаємна автентифікація за допомогою симетричного ключа все ще використовується в 5G. Проте мережі 6G можуть виграти від блокчейну та технологій DLT.

5. Безпека архітектури на основі послуг: коли справа доходить до 6G, архітектура безпеки на основі послуг, яка використовується в 5G, оновлюється до наскрізної архітектури безпеки на основі послуг і політики. Безпека домену є основою архітектури безпеки 5G, побудованої на архітектурі на основі послуг. Виводячи цю функцію на наступний рівень, 6G використовуватиме наскрізну архітектуру на основі послуг або, можливо, безпеку домену на основі архітектури, щоб задовольнити потреби персоналізації та гнучкості мікророзгортання, зберігаючи високий рівень безпеки.

Деякі важливі технології вже довели свою ефективність у важливих основних секторах мереж 6G. Вони забезпечують високий рівень безпеки, надійність із низькою затримкою та ефективні послуги зв'язку з мережами 6G. Однак більшість нових технологій 6G мають вищі ризики для безпеки та конфіденційності.

Запропоновані методи захисту фізичного рівня залежать від випадкових фізичних характеристик і шуму, що оточує бездротові мережі. Однак гнучкість механізмів PLS, особливо в умовах обмежених ресурсів, з можливостями проривних технологій 6G може прокласти шлях для нової ери PLS в епоху 6G.

Терагерцовий зв'язок (ТГц) поєднує оптичні хвилі з широким спектром і мікрохвилі, які можуть підтримувати високі швидкості передачі, надійний захист від перешкод і просту інтеграцію зондування та зв'язку. ТГц зв'язок спочатку використовується для задоволення системних потреб у швидкості передачі в порядку Тбіт/с. ТГц зв'язок стане цінним продовженням існуючих методів передачі. Вони, по суті, будуть використовуватися для зв'язку з латентними голографічними комунікаціями, маломасштабні комунікації, дані надвисокої ємності та передача на короткі відстані з надвисокою швидкістю – це лише деякі з можливостей застосування.

Існує три типові архітектурні конструкції трансивера: архітектура прямої модуляції, архітектура модуляції твердотілого частотного змішування та архітектура оптоелектронної модуляції. Основними проблемами проектування для архітектури є відмінна сумісність, відмінна

енергоефективність і економічна ефективність. Що стосується компонентів RFend, основні елементи ТГц системи включають джерело ТГц сигналу, змішувач, помножувач, детектор і підсилювач.

На даний момент робочі частоти ТГц і вихідна потужність не задовольняють комерційним критеріям високої ефективності системи, низького енергоспоживання і збільшеного терміну служби. Потрібно досліджувати передові напівпровідникові матеріали, такі як германід кремнію (SiGe) і фосфід індію (InP). Крім того, ТГц системи потребують швидкості передачі в режимі реального часу Тбіт/с при обробці базового сигналу. Таким чином, розробка технологій високошвидкісної обробки сигналів базової смуги є простою та споживає мало енергії. З точки зору антен, більшість антен з високим коефіцієнтом посилення сьогодні мають масивні рефлектори, що сприяє розвитку технології надвеликомасштабних ТГц антен зі зменшеними габаритами. Проте радіодіапазони мм-хвиль широко використовуються в мережах 5G. Вимога щодо дуже високих швидкостей передачі в середовищі 6G робить такі діапазони достатніми. У зв'язку з цим радіочастотні діапазони практично реалізовані і не можуть бути використані для майбутніх технологій.

Комунікації видимим світлом (VLC) – це практична технологія, яка може відповідати вимогам бездротової мережі 6G. Крім того, VLC протягом тривалого часу досліджувався в багатьох областях, наприклад, у рішеннях для локалізації в приміщеннях і мережі Vehicle-Ad-Hoc-Network (VANET). Технологія VLC має широку смугу пропускання, що робить її толерантною до перешкод у порівнянні з радіочастотами із серйозними перешкодами та значною затримкою. Стандарти безпеки VLC відповідають основним вимогам безпеки для всіх бездротових мереж. Критерії конфіденційності, цілісності, автентичності, доступності (CIAA) описуються як:

1. Конфіденційність: обмежує доступ до даних лише для призначених одержувачів і запобігає розголошенню інформації стороннім організаціям.
2. Цілісність: щоб забезпечити правильність надісланої інформації, перевіряється ідентифікація мережевого вузла.
3. Автентифікація: залежить від автентифікації особистості та інформації. Перша – це забезпечення ідентифікації особи, яка має доступ, тоді як достовірність інформації передбачає, що ніхто не змінює передану інформацію. Обидві частини автентифікації необхідні для забезпечення безпеки інформації та ресурсів.
4. Доступність: це можливість користувачів підключатися до бездротової мережі в будь-який час і з будь-якого місця.

Крім того, накладання сигналів може призвести до накладення різних сигналів передавача; тому автентичність, цілісність і доступність можуть бути під загрозою. На фізичні характеристики світлового середовища зв'язку в основному впливають два найнижчі рівні (рівень РНУ і рівень МАС). Атаки в цій технології спрямовані на фізичний рівень шляхом підслуховування, глушіння та захоплення переданих даних. Інші атаки контролю доступу відбуваються через авторизований доступ до бездротового середовища з атаками автентифікації.

Техніка молекулярного зв'язку є перспективною технологією 6G. Однак метод ще знаходиться на початковій стадії. Фундаментальним принципом технології молекулярної комунікації є передача інформації за допомогою біологічних сигналів.

Нещодавно штучний інтелект і машинне навчання були відзначені як необхідні компоненти мережевої архітектури всіх технологій мереж 6G. Штучний інтелект в мережах 5G реалізується в місцях з величезною кількістю навчальних даних і ефективними обчислювальними ядрами. Однак штучний інтелект / машинне навчання стало основою мереж 6G. Штучний інтелект та машинне навчання використовуються для захисту різних фреймів безпеки та захисту 6G. Використання штучного інтелекту та машинного навчання в безпеці робить рішення безпеки більш автономними та точнішими з можливостями прогнозування для аналітики безпеки.

До проблем, пов'язаних зі штучним інтелектом / машинним навчанням у системі 6G варто віднести:

1. Надійність. Надійність моделей і компонентів машинного навчання стає важливою, коли штучний інтелект забезпечує безпеку мережі.
2. Видимість. Моніторинг функцій безпеки на основі штучного інтелекту та машинного навчання у режимі реального часу для забезпечення контролю та надійності.

3. Етичні та правові аспекти. Методи оптимізації на основі штучного інтелекту можуть обмежити роботу деяких клієнтів або програм. Рішення безпеки на основі штучного інтелекту є однаковими щодо захисту всіх користувачів контрольованих ШІ.

4. Розширюваність і життєздатність. Масштабованість необхідних обчислювальних, комунікаційних і сховищ є проблемою для штучного інтелекту.

5. Контрольовані завдання безпеки. Великі накладні витрати можуть виникнути, коли рішення безпеки штучного інтелекту пов'язані зі значними процесами обробки даних.

6. Гнучкість моделей. Має бути безпечним та гнучким на етапах навчання та висновків.

Очікувана інтелектуальна система 6G призначена для вдосконалених механізмів і методів штучного інтелекту для підтримки високих вимог до послуг, необхідних можливостей і нових вимог до випадків використання.

Висновки. Очікувана інноваційна система 6G включає технології ШІ для підвищення безпеки та захисту мережі. Рівні архітектури безпеки включають інтелектуальний рівень зондування, інтелектуальний крайовий рівень, інтелектуальний рівень керування та інтелектуальний прикладний рівень. Кожен рівень підтримує різні функції та запроваджує деякі атаки. Більшість нових технологій 6G створюють значні загрози безпеці та конфіденційності. Ці провідні технології були виділені, уточнюючи їхні проблеми безпеки та атаки, а також рішення для запобігання безпеці. Кожне нове покоління мережевих технологій представляє інноваційні програми. Пошук рішення для захисту 6G є критичним питанням, яке потрібно буде дослідити в майбутньому.

Список бібліографічного опису

1. Santiago Adrian, Cerio Andoni, Sanchoyerto Martinez Aitor, Liberal Fidel. Analysis of Mission Critical Services Radio Access Network Capacity Limitations Over 5G. IEEE Access. 2024. P. 1-1. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3350902.
2. Васильківський М.В., Будащ М.В., Болдирева О.С. Забезпечення інформаційного захисту в телекомунікаційних мережах 6G. Науковий журнал "Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво" Луцьк, 2023. Випуск № 50. С. 142-150.
3. Дослідження мобільного широкосмугового зв'язку із застосуванням штучного інтелекту / Н.В. Руденко, Л.В. Дакова, С.Ю. Даков, І.І. Пархоменко, Н.В. Блаженний // Проблеми розвитку та вдосконалення єдиної національної системи зв'язку. Зв'язок, Київ, 2023. № 2. С. 3-9. DOI: 10.31673/2412-9070.2023.020309
4. Одарченко Р. С. Ключові напрямки досліджень стільникових мереж на шляху до 6G (огляд) / Р. С. Одарченко, Т. В. Дика, О. В. Жарова, М. С. Одарченко, В. М. Жога, О. П. Слободян // Наукоємні технології. 2022. № 3. С. 215-228. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nt_2022_3_8

References

5. Xiaohu You, Wang Cheng-Xiang, Huang Jie, Gao Xiqi, Zhang Zaichen, Wang Michael, Huang Yongming, Zhang Chuan, Jiang Yanxiang, Wang Jiaheng, Zhu Min, Sheng Bin, Wang Dongming, Pan Zhiwen, Zhu Pengcheng, Yang Yang, Liu Zening, Ding Zhang, Tao Xiaofeng, Liang Ying-Chang. Towards 6G wireless communication networks: vision, enabling technologies, and new paradigm shifts. Science China Information Sciences. 2021. № 64. DOI: 10.1007/s11432-020-2955-6.
6. Emiliano Leite José Roberto, Ursini Edson, Chmielewski Adão, Silva Antônio. New Technological Waves Emerging in Digital Transformation: Internet of Things IoT/IoE, 5G/6G Mobile Networks and Industries 4.0/5.0. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-31007-2_30.
7. Sharma Gourav, Patel Dhruvin, Sachs Joachim, Andrade Marilet, Farkas Janos, Harmatos János, Varga Balazs, Bernhard H.-P., Muzaffar Raheeb, Ahmed Mahin, Duerr Frank, Bruckner Dietmar, Montesdeoca Edgardo, Houatra Drissa, Zhang Hongwei, Gross James. Toward Deterministic Communications in 6G Networks: State of the Art, Open Challenges and the Way Forward. IEEE Access. 2023. P. 1-1. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3316605.
8. Šarac Marko, Pavlović Nikola, Bacanin Nebojsa, Al-Turjman Fadi, Adamović Saša. Increasing privacy and security by integrating a Blockchain Secure Interface into an IoT Device Security Gateway Architecture. Energy Reports. 2021. № 7. DOI: 10.1016/j.egyr.2021.07.078.
9. Mitra Rupendra, Rong Bo. From 5G to 6G: Technologies, Architecture, AI, and Security. IEEE Wireless Communications. 2023. № 30. P. 16-26. DOI: 10.1109/MWC.2023.10355088.
10. Jahankhani Hamid, Kendzierskyj Stefan, Hussien Osama. (2023). Approaches and Methods for Regulation of Security Risks in 5G and 6G. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-33631-7_2.
11. Muheidat Fadi, Dajani Khalil, Tawalbeh Lo'ai. Security Concerns for 5G/6G Mobile Network Technology and Quantum Communication. Procedia Computer Science. 2022. № 203. P. 32-40. DOI: 10.1016/j.procs.2022.07.007.
12. Chhabra Sonia, Aiden Manpreet, Sabharwal Shweta, Al-Asadi Mustafa. 5G and 6G Technologies for Smart City. 2023. DOI: 10.1007/978-3-031-22922-0_14.

13. Ounza Jairus. A Taxonomical Survey of 5G and 6G Security and Privacy Issues. 2023. №14. P. 42–60. DOI: 10.30574/gjeta.2023.14.3.0047.
14. Fatima Zainab, Arshad Sadia, Andleeb Maria, Zardari Shehnila. Network Privacy and Security Issues in 5G and 6G. 2023. DOI: 10.22541/au.167930311.15785905/v1.
15. Khan Shah Khalid, Shiwakoti Nirajan, Stasinopoulos Peter, Warren Matthew. Security assessment in Vehicle-to-Everything communications with the integration of 5G and 6G networks. 2021. P. 154-158. DOI: 10.1109/ISCSIC54682.2021.00037.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-30>

УДК 621.391

Михалевський Дмитро Валерійович, д.т.н., доцент

<http://orcid.org/0000-0001-5797-164X>

Луценко Олексій Миколайович, магістр

<https://orcid.org/0009-0000-2183-3130>

Шаповалова Тетяна Володимирівна, магістр

<https://orcid.org/0009-0008-5467-7240>

Ківшар Олександр Юрійович, магістр

<https://orcid.org/0009-0008-8093-4087>

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Вінниця, Україна.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОКУМЕНТООБИГУ У ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИНАХ НА БАЗІ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Михалевський Д.В., Луценко О.М., Шаповалова Т.В., Ківшар О.Ю. Підвищення ефективності документообігу у військових частинах на базі хмарних технологій. В роботі проведено аналіз хмарних технологій для військових цілей на базі підвнів апаратного та програмного забезпечення та інтерактивного інтерфейсу для доступу до послуг. Це дає змогу отримати будь-які необхідні послуги для користувачів незалежно від місця розташування при умові існування будь-якого каналу передачі даних із мінімально необхідною пропускну здатністю із застосуванням відкритих інтерфейсів серверів, а також використання програмного забезпечення з відкритим кодом. Досліджено процес обміну інформацією у військових хмарах на основі мобільних мереж спеціального призначення із використанням програмно-конфігурованих персональних військових терміналів.

Реалізовано віртуальне середовище на базі діючої телекомунікаційної мережі військової частини використовуючи програмне забезпечення Nextcloud для організації електронного документообігу. Встановлено, що при доступі до електронних форм документів для всіх необхідних ланок керування військової частини, час на оформлення може скоротитись від кількох хвилин до години на відміну від витрат військовослужбовцем на особисте погодження, що займає від кількох годин до кількох діб, особливо у випадках знаходження підрозділів і штабів частин в інших населених пунктах, що потребує значного переривання від виконання своїх службових обов'язків для передачі документів.

Крім того, встановлено, що однією з головних переваг у використанні програмного забезпечення Nextcloud є забезпечення високого рівня безпеки даних для забезпечення конфіденційності. Створення документообігу на базі Nextcloud, забезпечує високий рівень безпеки із застосуванням шифрування та аутентифікації, що зменшують ризики втрати чи несанкціонованого доступу. Для цього використовується захищене з'єднання HTTPS для передачі даних між терміналом користувача і сервером, багатфакторна аутентифікація (MFA), налаштування прав доступу та привілеїв, застосування мережних екранів на рівні сервера, системний журнал та моніторинг подій для виявлення та відслідковування підозрілої активності.

Ключові слова: хмарна технологія, тактична хмара, військова хмара, військовий термінал, електронний документообіг, Nextcloud, військова частина, телекомунікаційна мережа, база даних.

Mykhalevskiy D., Lutsenko O., Shapovalova T., Kivshar O. Increasing the efficiency of document flow in military units based on cloud technologies. The paper analyzes cloud technologies for military purposes based on the levels of hardware and software and an interactive interface for accessing services. This allows obtaining any necessary services for users regardless of location, provided there is any data transmission channel with minimal necessary bandwidth using open server interfaces, as well as using open-source software. The process of information exchange in military clouds based on special-purpose mobile networks using software-configurable personal military terminals has been studied.

A virtual environment has been implemented based on the existing telecommunications network of the military unit using Nextcloud software to organize electronic document circulation. It has been established that when accessing electronic document forms for all necessary management links of the military unit, the processing time can be reduced from several minutes to an hour compared to the time spent by military personnel on personal coordination, which takes from several hours to several days, especially in cases where units and staffs are located in other settlements, requiring significant interruption from performing their duties to transfer documents.

Furthermore, it has been established that one of the main advantages of using Nextcloud software is providing a high level of data security to ensure confidentiality. Creating document circulation based on Nextcloud ensures a high level of security using encryption and authentication, which reduce the risks of loss or unauthorized access. This involves using a secure HTTPS connection for data transmission between the user terminal and the server, multi-factor authentication (MFA), access rights and privilege settings, application of network firewalls at the server level, system logging, and event monitoring to detect and track suspicious activity.

Keywords: cloud technology, tactical cloud, military cloud, military terminal, electronic document circulation, Nextcloud, military unit, telecommunications network, database.

Постановка завдання. На сьогодні, в структурах міністерства оборони та військових частин успішно впроваджуються системи електронного документообігу які дозволяють виконувати обмін інформацією в електронній формі із застосуванням електронного цифрового підпису, електронної печатки та електронної позначки часу. Крім того, активно застосовуються електронні системи обліку персоналу. Використовуючи хмарні технології, таке впровадження дозволяє створити загальнодоступну систематизовану базу даних та єдине сховище інформації, доступ до яких можна отримати із будь-якої точки світу за допомогою систем доступу [1].

Проте, як показує практика, в повсякденній діяльності у військових частинах фактично відсутня повноцінна система електронного документообігу. Так кожен військовослужбовець військової частини відпрацьовуючи паперовий документ, погоджуючи його з відповідними посадовими особами, ходить по службам частини, погоджує його, та здає на підпис до відповідальних посадових осіб. На відпрацювання документів та їх реалізацію витрачається багато часу, що зменшує ефективність виконання військовослужбовцями своїх посадових обов'язків. З метою підвищення ефективності документообігу у військових частинах є актуальним цифрова трансформація всіх етапів обміну інформацією між відповідними посадовими особами та із мінімізацією затрат на побудову телекомунікаційної інфраструктури.

Метою роботи є: підвищення ефективності документообігу у військових частинах на базі впровадження хмарного сервісу "Nextcloud".

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо [2], хмарні обчислення це концепція інформаційних технологій, яка передбачає швидкий доступ до інфокомунікаційних послуг, додатків і сервісів які знаходяться на серверах, за допомогою технологій мережі Інтернет з мінімальними апаратними вимогами для клієнтського пристрою. Корпоративний сектор досить швидко переходить на такий спосіб обміну інформації, який значно спрощує створення, надання та керування послугами в багатьох сферах, таких як швидкий доступ до інформації, банківські послуги, торгівля, освіта, розваги та ін. З іншого боку, значного поширення хмарні технології набули у військовій сфері [3]. Потреба інформаційно-технічної переваги над противником передбачає розвиток телекомунікаційної інфраструктури спеціального призначення із постійними високошвидкісними каналами передачі даних та безпечним підключенням абонентських терміналів. Використання тактичних хмарних технологій дозволяє забезпечити операційну ефективність, підвищити якість прийняття рішень командиром та покращити обізнаність про ситуацію, а також підвищити ефективність обробки даних від сенсорних мереж. Така технологія пропонує необхідні технологічні вдосконалення для військових цілей, а її можливості дозволяють створювати різноманітні послуги для військових цілей.

Як перевага у технічному забезпеченні та оперативному отриманні розвідувальної інформації безпосередньо із ліній зіткнення, є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для різних військових застосувань [4]. Недоліком БПЛА є обмеження обчислювальної здатності та розмірів. Але застосування хмарних технологій, на базі віддалених серверів, дозволяє вирішити таку проблему та розширити можливості вирішення задач безпосередньо на лініях зіткнення за рахунок розробки нових методів керування та розподілом ресурсів БПЛА, та безпроводних мереж на їх базі [5-6].

У роботі [7], автори провели дослідження про використання хмарних технологій у різних сферах, включаючи військових. Встановлено, що використання такої технології забезпечує інформаційну перевагу на полі бою, спрощують надання командирів актуальної інформації для прийняття ефективних рішень, забезпечують бійців оперативним доступом до інформації, необхідної для виконання своєї місії. На базі хмарних технологій побудовані глобальна система командування та контролю, система підтримки бойових дій та багатонаціональний обмін інформацією для планування і підвищення ефективності виконання військових операцій.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Хмарні технології поєднують у собі зв'язок мереж обчислення та зберігання даних та визначають технологію, що забезпечує швидкий і легкий доступ до інфокомунікаційних послуг будь-якої складності за допомогою Інтернету з мінімальними вимогами до апаратного забезпечення [2]. Сама технологія являє собою систему із підрівнів апаратного та програмного забезпечення та інтерактивного інтерфейсу для доступу до послуг. Кожен користувач може отримати будь-які необхідні послуги незалежно від місця розташування при умові існування будь-якого каналу передачі даних із мінімально необхідною пропускну здатністю [8]. Останній фактор забезпечується стрімким розвитком надійних і високопродуктивних інфраструктур мереж та подальшої конвергенції обладнання застосуванням відкритих інтерфейсів серверів, а також використання програмного забезпечення з відкритим кодом.

З точки зору побудови хмарних технологій, можна виділити чотири моделі [8]: публічна хмара, як базова модель хмарних обчислень, що передбачає створення послуг корпоративним сектором для клієнтів; хмара спільнот, створення доступу по запиті до загального інфокомунікаційного середовища яке може підтримуватись спільнотою організацій, що підвищує рівень безпеки даних; приватна хмара, створення ресурсів для певних спеціалізованих задач для підвищення безпеки та конфіденційності; гібридна хмара, передбачає використання змішаної побудови із хмар попередніх варіантів. Найбільш затребуваною побудовою для військових цілей є саме приватна хмара із високим ступенем захисту інформації, що передбачає збільшення затрат на її побудову.

В загальному використанні хмарної технології для військових цілей можна показати як на рис. 1.

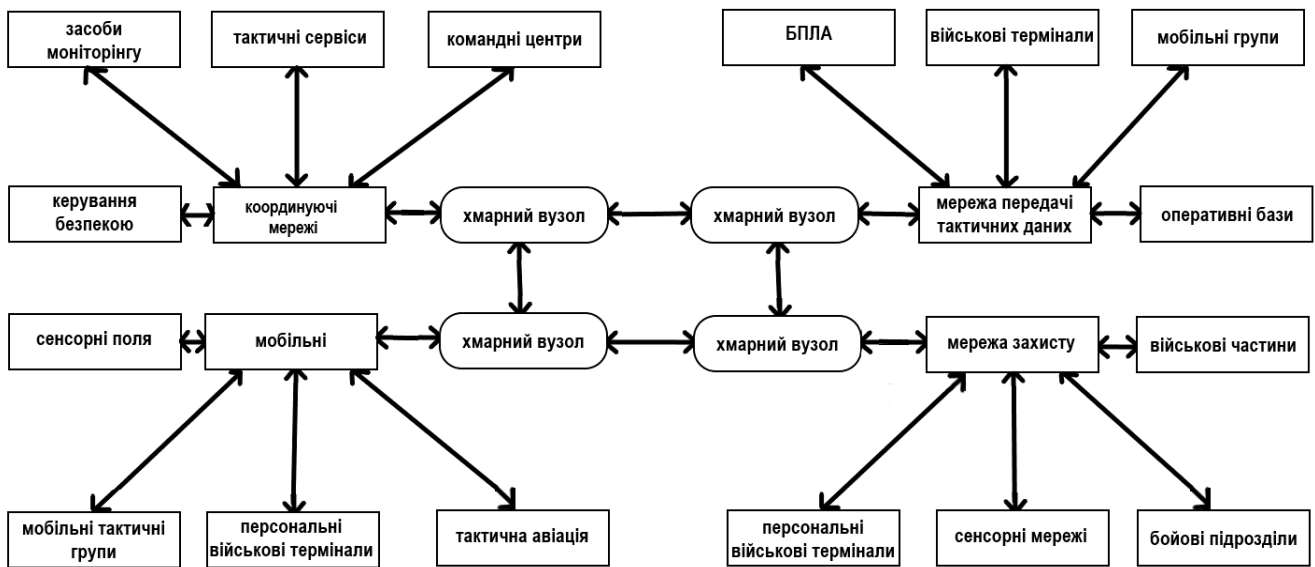


Рис. 1 – Використання хмарних технологій у військових цілях

Приватна хмара для військових цілей – це інфраструктура на базі хмарних вузлів, які забезпечують зберігання, обробку, доступ на вимогу до конфігурованих мережних ресурсів. Крім того, забезпечується висока гнучкість створення віртуалізації та синтезу віртуальних машин із високим ступенем захисту. Така хмара має середовище створення хмарних додатків і інтелектуальних мережних служб та інструменти надання доступу до них зовнішніх персональних військових терміналів. Також, хмара може мати фіксоване або мобільне розташування, для забезпечення послуг магістральної мережі в певній зоні відповідальності. Сам хмарний вузол, може являти собою набір серверів, сховищ, додатків і сервісів, віртуальних машин об'єднаних на основі різних технологій. Згідно з [3], приватна військова хмара повинна забезпечувати ряд можливостей:

- самообслуговування на вимогу, передбачає здійснення автоматичного регулювання ресурсами хмари в залежності від виконання поставлених військових задач;

- універсальний доступ до ресурсів хмари, передбачає існування загального віртуального середовища не залежно від технології доступу. Це дозволяє отримання одних і тих послуг для різних військових платформ.

- об'єднання ресурсів – всі програмно-апаратні ресурси хмари є одним цілим, та розподіляються динамічно за вимогою термінальних військових пристроїв із застосуванням алгоритмів маршрутизації для оптимізації ресурсів.

- швидка еластичність, надає можливість автоматичної зміни параметрів надання інфокомунікаційних послуг згідно запитів в будь-якій кількості від військових терміналів в будь-який час;

- розмірене обслуговування, передбачає автоматичний контроль і оптимізацію використання ресурсів для відповідного типу послуги за допомогою засобів моніторингу для забезпечення прозорості використання хмари для всіх користувачів;

Вказані можливості забезпечують створення актуальних служб спеціального призначення для всіх рівнів мереж визначення та реагування для військових цілей. В загальному, використання хмарних технологій для військових цілей потребує існування хмари безпосередньо біля кінцевих користувачів, тому можуть розгортатись додаткові хмарні вузли у мобільних, тактичних, координуючих та мережах захисту. Це додатково забезпечує надійність передачі інформації для середовищ із обмеженою пропускну здатністю.

Обмін інформацією у військових хмарах має свої особливості. Кінцеві користувачі підключаються через мобільні мережі спеціального призначення із використанням програмно-конфігурованих терміналів або пристроїв узгодження для прив'язки терміналів широкого вжитку (мобільні тактичні групи, тактична авіація, БПЛА, бойові підрозділи, командні центри). Як окреме термінальне обладнання, можна виділити сенсорні мережі та сенсорні поля, що складається із різноманітних переносних і наземних датчиків

морського, повітряного та наземного базування та потребують окремих ресурсів на обробку оперативної інформації [9].

Для забезпечення оперативного прийняття рішень від тактичних терміналів та сенсорних мереж, існують координаційні мережі із можливістю створення мобільних командних центрів, засобів моніторингу та керування безпекою.

Згідно [3], досить гострим є питання безпеки у хмарі. Кожен військовий термінал повинен використовувати шифрування даних із застосуванням персональних ключів, а також окреме шифрування для даних, які зберігаються в хмарі. Для цього, використовуються схеми керування ключами шифрування інформації, на рівні окремих об'єктів інфраструктури хмари, із можливістю її блокування. Використовуючи окреме шифрування кожного об'єкту зменшується загроза витоку інформації від загрози повного доступу від суперкористувача.

Таким чином, використання хмарних технологій для військових цілей забезпечує більш повне використання потужностей з обробки інформації, максимально ефективно розподіляє ресурси мережі відповідно запитів кінцевих пристроїв, оперативне реагування на зміну ситуації на лініях зіткнення, значно зменшує затрати на побудову інфраструктури і створення військових додатків та ін. Все необхідне програмне та апаратне забезпечення працює в хмарі, де зберігається вся інформація, яка доступна для підрозділів із будь-якої точки, при наявності абонентського терміналу із встановленим відповідними додатками та доступу до загальної мережі Інтернет.

Враховуючи вище наведений аналіз хмарних технологій та повсякденну діяльність у військових частинах, було запропоновано забезпечити повноцінну систему електронного документообігу. Залежно від цілей і завдань, можна виділити внутрішній і зовнішній документообіг. Внутрішній документообіг дозволяє обмінюватися документами тільки в межах структурних підрозділів військових частин. Зовнішній документообіг – це обмін вхідною та вихідною документацією між військовими частинами, командними центрами, мобільними штабами, персональними військовими терміналами та ін., які можуть знаходитись в різних в різних точках планети. Документообіг в військовій частині – це форма керування та обліку документів, особового складу, озброєння, матеріально-технічних засобів, планувальної діяльності, як на короткостроковий та довгостроковий термін [10]. Для реалізації документообігу було досліджено хмарну технологію Nextcloud [11], на базі якої організовано віртуальне середовище, як показано на рис. 2.

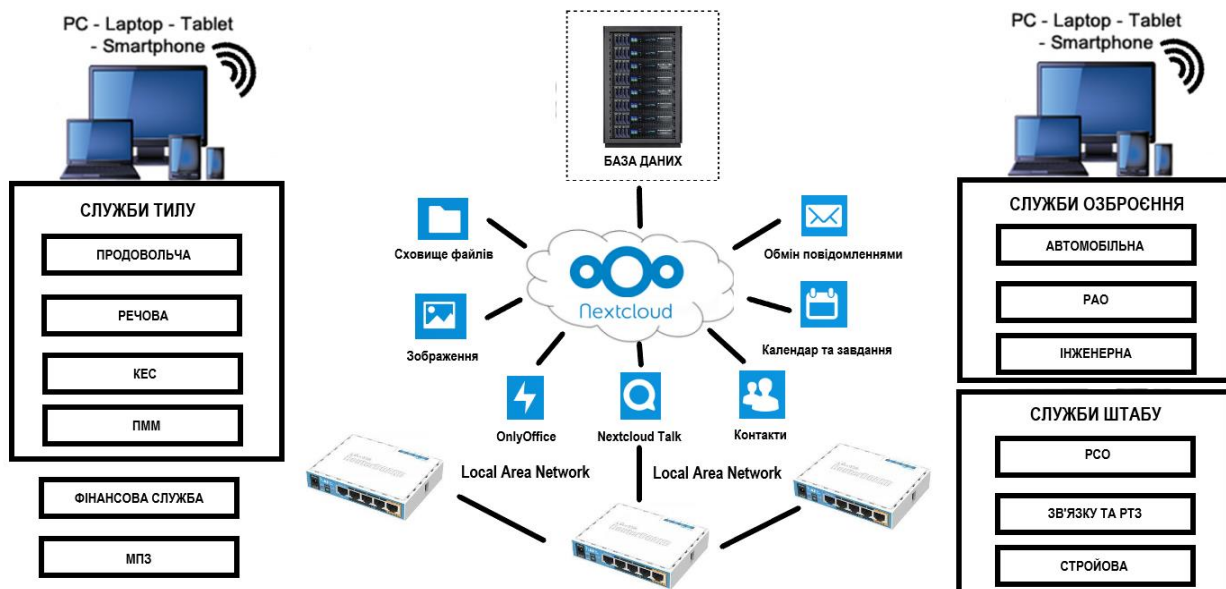


Рис. 2 – Побудова електронного документообігу на базі хмарної технології Nextcloud

Для реалізації віртуального середовища можна використати діючу телекомунікаційну мережу військової частини (як локальну), з подальшим її розширенням по мірі необхідності створення нових послуг. Об'єднання локальних мереж здійснюється за рахунок застосування діючого комунікаційного обладнання та створення хмари з відповідним програмним забезпеченням Nextcloud. Принцип дії розглянемо на прикладі варіанту оформлення рапорту на чергову відпустку. Військовослужбовець замість друкованого варіанту та особистого погодження у стройовій частині, із підписами у безпосереднього та

прямого командирів (начальників) та задачі у стройову частину, відпрацьовує рапорт в електронному вигляді із використанням будь-якого абонентського терміналу. Така форма створюється та зберігається за допомогою програмного забезпечення Nextcloud безпосередньо у хмарі. Доступ до такої форми є у всіх необхідних ланок керування військової частини з будь-якого пристрою (військовослужбовці та працівники причетні до погодження відпусток) та наявністю цифрового підпису. В результаті час на оформлення відпустки може скоротитись від кількох хвилин до години на відміну від витрат військовослужбовцем на особисте погодження, що займає від кількох годин до кількох діб, особливо у випадках знаходження підрозділів і штабів частин в інших населених пунктах, що потребує значного переривання від виконання своїх службових обов'язків військовослужбовцем для передачі документів.

Створення бази електронних шаблонів різного роду документів на базі хмарної технології Nextcloud дає можливість зменшити витрати на обладнання та автоматизувати оптимізацію використання ресурсів зберігання даних та процеси резервного копіювання. Всі документи зберігаються в хмарному сховищі, а доступ до них можливий із будь-якого пристрою, підключеного до Інтернету. Для створення документів використовується інтегрована офісна система, що дає можливість надання доступу для перегляду, роботи, редагування та створення спільних ресурсів, а також відстеження змін та можливість спілкування під час редагування.

Однією з головних переваг у використанні програмного забезпечення Nextcloud є забезпечення високого рівня безпеки даних для забезпечення конфіденційності. Створення документообігу на базі Nextcloud, забезпечує високий рівень безпеки із застосуванням шифрування та аутентифікації, що зменшують ризики втрати чи несанкціонованого доступу. Для цього використовується захищене з'єднання HTTPS для передачі даних між терміналом користувача і сервером, багатфакторна аутентифікація (MFA), налаштування прав доступу та привілеій, застосування мережних екранів на рівні сервера, системний журнал та моніторинг подій для виявлення та відслідковування підозрілої активності.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Аналіз можливостей інтеграції хмарних технологій для військових цілей свідчить про великий потенціал у цифровій трансформації сучасної армії. На відміну від звичайних телекомунікаційних систем, така технологія дає змогу забезпечити більш повне використання потужностей з обробки та зберігання інформації, економічну ефективність при створенні та користуванні інфокомунікаційними послугами та гнучкість у налаштуванні відповідно до потреб військової частини.

В роботі запропоновано створення системи цифрового документообігу на базі локальної мережі за рахунок застосування діючого телекомунікаційного обладнання з використанням хмарної технології Nextcloud та інтегрованого програмного забезпечення. Встановлено, що це дає можливість підвищити ефективність роботи всіх ланок управління, значно спрощує роботу командування частини, зменшує кількість особового складу задіяну для ведення документообігу, а також дозволяє значно зменшити фінансові витрати на підтримання життєдіяльності військової частини.

Таким чином, технологія Nextcloud дає можливість значно підвищити ефективність створення та користування інфокомунікаційними послугами для будь-якої військової частини. Правильно спроектована та впроваджена хмарна технологія сприяє ефективності роботи командування так і кожної посадової особи і підвищить можливості колективної роботи.

Список бібліографічного опису

1. M. H. Lambeva, B. N. Zlatinov, "Military Applications of Cloud Computing," Journal of Physics and Technology, Volume 3 (2019), Issue 1, pp. 68-71.
2. N. Taleb and E. A. Mohamed. "Cloud computing trends: A literature review," Academic Journal of Interdisciplinary Studies, vol. 9, no. 1, p. 91, 2020.
3. Tactical Cloud-Based Mission Services in a Military Environment. Tactical Cloud-Based Mission Services in a Military Environment. White Paper. Juniper Networks, Inc. Sept 2015, 26p.
4. K. T. Fórikac, "Application of cloud computing in the defense industry: An academic and practical viewpoint," Aarms Informatics. Vol. 11, No. 2 (2012) pp. 195-206.
5. D. V. Mykhalevskiy, "Evaluation of wireless information transmission channel settings of 802.11 wi-fi standard," Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2014, Vol. 6, Issue 9 (72), pp. 22-25. doi: 10.15587/17294061.2014.31666.
6. D.V. Mykhalevskiy, "Method for estimating the effective data rate in 802.11 channel with using monitoring algorithm," Journal of Applied Research and Technology, № 18 (3), 2020, pp. 119-128. DOI: 10.22201/icat.24486736e.2020.18.3.1089.
7. S. Süleyman, K. Volkan, K. İbrahim, Ş. Ahmet, "Military clouds: utilization of cloud computing systems at the battlefield," Proc. SPIE8405, Defense Transformation and Net-Centric Systems 2012, pp 1-8, doi: 10.1117/12.919197.
8. D. Mykhalevskiy, "Development of the method of evaluation of effective data rate on the basis of empirical model of statistical relationship of basic parameters for the wireless channel 802.11 standard," Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 5/9 (107), pp. 26-35. 2020. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.114191.
9. A Madhu, A. Sreekumar, "Wireless Sensor Network Security in Military Application using Unmanned Vehicle," OSR Journal

of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE), pp. 51-58.

10. Property book operations handbook, "Logistics training department, quartermaster school," Fort Lee, Virginia, October 2021, 107p.

11. The Nextcloud developers, "Nextcloud User Manual," Release latest, May 02, 2022, 99p.

References

12. M. H. Lambeva, B. N. Zlatinov, "Military Applications of Cloud Computing," Journal of Physics and Technology, Volume 3 (2019), Issue 1, pp. 68-71.

13. N. Taleb and E. A. Mohamed. "Cloud computing trends: A literature review," Academic Journal of Interdisciplinary Studies, vol. 9, no. 1, p. 91, 2020.

14. Tactical Cloud-Based Mission Services in a Military Environment. Tactical Cloud-Based Mission Services in a Military Environment. White Paper. Juniper Networks, Inc. Sept 2015, 26p.

15. K. T. Fórikai, "Application of cloud computing in the defense industry: An academic and practical viewpoint," Arms Informatics. Vol. 11, No. 2 (2012) pp. 195–206.

16. D. V. Mykhalevskiy, "Evaluation of wireless information transmission channel settings of 802.11 wi-fi standard," Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2014, Vol. 6, Issue 9 (72), pp. 22-25. doi: 10.15587/17294061.2014.31666.

17. D.V. Mykhalevskiy, "Method for estimating the effective data rate in 802.11 channel with using monitoring algorithm," Journal of Applied Research and Technology, № 18 (3), 2020, pp. 119–128. DOI: 10.22201/icat.24486736e.2020.18.3.1089.

18. S. Süleyman, K. Volkan, K. İbrahim, Ş. Ahmet, "Military clouds: utilization of cloud computing systems at the battlefield," Proc. SPIE8405, Defense Transformation and Net-Centric Systems 2012, pp 1-8, doi: 10.1117/12.919197.

19. D. Mykhalevskiy, "Development of the method of evaluation of effective data rate on the basis of empirical model of statistical relationship of basic parameters for the wireless channel 802.11 standard," Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 5/9 (107), pp. 26–35. 2020. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.114191.

20. A Madhu, A. Sreekumar, "Wireless Sensor Network Security in Military Application using Unmanned Vehicle," OSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE), pp. 51-58.

21. Property book operations handbook, "Logistics training department, quartermaster school," Fort Lee, Virginia, October 2021, 107p.

22. The Nextcloud developers, "Nextcloud User Manual," Release latest, May 02, 2022, 99p.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-31>

УДК 621.317

Мороз Сергій Анатолійович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-4677-5170>

Лишук Віктор Васильович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-4049-8467>

Чалий Василь Дмитрович, магістрант

<https://orcid.org/0000-0002-6592-6715>

Горайчук Андрій Андрійович, магістрант

Тарарай Дмитро Миколайович, студент

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ ДАВАЧА ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Мороз С.А., Лишук В.В., Чалий В.Д., Горайчук А.А., Тарарай Д.М. Аналіз формування вихідного сигналу давача інфрачервоного випромінювання. В статті проведений аналіз особливостей використання піроелектричних давачів розглянуто суть піроелектричного ефекту, наведені принципи формування теплового випромінювання в зоні виявлення давача, досліджено процес формування вихідного сигналу при дії теплової енергії на давач. Наведені відповідні графіки вихідного сигналу давача. Зроблені відповідні висновки за результатами аналізу.

Ключові слова: чутливий елемент, піроприймач, давач ІЧ-випромінювання, сигналоутворення, зона чутливості.

Moroz S., Lyshuk V., Chalyi V., Goraychuk A., Tararai D. Analysis of the formation of the output signal of the infrared radiation sensor. The article analyzed the features of using pyroelectric sensors, considered the essence of the pyroelectric effect, stated the principles of the formation of thermal radiation in the detection zone of the sensor, investigated the process of forming the output signal when thermal energy acts on the sensor. The corresponding graphs of the output signal of the encoder are given. Appropriate conclusions were drawn based on the results of the analysis.

Key words: sensitive element, pyroreceiver, IR transmitter, signal generation, sensitivity zone.

Постановка проблеми.

Давачі на основі піроелектричного чутливого елемента широко використовуються для різних потреб людини. Це можуть бути охоронні сигналізації, системи автоматичного ввімкнення освітлення тощо. В основі роботи таких давачів лежить реєстрація інфрачервоного випромінювання (ІЧ) живого тіла за допомогою чутливого елемента. Інфрачервоне випромінювання – це тип електромагнітної хвилі, довжина хвилі якої довша, ніж у видимого світла (0,74 мкм), але коротше, ніж у радіохвилі (1-2 мм). Таке випромінювання неможливо побачити людським оком, але воно має теплову енергію, яку можна задетектувати [1, 2].

Людське тіло має температуру в інтервалі від 31°C до 42°C, яка залежить від теплообміну між шкірою та навколишнім середовищем. Воно є джерелом переважно ІЧ випромінювання в діапазоні хвиль довжиною від 4 до 50 мкм. При цьому щільність випромінювання шкіри тіла людини становить: із довжиною хвилі до 5 мкм – до 1%; з довжиною хвилі від 5 до 9 мкм – 20%; з довжиною хвилі від 9 до 16 мкм – 30%; з довжиною хвилі понад 16мкм – понад 41% (рисунок 1). Людське тіло випромінює інфрачервону енергію з піковою довжиною хвилі від 9 мкм до 10 мкм. Крім того, пікова довжина хвилі інфрачервоних променів, що випускаються об'єктом, що нагрівається, стає коротше в міру підвищення температури [3, 4].

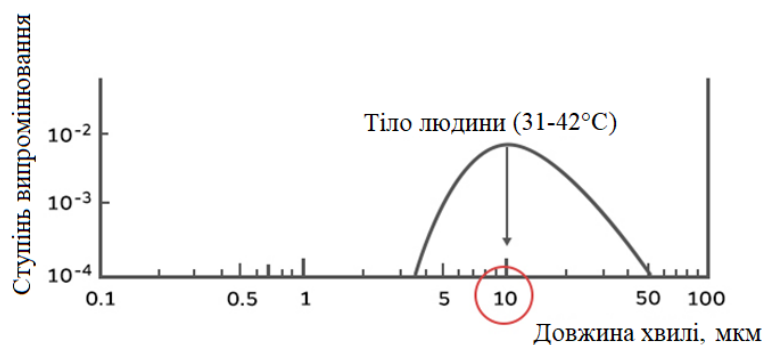


Рис. 1 – Розподіл випромінювання тіла людини по довжині хвилі

Для розуміння можливостей використання піроелектричних датчиків для конкретних випадків потрібно знати суть піроелектричного ефекту, принципи формування теплових потоків в зоні виявлення та як формується вихідний сигнал при дії теплової енергії на датчик.

Аналіз останніх публікацій та мета дослідження

Принцип роботи чутливого елемента датчика полягає в тому, що для деяких кристалічних матеріалів характерною є властивість поляризуватися під впливом ІЧ випромінювання. Разом зі зміною інтенсивності випромінювання здійснюється поляризація і, як наслідок, створюється дипольний момент в кристалі з матеріалів, які називають піроелектриками [5-7]. Детектуючи різницю потенціалів, що утворюються в результаті поляризації між різними областями кристалу піроелектрика можна спостерігати величину теплового ІЧ випромінювання (рисунк 2).

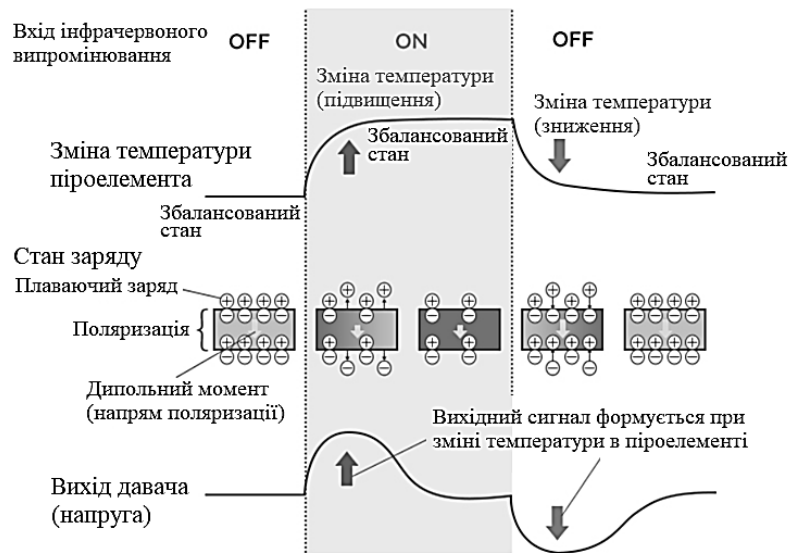


Рис. 2 – Явище піроелектричного ефекту

Принцип дії ІЧ датчиків полягає в реєстрації теплових сигналів, які випромінюються об'єктами в зоні дії датчика. Корисний сигнал на виході одноплощинного піроприймача, в залежності від випромінювання визначається формулою (1):

$$S(t) = S_U \Delta Q(t), \quad (1)$$

де S_U – чутливість по напрузі приймача випромінювання; $\Delta Q(t)$ – зміна величини теплового потоку, що потрапляє у вхідний отвір оптичної системи та виникає у разі руху об'єкта в зоні дії датчика.

Максимальне значення $\Delta Q(t)$ виникає у випадку, якщо об'єкт повністю потрапляє у зону виявлення ІЧ датчика. Прийmemo це значення як ΔQ .

Розглянемо варіант, якщо втрати в оптичній системі досить малі, тому ними можна знехтувати. Визначимо ΔQ через параметри об'єкта та фону навколишнього середовища. Припустимо, що у межах фону (абсолютна температура поверхні якого T_ϕ і випромінювальна здатність E_ϕ), з'являється об'єкт з абсолютною температурою $T_{об}$ та випромінювальною здатністю $E_{об}$. Площу проекції об'єкта на площину, яка перпендикулярна до напрямку випромінювання, позначимо $S_{об}$, а площу проекції фону в полі зору позначимо S_ϕ . Для такого випадку величина теплового потоку, яка потрапляє на вхідний отвір оптичної системи до появи об'єкта спостереження, визначається формулою (2):

$$Q_\phi = L_\phi \frac{S_\phi S_{вх}}{l_\phi^2}, \quad (2)$$

де l_ϕ – відстань від вхідного отвору до фонові поверхні; L_ϕ – яскравість фону; $S_{вх}$ – площа вхідного отвору оптичної системи.

Величина теплового потоку, який створюється об'єктом спостереження, визначається формулою (3):

$$Q_{об} = L_{об} \frac{S_{об} S_{вх}}{l^2}, \quad (3)$$

де l – відстань від датчика до об'єкта спостереження; $L_{об}$ – яскравість об'єкта спостереження.

За наявності об'єкта спостереження сумарний тепловий потік, який потрапляє у вхідний отвір, що створюється об'єктом та окремою частиною не екранованої об'єктом фонові поверхні

визначається за формулою (4):

$$Q_{\Sigma} = L_{\Phi} \frac{S_{\Phi} S_{\text{вх}}}{l_{\Phi}^2} + L_{\text{об}} \frac{S_{\text{об}} S_{\text{вх}}}{l^2} = L_{\Phi} \frac{S_{\text{вх}}}{l_{\Phi}^2} \left(S_{\Phi} - \frac{S_{\text{об}}}{l^2} l_{\Phi}^2 \right) + L_{\text{об}} \frac{S_{\text{об}} S_{\text{вх}}}{l^2}. \quad (4)$$

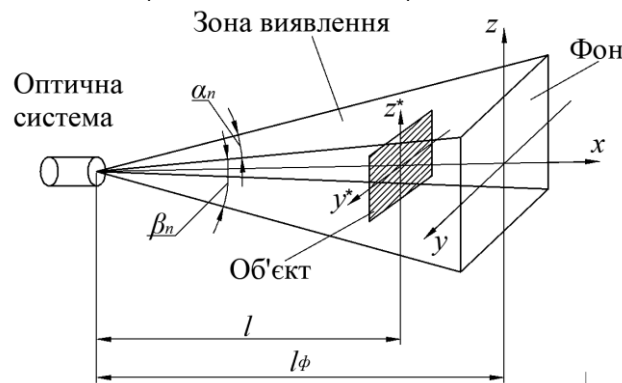


Рис. 3 – Схема зони виявлення інфрачервоного піроелектричного давача

Тоді зміна випромінювання теплового потоку ΔQ визначається за формулою (5):

$$\Delta Q = \frac{S_{\text{вх}} S_{\text{об}}}{l^2} (L_{\text{об}} - L_{\Phi}). \quad (5)$$

Прийmemo твердження, що для об'єкта спостереження та фону виконується закон Ламберта, тому визначимо яскравості $L_{\text{об}}$ та L_{Φ} через випромінювальні здатності та абсолютні температури:

$$L_{\Phi} = \frac{\delta_0 E_{\Phi} T_{\Phi}^4}{\pi}, \quad L_{\text{об}} = \frac{\delta_0 E_{\text{об}} T_{\text{об}}^4}{\pi}, \quad (6)$$

де $\delta_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ - постійна Стефана-Больцмана

Підставимо формулу (6) у формулу (5) та отримаємо вираз для ΔQ з врахуванням абсолютної температури і випромінювальної здатності об'єкта спостереження і фону:

$$\Delta Q = \frac{\delta_0 S_{\text{вх}} S_{\text{об}}}{\pi l^2} [E_{\text{об}} T_{\text{об}}^4 - E_{\Phi} T_{\Phi}^4] = \Delta E S_{\text{вх}}. \quad (7)$$

При заданих параметрах оптичної системи та приймача випромінювання значення сигналу повністю визначається зміною опроміненості чутливого елемента.

Відомо [3, 4], що випромінювальна здатність шкіри людини дуже висока та становить в середньому 0,99 відносно абсолютно чорного тіла на довжинах хвиль більше 4 мкм. В ІЧ області спектра оптичні властивості випромінювання шкірного покриву досить близькі до характеристик випромінювання чорного тіла. Температура шкіри залежить від теплообміну між шкірою та навколишнім середовищем. Так, при температурі повітря $+25^{\circ}\text{C}$ температура на поверхні долоні людини змінюється в межах $+32...+34^{\circ}\text{C}$, а при температурі повітря $+19^{\circ}\text{C}$ – змінюється в межах $+28...+30^{\circ}\text{C}$. Присутність одягу зменшує теплове випромінювання об'єкта, тому що температура одягу нижча, ніж температура оголеної шкіри. Якщо температура навколо об'єкта $+25^{\circ}\text{C}$ то середня температура поверхні тіла одягненої людини становить приблизно $+26^{\circ}\text{C}$.

Інші параметри, що входять у формулу (7), можуть набувати різних значень які залежать від конкретної обстановки та/або вхідних даних.

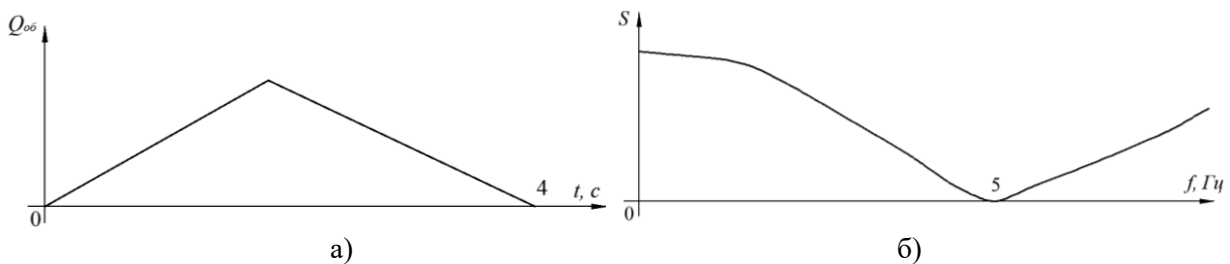
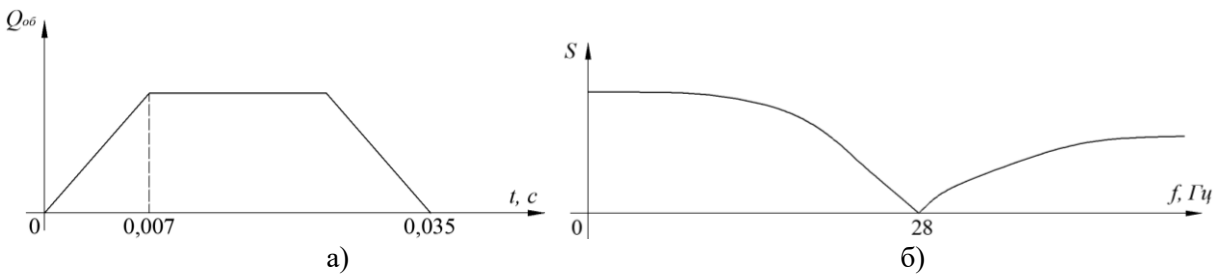
Виклад основного матеріалу дослідження.

Проаналізуємо процес сигналоутворення для давача, основні види завад та сторонніх впливів, які викликають хибне спрацювання ІЧ давача.

Сигналоутворення. Для кращого розуміння методів і алгоритмів підвищення завадостійкості ІЧ давача необхідно знати основні параметри сигналу – амплітуду, форму, тривалість ΔE , залежність від швидкості переміщення людини та температури фону

$$\Delta E = \frac{\delta_0 S_{\text{об}}}{\pi l^2} [E_{\text{об}} T_{\text{об}}^4 - E_{\Phi} T_{\Phi}^4]. \quad (7)$$

Розглянемо, для прикладу, одну зону виявлення довжина якої 10 м, а діаметр променя на основі конуса 0,3 м. Прийmemo, що людина перетинає зону за нормаллю до неї з різними швидкостями (V_{max} , V_{min}) на відстані від приймача 10, 5 та 1 м. Форма сигналу у випадку перетину променя на відстані 10 м має трикутноподібний вигляд з максимумом при повному перекритті зони виявлення (рисунок 4,а). На рисунку 4,б показаний спектр цього сигналу. Якщо перетин променя відбувся на меншій відстані сигнал набуває трапецієподібної форми з крутими фронтами (рисунок 5,а) і спектр цього сигналу набуває вигляду, який показаний на рисунку 5,б.

Рис. 4 – Форма та спектр сигналу на вході піроелектричного давача за умови D_{max} , V_{min} Рис. 5 – Форма та спектр сигналу на вході піроелектричного давача за умови D_{min} , V_{max}

Встановлено, що тривалість вихідного сигналу обернено пропорційна швидкості руху об'єкта і відстані до давача.

Реальний вихідний сигнал відрізняється від ідеального за рахунок різних спотворень, які вносяться трактом підсилення та впливом хаотичних шумів, що створюються різними температурними флуктуаціями фону. Записи реальних сигналів, отримані з використанням пасивного ІЧ сповіщувача наведено на рисунку 6. Також на рисунку подані його спектральні характеристики, які отримані за допомогою спектроаналізатора.

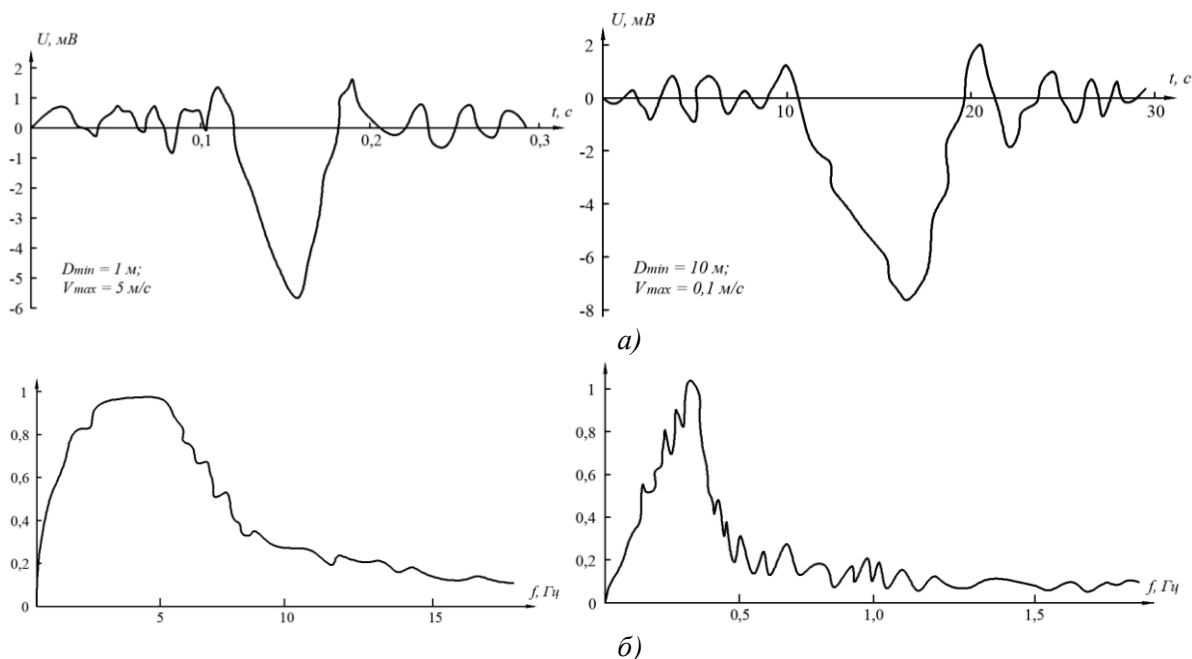


Рис. 6 – Графіки зміни сигналу на виході піроелектричного давача (а) та спектрограми сигналів (б)

Аналізом графіків встановлено спектральне «вікно», яке необхідне для пропускання сигналів, що утворюються при перетині зони виявлення будь-де у всьому діапазоні швидкостей об'єкту від 0,1 до 15 Гц. На краях діапазону присутня можливість ослаблення сигналу, оскільки піроприймач має АЧХ зі спадом в області 5...10 Гц. Для його компенсації потрібне введення в тракт обробки сигналу підсилювача, який забезпечує підйом АЧХ в області 5...20 Гц.

Температурний контраст. Зазвичай, амплітуда вихідного сигналу визначається

температурним контрастом між тілом людини та фоном, на який спрямований промінь виявлення. Оскільки температура фону змінюється зі зміною температури у приміщенні, то змінюється і вихідний сигнал, який пропорційний їх різниці.

У точці, де температура людини і фону співпадають, значення вихідного сигналу дорівнює нулю. В області вищих температур сигнал змінює знак. Температура фону в приміщенні відображає температурний стан повітря поза приміщенням із деяким запізненням, що обумовлено тепловою інерцією матеріалів стін та способом утеплення будівлі.

Температурний контраст, в цілому, залежить від температури зовнішньої поверхні людини, на що впливає переважно одяг. Причому необхідно врахувати, якщо людина входить у приміщення, де встановлено ПЧ давач руху, наприклад, з холодної вулиці, то в перший момент тепловий контраст є досить значним. Поступово, у міру «адаптації» температури одягу до температури приміщення сигнал суттєво зменшується. Проте навіть після тривалого перебування у приміщенні величина вхідного сигналу залежить від виду одягу. На рисунку 7 наведено експериментальні залежності температурного контрасту людини від температури навколо об'єкта. Штриховою лінією показано екстраполяцію експериментальних даних для температури вище $+40^{\circ}\text{C}$.

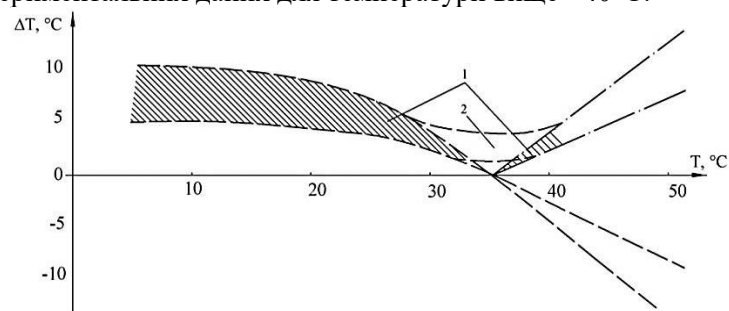


Рис. 7 – Залежність температурного контрасту людини від температури навколишнього середовища

Заштрихована область 1 – це діапазон контрастів залежно від форми одягу, типу фону, розмірів людини та швидкості його руху. Варто відзначити, що перехід величини температурного контрасту через нуль відбувався тільки в тому випадку, якщо в області температур $30 \dots 39,5^{\circ}\text{C}$ вимірювання проводилися після адаптації об'єкта в нагрітому приміщенні протягом 15 хв. У разі ж вторгнення об'єкта що знаходився до цього в приміщенні з температурою нижче 30°C або на відкритому повітрі з температурою 44°C , в зону чутливості давача, рівні сигналів в діапазоні температур $30 \dots 39,5^{\circ}\text{C}$ лежать в області 2 і не досягають нульового значення.

Розподіл температури на поверхні людини не рівномірний. Найбільш близька вона до 36°C на відкритих частинах тіла - лиці та руках, а температура поверхні одягу ближче до фону приміщення. Тому сигнал на вході піроприймача залежить від того, якою частиною тіла перекривається променева зона чутливості.

Проаналізуємо вплив завад, що викликають хибне спрацювання пасивних ПЧ давачів. Це такі впливи зовнішнього середовища або внутрішні шуми приймального пристрою давача, які не пов'язані з рухом об'єкта в зоні чутливості.

Існує наступна класифікація перешкод:

- теплові, які зумовлені нагріванням фону приміщення при дії на нього сонячного випромінювання, конвекційних потоків повітря від роботи радіаторів, кондиціонерів, протягів тощо;

- електричні, що викликаються наведеннями від джерел електро- та радіовипромінювань на окремі елементи електронної частини ПЧ давача;

- власні, які обумовлені шумами піроприймача та тракту підсилення вхідного сигналу;

- сторонні, які пов'язані з переміщенням у зоні чутливості ПЧ давача дрібних тварин або комах по поверхні вхідного оптичного вікна.

Висновки. У результаті аналізу процесу утворення вихідного сигналу встановлено, що амплітуда сигналу визначається температурним контрастом поверхні об'єкта виявлення та навколишнього фону, який може становити від частини градуса до десятків градусів; форма сигналу має трикутноподібний або трапецеїдальний вигляд, тривалість сигналу встановлюється місцем перетину зони виявлення і при русі нормалі до променя може становити від 0,05 до 10 с. Під час

руху під кутом до нормалі тривалість вихідного сигналу збільшується. Максимум спектральної густини вихідного сигналу знаходиться в інтервалі від 0,15 до 5 Гц; при русі людини вздовж променя сигнал мінімальний і визначається лише різницею температур окремих ділянок поверхні людини та становить величину менше 1°C; під час руху об'єкту між променями сигнал практично відсутній; при температурі в приміщенні, яка близька температурі поверхні тіла людини, сигнал мінімальний, тобто. різницю температур становить менше 1°C; амплітуди сигналів у різних променях зони виявлення можуть суттєво відрізнитись один від одного, оскільки визначаються температурним контрастом тіла людини та ділянкою фону, на який спрямований даний промінь. Різниця може досягати менше 10°C.

Спектральний діапазон завад охоплює діапазон сигналу і лежить у області від одного до десятків герц. Найнебезпечнішим типом завад є сонячне світло фону, ефект якого підвищує температуру фону на 3-5°C. Вплив від сонячного світла для близьких ділянок фону жорстко корелює між собою і може бути ослаблений при використанні двохпроменевої схеми побудови засобів виявлення. Конвективні завади від теплових побутових пристроїв мають вигляд флуктуаційних випадкових коливань температури, які досягають 2-3°C в діапазоні частот від 1 до 20 Гц зі слабкою кореляцією між променями.

Електричні завади мають форму коротких імпульсів або ступінчастих функцій із крутою передньою частиною, наведена напруга може бути в сотні разів вище, ніж вхідний сигнал. Власні шуми піроприймача, що відповідають сигналу, коли температура змінюється на 0,05 ... 0,15 °C, лежить у діапазоні частот, що перекриває діапазон вхідного сигналу, і збільшується пропорційно температурі приблизно половину на кожні 10 °C.

Список бібліографічного опису

1. Електронні елементи та пристрої систем безпеки й охорони: Навчальний посібник / Барило Г.І. та ін.; за заг. ред. Готри З.Ю. Чернівці: Рута, 2017. 216 с.
2. Frankiewicz and R. Cupek, "Smart passive infrared sensor - Hardware platform," IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Vienna, Austria, 2013, pp. 7543-7547, doi: 10.1109/IECON.2013.6700389.
3. O. Urfaliglu, E. B. Soyer, B. U. Toreyin and A. E. Cetin, "PIR-sensor based human motion event classification," 2008 IEEE 16th Signal Processing, Communication and Applications Conference, Aydin, Turkey, 2008, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIU.2008.4632611.
4. Луцьков С.В., Удовичка Ю.А., Хвищун М.В., Мороз С.А., Маслюк В.Т. Технологія одержання чутливого елемента для датчика інфрачервоного випромінювання // "Перспективні технології та прилади". Збірник наукових праць. Випуск 14. м. Луцьк, червень 2019 р. – Луцьк: Луцький НТУ, 2019. – С. 77–81.
5. Moroz, S.A., Khvyshchun, M.V., Tkachuk, A.A., Lyshuk V.V., Prystupa, S.O. Investigation of Features of Functioning of the Pyroelectric Sensors in Electronic Security Devices. IEEE 12th International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT). Pp. 27-32
6. Мороз С.А., Ткачук А.А., Лишук В.В. Особливості використання піроелектричних приймачів випромінювання для електронних пристроїв технології Smart City. Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції «Приладобудування та метрологія: сучасні проблеми, тенденції розвитку» 20-22 жовтня 2022 р. с. 47-48.
7. Yu Z, Yuan L, Luo W, Feng L, Lv G. Spatio-Temporal Constrained Human Trajectory Generation from the PIR Motion Detector Sensor Network Data: A Geometric Algebra Approach. Sensors. 2016; 16(1):43. <https://doi.org/10.3390/s16010043>.

References

1. Electronic elements and devices of safety and security systems: Training manual / G.I. Barilo. etc.; in general ed. Gotry Z.Yu. Chernivtsi: Ruta, 2017. 216 p.
2. Frankiewicz and R. Cupek, "Smart passive infrared sensor - Hardware platform," IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Vienna, Austria, 2013, pp. 7543-7547, doi: 10.1109/IECON.2013.6700389.
3. O. Urfaliglu, E. B. Soyer, B. U. Toreyin and A. E. Cetin, "PIR-sensor based human motion event classification," 2008 IEEE 16th Signal Processing, Communication and Applications Conference, Aydin, Turkey, 2008, pp. 1-4, doi: 10.1109/SIU.2008.4632611.
4. Lunyov S.V., Udovytka Yu.A., Khvishtun M.V., Moroz S.A., Maslyuk V.T. The technology of obtaining a sensitive element for an infrared radiation sensor // "Promising technologies and devices". Collection of scientific works. Issue 14. Lutsk, June 2019 - Lutsk: Lutsk National Technical University, 2019. - pp. 77–81.
5. Moroz, S.A., Khvyshchun, M.V., Tkachuk, A.A., Lyshuk V.V., Prystupa, S.O. Investigation of Features of Functioning of the Pyroelectric Sensors in Electronic Security Devices. IEEE 12th International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT). Pp. 27-32
6. Moroz S.A., Tkachuk A.A., Lyshuk V.V. Peculiarities of using pyroelectric radiation receivers for electronic devices of Smart City technology. Materials of the 5th All-Ukrainian scientific and practical conference "Instrumentation and metrology: modern problems, development trends" October 20-22, 2022 p. 47-48.
7. Yu Z, Yuan L, Luo W, Feng L, Lv G. Spatio-Temporal Constrained Human Trajectory Generation from the PIR Motion Detector Sensor Network Data: A Geometric Algebra Approach. Sensors. 2016; 16(1):43. <https://doi.org/10.3390/s16010043>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-32>

УДК 005.332.2:005.743-027.522]:[005.8:004.9](477)"202"

Васьків Роман Ігорович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-8549-5035>

Веретеннікова Наталія Вячеславівна, к.н.соц.к., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-9564-4084>

Національний університет «Львівська політехніка», м Львів, Україна

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ ФОРМУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМАНД

Васьків Р.І., Веретеннікова Н.В. Аналіз тенденцій формування та функціонування розподілених команд. У статті розглядається актуальність розподілених команд у сучасному середовищі та технологічно розвиненому світі, особливо в умовах, що змінюються, таких як воєнні конфлікти чи пандемії. Дослідження зосереджується на аналізі особливостей створення та функціонування розподілених команд у ІТ-проектах, з акцентом на виклики та можливості, які виникають перед українськими компаніями. Автори мають на меті вивчити роль та вплив інформаційно-технологічних платформ на ефективність роботи таких команд, а також оцінити вплив географічної, часової та функціональної розподілених команд на продуктивність. Стаття включає аналіз теоретичних основ, практик управління, сучасних інформаційних інструментів та методів роботи розподілених команд. Вибір оптимальної організаційної структури та інструментів управління проектами є ключовим для ефективної роботи розподілених команд.

Ключові слова: розподілені команди, управління проектами, організаційні структури, моделі управління проектами, платформи для управління проектами, комунікаційні інформаційні системи.

Vaskiv R., Veretennikova N.V. Analysis of trends in the formation and functioning of distributed teams. It is examined the relevance of distributed teams in today's environment and technologically advanced world, especially in changing conditions such as military conflicts or pandemics. The study focuses on the analysis of the peculiarities of the creation and functioning of distributed teams in IT projects, with an emphasis on the challenges and opportunities that arise for Ukrainian companies. The authors aim to examine the role and impact of information technology platforms on the effectiveness of such teams, as well as to assess the impact of geographical, time and functional distribution on productivity. The paper includes an analysis of theoretical foundations, management practices, modern information tools and methods of work of distributed teams. Choosing the optimal organizational structure and project management tools is key to the effective work of distributed teams.

Keywords: distributed teams, project management, organizational structures, project management models, project management platforms, communication information systems.

Постановка наукової проблеми. У сучасному світі, де глобалізація та технологічний прогрес невинно змінюють ландшафт бізнесу, розподілені команди стають все більш поширеним явищем у сфері управління проектами. Дослідження сучасних підходів до формування розподілених команд в контексті сучасних викликів та можливостей, з якими стикаються організації у своїх проектних ініціативах, набуває все більшої актуальності.

З розвитком інформаційних технологій та зростанням популярності гнучких форм роботи, компанії все частіше вдаються до формування команд, члени яких розташовані в різних географічних точках. Це відкриває нові можливості для залучення фахівців з усього світу, але водночас ставить перед керівниками проектів низку завдань, зокрема, у сферах комунікації, координації та культурної інтеграції.

Потреба вивчення ролі та особливостей функціонування розподілених команд у ІТ проектах, зокрема, українських компаній, стає щораз актуальнішою. В умовах сучасного ІТ бізнесу, що вимагає гнучкості та ефективності, українські компанії зіткнулися з проблемою функціонування команд у сучасних реаліях зовнішнього середовища. Постає необхідність створення географічно розподілених команд оскільки в умовах воєнного стану відбулася релокація офісів в інші міста, країни. В багатьох з них інший часовий пояс. В цьому дослідженні планується виявити тенденції та практики, які можуть сприяти підвищенню ефективності роботи розподілених команд ІТ проектів.

Мета роботи. Метою цього дослідження є аналіз особливостей побудови інформаційно-технологічних платформ для забезпечення ефективного функціонування розподілених команд. Ми прагнемо визначити основні чинники формування типу команд, а також оцінити, як використання комунікаційних та інформаційних інструментів впливає на ефективність функціонування команди.

Завданнями дослідження є:

- Вивчення теоретичних основ роботи розподілених команд.
- Аналіз поширення практик функціонування розподілених команд у ІТ галузі.
- Аналіз сучасних інструментів та методів, які використовуються для управління розподіленими командами.

- Оцінювання впливу географічної розподіленості на продуктивність функціонування команд.
- Розроблення рекомендацій для удосконалення процесів функціонування розподілених проєктних команд.

Для досягнення мети використано компаративний аналіз функціонування розподілених команд з врахуванням їх продуктивності та взаємодії їх учасників. Це дослідження спрямоване на визначення ролі та значення розподілених команд при управлінні ІТ проєктами, а також на виявлення чинників підвищення їх ефективності.

Аналіз останніх досліджень. Розподіленість команд ІТ проєктів може розглядатися у трьох аспектах: просторовому, часовому та функціональному. Формування розподілених команд набирає популярності через гнучкість та зручність віддаленої роботи, економію часу на дорогу до офісу та можливість залучення фахівців з усього світу, незалежно від їх географічного розташування. При цьому враховуються часові і функціональні чинники.

Технологічні компанії останнім часом були змушені переглянути свою командну структуру, що призвело до появи концепції просторово розподілених команд. Пандемія COVID-19 генерувала необхідність виконання завдань проєктів за межами офісу, що особливо актуально для ІТ сектору, де більшість завдань, що стоять перед командами можуть виконуватись дистанційно. В Україні дані тенденції, особливо серед ІТ компаній також суттєво пришвидшилися у зв'язку із викликами, воєнної агресії, через яку з 2022 року велика частина ІТ компаній була змушена релокувати свої офіси в інші міста України, а значна частина команд виїхала в інші країни. Українські компанії технологічного сектору були змушені відкривати нові офіси за кордоном або ж розширювати вже існуючі та застосовувати просторово розподілені формати роботи серед своїх команд. Все більше і більше керівників бізнесу в Україні та за кордоном тепер сприймають просторово розподілену робочу силу як новий стандарт і користуються її перевагами. Згідно з даними Gartner [1], в 2023 року 75% компаній, що працюють в ІТ секторі та використовують модель розподілених команд, будуть збільшувати прибуток на 25% швидше, ніж конкуренти. Модель просторово розподілених ІТ-команд набуває популярності та дозволяє залучити кращих фахівців з-за кордону, інших міст. Гнучкий робочий графік стає важливим для багатьох розробників і сприяє створенню зручних умов роботи. Збільшення часу, який співробітники мають в розпорядженні, підвищує їхню продуктивність та часова розподіленість учасників команд дозволяє налагоджувати неперервну роботу над проєктами. Проте, розподілені команди стикаються з викликами, такими як відсутність особистого спілкування, культурні відмінності та різниця в часових поясах. Вирішенню даних проблем сприятиме створення інформаційних та комунікаційних платформ для забезпечення ефективного функціонування розподілених команд.

Такий підхід до побудови робочих процесів компаній не є новим, адже кількість розподілених компаній зростала ще до пандемії коронавірусу, всесвітнього локдауну та воєнних конфліктів з осередками в Європейських та Азійських країнах. Наприклад, згідно зі статтею у Forbes, опублікованою влітку ще у 2019 року, «70% працівників вважають, що ходіння до офісу є непотрібним». Автор статті також зазначив, що 23% працівників, які працюють віддалено, представляють географічно розподілені команди [2].

Проаналізуємо концепт «розподілена команда», оскільки все частіше використовується цей термін при побудові команд проєктів. Памела Хіндс трактує команду, як розподілену, у випадку коли її учасники розміщені у двох або більше локаціях [3]. Давн Юбенкс стверджує, що завдяки широкому спектру доступних варіантів комунікації, розподілені команди стають все більш поширеними як у великих, так і в малих організаціях [4]. Стіан Скулста розглядає віддалену роботу, як робоче середовище, що дозволяє виконання професійних обов'язків поза традиційним офісним простором, забезпечуючи співробітникам гнучкість, автономію та можливість працювати з будь-якого місця [5]. В свою чергу автор виділяє розподілені команди, як організаційні структури, в яких члени команди фізично розміщені в різних географічних локаціях, в різних офісах у межах одного міста або розташовані на різних континентах, співпраці яких сприяє використання різноманітних комунікаційних технологій [5]. Розподілені команди дозволяють компаніям формувати команди з учасниками з усього світу для роботи над проєктами.

Для віддаленої роботи присутній фактор відстані (географічна, часова) між розподіленими учасниками команди, що створює низку бар'єрів, включаючи необхідність налагоджувати співпрацю та труднощі у встановленні комунікації [6]. Створення цифрових артефактів з декількома розподіленими редакторами може допомогти розподіленим командам координувати знання [7]. При

наявності віддалених офісів організації можуть вибрати одну з двох організаційних структур для підтримки співпраці: асинхронну або в реальному масштабі часу [8]. Асинхронні організації характеризуються взаємодіями, опосередкованими документами з певним набором рішень, тоді як організації, орієнтовані на реальний масштаб часу, покладаються на взаємодії людина-людина з обговореннями на зустрічах. У розподілених проектних командах використовуються як асинхронні, так і синхронні режими комунікації під час співпраці [9], оскільки альтернативні режими сприяють різним аспектам співпраці. Наприклад, використання асинхронного чату може допомогти поступовому вирішенню проблем, тоді як синхронний відеодзвінок може бути зосереджений на обговоренні нагальних питань. Команди використовують різноманітні комунікаційні інструменти для підтримки координації, управління артефактами та управління завданнями [10].

Переважно визначення розподілених (віртуальних) команд зосереджувались на відмінностях між очною та віртуальною взаємодією, тоді як сучасна література фокусується на командах у цьому континуумі з комбінацією обох аспектів [11].

Розподілені (віртуальні) команди стали поширеним явищем у організаціях протягом останніх двох десятиліть [12] як результат спроб вирішення двох поширених проблем:

- як організувати групу осіб на основі аналізу їх компетентностей,
- як вирішити потреби, специфічні для конкретного місцезнаходження, без необхідності реплікування команди в кожній локації [11].

Сьогодні більшість великих організацій формують розподілені (віртуальні) проектні команди [12], на чолі яких лідери, які управляють командою, з учасниками якої вони, можливо, ніколи не зустрічалися, а зв'язок підтримується лише через інформаційні та комунікаційні технології [13].

Розподілені команди забезпечують переваги, зумовлені їхньою географічною та організаційною розподіленістю серед яких: гнучкість, різноманітність мов, культури, а також покращене покриття часових зон [13]. Організації активно впроваджують новітні технології для комунікації та співпраці, підвищуючи продуктивність цих команд.

Однак розподілені команди стикаються з додатковими викликами, на відміну від традиційних (офлайн) команд. Для них простежується збільшена складність взаємодії учасників команди, зниження інклюзивності та бар'єрів, пов'язаних з мовою спілкування, стилем роботи, різним місцезнаходженням, часовими зонами, культурними нормами [11]. Незважаючи на значний обсяг публікацій з питань класичних підходів до управління командами, існує суттєво менше досліджень, в яких подано кращі практики ефективного управління розподіленими командами [13].

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Для членів розподіленої команди немає необхідності перебувати в одному фізичному робочому просторі або навіть у тій самій географічній зоні. Учасники таких команд можуть виконувати свої завдання, перебуваючи у різних містах чи країнах. Також до складу розподілених команд можуть входити члени, які працюють в офісі, та такі, що працюють з дому чи коворкінгу, перебувають за кордоном в країнах з іншими часовими поясами.

За наявності відповідної інфраструктури, яка дозволяє здійснювати комунікацію, співпрацю та координацію, розподілена команда може функціонувати навіть ефективніше, ніж класична. Наприклад, використання хмарних інформаційних систем разом з іншими цифровими інструментами допомагає компаніям управляти критичними аспектами командної роботи, включаючи комунікацію, управління проектами, HR складовою та безпекою. Онлайн-чати один на один або групові чати та відеодзвінки, платформи для управління проектами, професійні соціальні мережі дозволяють членам команди залишатися на зв'язку та забезпечувати плавний хід реалізації проекту.

Управління розподіленою командою передбачає, що учасники рідко або зовсім не зустрічаються особисто в режимі офлайн. Функціонування розподілених команд часто асоціюється з гнучкими формами роботи.

Виокремимо основні переваги, які отримують організації від створення розподілених команд:

- сприйняття членами команди віддаленої роботи в компанії як переваги перед іншими компаніями, присутніми на ринку. Надання співробітникам більше гнучкості та можливості працювати з дому чи іншого робочого простору при правильному влаштуванні процесів дозволяє краще мотивувати співробітників, робити їх більш продуктивними.
- розподілені команди дозволяють зменшувати витрати на офісний простір. Традиційна організація проектних команд у структурі компанії вимагає використання значного

офісного простору, конференц залів, технічних приміщень загального користування, для кожного співробітника потрібно організувати комфортний робочий простір з індивідуальним обладнанням, тощо. Також потрібно організувати, утримувати та дбати за безпеку IT-інфраструктури. Використання розподілених команд навіть із сотнями учасників дозволяє мінімізувати робочий простір, який використовується, проводити децентралізацію з можливістю використовувати невеликі приміщення при потребі у якості штаб-квартири.

- Розгортання платформ для роботи з інформаційними та комунікаційними системами на базі архітектури з хмарними сервісами. Завдяки використанню хмарних сервісів та програмного забезпечення, яке формує платформу для супроводу усіх проєктних процесів, відбувається зниження IT-витрат та забезпечується краща гнучкість, масштабованість та ефективність в межах компанії в порівнянні з командами, які працюють в офлайн середовищі та умовах централізації.

Виокремимо вузькі місця, які створюють бар'єри для ефективного управління просторово розподіленими проєктними командами, а саме:

- Значна частина розподілених команд потребують підтримки та координації зі сторони центрального офісу. Не для усіх галузей даний вид взаємодії між учасниками в межах компанії буде доцільним. Для певних галузей технології управління розподіленими командами не можуть бути використані в їх звичному вигляді, проте можуть застосовуватись гібридні моделі для розподілу ролей та процесів.
- Учасники розподілених команд повинні проходити адаптацію та залучатися в процеси проєктів для нівелювання бар'єрів та конфліктних ситуацій, які створює віртуальне робоче середовище, а саме різниця в часі через значну географічну розподіленість, культурні особливості, комунікаційні фактори.
- Відсутність регулярного особистого спілкування в офлайн середовищі, налагоджених соціальних зв'язків між членами команди, неформального спілкування, можливість швидкої комунікації в межах офісу. Для нівелювання даної проблематики у розподілених командах застосовують новітні комунікаційні та інформаційні технології та будують спеціалізовані платформи для супроводу процесів проєкту.

У контексті дослідження моделей розподілених команд, відзначимо декілька компаній, які ефективно впровадили цю практику. Компанія Trello, наприклад, надає своїм співробітникам можливість вибору між віддаленою роботою та роботою в офісі в Нью-Йорку. Компанії Buffer, Zapier та InVision є прикладами організацій, які повністю перейшли на використання розподілених команд. Зокрема, Zapier, як інструмент інтеграції API, функціонує як повністю розподілений офіс з моменту свого заснування, незважаючи на те, що їхні співробітники знаходяться у різних містах. InVision, платформа для співпраці в дизайні та прототипуванні, функціонує як розподілена організація з понад 220 співробітниками у 14 країнах, демонструючи ефективність міжнародної розподіленої моделі роботи.

Ці приклади підкреслюють, що розподілені команди можуть бути ефективними в різних галузях та географічних контекстах, пропонуючи гнучкість та доступ до широкого пулу фахівців.

Аналіз динаміки поширення розподілених проєктних команд.

Проведемо аналіз міжнародних компаній, які використовують практики розподіленої роботи проєктних команд. Для аналізу була сформована вибірка з 1456 міжнародних компаній з 60 країн світу у 114 різних галузях на основі даних сайту [14]. На першому кроці представлена картодіаграма (рис. 1), на якій продемонстровано розподіл компаній, які використовують практики дистанційної та розподіленої роботи серед працівників, по країнах. В першу десятку згідно проведеного дослідження входять такі країни, як США, Великобританія, Канада, Німеччина, Австралія, Франція, Швейцарія, Іспанія, Індія.

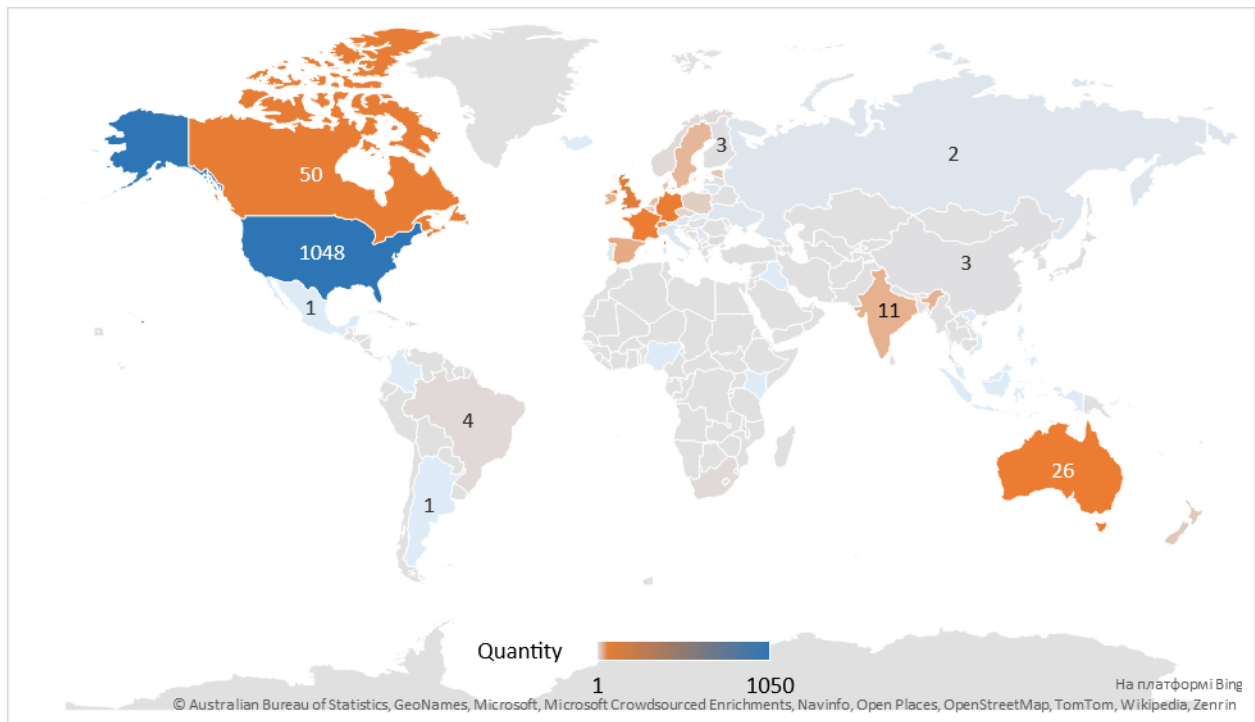


Рис. 1 – Розподіл по кількості міжнародних компаній, які використовують практики розподілених команд серед працівників [14]

Дані свідчать про домінування практик віддаленої роботи у проєктних командах серед компаній США. З 1456 компаній проаналізованої вибірки, найбільша кількість (1048) знаходиться у США. Це свідчить про значний розвиток та прийняття практик розподілених команд в американському бізнес-середовищі. З огляду на високу кількість компаній у США, що використовують практики розподіленої роботи, можна припустити, що попит на інноваційні інструменти співпраці та платформи для управління проєктами буде продовжувати зростати. Це може включати розвиток хмарних технологій, інструментів для відеоконференцій та цифрових інструментів для спільної роботи.

Дані вказують на те, що розподілена робота в проєктних командах є поширеним явищем, оскільки вибірка охоплює 60 країн [14]. Однак, існує значний розрив між кількістю таких компаній в країнах, у деяких є лише одна або декілька компаній. Країни, такі як Німеччина (36 компаній), Великобританія (85 компаній) та Франція (21 компанія), показують значний інтерес до даних форм співпраці в межах компаній, що може відображати їхнє позитивне ставлення до гнучкості робочого місця та інновацій у бізнес-процесах. Такі країни як Індія (11 компаній) та Південна Африка (4 компанії) також включені в список, але мають значно меншу кількість компаній, що вказує на поступовий перехід до управління розподіленими командами в компаніях. Такі ж країни, як Аргентина, Бразилія, Болгарія та Польща, мають невелику кількість компаній, що використовують віддалену роботу, що може вказувати на потенціал для розвитку цих практик у цих регіонах.

Країни з меншою кількістю компаній, які використовують розподілені проєктні команди, можуть мати потенціал для розвитку та впровадження цих технологій. Це може бути пов'язано з різними рівнями доступу до технологій, інфраструктури та інвестицій у цифрову трансформацію. У країнах з розвинутою цифровою інфраструктурою та високим рівнем технологічної інтеграції, таких як Німеччина та Великобританія, може спостерігатися швидший розвиток інформаційних платформ для розподіленої роботи команд. Водночас, у країнах, що розвиваються, цей процес може бути повільнішим через обмежені ресурси та інфраструктуру.

Інформаційні платформи, які розробляються для підтримки учасників розподілених команд, повинні бути адаптовані до місцевих мов, культурних особливостей та регуляторних вимог, щоб бути ефективними в різних регіонах. Компанії та розробники платформ для супроводу функціонування розподілених команд повинні зосередитися на забезпеченні безпеки даних та конфіденційності, що є ключовими факторами для довіри та прийняття цих технологій.

Дані вказують на значний потенціал для розвитку інформаційних платформ, які підтримують роботу розподілених команд, особливо в країнах з високим рівнем технологічної інтеграції. Однак, для успішного впровадження цих платформ необхідно враховувати регіональні особливості та забезпечувати високі стандарти безпеки та конфіденційності.

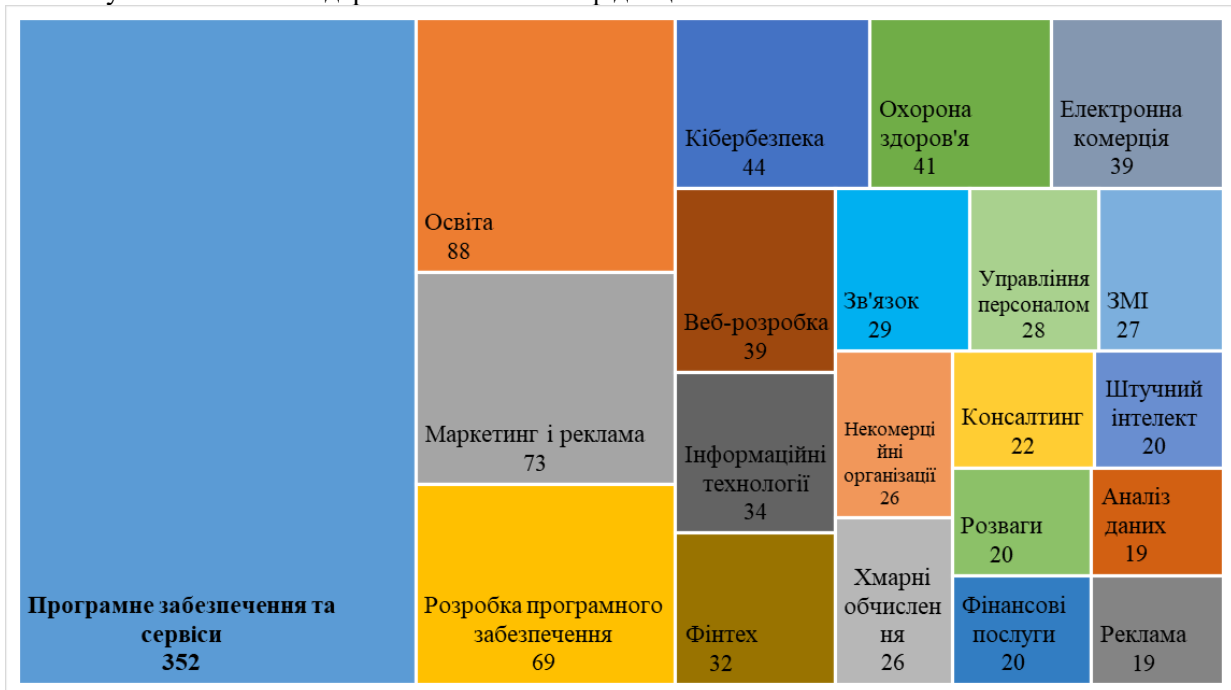


Рис. 2 – Рейтинг галузей, в яких найчастіше зустрічаються компанії з моделлю розподілених проектних команд за даними джерела [14]

Аналіз свідчить (рис. 2), що найбільша кількість компаній (352) належить до галузі "Програмне забезпечення та сервіси". Це вказує на високий рівень прийняття віддалених робочих практик серед розподілених команд у технологічному секторі, особливо в сфері програмного забезпечення та ІТ-послуг.

Дані показують, що практики використання компаніями розподілених команд є популярними в широкому спектрі галузей, включаючи "Освіта" (88 компаній), "Маркетинг і реклама" (73), "Розробка програмного забезпечення" (69), "Кібербезпека" (44), "Охорона здоров'я" (41), "Веб-розробка" (39) та "Електронна комерція" (39) [14]. Це свідчить про те, що розподілені робочі моделі стають все більш універсальними та прийнятними в різних галузях.

Також можна простежити зростання інноваційних технологічних сфер, серед таких галузей, як "Штучний інтелект" (20 компаній), "Фінтех" (32), "Хмарні обчислення" (26) та "Блокчейн" (9), які представлені меншою кількістю компаній, відображають зростаючий інтерес до віддаленої роботи в інноваційних та швидкозростаючих технологічних галузях.

Навіть традиційніші галузі, такі як "Фінансові послуги" (20 компаній), "Нерухомість" (17), "Юридичні послуги" (13) та "Страховання" (10), також включають компанії, які практикують віддалену роботу, що підкреслює її універсальність та адаптивність.

Галузі з меншою кількістю компаній, такі як "Спортивна аналітика", "Кіберспорт", "Відновлювальна енергія" та "Фармацевтика", вказують на потенціал для розвитку віддалених робочих практик навіть у вузькоспеціалізованих або нових секторах.

Дані свідчать про широке прийняття віддалених робочих практик серед розподілених проектних команд компаній у різних галузях, з особливим акцентом на технологічні та інноваційні сфери. Це підкреслює, що дана тенденція не є виключно характеристикою ІТ-сфери, але є поширеним явищем, яке охоплює різноманітні галузі.

Аналіз даних щодо кількості працівників у 1456 компаніях (рис. 3), які використовують практики розподіленої роботи проектних команд, виявляє наступні тенденції, такі як домінування малих та середніх підприємств (МСП). Найбільша кількість компаній (182) має від 2 до 10 працівників, а 479 компаній мають від 11 до 50 працівників. Це свідчить про те, що дана модель

роботи є популярною серед МСП, які можуть бути більш гнучкими та адаптивними до такого роду робочих моделей.

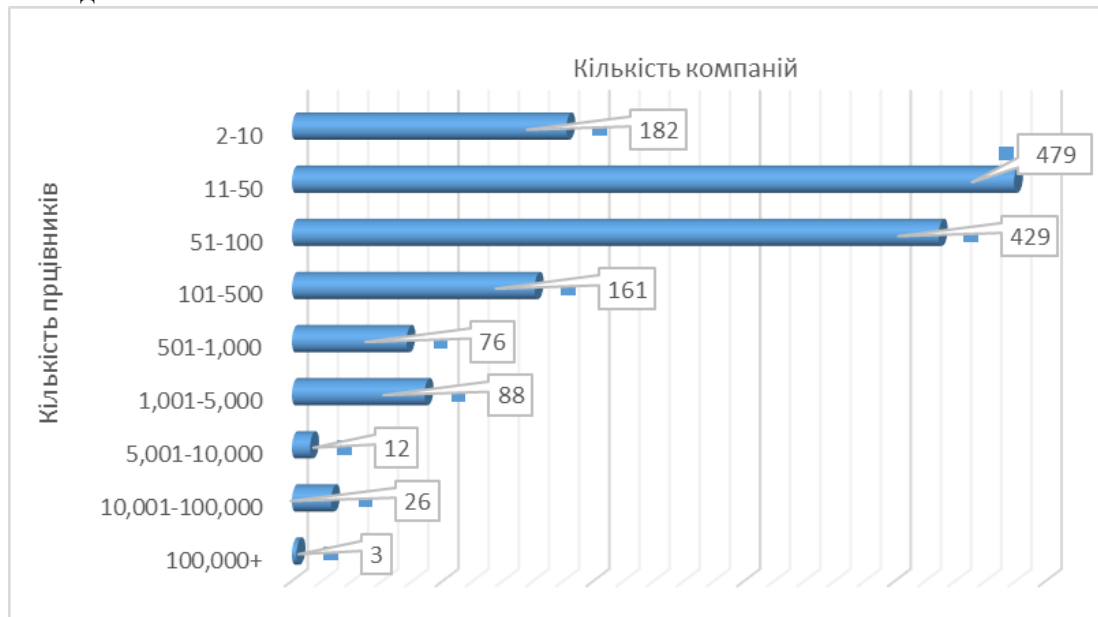


Рис. 3 – Розподіл компаній з розподіленою моделлю роботи проектних команд до кількості працівників

Великі компанії також адаптують свою модель роботи з використанням розподілених проектних команд: значна кількість компаній (429) має від 51 до 100 працівників, а 161 компанія має від 101 до 500 працівників, що вказує на те, що ця модель також знаходить застосування у більших організаціях.

Наявність компаній з кількістю працівників понад 1000, включаючи 26 компаній з 10 001 до 100 000 працівників та 3 компанії з понад 100 000 працівників, підкреслює, що віддалені робочі моделі застосовуються не тільки в МСП, але й у великих міжнародних корпораціях.

Отримані дані свідчать про широке прийняття моделі роботи з розподіленими проектними командами серед різних типів компаній, від малих підприємств до великих корпорацій. Це вказує на зростаючу тенденцію до гнучкості робочого місця та можливість адаптації до розподілених моделей роботи в різних секторах та розмірах бізнесу.

Аналіз типів організаційних структур розподілених проектних команд.

Розподілені проектні команди виявляються важливим інструментом для компаній у різних галузях, забезпечуючи гнучкість, можливість залучення фахівців та стимулюючи інновації. Їх широке розповсюдження у різних галузях, включаючи традиційні та інноваційні сектори, свідчить про універсальність та адаптивність цих моделей. На фоні цього важливо вирішити задачу вибору оптимальної організаційної структури, із заданого переліку: ієрархічна, функціональна, матрична, дивізіональна, мережева, командна, горизонтальна (плоска), ієрархічна чи інші, для впровадження ефективного управління та забезпечення сталого розвитку компаній різних розмірів та профілів діяльності, які використовують розподілені команди при організації проектних процесів.

Взаємовідносини між активністю, управлінням та учасниками команди формуються завдяки її структурі. Навіть у вигляді простого аспекту, організаційна структура може визначати розподіл повноважень та щоденну взаємодію між різними командами. Кожна організаційна структура впроваджує субординацію та використовує інноваційні підходи для сприяння взаємодії за допомогою спеціального програмного забезпечення для спільної роботи. Ці аспекти сприяють формуванню динаміки відносин і створюють сприятливе колегіальне робоче середовище. У нашому аналізі, ми розглянемо 7 різновидів організаційних структур в розрізі розподілених проектних команд, розглядаючи різні підходи до їх формування, від функціонального до горизонтального, для використання оптимального шляху вибору відповідно до поставлених цілей стейкхолдерами.

Розглянемо детальніше найпоширеніші організаційні структури (рис. 4) та їх переваги та недоліки.

1. Ієрархічна структура є традиційною моделлю організації, де повноваження централізовано передаються зверху вниз. Ієрархічний підхід виражає класичний погляд на організаційну структуру

і може бути реалізований в організації будь-якого типу чи розміру [15]. У такій структурі співробітники розподіляються за різними рівнями або ешелонами, кожен з яких володіє різним ступенем авторитету та відповідальності, при цьому нижчі рівні мають менше повноважень і підзвітні вищим ешелонам, що зосереджують більшість повноважень ухвалення рішень.

Ця структура забезпечує чітке розуміння зв'язків підзвітності та комунікації, спрощуючи процеси підтримки, оновлення статусу проєктів та повідомлення про проблеми. Однак, жорстка ієрархія може сповільнювати прийняття рішень, гальмувати прогрес роботи та обмежувати залученість працівників. У контексті розподілених проєктних команд, така структура може бути ефективною для забезпечення чіткої організації та розподілу відповідальності, особливо в умовах, що вимагають строгого дотримання процедур та ієрархічного контролю.



Рис. 4 – Ієрархічна структура

2. Функціональна структура організації класифікує співробітників згідно з їх спеціалізацією та функціональними обов'язками, що знаходить широке застосування в малих та середніх організаціях завдяки своїй централізованій природі. У функціональній проєктній структурі різні тимчасові команди співіснують зі стабільною ієрархічною формою. Керівники проєктів можуть розташовуватися на різних організаційних рівнях, і чіткої підпорядкованості немає [16]. Така структура виокремлює повноваження у прийнятті рішень, сприяє відповідальності та легко адаптується під зростання компанії. Основною перевагою є чітке встановлення очікувань, однак існує ризик, що вона може обмежувати ініціативність співробітників і ускладнювати їхній професійний розвиток. Це може призвести до невдоволення роботою і збільшення плинності кадрів. Крім того, дана структура може перешкоджати спілкуванню та співпраці між відділами, що гальмує розвиток організації.

Така структура може бути корисною для розподілених проєктних команд, коли потрібна чітка спеціалізація та координація зусиль в рамках визначених функцій, що дозволяє забезпечити високий рівень відповідальності та ефективності прийняття рішень.



Рис. 5 – Функціональна структура

3. Матрична організаційна структура відрізняється своєю складністю, встановлюючи багаторівневі звітні відносини для працівників, які задіяні у різноманітних проєктах. Матрична організаційна структура знаходить застосування не лише в управлінні проєктами (програмами або продуктами) [17]. Однак, матриця буде розглядатися лише з точки зору її найбільш розвинутого застосування — управління проєктами. Термін "матрична проєктна організація" означає багатодисциплінарну команду, члени якої набираються з різних лінійних або функціональних підрозділів ієрархічної організації [18].

У такій структурі, як приклад, розробник програмного забезпечення може одночасно звітувати керівнику відділу розробки та команді з тестування якості (QA) щодо стану виконання

своїх завдань, тоді як UX/UI дизайнер продукту може бути відповідальним перед керівником дизайнерського відділу та командою розробки за візуальну та функціональну складову продукту. Ця організаційна модель підтримує взаємодію між різними відділами, забезпечуючи оптимальне розподілення часу та професійних навичок учасників проєкту. Проте, така багаторівневість може створити плутанину та стрес для співробітників з множинною підзвітністю або тих, хто працює над кількома проєктами. Матрична структура особливо ефективна для розподілених проєктних команд, забезпечуючи гнучкість у розподілі ресурсів та сприяння інтеграції різних компетенцій.



Рис. 6 – Матрична структура

4. Дивізіональна/мультидивізіональна структура передбачає централізацію влади і формування керівних груп залежно від проєктів, продукції чи дочірніх структур. Мультидивізіональна (М-форма) структура була різним чином охарактеризована як найважливіша організаційна інновація двадцятого століття (Вільямсон, 1985) [19]. Структура поділу на підрозділи чи багатопідрозділова структура зазвичай вважається оптимальною для великих компаній. Серед основних підтипів такої структури вирізняють: продуктову, коли кожен підрозділ функціонує як незалежна компанія зі своїм лідером, націлена на ринок або галузь, дозволяючи спрямовувати зусилля на конкретні ринкові сегменти, та географічну, що уможливорює ефективнішу організацію роботи команд, розташованих у різних локаціях. Дана структура надає можливість керівникам підрозділів контролювати ресурси для ефективнішого управління, сприяючи командній роботі в межах визначених груп. Проте, це може призвести до проблем з комунікацією між підрозділами та ізоляції команд, що ускладнює співпрацю та передачу завдань між командами. Втім, чітко визначені процеси та робота в різних ринкових або географічних сегментах можуть забезпечити ефективну автономію кожного підрозділу.

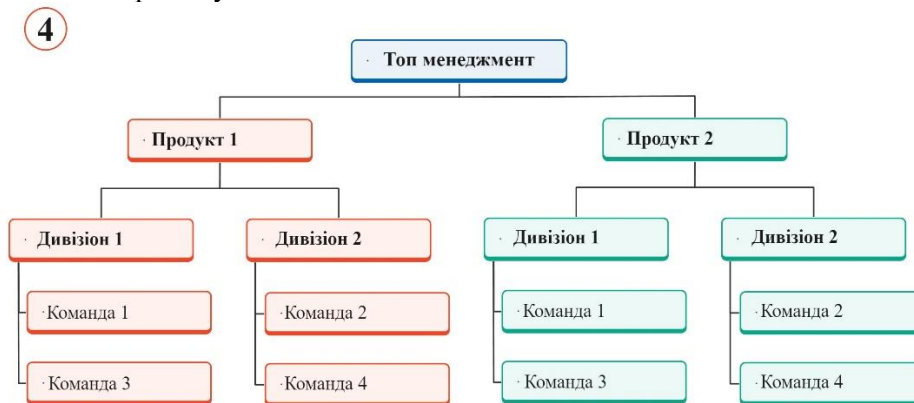


Рис. 7 – Дивізіональна структура

Така структура може бути особливо корисною для розподілених проєктних команд, оскільки вона дозволяє зосередити увагу на специфіці окремих проєктів, продуктів або ринків, одночасно підтримуючи зв'язок із загальною стратегією компанії.

5. Мережева структура. Зазвичай мережеву організацію визначають як таку, яка швидко та гнучко адаптується до змін у базовому середовищі. Але, окрім короткострокових переваг адаптивності, швидкі зміни в структурі організації також можуть завдати шкоди в довгостроковій перспективі [20]. Організації, що впроваджують мережеву структуру, оптимізують свою роботу, залучаючи як внутрішніх співробітників, так і зовнішніх підрядників для надання продуктів чи послуг. Такий підхід надає компаніям гнучкість та можливість зниження витрат, оскільки дозволяє користуватися послугами консультантів, фрілансерів або агентств за потребою. Типовою для організацій з мережевою структурою є наявність невеликого центрального офісу та численних

географічно розосереджених філій із зовнішніми консультантами, які виконують більшість процесів. Однак слід зазначити, що така структура може призвести до меншого контролю над якістю роботи підрядників порівняно з роботою штатних співробітників. Мережева структура особливо ефективна для розподілених проектних команд, оскільки вона сприяє гнучкості управління проектами та оптимізації ресурсів.

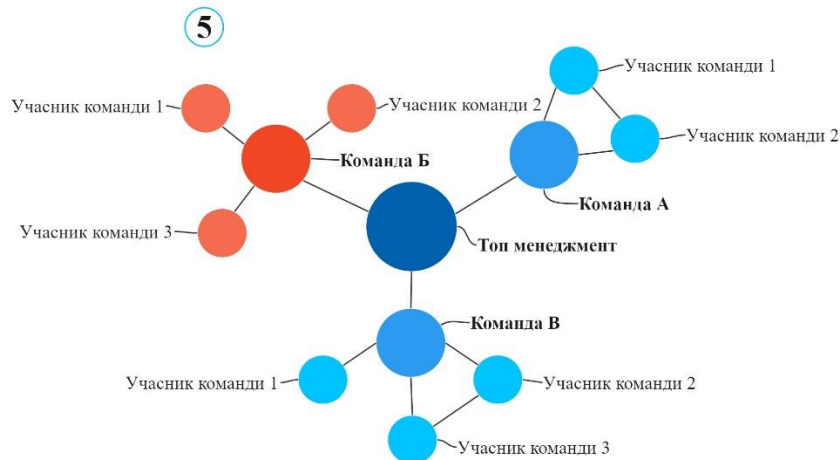


Рис. 8 – Мережева структура

6. Командна структура орієнтована на командну роботу, передбачає формування організації з декількох спеціалізованих груп, що мають за мету досягнення спільної цілі компанії. Основи структури команди варіюються в їхній точній організації, але всі вони передбачають багатонаправлений зв'язок між командами та членами робочих груп. Це призводить до створення більш реактивних, більш гнучких компаній, які можуть обмінюватися знаннями та ідеями у відповідь на зміни в сьогоденні дедалі складніших галузях [21]. У такій моделі особлива увага приділяється створенню самокерованих команд, в яких кожен склад є поєднанням лідерів та виконавців. Організації, що впроваджують цю структуру, зазвичай мають різноманітні команди, наприклад, зайняті інноваціями, розробкою за методологією Scrum та управлінням проектами, що сприяє синергії та поліпшенню комунікації між членами команди. Така взаємодія забезпечує швидший обмін ідеями, хоча і може призводити до роз'єднання між командами, коли співробітники взаємодіють лише в межах власної групи. Ця структура виявляється особливо ефективною для розподілених проектних команд, оскільки вона стимулює самостійність і гнучкість в роботі на відстані.



Рис. 9 – Командна структура

7. Горизонтальній/плоскій структурі організації характерне зниження централізації, а традиційні рівні управління відсутні, що надає працівникам більше автономії та права на прийняття рішень. Така модель особливо приваблива для стартапів, адже вона легко масштабується, не обмежуючись жорстко визначеними відділами чи кількома рівнями керівництва. Більшість структур традиційних організацій, такі як функціональна та дивізіональна структури, є вертикальними. Вони, зазвичай, відносяться до формальної, передбачуваної ієрархії влади або адміністративної структури. Останнім часом структура організації змінилася з вертикальної на горизонтальну завдяки розвитку інформаційних технологій [22].

Перевагою такої структури є зростання відповідальності кожного члена команди в організації та відсутність надмірних управлінських рівнів, що сприяє кращій координації та комунікації.

Проте, у відсутності чітко визначених управлінських ролей, можливі конфлікти за владу, що може підірвати корпоративну культуру або спричинити плутанину, коли працівники не мають

безпосереднього керівника. Для успіху такої структури важливо, щоб керівник компанії був регулярно доступним і помітним.

Така організаційна структура може бути ефективною для розподілених проєктних команд, де необхідна гнучкість, швидке прийняття рішень та високий рівень взаємодії між членами команди, особливо у сферах, де швидкість та інноваційність є ключовими.



Рис. 10 – Горизонтальна/плоска структура

На основі інформації, поданої вище, створимо таблицю (табл. 1), де проведемо ранжування організаційних структур, за важливістю для розподілених проєктних команд, які можуть мати географічну, часову, та функціональну розподіленість, враховуючи потенційні моделі управління проєктами, що можуть бути застосовані в кожному випадку.

Таблиця 1 – Організаційні структури для розподілених проєктних команд: переваги, недоліки та моделі управління

Назва організаційної структури	Переваги	Недоліки	Можливі моделі управління проєктами
Плоска/горизонтальна структура	Збільшує відповідальність кожного члена команди, покращує координацію та комунікацію.	Відсутність чітко визначених управлінських ролей може призвести до боротьби за владу та плутанини.	Agile, Scrum
Командна структура	Сприяє синергії та комунікації між командами.	Можлива ізоляція команд, що призводить до розриву в комунікації.	Agile, Scrum, Kanban
Мережева структура	Гнучкість та економія коштів за рахунок залучення зовнішніх виконавців.	Менший контроль над роботою підрядників порівняно з власними співробітниками.	Flexible, Agile
Матрична структура	Сприяє співпраці в організації, використання часу та експертизи команд.	Складність та стрес для співробітників, що звітують перед декількома стейкхолдерами.	Agile, Scrum, Kanban
Дивізійна/багатодивізійна структура	Функціональне та практичне розподілення ресурсів, сприяє роботі в конкретних групах.	Можливі проблеми з комунікацією між підрозділами та дублювання роботи.	Flexible, Scrum, Kanban
Функціональна структура	Чітко встановлює очікування, сприяє відповідальності.	Може обмежувати ріст співробітників і ускладнювати комунікацію між відділами.	Kanban, Waterfall
Ієрархічна структура	Чітке розуміння звітності та підтримки.	Може уповільнювати прийняття рішень та гальмувати прогрес роботи.	Waterfall, PRINCE2

Наведена таблиця відображає рекомендовані моделі управління проєктами для кожної з організаційних структур з урахуванням їх сумісності з розподіленими проєктними командами.

Моделі Agile і Scrum є відносно гнучкими та адаптивними, що робить їх ідеальними для плоских/горизонтальних, командних та матричних структур, де співпраця та швидка адаптація до змін є ключовими. Модель Flexible добре підходить для мережевих структур через їх залежність від зовнішніх підрядників і потребу в гнучкості. Дивізійна та багатодивізійна структури можуть використовувати гнучкі методи управління, такі як Scrum або Kanban, для покращення внутрішньої координації. Для функціональних та ієрархічних структур, де потрібен більш жорсткий контроль і чітка ієрархія, можуть бути використані більш традиційні підходи, такі як Waterfall, PRINCE2.

Хоча ці моделі можуть бути адаптовані для використання в наведених структурах, успішне управління розподіленими проєктними командами також вимагає ефективного спілкування, взаємодії та інструментів колаборації для подолання географічних та часових бар'єрів.

Таблиця 2 – Сумісність платформ управління проєктами з організаційними структурами

№	Назва організаційної структури	Назва Платформи
1	Плоска/горизонтальна структура	Slack, Trello, Asana, Notion, ClickUp
2	Командна структура	Slack, Microsoft Teams, Trello, Asana, Monday.com, ClickUp, Jira
3	Мережева структура	Slack, Trello, Asana, Notion, Zoho Projects, ClickUp
4	Матрична структура	Jira, Asana, ClickUp, Wrike, Monday.com
5	Дивізійна/багатодивізійна структура	Microsoft Project, Jira, ClickUp, Wrike, Asana
6	Функціональна структура	Microsoft Project, Zoho Projects, Basecamp, Wrike
7	Ієрархічна структура	Microsoft Project, Trello, Wrike, Zoho Projects

У таблиці 2 розглянуто сумісність популярних платформ для управління проєктами з різними організаційними структурами, особливо в контексті розподілених команд.

- Slack і Microsoft Teams ідеально підходять для спілкування в усіх типах структур, особливо в плоских, командних та мережевих, де важлива швидка взаємодія.
- Trello, Asana, і Monday.com забезпечують гнучкість у візуалізації проєктів і завдань, що робить їх відмінним вибором для горизонтальних, командних та ієрархічних структур.
- Jira особливо підходить для матричних та дивізійних структур, завдяки своїм розширеним можливостям для управління складними проєктами і Agile-процесами.
- Microsoft Project і Zoho Projects пропонують розширені інструменти для планування та моніторингу, ідеально підходять для функціональних і ієрархічних структур з більш традиційними підходами до управління проєктами.
- Notion та ClickUp пропонують велику гнучкість та інтеграцію, що робить їх корисними для різних типів організаційних структур, особливо тих, що прагнуть до мінімалізму управління.
- Wrike і Basecamp забезпечують широкий набір інструментів для співпраці та управління проєктами, які можуть бути адаптовані до багатьох структур, особливо дивізійних та функціональних.

В даному списку відображено загальну сумісність між різними типами організаційних структур та популярними платформами управління проєктами, які можуть бути використані для підтримки розподілених команд.

Висновки. Здійснивши аналіз серед 1456 компаній з 60 країн, можна стверджувати, що практики використання розподілених проєктних команд набирають все більшої популярності особливо у ніші ІТ, із виділенням лідируючої ролі США у цьому процесі. Особливо дана проблематика стала актуальною для України, де значна частина ІТ компаній змушена проводити релокації своїх команд, застосування методик роботи з розподіленими командами. Варіативність у впровадженні цих практик свідчить про значні розбіжності між країнами з розвинутою та розвиваючою цифровою інфраструктурою, що підкреслює нерівномірний прогрес у світовому масштабі. Інформаційні платформи для співпраці серед таких команд, відіграють ключову роль у підтримці розподіленої роботи, що підтверджується зростанням їх популярності. Додатково, аналіз

організаційних структур для розподілених проектних команд виявляє важливість гнучкості, доступу до талантів та інновацій, підкреслюючи значення правильного вибору структури для забезпечення ефективного управління та сталого розвитку. Різні організаційні структури, від ієрархічної до горизонтальної, мають свої переваги та недоліки, що вимагає індивідуального підходу до вибору оптимальної моделі управління проектами залежно від специфіки та цілей кожної компанії та її команд. Цей аналіз демонструє необхідність адаптації та інновацій в управлінні проектами та використанні комунікаційних та інформаційних систем для підтримки розподілених робочих процесів у сучасному динамічному середовищі.

Список бібліографічного опису

1. Gartner Identifies the Top Strategic Technology Trends for 2022. Analysts Explore Industry Trends at Gartner IT Symposium/Xpo 2021 Americas, October 18-21, <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2021-10-18-gartner-identifies-the-top-strategic-technology-trends-for-2022>
2. The Future of Work is Distributed. Here's How Your Company Can Strategize. <https://www.forbes.com/sites/falonfatemi/2019/06/28/the-future-of-work-is-distributed-heres-how-your-company-can-strategize/?sh=40af337f193d>
3. Hinds, P. J., Mortensen, M. (2005). Understanding Conflict in Geographically Distributed Teams: The Moderating Effects of Shared Identity, Shared Context, and Spontaneous Communication. *Organization Science*, 16(3): 290–307.
4. Eubanks, D. L., Palanski, M., Olabisi, J., Joinson, A., Dove, J. (2016). Team dynamics in virtual, partially distributed teams: Optimal role fulfillment. *Computers in Human Behavior*, 61: 556–568.
5. Stian Skulsta (2020). The Transition to Distributed Teams: How Remote Work Impacts Team Coordination. <https://www.duo.uio.no/handle/10852/78835>
6. Herbsleb, J.D., Mockus, A. (2003). An empirical study of speed and communication in globally distributed software development. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 29, 6, 481–494. <https://doi.org/10.1109/TSE.2003.1205177>
7. Fang Y., Neufeld, D., Zhang, X. (2022). Knowledge coordination via digital artefacts in highly dispersed teams. *Information Systems Journal*, 32, 3, 520–543. <https://doi.org/10.1111/isj.12358>
8. Rhymer, J. (2023). Location-Independent Organizations: Designing Collaboration Across Space and Time. *Administrative Science Quarterly*, 68, 1, 1–43. <https://doi.org/10.1177/00018392221129175>
9. Ford, D., Storey, M.-A., Zimmermann, T., Bird, Ch., Jaffe, S., Maddila, C., Butler, J. L., Houck, B., Nagappan, N. (2021). A Tale of Two Cities: Software Developers Working from Home during the COVID-19 Pandemic. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 31, 2, 1–37. <https://doi.org/10.1145/3487567>
10. Jackson, V., André van der Hoek, Prikladnicki, R. (2024). CoCreation in Fully Remote Software Teams. *2024 IEEE/ACM 46th International Conference on Software Engineering (ICSE '24)*, 593-604. <https://doi.org/10.1145/3597503.3623297>
11. Robert C. Ford, Ronald F. Piccolo, Loren R. Ford (2017). Strategies for building effective virtual teams: Trust is key. *Business Horizons*, Vol. 60, Issue 1, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2016.08.009>

References

12. Breuer, C., Hüffmeier, J., Hertel, G. (2016). Does trust matter more in virtual teams? A meta-analysis of trust and team effectiveness considering virtuality and documentation as moderators. *Journal of Applied Psychology*, 101(8), 1151–1177. <https://doi.org/10.1037/apl0000113>
13. Soomar, Z. (2020). A framework for building and maintain trust in remote and virtual teams. *Business, Computer Science*, <https://doi.org/10.12688/f1000research.26626.1>
14. Build a better company. Remotely. <https://buildremote.co/>
15. Saiti, A., Stefou, T. (2020). Hierarchical Organizational Structure and Leadership. *Oxford Research Encyclopedia of Education*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190264093.013.709>
16. San Cristóbal, J.R., Fernández, V., Díaz, E. (2018). An analysis of the main project organizational structures: Advantages, disadvantages, and factors affecting their selection. *Procedia Computer Science*, 138, 791-798. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.103>
17. Davis, Stanley, M., Paul, R. Lawrence, *Matrix*. Addison-Wesley Publishing Company.
18. Robert, Y. (1977). Organizational Alternatives for Project Management. *Project Management Quarterly* VIII: 1, March 1977, pp. 18-24.
19. Robert E. Hoskisson, Charles W.L. Hill, Kim, H. (1993). The multidivisional structure: Organizational fossil or source of value? *Journal of Management*, Vol. 19, Issue 2, pp. 269-298. [https://doi.org/10.1016/0149-2063\(93\)90055-R](https://doi.org/10.1016/0149-2063(93)90055-R)
20. Fernando Vega-Redondo (2013). Network organizations. *Journal of Complex Networks*, Vol. 1, Issue 1, pp. 72–82, <https://doi.org/10.1093/comnet/cnt002>
21. Team-Based Structures: Examples From the Best Companies in History (2023). University of Southern California. <https://communicationgmt.usc.edu/blog/team-based-structures>
22. Ikeda, S., Ito, T., Sakamoto, M. (2010). Discovering the efficient organization structure: Horizontal versus vertical. *Artificial Life and Robotics*, 15(4). 478-481. <http://dx.doi.org/10.1007/s10015-010-0844-1>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2024-54-33>

УДК 004.853+004.7

Симонов В'ячеслав Володимирович, магістр, керівник проєктів

<https://orcid.org/0009-0001-4146-5870>

Mobios Digital, м. Одеса, Україна

ВПЛИВ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В ПРОЄКТАХ: МОЖЛИВОСТІ ТА ВИКЛИКИ

Симонов В.В. Вплив використання штучного інтелекту на управління ризиками в проєктах: можливості та виклики. У статті досліджено важливість і необхідність використання штучного інтелекту в управлінні. Ефективність управління завжди визначає успіх будь-якого проєкту, а помилки при прийнятті адміністративних рішень можуть бути важливими, особливо на ранніх стадіях створення, розробки або планування. Окремі проєкти здебільшого є унікальними подіями, які дуже важко стандартизувати, але це процеси, які значною мірою охоплюють управління. З'являється нова модель управління проєктами, заснована на обов'язковому використанні програмного забезпечення на базі штучного інтелекту для автоматизації управлінської діяльності, яка враховує традиційний підхід до управління проєктами. Розглянуто особливості спеціальних програмних елементів, що забезпечують ефективне використання цифрових інструментів управління проєктами. З'ясовано, що в умовах сучасності штучний інтелект – перспективна технологія, яка може ефективно впливати на процеси управління, прийняття рішень та комунікацію з громадськістю. Зазначено, що крім перспективних ознак, використання штучного інтелекту характеризується і великими ризиками. Визначено поняття «штучного інтелекту» в контексті управління, а також акцентовано на його важливості для сучасного суспільства в цілому. В управлінні штучний інтелект характеризується такими властивостями, як автоматизація та оптимізація процесів, удосконалення процесу прийняття рішень на основі аналізу великих обсягів даних. У основних результатах дослідження наведено приклади успішного впровадження штучного інтелекту у сфері управління проєктами. Штучний інтелект корисний інструмент для автоматизації щоденних операцій, аналізу даних та прогнозування, аналізу політики, покращення обслуговування громадян, планування ресурсів, підтримки прийняття рішень та багатьох інших аспектів управління.

Ключові слова: штучний інтелект, процес управління, ризики та можливості, прийняття рішень, сучасний стан розвитку

Symonov V. The impact of the use of artificial intelligence on risk management in projects: opportunities and challenges. The article examines the importance and necessity of using artificial intelligence in management. Effective project management always determines the success of any project, and errors in administrative decisions can be important, especially in the early stages of creation, development or planning. Individual projects are, in most cases, unique events that are very difficult to standardize, but these are processes that largely encompass management. Features of special software elements that ensure effective use of digital project management tools. A new project management model is emerging, based on the mandatory use of artificial intelligence-based software to automate management activities, based on the traditional project management approach. It was found that in modern conditions, artificial intelligence is a promising technology that can effectively influence the processes of management, decision-making and communication with the public. In addition to promising features, the use of artificial intelligence is also characterized by great risks. The concept of "artificial intelligence" in the context of management is defined, and its importance for modern society is noted. In management, artificial intelligence in public administration is characterized by such features as automation and optimization of processes, improvement of the decision-making process based on the analysis of large volumes of data. The main results of the study include examples of successful implementation of artificial intelligence in the field of project management. Artificial intelligence is a useful tool for automating daily operations, data analysis and forecasting, policy analysis, improving citizen services, resource planning, decision support and many other aspects of management.

Keywords: artificial intelligence, management process, risks and opportunities, decision-making, current state of development

Постановка проблеми. Штучний інтелект (ШІ) в умовах сьогодення охоплює технології, які відтворюють людське мислення та навички, такі як здатність розуміти складну інформацію, самостійно робити висновки та вести змістовний та послідовний діалог. ШІ вже опанував повсякденні функції і починає проникати в площини, які раніше були доступні тільки людям. Сфера застосування ШІ на поточному етапі розробки вже охоплює управління проєктами. Штучний інтелект є альтернативним інструментом для реалізації аналітичних додатків в області управління проєктами (Project Management PM).

У контексті глобальної цифровізації економіки обсяг інформації швидко зростає і для того, щоб належним чином реагувати на зміни, що відбуваються на ринку, і не втрачати конкурентоспроможність, підтримувати високу продуктивність проєктної команди, необхідно отримувати, обробляти і аналізувати великі обсяги даних. Тільки технології, засновані на штучному інтелекті, можуть обробляти великі обсяги неструктурованих даних, систематизувати їх відповідним чином, аналізувати і виявляти закономірності та взаємозв'язки на рівні, який людина не може охопити.

Протягом останніх кількох десятиліть штучний інтелект інтенсивно розвивався в усьому світі і став одним із найважливіших напрямків у сфері науки і технологій. Ця динаміка продовжується і багато сфер життя все ще є потенційними для застосування штучного інтелекту, який є результатом створення нових систем обробки та аналізу даних. Міжнародна консалтингова та аудиторська компанія Pricewaterhouse Coopers (PwC) прогнозує, що до 2030 року світовий ВВП зросте до 15,7 трлн доларів США завдяки саме штучному інтелекту [8].

Аналіз досліджень. Різноманітні питання, пов'язані з впливом використання штучного інтелекту на управління проектами досліджували такі українські науковці, як В. Баранов [1], О. Баранов [2], Т. Яровой [12], Н. Проскурніна [10] та інші.

Р. Бордо, В. Расюн, В. Величко [3] вказують на те, що штучний інтелект має велике значення і суттєво впливає на суспільство, що призводить до змін у різних сферах життя. Зокрема, штучний інтелект супроводжує управління проектами – трудомісткий процес, який вимагає точного планування, відстеження та постійного спілкування.

Однак, із впровадженням штучного інтелекту, ці завдання можна оптимізувати, заощаджуючи час та зменшуючи ймовірність людських помилок. Інструменти управління проектами на основі штучного інтелекту можуть автоматизувати такі нудні завдання, як планування, розподіл ресурсів та оцінка ризиків, зазначають Ю. Бисага, М. Белова, Д. Белов [4].

І. Золотарьова, М. Русанов [6] окреслюють поняття «штучний інтелект», негативні та позитивні риси, можливості та ризики, які виникають в сучасних умовах.

Проте слід враховувати, що проблема дослідження потребує проведення поглибленого аналізу, розкриття ролі використання штучного інтелекту та його впливу на управління проектами. Тому потребує ґрунтовної теоретичної розвідки.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Штучний інтелект, машинне навчання та глобальна робототехніка докорінно змінюють уявлення про управління проектами. Вплив використання систем на основі штучного інтелекту нині важко переоцінити, і він багато в чому визначає успіх реалізації проекту. Дослідження великої кількості раніше завершених проектів використовуються для навчання штучного інтелекту з метою більш ефективної допомоги керівникам проектів на різних етапах їх реалізації, включаючи оцінку термінів і ресурсів, комунікацію, ідентифікацію та управління ризиками. Зі швидким розвитком онлайн-технологій останнім часом існує основна тенденція до того, що HTML5 перетворюється на глобальний вебконсорціум і бере на себе відповідальність за інтерфейсні інновації [13].

Надзвичайно швидкі темпи розвитку технологій ШІ, високий ступінь динамізму в пошуку нових можливостей цих технологій та неймовірне розширення сфер їхнього практичного застосування також впливають на обережність дослідників щодо остаточного визначення терміну «штучний інтелект». Розуміння ШІ має вирішальне значення для його ефективного застосування, регулювання та управління.

Історично склалося так, що ще на Дартмутській конференції 1956 року Джон Маккарті запропонував таке визначення: штучний інтелект – це наука й технологія створення інтелектуальних машин, особливо інтелектуальних комп'ютерних програм. Відомо інше значення цього визначення: штучний інтелект – це розробка гнучких агентів, здатних адаптуватися до різних ситуацій, які раніше були невідомі та нездатні навчатися через досвід, досягаючи цілей, які знаходяться поза межами досяжності традиційних комп'ютерних систем [2].

Відомий юридичний словник визначає штучний інтелект як програмне забезпечення, яке використовується для того, щоб комп'ютери та роботи працювали краще, ніж люди [10].

Загалом, усі визначення можна розділити на дві великі категорії:

1. Перша група визначень спрощена до позначення «машина», «машинна система», «комп'ютер», «програмна система», «технологія». Вони повинні володіти певними несуттєвими атрибутами, такими як: здатність до адаптації та досягнення цілей; визначення прогнозів, рекомендацій чи рішень, що вагомо впливають на реальне чи віртуальне середовище; сприймання середовищ; інтерпретування зібраних структурованих чи неструктурованих даних; прийняття найкращих рішень тощо.

2. Друга група визначень виділяє поняття «машина», «машинна система», «комп'ютер», «система програмного забезпечення», «технологія», що являють собою володіння певними якостями людського мислення; можливість імітувати когнітивні функції та вчитися і мислити як

людина; наявність якостей сприйняття, розуміння, планування, дії та навчання на інтелектуальному рівні, подібному до людського; здатність виконувати корисні когнітивні завдання, у деяких випадках – краще, ніж люди; дозвіл на імітацію або копіювання інтелектуальних здібностей людини [1].

Застосування технології штучного інтелекту в області управління проектами можна простежити більш ніж тридцять років тому. У 1987 році Вільям Хорслі опублікував всевітньо відому статтю «Використання додатків штучного інтелекту в управлінні проектами». У цей же період за ініціативою NASA було завершено дослідження щодо ефективного застосування технології штучного інтелекту в управлінні проектами [5]. У даний час рішення із застосуванням штучного інтелекту широко використовуються і загалом їх можна розділити на дві категорії (рис. 1): віртуальні помічники для керівників проєктів і штучний інтелект в системах управління проектами.

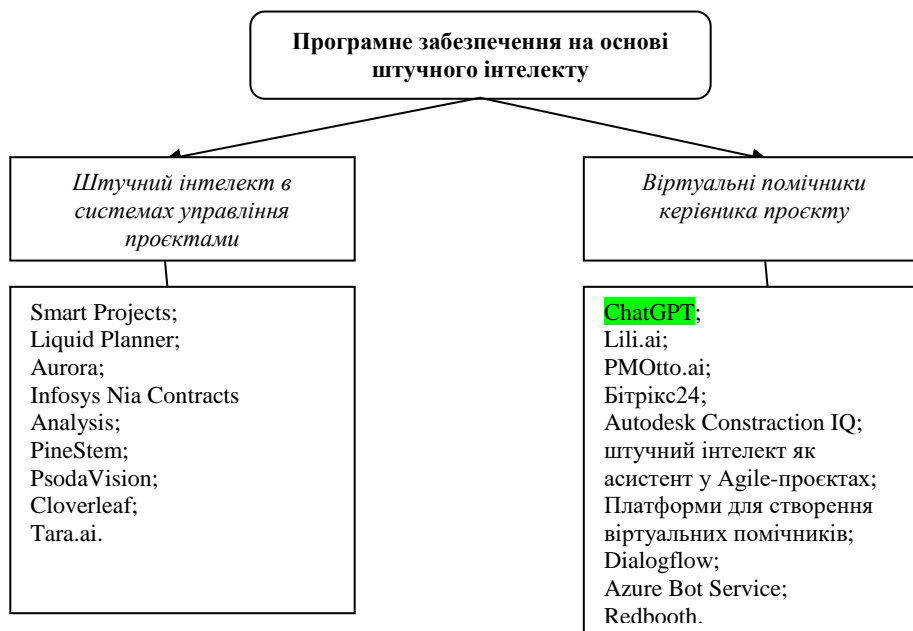


Рис. 1 – Програмні рішення на основі штучного інтелекту у проєктному управлінні
Джерело: складено автором на основі даних [2]

Розвиток машинного навчання, основи функціональності систем на базі штучного інтелекту в даний час знаходиться тільки на ранніх стадіях використання в управлінні проектами, але становить близько 30% проєктів. Сфера застосування машинного навчання дуже широка.

У деяких випадках штучний інтелект відіграє важливу роль у прийнятті управлінських рішень, що може значно заощадити час, необхідний для їх формування протягом усього часу реалізації проєкту. Менеджери, які використовують спеціалізоване програмне забезпечення на основі штучного інтелекту, краще аналізують процес проєкту. Алгоритми машинного навчання допомагають керівникам проєктів зрозуміти функції програмного забезпечення. Наука про дані та видобуток даних є важливими компонентами зовнішнього середовища машинного навчання. Задля цього також впроваджуються бібліотеки програмного забезпечення для видобутку даних, алгоритми оптимізації та спеціалізоване програмування. Методи машинного навчання поділяються на такі основні групи: класичне навчання, підкріплення, нейронна мережа та глибинне навчання, а також метод спільноти [9].

В сучасних умовах ефективно управління проектами може здійснюватися тільки на основі досконалих алгоритмів і процедур управління. Використання технологій штучного інтелекту та машинного навчання є наступним етапом еволюції управління проектами та автоматизації управлінської діяльності. Наприклад, система, заснована на алгоритмах інтелектуального та сентиментального аналізу може працювати з повідомленнями клієнтів, щоб зрозуміти та визначити їхні потреби у будь-який час. Така система дозволяє керівникам проєктів підтримувати зацікавлені

сторони в продуктивній реалізації проєкту, надаючи інструменти, які можуть ефективно вирішувати проблеми та запити клієнтів або швидко відповідати на їхні запитання.

Машинне навчання також використовується для розробки ієрархічних робочих структур, які включають взаємозв'язки, завдання та обмеження в рамках конкретного проєкту.

Це перетворює ієрархічну структуру роботи в карту розуму та додатково виділяє завдання РС та зв'язки між ними. Крім того, штучний інтелект, заснований на машинному навчанні, може використовувати базу знань організації для планування завдань і надання ключових показників ефективності проєктом командам. Такі системи можуть розуміти ІРС та надавати набір альтернативних графіків для виконання проєкту [5].

Інтелектуальна когнітивна система може ідентифікувати окремі функціональні зв'язки між завданнями та відповідно планувати графік на основі цього. Ви можете змінювати розклад залежно від результатів роботи проєктної команди, або в міру необхідності, або змінюючи хід виконання проєкту. Це не тільки підвищує продуктивність, але й допомагає покращити командну роботу. Очевидно, що використання систем, заснованих на штучному інтелекті, вимагає певної інформаційної підтримки, незалежно від того, чи правильно реалізований проєкт в цілому, чи будуть відхилені окремі завдання або етапи. Команда проєкту повинна своєчасно та добросовісно вводити необхідні дані в систему, щоб алгоритм штучного інтелекту міг належним чином проаналізувати поточний стан проєкту та надати правдиву та корисну інформацію для управління ним. Система може передбачити результат проєкту.

Серед штучних інтелектів, що застосовують в управлінні проєктами, варто виділити та охарактеризувати основні види.

Smart Projects – це складний комплекс управління проєктами, який містить набір пов'язаних додатків, що підтримують весь цикл управління проєктами. Цей інтелектуальний продукт використовує такі технології, як мультиагентні системи, онтологію (базу знань) та мережево-центричні підходи для побудови складних систем планування та управління.

Інший продукт – Augora, який зосереджується на створенні найкращого календаря та мережевого розкладу для проєкту. З цією метою використовується технологія штучного інтелекту, застосовуються відповідні правила і знання в області планування. Також у користувачів є можливість доповнити свої знання про систему правилами, специфічними для конкретної області. Цікава історія створення цієї платформи. Спочатку вона була розроблена на замовлення NASA для надання екстреної допомоги для вирішення важливих завдань планування зі складними обмеженнями, але пізніше було встановлено, що система необхідна для використання в інших організаціях. Augora розробляється безпосередньо з акцентом на великі проєкти зі складними обмеженнями та вимогами до ресурсів [7].

Прикладом динамічного інтелектуального планувальника є Liquid Planner, який автоматично коригує очікувану дату завершення завдання. Якщо термін змінився, а ресурси були призначені іншим проєктам або інша робота має вищий пріоритет – система Liquid Planner може автоматично змінювати порядок роботи учасників.

Популярним є ChatGPT, який створений OpenAI. Він вміє відповідати на запитання, знаходити помилки, відхиляти некоректні пропозиції, генерувати текст, відхиляти невідповідні запити, шукати ключові слова на задану тему, знаходити помилки в коді та виконувати інші завдання. Чат-бот навчений на великому наборі даних і тому може самостійно аналізувати та відповідати на вхідні запити користувачів. Він заснований на трансформаторній технології, яка дозволяє запам'ятовувати та використовувати попередні вхідні дані. Ось чому ChatGPT може генерувати текст, який нагадує звичайну розмову. Крім того, він працює без попередньо написаних сценаріїв і контролю людини. ChatGPT може вивести бізнес на новий рівень.

Заслуговує на увагу Infosys Nia Contracts Analysis – платформа штучного інтелекту, яка автоматизує як бізнес, так і ІТ-процеси. Архітектура дозволяє клієнтам компанії використовувати потужні алгоритми штучного інтелекту для вирішення найрізноманітніших завдань щодо управління та оцінки контрактів. Contracts Analysis використовує машинне навчання і соматичне моделювання для оптимізації управління контрактами, прискорення перевірки контрактів і зниження ризику укладання контрактів. Застосування цього додатка найбільш ефективно для особливо складних проєктних контрактів, що складаються з сотень сторінок і містять безліч роз'яснень, доповнених різними схемами ціноутворення та умовами поставки, які можуть змінюватися з плином часу [2].

Cloverleaf допомагає керівникам проєктів формувати та налаштовувати ефективні команди для продуктивної спільної діяльності. Штучний інтелект бере на себе деякі функції менеджера з персоналу та порівнює особисті якості та навички виконавця, щоб оптимізувати роботу всієї команди.

Тага AI – це платформа, яка використовує штучний інтелект та машинне навчання для підтримки проєктів на всіх етапах. Система генерує варіанти реалізації проєкту в рамках виділеного бюджету, допомагає сформувати проєктну команду, а також надає безліч інших сервісів для підтримки, моніторингу та аналізу ефективності роботи проєкту [1].

Наведений вище список додатків і спеціалізованих платформ не є завершеним. Це лише вказує на можливість використання технологій штучного інтелекту і машинного навчання в області управління проєктами. Водночас подібний представлений цифровий інструмент може бути тільки помічником керівника проєкту, оскільки має лише додаткові і супутні функції. Йдеться не про те, щоб повноцінно замінити керівників штучним інтелектом, а про створення більш ефективних умов роботи для менеджерів, звільнення їх від повсякденних завдань та автоматизацію багатьох другорядних завдань.

Штучний інтелект дозволяє керівникам проєктів зосередитись на сферах, які важко формалізувати, таких як управління комунікаціями та очікуваннями, вирішення суперечок та стратегічне планування. Слід також зазначити, що використання високотехнологічного машинного навчання, штучного інтелекту вимагає досить високого рівня дисципліни і культури управління проєктами. Надійність і ефективність роботи штучного інтелекту багато в чому залежить від своєчасності і правдивості інформації, яка вводиться в систему даних.

Подібно до інших технологій, програми, що використовують штучний інтелект, мають свої недоліки та переваги. Основними недоліками використання штучного інтелекту під час управління проєктами є наступні:

- більшість додатків для управління проєктами знаходяться на ранніх стадіях розробки, а це означає, що вони є недостатньо розвиненими. Наприклад, нещодавно було презентовано додаток для управління гнучкими проєктами, але, незважаючи на наявність важливих функцій, самі розробники кажуть, що це лише перша версія для майбутніх досліджень та вдосконалень. Здебільшого компанії стикаються з важким вибором: або потрібно дотримуватися шляху тестувальників нових технологій управління проєктами на основі штучного інтелекту, або дочекатися завершення етапу виправлення помилок в програмному забезпеченні;

- неправильні дані для штучного інтелекту призводять до хибних висновків та необґрунтованих або неефективних управлінських рішень. Проєкти, в яких планується використовувати програмне забезпечення на основі штучного інтелекту, повинні будуть адаптуватися до цих систем. Найбільш трудомісткою частиною є підготовка даних для алгоритму штучного інтелекту. Якщо цей етап не вирішений якісно, керівник проєкту ризикує використовувати грубу систему, яка з високою ймовірністю формує помилкові пропозиції і висновки. Слід зазначити, що неякісні або невідповідні дані можуть призвести до катастрофічних результатів навіть у випадку найцінніших передових систем штучного інтелекту для управління проєктами [4].

До основних переваг ШІ в сфері управління належать:

- штучний інтелект може значно знизити вартість проєкту. Дотримання встановленого бюджету дуже важливо для замовників і керівників проєктів. Використання спеціального програмного забезпечення для управління проєктами забезпечує контроль всіх видів витрат на принципово новому рівні. Так, згідно з багатьма дослідженнями, адміністративні завдання становлять близько 50% часу керівника проєкту, але при використанні спеціалізованих додатків на базі IS ця цифра скорочується вдвічі. Штучний інтелект може візуалізувати хід роботи над проєктом і одночасно звертати увагу на вузькі місця, які важко знайти без всебічної оцінки;

- штучний інтелект необхідний для обробки великих обсягів даних. Використання штучного інтелекту особливо ефективно, якщо команда працює над проєктом з тривалим терміном виконання або таким, що містить багато даних, які необхідно постійно аналізувати. У цьому випадку додатки на основі штучного інтелекту використовуються для швидкого аналізу інформації, формування висновків та прийняття необхідних рішень [9].

Система управління проєктами, заснована на штучному інтелекті, може спростити управління та автоматизувати повторювані процеси, звільняючи час багатьох керівників для

вирішення стратегічно важливих питань. Однак впровадження такої системи є відносно новим напрямком в управлінні проектами, тому існують додаткові ризики, пов'язані з використанням цих інструментів, адже, як показує практика, навіть якісні і перевірені алгоритми не забезпечують абсолютної автономності та ефективності. Співробітники повинні постійно відстежувати як вихідні дані, що використовуються системою, так і вихідну інформацію та пропозиції, що генеруються штучним інтелектом.

Як можна використовувати підхід штучного інтелекту для успішного управління проектами? Згідно з дослідженням Standish Group, лише 33% усіх ІТ-проектів були успішно завершені. Американський інститут управління проектами (PMI) провів глобальне дослідження «Пульс професії 2018». У дослідженні взяли участь понад 4000 експертів з управління проектами з усього світу. 1 питання в опитуванні звучало так: «З проектів, запущених в організації за останні 12 місяців, які вважалися невдалими, які були основні причини цих невдач?» Відповідь показує, що основними причинами є: зміни в організаційних пріоритетах – 39%, зміни в цілях проекту – 37%, неправильний збір вимог – 35%; середній вплив: недостатнє бачення або цілі проекту – 29%, недостатня/неякісна комунікація – 29%, можливості і ризики не визначені – 29%, неточні оцінки – 28%, погане управління змінами – 28%, недостатня спонсорська підтримка – 26%, залежність від ресурсів – 26%, неточні оцінки часу виконання завдань – 25%, недосвідчений керівник проекту – 22%, обмежені ресурси 21%; найбільш постраждали: недостатній прогноз ресурсів – 18%, неефективна робота команди – 13%, залежність завдання – 12% та інші – 10% [6].

Згідно з дослідженням, проведеним Harvard Business Review, 54% робочого часу менеджерів проектів витрачається на адміністративні завдання, а отже залишається менше часу на координацію виконання завдань з управління проектами. У той же час більшість управлінських завдань можуть бути оптимально виконані з використанням новітніх технологій штучного інтелекту [12]. Використання штучного інтелекту допомагає керівникам проектів більше концентруватися на ефективних процесах створення цінності проекту та забезпечувати прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо окремих проектів та розвитку всієї організації.

Після поданого дослідження стає очевидним, що нові технології штучного інтелекту потрібні для скорочення витрат, покращення результатів в управлінні та позбавлення менеджерів від ймовірних невдач під час реалізації проектів.

Штучний інтелект має наступні складові: data science, machine learning, deep learning, computer vision [1]. Зокрема, data science – це процес аналізу інформації для прийняття управлінських рішень, методи збору та обробки інформації, оцінки ризиків, моделювання та прогнозування з використанням інформаційних і телекомунікаційних технологій.

Machine learning – компонент штучного інтелекту для статистичних цілей.

Deep Learning – заснована на навчанні функція обробки даних для заміни ручної роботи автоматичними або напіваавтоматичними алгоритмами навчання.

Computer Vision – підгалузь штучного інтелекту, яка охоплює теорії, методи і техніки створення комп'ютерних машин, здатних виявляти і відстежувати об'єкти (рис. 2).

Яскравим прикладом цього є використання чат-ботів, які миттєво реагують на запити та швидко відповідають на запитання споживачів. Інші приклади використання штучного інтелекту в підприємстві включають фільтрацію спаму, автоматизацію повсякденних завдань і процесів, класифікацію електронних листів, прогнозування продажів, всебічний аналіз даних і аналітику. Siri, Cortana, Google Now тощо використовують для моніторингу та контролю.

Штучний інтелект також є надійним помічником у фінансовому секторі – він дозволяє знижувати витрати і надавати прогнози, допомагає підвищити продуктивність праці і якість продукції.

Впровадження елементів штучного інтелекту стає все більш популярним серед менеджерів з комунікації та власників бізнесу, незважаючи на високу вартість, складність реалізації та ризики при використанні. Експерти оцінюють, що ступінь впливу штучного інтелекту та інших інноваційних технологій на економіку більше, ніж політичні ризики та наслідки зміни клімату.

На нинішньому етапі розвитку штучного інтелекту дуже серйозно відчуються наступні проблеми, які необхідно вирішити в найближчому майбутньому:

1. Нормативно-правова база. Зокрема, важливим питанням є відповідальність за помилки штучного інтелекту.

2. Особисті дані. Як дотримуватися конфіденційності даних, якщо машина аналізує стан здоров'я, стать та вік і автоматично розпізнає обличчя без запиту заради людської згоди?

3. Медичні послуги. Визначення великої кількості захворювань, які потребують виявлення. Проте з широким використанням штучного інтелекту в системах охорони здоров'я існує очевидна проблема захисту особистих даних пацієнтів. Це питання вже привернуло увагу до необхідності зміни правового регулювання захисту даних та прав пацієнтів.

4. Низька якість. Дані можуть бути перешкодою для використання штучного інтелекту в окремих галузях.

Вплив людського фактору. Деякі дослідники вважають, що інтенсивне використання штучного інтелекту, автоматизації та робототехніки може призвести до скорочення робочих місць, однак інші вчені прогнозують, що штучний інтелект без людей буде неможливим ще довго.



Рис. 2 – Основні складові штучного інтелекту
Джерело: складено автором на основі даних [1]

Звичайно, розвиток штучного інтелекту призведе до зникнення деяких професій, але натомість почне створювати власні виробничі ланки. Без сумніву, зміни в продуктивності та споживчому попиті призводитимуть до появи нових робочих місць. Сучасні високоосвічені співробітники використовують творче мислення та активно шукають іншого застосування штучного інтелекту. Крім того, необхідно використовувати відповідний персонал для запуску, підтримки та управління процесами, пов'язаними з технологіями.

Нові технології можуть зменшити кібер-ризик за рахунок кращого виявлення атак, але разом вони можуть спричинити збільшення цієї ймовірності. Використання зловмисниками штучного інтелекту може призвести до більш серйозних інцидентів, що знизить вартість організації кібератак і дозволить проводити їх більш усвідомлено.

Трансформації, які відбуваються в світі неможливі без використання штучного інтелекту. Штучний інтелект необхідний в управлінні та використанні технологій. Країни і компанії, які своєчасно реагують на нові існуючі виклики і в найкоротші терміни реалізують завдання широкого використання методів та інструментів штучного інтелекту у своїй діяльності, матимуть спільну культуру. Трансформація посилює зусилля з просування концепції штучного інтелекту, навчання у закладах освіти та залучення експертів, пов'язаних з економічними додатками, які можуть бути вирішені [8].

Щодо викликів, пов'язаних з використанням штучного інтелекту в управлінні проєктами, то він несе ризики для конфіденційності та безпеки.

Системи штучного інтелекту призначені для збору та аналізу великих обсягів даних, які можуть містити особисту та конфіденційну інформацію. Ці дані використовуються для прийняття

рішень щодо фізичних осіб, наприклад з питань надання позики чи доступу до послуг. Без належних заходів безпеки системи штучного інтелекту можуть бути задіяні для створення профілів людей, відстеження їхньої діяльності та навіть маніпулювання їхньою поведінкою.

Крім того, системи штучного інтелекту можуть бути вразливими до кібератак. Хакери можуть скористатися ШІ для доступу до конфіденційних даних, запуску розподілених атак «відмови в обслуговуванні» та переривання транзакцій. Існує ймовірність маніпулювати системами на основі штучного інтелекту, щоб робити помилкові висновки та призводити до неправильних рішень.

З огляду на вірогідність таких ситуацій організаціям необхідно вжити заходів для забезпечення безпеки систем штучного інтелекту та відповідального використання своїх даних. Це допомагає захистити окремих осіб та організації від потенційних ризиків ШІ (рис. 3).

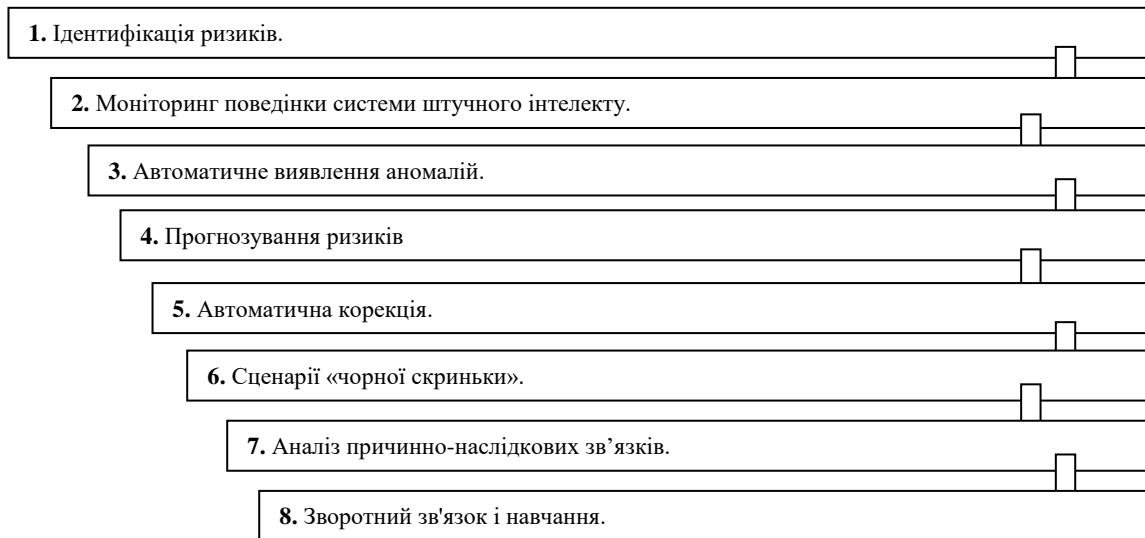


Рис. 3 – Етапи використання штучного інтелекту для управління ризиками
Джерело: складено автором на основі даних [11]

Ідентифікація ризиків є початковим етапом, де визначаються потенційні ризики. Це являє собою розробку політик та алгоритмів, використання даних, вплив на користувачів і багато іншого. Далі потрібно оцінити їх за потенційним впливом та ймовірністю виникнення. Це може включати моделювання ризиків та аналіз чутливості. Після цього важливо вирішити, як краще ризиками управляти на основі модифікації баз даних та баз знань штучного інтелекту. Управління ризиками включає в себе виконання дій, які було визначено на попередньому етапі. Потрібно виконувати контрольні заходи, навчання персоналу та іншу відповідну роботу. Важливою умовою є постійний моніторинг та перегляд ризиків, щоб бути впевненим у ефективності заходів. Це може включати регулярний аудит, збір зворотного зв'язку від споживачів. Дані етапи мають повторюватись систематично, адже ризики можуть активно змінюватися з часом. Також оцінку ризиків необхідно проводити на всіх етапах життєвого циклу системи штучного інтелекту.

Щоб протистояти цим ризикам необхідно вжити вищезазначені заходи у відповідній послідовності. Це дозволить створити умови для забезпечення безпеки та відповідального збору і використання даних системами штучного інтелекту. Окрім того, слід розглянути можливість впровадження технологій підвищення конфіденційності, таких як шифрування та анонімізація, для захисту особистих даних.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Отже, очевидно, що технології штучного інтелекту мають перспективу. У контексті подальшої цифровізації суспільства їхній новаторський характер може забезпечити стійку конкурентну перевагу як окремим компаніям, так і країні в цілому. Штучний інтелект може бути використаний на благо людства, або інакше – шкодити йому. Одним з найбільших ризиків є можливість того, що людство в майбутньому не зможе контролювати стрімкий розвиток ШІ і впливати на інтелектуальні машини. Масове поширення штучного інтелекту призводить до перекладення відповідальності за прийняття рішень

від людей машинам, піддає діяльність компаній серйозним бізнес-загрозам. З іншого боку, ці загрози можуть бути легко компенсовані значними вигодами для компаній від ефективного впровадження.

Враховуючи, що Україна володіє потужним інтелектуальним потенціалом, багато вітчизняних науковців були одними з перших дослідників в області штучного інтелекту, а сучасні вітчизняні ІТ-фахівці вважаються одними з кращих в світі. Ефективне впровадження новітніх досягнень технологій штучного інтелекту в діяльність українських компаній і управління проектами має сприяти якнайшвидшій інтеграції української економіки в світову, поряд з необхідними економічними реформами.

Перспективою подальших досліджень є більш глибоке вивчення етичних аспектів використання штучного інтелекту в управлінні проектами. Це включає розробку та впровадження етичних стандартів, протоколів та регламентів, які враховують деталі наукових досліджень та використання штучного інтелекту. Крім того, слід також звернути увагу на соціальний вплив штучного інтелекту. Дослідження може бути спрямоване на розуміння наслідків впровадження штучного інтелекту, співпраці, взаємодії та комунікації між суб'єктами управління проектами.

Список бібліографічного опису

1. Баранов В. Роль штучного інтелекту в управлінні проектами. *Економічні, соціальні та інформаційні механізми формування та вдосконалення системи управління проектами*. 2021. С. 302-317. <http://surl.li/nzmgb>.
2. Баранов О. А. Визначення терміну «штучний інтелект». *Інформація і право*. 2023. № 1 (44). С. 32-49. [https://doi.org/10.37750/2616-6798.2023.1\(44\).287537](https://doi.org/10.37750/2616-6798.2023.1(44).287537).
3. Бердо Р. С., Расюн В. Л., Величко В. А. Штучний інтелект та його вплив на етичні аспекти наукових досліджень в українських закладах освіти. *Академічні візії*. 2023. № 22. <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/469>.
4. Бисага Ю. М., Белова М. В., Белов Д. М. Виклики для прав дитини у зв'язку з розвитком штучного інтелекту. *Науковий вісник Ужгородського Національного Університету*. 2023. Вип. 77 (1). С. 71-76. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2023.77.1.11>.
5. Бисага Ю. М., Белов Д. М., Заборовський В. В. Штучний інтелект та авторські і суміжні права. *Науковий вісник Ужгородського Національного Університету*. 2023. Вип. 76 (2). С. 299-304. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2022.76.2.47>.
6. Золотарьова І., Русанов М. Технології штучного інтелекту в управлінні проектами. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та системи»: тези доповідей*. Х.: ХНЕУ імені Семена Кузнеця, 2022. С. 9. <https://it.hneu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/07/sbornyk-prepodav.-konf.-2022.pdf#page=9>.
7. Іванова І. В., Боровик Т. М., Залозна Т. Г., Руденко А. Ю. Використання штучного інтелекту в маркетингу. *Маркетинг і цифрові технології*. 2023. Вип. 7 (2). С. 32-42. <https://www.mdt-oru.com.ua/index.php/mdt/article/view/300>.
8. Колесніков А., Карапетян О. Штучний інтелект: переваги та загрози використання. *Ефективна економіка*. 2023. № 8. <https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/1991>.
9. Кузьомко, В., Бурангулова, В., Бурангулова, В. Можливості використання штучного інтелекту в діяльності сучасних підприємств. *Економіка та суспільство*. 2021. № 32. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-32-67>.
10. Проскурніна Н. Штучний інтелект у маркетинговій діяльності. *Цифрові технології*. 2020. №4. С. 129-140. [https://doi.org/10.31617/zt.knute.2020\(111\)09](https://doi.org/10.31617/zt.knute.2020(111)09).
11. Скіцько О., Складаний П., Ширшов Р., Гуменюк М., Ворохоб М. Загрози та ризики використання штучного інтелекту. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2023. № 2 (22). С. 6-18. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2023.22.618>.
12. Яровой Т. С. Можливості та ризики використання штучного інтелекту в публічному управлінні. *Economic Synergy*. 2023. С. 36-47. <https://doi.org/10.53920/ES-2023-2-3>.
13. Tkachenko O. (2022) Impactful Front-end Architecture in Online Business Development. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, Vol. 22, No.6, pp. 409-414 <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.6.51>.

References

1. Baranov V. (2021) The role of artificial intelligence in project management. *Economic, social and informational mechanisms of formation and improvement of the project management system*, pp. 302-317. <http://surl.li/nzmgb>.
2. Baranov O. A. (2023) Definition of the term "artificial intelligence". *Information and law*, No. 1 (44), pp. 32-49. [https://doi.org/10.37750/2616-6798.2023.1\(44\).287537](https://doi.org/10.37750/2616-6798.2023.1(44).287537).
3. Berdo R. S., Rasyun V. L., Velychko V. A. (2023) Artificial intelligence and its impact on ethical aspects of scientific research in Ukrainian educational institutions. *Academic visions*, No. 22. <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/469>.

4. Bysaga Y. M., Belova M. V., Belov D. M. (2023) Challenges for the rights of the child in connection with the development of artificial intelligence. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod National University, Issue 77 (1)*, pp. 71-76. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2023.77.1.11>.
5. Bysaga Y. M., Belov D. M., Zaborovskiy V. V. (2023) Artificial intelligence and copyright and related rights. *Scientific Bulletin of the Uzhhorod National University, Issue 76 (2)*, pp. 299-304. <https://doi.org/10.24144/2307-3322.2022.76.2.47>.
6. Zolotaryova I., Rusanov M. (2022) Technologies of artificial intelligence in project management. *Materials of the International scientific and practical conference "Information technologies and systems": theses of reports*. Kh.: Semyon Kuznets State University of Economics, pp. 9. <https://it.hneu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/07/sbornyk-prepodav.-konf.-2022.pdf#page=9>.
7. Ivanova I.V., Borovyk T.M., Zalozna T.G., Rudenko A.Yu. (2023) Use of artificial intelligence in marketing. *Marketing and digital technologies, Issue 7 (2)*, pp. 32-42. <https://www.mdt-opu.com.ua/index.php/mdt/article/view/300>.
8. Kolesnikov A., Karapetyan O. (2023) Artificial intelligence: advantages and threats of use. *Efficient economy, No. 8*. <https://www.nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/1991>.
9. Kuzyomko, V., Burangulova, V., Burangulova, V. (2021) Possibilities of using artificial intelligence in the activities of modern enterprises. *Economy and society, No. 32*. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-32-67>.
10. Proskurnina N. (2020) Artificial intelligence in marketing activity. *Digital technologies, No. 4*, pp. 129-140. [https://doi.org/10.31617/zt.knute.2020\(111\)09](https://doi.org/10.31617/zt.knute.2020(111)09).
11. Skitsko O., Skladaniy P., Shirshov R., Gumenyuk M., Vorohob M. (2023) Threats and risks of using artificial intelligence. *Cyber security: education, science, technology, No. 2 (22)*, pp. 6-18. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2023.22.618>.
12. Yarovoy T. S. (2023) Possibilities and risks of using artificial intelligence in public administration. *Economic Synergy*, pp. 36–47. <https://doi.org/10.53920/ES-2023-2-3>.
13. Tkachenko O. (2022) Impactful Front-end Architecture in Online Business Development. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, Vol. 22 No.6*, pp. 409-414 <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.6.51>.

CONTENTS

AUTOMATION AND MANAGEMENT	
Bubniy D., Dubuk V. Development of an information system for finding a mentor for advanced training in the IT industry	5
Kovivchak Ya., Dubuk V., Buchkovsky M. Development of an automated system for identification of a person's signature	18
Melnyk A., Kynash Y. Development of a subsystem of automated management of relations with small business clients	27
Penzenyk A. Automated Detection and Prevention of Overfitting in Neural Networks	36
INFORMATICS AND COMPUTER SCIENCE	
Turchyn O. Prognostic Model of the State of GNSU Using Big Data Analysis and Neural Networks	43
Biruk B., Khrystynets N. A system administrator simulator in the context of IoT integration	49
Bunke O., Novikov P. Trends in the development of the internet of things in energy	53
Hrybovskiy O., Kunanets N., Maga A., Pasichnyk S., Petryshina B., Rybak A. The front end of the component of the complex information system «smart manor»: construction features	60
Dychka I., Radchenko K., Tereikovskiy I. Tereikovska L. Conceptual model of the forecasting process on web server load.	74
Diakov Y. Research of the fundamental properties of ontological knowledge bases	84
Yeskina A., Kulakovska I. Study of the intelligent system of classification of currency volatility according to the results of machine learning	92
Ivanenko O.A., Marchenko O.I. A unified technique of describing the cloud infrastructure of different providers.	103
Kozubtsov I., Lishchina V., Sulim V. Methodology of advanced teaching of the academic discipline «methodology of scientific research» to applicants of the second (master's) level of higher education of the educational program «computer science».	113
Kotliarskiy A., Petrashenko A. Method of increasing the efficiency of using cloud resources	125
Lavrenchuk S., Khrystynets, N., Savchuk O. Monitoring the YouTube Platform Using SQL	130
Levchuk O.V., Levchuk K.I. Digital sustainability: assessment of the role of information technologies in ensuring the continuity of specialist training in crisis conditions	137
Nedashkiivskiy B. Methods of Image Recognition and Processing Using The Vision Transformer	146
Nedashkiivskiy S. Methodology And Principles of Object Detection in Deformable Convolutional Networks	153
Nesterov V. Optimization of Big Data Processing and Analysis Processes in the Field of Data Analytics Through the Integration of Data Engineering and Artificial Intelligence	160
Ozerchuk I. A Software-Defined Radio Platform Architecture Based on a General-Purpose Processor	165

Orlov M., Pasichnyk V. Systemic assessment of risks and challenges in implementing the DevOps methodology in corporate IT infrastructures	171
Pronina O.I., Golubets A.O. Mathematical model of formation of vector representation of Ukrainian-language text	179
Radzichovska L. M. Gusak L. P. Use of econometric analysis methods in rice science	186
Samchuk L., Povstiana Yu., Kachula I., Povstiana S. Construction of an activity diagram for the principle of passing the MRI procedure by means of UML	192
Semeniuk V. Analysis and optimization of database performance in distributed systems	199
Fedonyuk A., Gerasymchuk O., Yunchyk V., Fedonyuk Y. Utilization of the multidimensional mean method for optimizing the ranking formation of scientific and pedagogical staff of the university using the example of Lesya Ukrainka Volyn National University	206
Fedosov S., Zamurujeva O., Nykyruy L., Yaremiy I., Yavorskyi R. Evaluation of the scientific area of computer physics by the analytical capabilities of the Scopus database	218
TELECOMMUNICATIONS AND RADIO ENGINEERING	
Bieliakov R. Hierarchical model of intelligent management of special purpose ground-air communication network	225
Andrii Kudriashov. Artificial Intelligence and Security in 5g and 6g Mobile Technologies	236
Mykhalevskyi D., Lutsenko O., Shapovalova T., Kivshar O. Increasing the efficiency of document flow in military units based on cloud technologies	243
Moroz S., Lyshuk V., Chalvi V., Goraychuk A., Tararai D. Analysis of the formation of the output signal of the infrared radiation sensor	249
PROJECT MANAGEMENT	
Vaskiv R., Veretennikova N.V. Analysis of trends in the formation and functioning of distributed teams	255
Symonov V. The impact of the use of artificial intelligence on risk management in projects: opportunities and challenges	268

ВИМОГИ ДО СТРУКТУРИ ТА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ СТАТЕЙ

- **Наукова стаття обов'язково повинна мати наступні необхідні елементи:**
 - 1) **постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
 - 2) **аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор,
 - 3) **виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**, котрим присвячується означена стаття;
 - 4) **формулювання мети дослідження** (постановка завдання);
 - 5) **виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; **висновки** з даного дослідження, у тому числі з науковою новизною;
 - 6) **перспективи подальших досліджень** у даному напрямку.
- Статтю можна подавати українською або англійською мовами. Вона повинна бути набрана у текстовому редакторі MS WORD. **Нумерацію сторінок** не виконувати. **Обсяг статті** 5 повних сторінок і більше (рекомендовано 5-12 ст.).
- **Параметри сторінки.** Верхнє, нижнє поле – 1,5 см, лїве – 2,5 см, правє – 2 см. Від краю до верхнього колонтитула – 1,25 см, нижнього – 1,25 см. Сторінки – дзеркальні поля.
- **Шапка статті.** УДК, ORCID (у форматі <http://orcid...>), автори (ім'я та прїзвище повністю), місце роботи кожного автора. Назва організації та назва статті набираються з нового рядка шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирівнюються по лївому краю. Назва статті розміщується через один рядок нижче назви організації (розмір шрифту 11 пт з напївжирним видїленням та вирївнюванням по центру).
- **Анотації** (українською та англїйською мовами) повинні мїстити прїзвища та ініціали авторів, назву статті та короткий її зміст і розміщуються через один рядок нижче назви статті та набираються з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman Cyr розміром 9 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирївнюються по ширинї, 200 слів. Нижче анотацій обов'язково вказуються **ключовї слова**.
- **Основний текст** розміщується на через один рядок нижче анотацій, набирається з абзацного відступу 1,25 см шрифтом Time New Roman розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирївнюється по ширинї.
- **Формули** набираються у редакторї формул MS WORD (використовувати шрифти: Symbol, Time New Roman Cyr; розміри шрифтів: звичайний 12 пт, крупний індекс 7 пт, дрібний індекс 5 пт, крупний символ 18 пт, дрібний символ 12 пт). Формула вирївнюється по центру і не повинна займати бїльше 5/6 ширини рядка.
- **Ілюстрації**, що присутні у статті, необхідно розташовувати у тексті без абзацних відступів по центру, вирївнюючи підписи по центру (Рис. 1. Назва). Другий екземпляр ілюстрації необхідно подати на окремому листї. Ілюстрації повинні бути чїткими та контрастними.
- **Таблицї** потрібно розташовувати у тексті по центру, причому їх ширина повинна бути на 1 см менша ширини рядка. Над таблицею ставиться її порядковий номер і назва (Таблиця 1. Назва) та вирївнюється по центру.
- **Посилання** на ту чи іншу роботу повинні позначатися в тексті у квадратних дужках за порядковим номером у списку літератури в кінці статті; посилання на джерела статистичних даних обов'язковї; посилання на публікації дослідників обов'язковї; посилання на підручники, навчальні посїбники, газети і ненауковї журнали – небажанї; посилання на власні публікації допускаються тїльки у випадку крайньої необхідності; роботи авторів, на прїзвища яких є посилання в тексті, мають бути в списку літератури до **цїєї статті**.
- **Список бїбліографїчного опису та References.** Список літератури («References») потрібно приводити повністю окремим блоком, повторюючи список літератури, який подається українською мовою, незалежно від того, є в ньому іноземні джерела чи нї. Тобто, після статті подається 2 списки: «Список бїбліографїчного опису» (звичайний список літератури) і «References» (список для мїжнародних БД). Необхідно в опис джерела вносити всїх авторів, не скорочуючи їх до трьох, як це рекомендовано діючими у нас державними стандартами. References - повинен бути укладений англїйською мовою або транслїтерований. Оформлювати згідно з одним із найбільш уживаних у свїті стандартів: APA – American Psychological Association; CBE – Council of Biology Editors, Citation Sequence; Chicago (Author-Date System); Harvard; Harvard – British Standard; MLA (Modern Language Association) – Single Spaced Reference List; NLM – National Library of Medicine; Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals. У жодному з перелїчених стандартів не використовуються роздїлові знаки: «//», «–». Назва джерела та вихідні данї відокремлюються від авторів і заголовка статті типом шрифту, найчастїше, курсивом (italics), крапкою або комою. Існує багато безкоштовних програм для створення бїбліографїчних описів у романській абетцї, що дають можливість автоматично створювати посилання за одним із свїтових стандартів наприклад: <http://www.easybib.com/>, <http://www.bibme.org/>, <http://www.sourceaid.com/>, <https://vak.in.ua/>.
- Вкінці статті вказується напрямок публікації відповідно до спеціальностей наукового журналу.
- Стаття обов'язково переслається електронною поштою за адресою: cit@lntu.edu.ua.
- Рукописи, що не відповідають вище вказаним вимогам, не розглядаються і до друку не приймаються.
- **Усі рукописи проходять перевірку на плагіат!**

ЗРАЗОК

УДК 621.391

Мороз Борис Іванович, д.т.н., професор,
<https://orcid.org/0000-0002-5625-0864>

Антіпов Олександр Андрійович, аспірант,
Журавльов Володимир Сергійович, аспірант.
<https://orcid.org/0000-0002-7366-9552>

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСТАВКИ МЕДИКАМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (МУЛЬТИКОПТЕРІВ) ЗА ЗАПИТОМ СПОЖИВАЧА

Times New Roman 9

Мороз Б. І., Антіпов О.А., Журавльов В. С. Автоматизована система доставки медикаментів за допомогою безпілотних літальних апаратів (мультикоптерів) за запитом споживача. Представлено концепт системи доставки медикаментів за допомогою безпілотних літальних апаратів. Запропоновано архітектуру системи автоматичної диспетчеризації замовлень від споживача, зберігання замовлень, та планування доставки дронами. Також було розглянуто юридичні обмеження роботи запропонованої системи.

Ключові слова: мультикоптер, дрон, доставка, клієнт-серверна архітектура, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Moroz B., Antipov A., Zhuravlev V. Automated system for the delivery of medical supplies using unmanned aerial vehicles (multicopter) at the request of the consumer. The concept of medical supplies delivery system using unmanned aerial vehicles is presented. The architecture of the system of automatic dispatching orders from the consumer, storage of orders, and scheduling delivery by drones are proposed. The legal limitations of the proposed system were also considered.

Keywords: multicopter, drone, delivery, client-server architecture, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Постановка наукової проблеми.

Times New Roman 11

.....

Аналіз досліджень.

.....

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

.....

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

.....

Times New Roman 9

Список бібліографічного опису

- Сін Лю, Ціньян Сяо, Віджай Гопалакришнан, Маттео Варвелло (2017) Дослідження 360 ° Інновації для панорамного відеопотоку, С. 50-55. ACM.
- Б. Хань, Ф., Цянь, Л. Джі та В. Гопалакришнан. (2017) MP-DASH: Адаптивна відео-трансляція через перевагу, орієнтовану на багатофункціональність. У матеріалах 12-ї Міжнародної конференції з нових мережевих експериментів та технологій, С. 129–143. ACM.

References

- Xing Liu, Qingyang Xiao, Vijay Gopalakrishnan, Matteo Varvello (2017) Research 360° Innovations for Panoramic Video Streaming, P. 50-55. ACM.
- Han, B., Qian, F., Ji, L. & Gopalakrishnan, V. (2017) MP-DASH: Adaptive Video Streaming Over Preference-Aware Multipath. In Proceedings of the 12th International on Conference on emerging Networking Experiments and Technologies, P. 129-143. ACM.

Довідки з питань публікації та прийому матеріалів у науковий журнал «Комп'ютерноінтегровані технології: освіта, наука, виробництво» можна отримати у відповідального секретаря – к.т.н. Христинець Наталії Анатоліївни за тел. (0332) 74-61-15.

Адреса: 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, ауд. 141

Автор статті отримує електронний примірник збірника. Вартість однієї сторінки становить **40 – грн. (для працівників Луцького НТУ), 50 грн – для інших ЗВО.**

Окремо, кожній статті, буде присвоєний **DOI (digital object identifier)** - ідентифікатор цифрового об'єкту, що веде за собою додаткову оплату **60 грн.**

Кошти можна перерахувати лише після редакції та перевірки на плагіат на рахунок:

Луцький національний технічний університет
43018 м.Луцьк, вул.Львівська, 75
р/р **UA86 820172 0 3132 4 1 002 2 02 017820**

Призначення платежу: «За публікацію у збірнику «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» від _____ (ПІБ автора)»

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

Колектив авторів

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

Науковий журнал

Підп. до друку 20.03.2024. Формат А4. Папір офс.
Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 15.25 Обл. – вид. арк. 15.75
Тираж 20 прим. Зам. № 14/22

Комп'ютерний набір та верстка:

Н.А. Христинець

Зареєстровано Національною радою України з питань телебачення і
радіомовлення як суб'єкт у сфері друкованих медіа
(рішення №40 від 11.01.2024 р., ідентифікатор медіа R30-02456)
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75