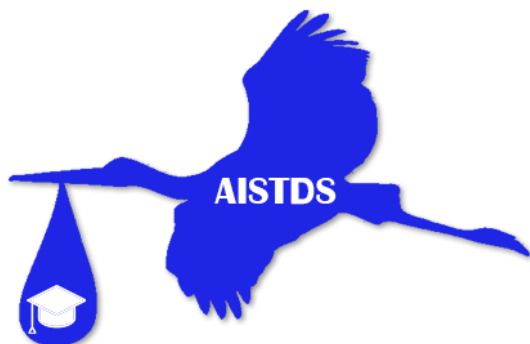


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА



# ПРИКЛАДНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В ЦИФРОВОМУ СУСПІЛЬСТВІ

Збірник тез

VIII Міжнародної науково-практичної конференції

01 жовтня 2024 року



КИЇВ – 2024

ISSN 3041-2323

УДК 004.9

**Адреса редакційної колегії:**

Факультет інформаційних технологій

Київського національного університету імені Тараса Шевченка,

вул. Богдана Гаврилишина, 24, Київ, 04116, Україна

**Прикладні інформаційні системи та технології в цифровому суспільстві:** зб. тез доповідей і наук. повідомл. учасників VIII Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 01 жовтня 2024 р.) / за заг. ред. В. Плєскач, Є. Зайцева, О. Фендьо. К.: Київський нац. ун-т ім. Тараса Шевченка, 2024. 445 с.

Цей збірник містить тези учасників VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Прикладні інформаційні системи та технології в цифровому суспільстві», яка проводилась 01 жовтня 2024 року на базі факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Робочі мови конференції: українська, англійська.

Основною метою конференції є вирішення актуальних проблем розвитку прикладних інформаційних систем і технологій у цифровій економіці, захисту даних, а також перспективних технологій в інфокомунікаційних системах, сучасній освіті.

Ціллю конференції є обмін досвідом між науковцями, практиками у галузі інформаційних систем і технологій, щоб сприяти розробленню нових рішень для цифрового суспільства, це цифрова платформа для обговорення сучасних тенденцій у прикладних інформаційних системах і технологіях, таких як штучний інтелект, великі дані, Інтернет речей (IoT), кібербезпека тощо та розроблення практичних рішень для розв'язання актуальних проблем цифрового суспільства, включаючи цифрову трансформацію, автоматизацію бізнес-процесів, розвиток смарт-міст і цифрових середовищ,

сприяння міжнародному співробітництву у галузі ІКТ, що дозволить налагодити партнерства між дослідницькими та промисловими організаціями різних країн, і, насамкінець, це презентація нових досліджень та інновацій у прикладних інформаційних системах, що можуть бути впроваджені у різні сфери – від бізнесу до державного управління.

Подані матеріали містять методологічні та методичні підходи, які можуть заслуговувати на увагу широкого кола фахівців.

**УДК 004.9**

**ОРГАНІЗАТОРИ КОНФЕРЕНЦІЇ**  
**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА**  
**ШЕВЧЕНКА**  
**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ**

**Андон Пилип Іларіонович** – академік НАН України, доктор фізико-математичних наук, Почесний директор Інституту програмних систем НАН України, співголова;

**Анісімов Анатолій Васильович** – академік НАН України, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри математичної інформатики факультету кібернетики та комп'ютерних наук Київського національного університету імені Тараса Шевченка, співголова;

**Снитюк Віталій Євгенович** – доктор технічних наук, професор, декан факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка, співголова;

**Алієв Алекпер** – доктор технічних наук, професор, декан факультету прикладної математики і кібернетики Бакинського державного університету, заслужений вчитель республіки;

**Баранов Георгій Леонідович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету;

**Дивак Микола Петрович** – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи Західноукраїнського національного університету;

**Жадько Костянтин Степанович** – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри підприємництва та економіки підприємств Університету митної справи та фінансів, м. Дніпро;

**Заславський Володимир Анатолійович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри математичної інформатики факультету кібернетики та комп’ютерних наук Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

**Зосімов В’ячеслав Валерійович** – доктор технічних наук, професор кафедри комп’ютерної інженерії Одеського національного технологічного університету;

**Крак Юрій Васильович** – доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент НАНУ, завідувач кафедри теоретичної кібернетики факультету кібернетики та комп’ютерних наук Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

**Лахно Валерій Анатолійович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп’ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного університету біоресурсів і природокористування України;

**Levashenko Vitaly** – PhD., Professor of the Department of Informatics, University of Žilina Faculty of Management Science and Informatics, Slovakia;

**Janusz Narkiewicz** – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Automation and Aviation Engineering of Faculty of Mechanical Engineering of Energy and Aviation of Institute of Aviation Engineering and Applied Mechanics, Warsaw University of Technology, Poland;

**Нікітченко Микола Степанович** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри теорії та технології програмування кібернетики факультету кібернетики та комп’ютерних наук Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

**Панасюк Ігор Васильович** – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту інженерії та інформаційних технологій, завідувач кафедри теплоенергетики, ресурсоощадності та техногенної безпеки Київського національного університету технологій та дизайну;

**Плескач Валентина Леонідівна** – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри прикладних інформаційних систем факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

**Провотар Олександр Іванович** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри інтелектуальних програмних систем факультету кібернетики та комп'ютерних наук Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

**Пурський Олег Іванович** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних систем Державного торговельно-економічного університету;

**Семенченко Андрій Іванович** – доктор наук з державного управління, професор, член Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах електронних комунікацій, радіочастотного спектра та надання послуг поштового зв'язку;

**Степашко Володимир Семенович** – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу інформаційних технологій індуктивного моделювання в Міжнародному науково-навчальному центрі інформаційних технологій і систем НАН України;

**Сініцин Ігор Петрович** – доктор технічних наук, член-кореспондент НАНУ, директор Інституту програмних систем НАН України;

**Устименко Василь Олександрович** – доктор фізико-математичних наук, професор, університет Марії Кюрі-Склодовської, Польща;

**Romanas Tumasonis** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Vilnius Kolegija, Faculty of Electronics and Informatics, Vilnius, Lithuania VilniuTech University, Lithuania.

## Зміст

<b>Афанасьєв А.А., Зайцев Є.О.</b> Автоматизована інформаційна система забезпечення процесу моніторингу параметрів сонячних панелей .....	10
<b>Бовда Е.М., Любарський С.В., Клименко В.М., Самохвалов Ю.Я.</b> Синтез організаційної структури органу управління інформаційно-телекомунікаційної мережі .....	22
<b>Вдовиченко В.В.</b> Тенденції використання 3D моделювання в освіті .....	28
<b>Вінярська З., Зосімов В., Булгакова О.</b> Система онлайн-освіти з використанням персоналізованих рекомендацій .....	37
<b>Воловецький В.Б., Романишин Ю.Л.</b> Особливості програмного забезпечення для визначення режимів експлуатування підземних сховищ газу .....	46
<b>Гнатієнко Г.М., Гнатієнко В.Г., Зозуля О.Л., Іларіонов О.Є., Сисак К.Я.</b> Деякі аспекти та перспективи застосування штучного інтелекту в освітніх процесах аграрного сектору економіки .....	51
<b>Гнатієнко Г.М., Доманецька І.М., Гнатієнко О.Г., Хроленко Я.О.</b> Схема послідовного аналізу варіантів в експертній технології аналізу конкурсних пропозицій міської трансформації .....	63
<b>Гнатієнко В.Г., Снитюк В.Є.</b> Концептуальні елементи технології розподіленого прогнозування врожайності сільськогосподарських культур .....	75
<b>Голотюк В.М., Ващільна О.В.</b> Застосування модульного тестування в процесі розробки мобільних застосунків .....	83
<b>Гончарук Д.Р.</b> Стратегія НАТО у становленні правил застосування штучного інтелекту .....	92
<b>Дзюбановська Н., Маслій В.</b> Цифровізація та тенденції зайнятості в Європейському Союзі.....	99
<b>Дідик І.В.</b> Вирішення морально-етичних задач за допомогою штучного інтелекту ....	114
<b>Жадько К.С.</b> Проблемні аспекти розвитку автоматизованих облікових систем.....	120
<b>Заславський В.А., Волохович І.І.</b> Вплив змін клімату та військових конфліктів на безпеку та життєдіяльність бджолиних сімей.....	130
<b>Кушнір А.С., Духновська К.К.</b> Інформаційна система «Управління персоналом в науковій організації» .....	141
<b>Жилюк Я.О.</b> Відмовостійка архітектура потокової обробки для аналізу даних в реальному часі .....	155
<b>Зарудний О.Б., Коваль Р.Г., Шолохов О.В.</b> Методика застосування кластеризації текстів на основі лінгвістичних правил для дослідження потреб населення у соціальному захисті та соціальному забезпеченні .....	167
<b>Івохін Є.В., Юштін К.Е., Гавриленко В.В., Богуславський М.Ю.</b> Використання мурашиного алгоритму для розв'язання нечіткої задачі комівояжера .....	178

<b>Комісаренко О.С., Баранов Г.Л., Войденко О.К., Метельська Д.В.</b> Цифровізовані інформаційно інтелектуальні технології розв'язку інженерних задач .....	196
<b>Лемешко А., Ткаченко О.</b> Забезпечення мережевої безпеки: впровадження пристроїв і систем для підвищення захисту мережевої інфраструктури .....	207
<b>Лондар С.Л., Босенко О.С.</b> Інформаційні виклики інтеграції українських школярів-біженців в освітню систему Німеччини.....	219
<b>Матвійв А., Краснощок В.</b> Модель для діагностики пневмонії на основі аналізу легенів .....	226
<b>Орехова Н.А., Лук'янов І.О.</b> Алгоритм знаходження значущих факторів комп'ютерної моделі методами глибокого навчання.....	236
<b>Плескач В.Л., Криволапов Я.В., Криволапов Г.Я., Нагорний В.О.</b> Роль веб-технологій у довгостроковій оптимізації та стратегії розвитку бізнесу.....	242
<b>Пройдаков О.М.</b> Аналіз та вибір технологій для вебсистеми управління цифровою бібліотекою .....	255
<b>Прокопчук Ю.В.</b> Використання бібліотеки React для розроблення веб-застосунків: переваги та виклики .....	262
<b>Пурський О.І., Філімонова Т.О., Селіванова А.В., Нечепуренко А.І., Дубовик Т.В.</b> Прогнозування вартості товарів з використанням регресійної моделі на основі фреймворку PyTorch .....	268
<b>Ретюнських А.Р., Жихарєва Ю.І.</b> Мобільний застосунок для пошуку домашніх тварин .....	274
<b>Рогушина Ю.В., Гладун А.Я., Аніщенко О.В., Прийма С.М., Ісмаїлова Л.Л.</b> Онтологічна модель екосистеми навчання дорослих як інструмент інтеграції інтелектуальних сервісів андрагага.....	283
<b>Сайко В.Г., Фомін М.М., Комаров В.О.</b> Автоматизований комплекс спеціального радіомоніторингу за радіоелектронними засобами .....	297
<b>Самойленко А.П.</b> Використання моделі СВUA без наявності непокритих мутантів..	302
<b>Суровцев І.В., Степашко В.С., Єфіменко С.М., Савченко-Синякова Є.А., Мороз О.Г., Галімова В.М.</b> Задача розроблення прикладної інформаційної технології визначення концентрацій токсичних елементів у водних об'єктах .....	308
<b>Толюпа С.В., Штаненко С.С., Кулько А.А.</b> Вибір стратегії захисту об'єктів критичної інфраструктури на основі теорії ігор.....	315
<b>Топольськов Є.О., Бердо Р.С.</b> Використання штучного інтелекту для визначення індивідуальної траєкторії навчання студентів .....	325
<b>Худолій К.А.</b> Правове регулювання цифрових послуг в Україні: аналіз та перспективи .....	334
<b>Шевченко А.М., Толюпа С.В.</b> Сейсмоакустичний моніторинг об'єктів критичної інфраструктури на основі дискретного веївлет- аналізу .....	340
<b>Boholieпова А., Filimonova Т.</b> Predicting consumer purchasing behavior using machine learning methods .....	348



<b>Byvalkevych A.V., Dukhnovska K.K.</b> Virtual platform for volunteers .....	359
<b>Doroshenko D.E.</b> Mathematical modeling of learning processes and prediction of students success .....	371
<b>Maliava A.</b> Usage of informational system in sphere of medicine to improve efficiency of sterilization processes.....	377
<b>Nakonechnyi V., Lutsenko V.</b> Blockchain-based models and methods for protecting data against unauthorized access .....	385
<b>Šileikienė I., Tumasonis R., Pleskach V.</b> Information security measures for a procrastination-combatting digital solution.....	393
<b>Samadov R.</b> Increasing fault tolerance in transactional databases by adding an additional secondary database.....	427
<b>Svarich V.</b> Comprehensive analysis of TCP/IP, UDP, and HTTP communication protocols in modern networking .....	436

Афанасьєв А.А.<sup>1</sup>, Зайцев Є.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>2</sup>Інститут електродинаміки НАН України, Київ, Україна

[antonaf2003@gmail.com](mailto:antonaf2003@gmail.com), [zaitsev@i.ua](mailto:zaitsev@i.ua)

## АВТОМАТИЗОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

**Анотація.** У статті розглянуто зростаючу потребу в ефективному моніторингу параметрів сонячних панелей в контексті збільшення залежності від відновлюваних джерел енергії. Досліджено розробку автоматизованої інформаційної системи моніторингу параметрів сонячних панелей, спрямованої на оптимізацію споживання та генерації енергії. Система призначена для розрахунку інтервалів споживання енергії, відстеження рівнів освітленості сонячних панелей для оцінки ефективності установки, а також виявлення забруднення поверхні, що забезпечує пікову продуктивність. У статті обговорюється інтеграція датчиків, аналіз даних та архітектура системи для підвищення ефективності виробництва відновлюваної енергії.

**Ключові слова:** сонячні панелі, відновлювальна енергетика, автоматизований моніторинг, енергоспоживання, оптимізація сонячної енергії, аналіз даних, архітектура системи.

**Abstract.** This article addresses the growing need for efficient monitoring of solar panel parameters in the context of increasing reliance on renewable energy sources. The paper explores the development of an automated information system for monitoring solar panel parameters, aimed at optimizing energy consumption and generation. The system is designed to calculate energy consumption intervals, track solar panel illumination levels to evaluate

*installation efficiency, and detect surface contamination, ensuring peak performance. The article discusses sensor integration, data analysis, and system architecture to improve the effectiveness of renewable energy production.*

***Keywords:** solar panels, renewable energy, automated monitoring, energy consumption, solar energy optimization, data analysis, system architecture.*

**Вступ.** Зростаюча залежність від викопних енергоносіїв, збільшення викидів вуглекислого газу та загроза глобальної зміни клімату змушують уряди та компанії шукати альтернативні шляхи забезпечення енергетичних потреб, які в основному в світі перекриваються тепловими електростанціями.

Теплові електростанції, які використовують викопні види палива, такі як вугілля, нафта або природний газ, завдають значної шкоди довкіллю та здоров'ю людей. Однією з головних проблем є величезні обсяги викидів вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) в атмосферу. Ці викиди сприяють парниковому ефекту, що веде до глобального потепління та зміни клімату. Зміна клімату, у свою чергу, викликає більш часті та інтенсивні стихійні лиха, такі як урагани, повені та засухи, що негативно впливають на сільське господарство, економіку та життя мільйонів людей. Крім викидів CO<sub>2</sub>, теплові електростанції також випускають інші шкідливі речовини, такі як діоксид сірки, оксиди азоту та тверді частки. Ці забруднювачі є причиною кислотних дощів, які пошкоджують ґрунти, водойми, рослинність і будівлі, а також призводять до деградації екосистем.

Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ), такі як сонячна, вітрова гідроенергія та геотермальна енергія значно екологічно безпечніші, оскільки не виробляють шкідливих викидів під час своєї роботи. Заміна теплових електростанцій на електростанції, що використовують відновлювальні джерела енергії допоможе суттєво зменшити негативний вплив на довкілля, оскільки сонячна енергія є чистою, невичерпною і не створює викидів

парникових газів. Саме тому трендом останнього десятиліття в усьому світі, та особливо в країнах Євросоюзу, став перехід на відновлювальні джерела енергії.

**Основна частина.** В Україні руйнування енергетичної інфраструктури, особливо теплових електростанцій, які забезпечували значну частину попиту на електроенергію, стало критичним фактором для стабільної роботи енергосистеми. Внаслідок збройної агресії та цілеспрямованих атак на об'єкти енергетики, частина генеруючих потужностей була виведена з ладу, що суттєво обмежило можливість виробництва електроенергії. Зниження виробничих потужностей відбулося через фізичне знищення обладнання. Це призвело до різкого зростання дефіциту електроенергії в національній енергосистемі, особливо під час пікових навантажень. Як наслідок, для стабілізації ситуації та забезпечення безперебійної роботи критично важливих об'єктів почали застосовуватися графіки відключення електроенергії для населення та бізнесу. Вирішення проблеми недостатньої генерації та вразливості великих централізованих електростанцій призвело до збільшення частки ВДЕ в приватних домогосподарствах та на виробництвах із малим та середнім споживанням електроенергії, що спричинило активне впровадження невеликих децентралізованих електростанцій, що використовують ВДЕ. Впровадження таких електростанцій є вартісним, тому відбувається досить повільно на державному рівні, але досить активно в приватному сегменті, що привело до того, що власники підприємств, директори державних установ та навіть жителі приватних і багатоквартирних будинків почали встановлювати власні міні-електростанції, щоб стати енергетично незалежними.

Розробка системи, яка автоматично адаптується до змін умов навколишнього середовища (температура, освітленість) і забезпечує динамічне регулювання режимів роботи сонячних панелей для досягнення максимальної ефективності, відіграє визначальну роль у цьому процесі. Такі

системи дозволяють підвищити продуктивність сонячних електростанцій, оптимізуючи їх роботу в залежності від поточних погодних умов, що особливо важливо в умовах мінливої кліматичної ситуації.

Найбільш популярним рішенням є використання сонячної енергії, яка є екологічно чистим, невичерпним і доступним джерелом. Добувати сонячну енергію можна за допомогою сонячних електростанцій (СЕС), які працюють за допомогою сонячних панелей, що є однією з головних переваг саме СЕС, тому що сонячні панелі є дуже зручними для встановлення. Як поверхня для них може використовуватися дах будинку або земельна ділянка. Монтаж здійснюється швидко та може бути виконаний без великогабаритної спецтехніки, що значно пришвидшує та здешевлює встановлення СЕС в порівнянні з іншими видами електростанцій.

Проте СЕС також не є ідеальним рішенням, оскільки їхня генерація залежить від попадання сонячного світла на фотоелементи. А, отже, генерація не є стабільною, тому важливо чітко знати коли і скільки електроенергії виробляє панель, щоб розрахувати часові проміжки споживання електроенергії. Також дуже важливим є відстеження ступеня освітленості сонячних панелей, щоб після установки мати змогу оцінити, чи правильним є місце для встановлення панелі, чи доцільніше буде її поставити в інше місце. Також це допоможе визначити, чи не є забрудненою панель.

Система моніторингу параметрів сонячної панелі зазвичай використовує датчики, зокрема, такі як:

**Датчики струму і напруги.** Ці датчики дозволяють відстежувати рівень генерованої електроенергії в режимі реального часу. Вони збирають дані про поточну потужність, що виробляється сонячними панелями, і можуть використовуватися для розрахунку часових проміжків споживання електроенергії, визначаючи пікові і низькі періоди активності.

**Датчики освітленості.** Ці датчики вимірюють рівень сонячного випромінювання, яке потрапляє на поверхню панелей. Вони необхідні для відстеження ступеня освітленості і допомагають оцінити, чи правильно вибране місце для установки панелей. Якщо рівень освітленості нижчий за очікуваний, це може свідчити про необхідність зміни положення панелей або видалення перешкод, які блокують світло (наприклад, тіні від дерев або будівель).

**Температурні датчики.** Температура панелей може значно впливати на їхню ефективність. Температурні датчики допомагають моніторити тепловий режим панелей і визначати, чи не є перегрів однією з причин зниження продуктивності. Окрім цього, ці датчики можуть допомогти у виявленні потенційних проблем з охолодженням або забрудненням панелей.

**Датчики забруднення.** Ці датчики призначені для виявлення забруднення на поверхні панелей, яке може знижувати ефективність генерації електроенергії. Вони допомагають вчасно виявляти накопичення пилу, бруду або снігу, щоб забезпечити чистоту поверхні і максимальну продуктивність панелей.

**Датчики нахилу.** Правильний нахил панелей є ключовим для отримання максимальної кількості сонячного випромінювання. Датчики нахилу дозволяють контролювати кут нахилу панелей і можуть підказати, чи не потрібно їх коригувати для поліпшення освітлення.

**Датчики вологості і опадів.** Ці датчики вимірюють рівень вологості та кількість опадів, що може впливати на ефективність роботи сонячних панелей. Вони також корисні для визначення умов, при яких панелі можуть бути забруднені або пошкоджені через надмірну вологу чи сніг.

**Датчики вітру.** Швидкість і напрямок вітру можуть впливати на стабільність та роботу панелей, особливо якщо вони встановлені на відкритих площах. Ці датчики можуть допомогти оцінити ризики для

конструкції і забезпечити захист панелей від пошкоджень під час сильних вітрів.

Також іншими складовими автоматизованої інформаційної системи забезпечення процесу моніторингу параметрів сонячних панелей є:

**Мережеві комунікації.** Для передачі даних використовуються мережеві комунікації, такі як Інтернет, бездротові мережі і дротові зв'язки. Це дозволяє збирати дані з різних точок мережі та передавати їх на центральний сервер.

**Центральний сервер моніторингу.** Цей сервер обробляє та аналізує дані, отримані від сенсорів.

Під час розробки програмної частини автоматизованої інформаційної системи для моніторингу параметрів сонячних панелей необхідно враховувати кілька ключових аспектів, які забезпечать надійну роботу всієї системи та ефективний збір і аналіз даних. Основною метою є інтеграція всіх компонентів, таких як датчики струму, напруги, освітленості, температури та інші, у єдину систему, що забезпечує безперебійний моніторинг і своєчасне виявлення відхилень у роботі панелей.

Перше, що варто врахувати, це розробка архітектури програмного забезпечення, яка зможе інтегрувати великий обсяг різнорідних даних, що надходять від різних типів сенсорів. Програма повинна бути здатною приймати ці дані в реальному часі, аналізувати їх і виводити результати на інтерфейс користувача, наприклад, у вигляді графіків, діаграм або таблиць. З огляду на це, важливо забезпечити правильну синхронізацію всіх джерел даних і запобігти конфліктам під час обробки інформації від різних сенсорів.

Другим критичним аспектом є розробка алгоритмів аналізу даних, що зможуть ефективно обробляти показники, отримані з датчиків, і виявляти потенційні проблеми. Наприклад, програмна частина повинна бути здатною на основі даних з датчиків освітленості аналізувати рівень сонячного випромінювання, що падає на панелі, і робити висновки щодо доцільності

їхнього поточного розташування. Якщо рівень освітлення значно знижується, програма повинна сповістити оператора про можливі проблеми з розташуванням або забрудненням панелей. Такі алгоритми можуть бути засновані на порівнянні реальних даних із встановленими пороговими значеннями або прогнозними моделями.

Окрім аналізу продуктивності, необхідно також реалізувати функції діагностики. Наприклад, якщо температурні датчики фіксують перегрів панелей, система повинна мати алгоритми, які здатні ідентифікувати потенційні причини цього явища — чи це відбувається через зовнішні фактори, такі як сильне сонячне випромінювання, чи через несправність панелей. Програма повинна мати здатність до самоаналізу й генерації звітів для оператора щодо стану панелей і необхідності технічного обслуговування.

Важливою частиною системи є її здатність до інтеграції з мережею передачі даних. Програмне забезпечення повинне підтримувати роботу з різними протоколами передачі даних, такими як Wi-Fi, Ethernet або мобільні мережі, щоб забезпечити безперервний зв'язок із сенсорами. Забезпечення захисту даних під час передачі також має бути враховане, тому програмне забезпечення повинно включати механізми шифрування та автентифікації для забезпечення безпеки та конфіденційності переданої інформації.

Центральний сервер є ще одним важливим елементом, і його програмна частина повинна бути налаштована на ефективне зберігання та обробку великої кількості даних. Необхідно враховувати масштабованість серверної інфраструктури, оскільки в міру зростання кількості сонячних панелей і сенсорів обсяги даних також зростатимуть. Для цього потрібно використовувати бази даних, які можуть масштабуватися, а також оптимізовані алгоритми для швидкої обробки великих масивів інформації.

Інтерфейс користувача також є важливим компонентом програмного забезпечення. Він повинен бути інтуїтивно зрозумілим і надавати оператору



можливість переглядати дані в реальному часі, встановлювати порогові значення для різних параметрів і налаштовувати сповіщення в разі перевищення цих значень. Візуалізація даних повинна бути на високому рівні, а також повинна бути присутня детальна статистика по основним даним. Це необхідно для того, щоб оператор міг легко оцінювати ефективність роботи панелей, виявляти відхилення і оперативно реагувати на потенційні проблеми.

Розроблений інтерфейс користувача автоматизованої інформаційної системи забезпечення процесу моніторингу параметрів сонячних панелей на базі веб-застосунку для системи моніторингу рівня балансу споживання активних споживачів в Smart Grid мережах наведено на рисунках 1-3. Цей веб-застосунок забезпечує моніторинг певних параметрів енергетичної мережі, крім того він відповідає поставленим вище вимогам до інтерфейсу користувача.

Робота із застосунком починається з ініціалізації користувача на головній (початковій) сторінці. Ця сторінка носить інформаційний характер, на ній користувач може ознайомитись з основними характеристиками веб-застосунку та забезпечує авторизацію користувача. Приклад входу до системи моніторингу представлений на рис. 1.

The image shows a login form with the following elements:

- Label: Email
- Input field for email
- Label: Пароль
- Input field for password
- Button: АВТОРИЗУВАТИСЯ
- Link: [Немає аккаунту?](#)

Рисунок 1 – Процедура входу до системи моніторингу

Після успішної авторизації користувач може перейти на сторінку «Поточні показники» та відслідковувати інформацію про основні показники в режимі реального часу. Крім числових даних буде виведено ще й візуалізацію інформації у вигляді динамічного стовпчатого графіку, який оновлюється кожні 3 сек. разом із числовими даними. При перевищенні порогового значення для параметра відбувається сповіщення у вигляді зміни кольору одного із стовпців.

Приклад роботи сторінки «Поточні показники» наведено на рис 2.

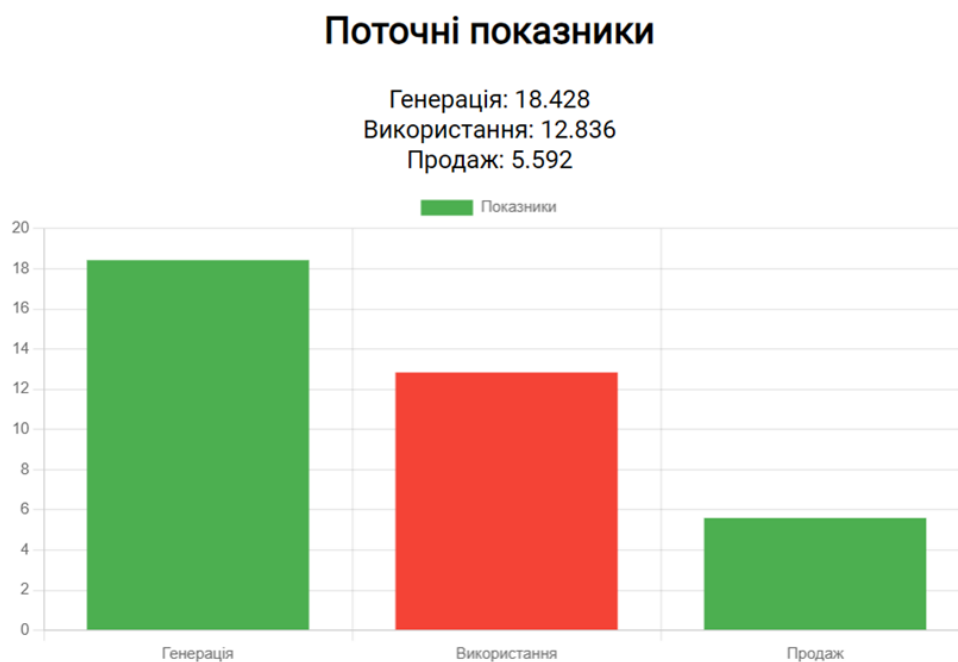


Рисунок 2 – Приклад роботи сторінки «Поточні показники»

Для забезпечення моніторингу за параметрами споживання, генерації, купівлі та продажу електроенергії в застосунку використовуються графіки з деталізованою статистикою, що надає змогу оператору якісно реагувати на потенційні проблеми (рис. 3).



Рисунок 3 – Приклад графіків моніторингу даних

**Висновок.** Автоматизована інформаційна система моніторингу параметрів сонячних панелей є визначальним інструментом для підвищення ефективності та надійності роботи сонячних електростанцій. Інтеграція різних датчиків, аналіз даних у режимі реального часу та своєчасний моніторинг дозволяють не лише оптимізувати продуктивність панелей, але й оперативно виявляти потенційні проблеми, що забезпечує економічну вигоду та сприяє подальшому розвитку відновлюваних джерел енергії. Впровадження сучасних рішень дозволяє також знижувати енерговитрати самої системи моніторингу, мінімізуючи її вплив на навколишнє середовище, що робить такі системи ще більш екологічно стійкими й ефективними у довгостроковій перспективі.

Окрім цього, розроблена система моніторингу дозволяє ефективно відстежувати основні показники роботи сонячних панелей, аналізувати статистичні дані та робити відповідні висновки, спрямовані на підвищення

ефективності всієї мережі. Такий підхід дозволяє своєчасно вносити коригування в роботу станцій, що оптимізує виробництво електроенергії та забезпечує стабільність у роботі енергосистеми.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Телекомунікаційні системи та мережі. В.В. Поповський, О.В. Левешко, М.Д. Плотніков та ін. ; Львів : СМІТ, 2018. 134 с.
2. Smart meters. *José Manuel Carou Alvarez* : веб-сайт. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128212042000672> (дата звернення 26.09.2024).
3. Афанасьєв А.А., Зайцев Є.О. Інформаційна система моніторингу рівня балансу споживання проактивних споживачів в smart grid мережах. Прикладні системи та технології в інформаційному суспільстві: зб. тез доповідей і наук. повідомл. учасників VII Міжнародної науково-практичної конференції, Київ, 29 вересня 2023 р., Київ : Київський нац. ун-т ім. Тараса Шевченка, 2023. С. 13-18.
4. Зайцев Є., Березниченко В., Закусило С., Антоненко А. SMART засоби визначення аварійних станів в розподільних електричних мережах міст. *Таврійський науковий вісник*. Серія: Технічні науки. №5, С. 3-12. DOI: <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.5.1> (дата звернення 26.09.2024).
5. What is Advanced Metering Infrastructure (AMI)? *Cristina Tuser* : веб-сайт. URL: <https://www.wwdmag.com/what-is-articles/article/10940067/what-is-advanced-metering-infrastructure-ami> (дата звернення 26.09.2024).
6. Sioshansi F. P. Smart Grid: Integrating Renewable, Distributed and Efficient Energy. Cambridge: Academic Press, 2011. 585 p.
7. Lawrence E. Renewable Energy Integration. Amsterdam Inc., 2017. 570 p.
8. Smart Grids: An Optimised Electric Power System. Jerry Jackson : веб-сайт. URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780080994246000284> (дата звернення 26.09.2024).

9. Distribution and outage management systems. *Bas Kruimer* : веб-сайт.  
URL : <https://www.dnv.com/services/distribution-and-outage-management-systems-5311> (дата звернення 26.09.2024).
10. Operation & Maintenance Best Practices Guidelines. *solarbestpractices*: веб-сайт. URL : <https://solarbestpractices.com/guidelines/detail/data-and-monitoring-requirements?> (дата звернення 26.09.2024).
11. DIY Solar Panel Monitoring System – V2.0. *Open Green Energy*: веб-сайт.  
URL : <https://www.opengreenenergy.com/solar-panel-monitoring-system-v2/>  
(дата звернення 26.09.2024).
12. Multifunctional Automated System For Monitoring Performance Of Solar Pv Panel. *Prajakta S. Ugale*: веб-сайт. URL : <https://www.neliti.com/publications/342532/multifunctional-automated-system-for-monitoring-performance-of-solar-pv-panel> (дата звернення 26.09.2024).

Бовда Е.М.<sup>1</sup>, Любарський С.В.<sup>1</sup>, Клименко В.М.<sup>1</sup>, Самохвалов Ю.Я.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна

<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
[edepig8305@ukr.net](mailto:edepig8305@ukr.net), [lubarsky550@gmail.com](mailto:lubarsky550@gmail.com), [vklym55@ukr.net](mailto:vklym55@ukr.net),  
[yu1953@ukr.net](mailto:yul1953@ukr.net)

## СИНТЕЗ ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ ОРГАНУ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

**Анотація.** Запропоновано підхід до рішення задачі синтезу організаційної структури органу управління інформаційно-телекомунікаційної мережі на основі методу субоптимізації. Наведена постановка задачі синтезу, визначена цільова функція, обмеження, часткові показники якості та чинники, що впливають на них. Також розглянуто питання оптимізації умов діяльності посадових осіб і вибору технічних засобів комунікації.

**Ключові слова:** інформаційно-телекомунікаційна мережа, метод субоптимізації, синтез організаційної структури.

**Abstract.** An approach to solving the problem of synthesizing the organizational structure of the management body of the information and telecommunications network based on the suboptimization method is proposed. The statement of the synthesis problem is presented, the objective function, limitations, partial quality indicators and factors influencing them are defined. The issue of optimizing the working conditions of officials and the choice of technical means of communication was also considered.

**Key words:** information and telecommunication network, suboptimization method, synthesis of organizational structure.

**Вступ.** Сучасні інформаційно-телекомунікаційні мережі (ІТМ) відносяться до складних систем. Управління такими системами здійснюється органом управління (ОУ), до складу якого входять посадові особи, що безпосередньо впливають на процес функціонування ІТМ [1]. Щоб підтримувати функціонування мережі на заданому рівні виникає задача формування такої організаційної структури ОУ, яка забезпечує якісне вирішення задач управління як в штатних, так і нештатних умовах функціонування ІТМ.

### **Постановка задачі.**

Введемо необхідні позначення:

$Q = \{q_1, \dots, q_k, \dots, q_k\}$  – множина варіантів структури органу управління;

$B = \{B_1, \dots, B_j, \dots, B_j\}$  – множина варіантів розподілу посадових осіб ОУ на підрозділи (відділи, служби), де  $j$ -варіант характеризується складом підгруп  $B_j = \{B_{j1}, \dots, B_{ij}, \dots, B_{ij}\}$ , а кожна підгрупа характеризується також кількістю посадових осіб  $b_{ij} = \{b_{1ij}, \dots, b_{pij}, \dots, b_{pij}\}$ , тобто: де  $i$ - номер підгрупи;  $p$  - номер посадової особи в підгрупі;

$L = \{L_1, \dots, L_r, \dots, L_r\}$  – множина варіантів розподілу функцій між посадовими особами.

Кожний  $r$ -й варіант характеризується множиною функцій, що виконуються кожною підгрупою  $L_r = \{L_1, \dots, L_r, \dots, L_r\}$  і множиною функцій, що виконуються кожною посадовою особою  $i$ -й групи  $L_r = \{b_{1ijr}, \dots, b_{pijr}, \dots, b_{pijr}\}$ .

При введених позначеннях задача синтезу організаційної структури органу управління колективної діяльності полягає у виборі такого варіанту  $\omega_0$  серед всіх можливих варіантів  $\Omega$ , де множина  $\Omega$  однозначно задається множинами  $Q, B, L$ :

$$\Omega = Q \times B \times L, \quad (1)$$

при якому досягається максимум ефективності системи, тобто

$$E_{\omega_0} = \max E\omega; \quad \omega_0 = \{Q_0, B_0, L_0\} \quad (2)$$

$$\omega \in \Omega$$

Рішення задачі (2) в загальному вигляді не представляється, тому в докладі запропоновано для вирішення цієї задачі метод субоптимізації.

**Рішення задачі синтезу організаційної структури органу управління ІТМ методом субоптимізації.**

Найбільш важливим і складним питанням при вирішенні поставленої задачі методом субоптимізації є питання вибору загального критерію субоптимізації.

Група посадових осіб як елемент системи управління повинна забезпечувати виконання основної задачі системи, що полягає у виборі і підтримці оптимального режиму функціонування системи. Для цього необхідно своєчасне і якісне рішення задач управління, що відображають такі зміни станів елементів системи, які вимагають видачі керуючих впливів.

З огляду на це цільову функцію роботи колективу посадових осіб можна записати у вигляді

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_i n_{ij} P_{kri} P_{ij} \quad (3)$$

де  $i = 1, 2, \dots, n$  - тип задач управління;

$j = 1, 2, \dots, m$  - посадові особи системи;

$C_i$  – вага (або важливість)  $i$ -го типу задачі управління, яка визначається мірою впливу результату рішення задачі на загальний показник ефективності системи ( $E$ ):

$$C_i = f(\Delta E_i); \quad \Delta E_i = E_i - E;$$

де  $E_i, E$  – значення показника ефективності з урахуванням, і без урахування  $i$ -го типу задачі;

$n_{ij}$  – кількість задач управління  $i$ -го типу, що поступили до  $j$ -ї посадової особи ( $n_{ij} = \lambda_{ij} T$ , де  $\lambda_{ij}$  – щільність надходження задач  $i$ -го типу до  $j$ -ї посадової особи за час  $T$ );



$P_{kri}$  – імовірність обслуговування  $i$ -го типу задач управління з певною якістю  $K_r$ , що залежить від організації роботи колективу, інформаційної моделі, часу прийняття рішення ( $t_{i\text{рiш}}$ ) і т.д.;

$P_{ij}$  – імовірність рішення  $i$ -го типу задач управління  $j$ -ою посадовою особою, яка залежить від щільності потоку задач  $\Delta_j$ , що поступають до  $j$ -ї посадової особи  $\left( \Delta_j = \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} \right)$ , від часу рішення  $t_{i\text{рiш}}$  і часу існування задачі  $t_{i\text{дод}}$ :

де  $t_{i\text{дод}}$  – час існування, що визначається проміжком часу, протягом якого затримка в рішенні задачі не приведе до наслідків, небажаних для системи (аварії, значного зниження ефективності і т.п.)

Обмеженнями задачі (2) виступають, як правило, умови роботи посадових осіб. Узагальнюючою характеристикою цих умов, з точки зору тимчасових співвідношень, вважається завантаження посадової особи. Під завантаженням посадової особи  $\rho_j$  звичайно розуміють відношення сумарного часу, необхідного для рішення всіх задач, що виникають до часу роботи посадової особи [2].

У загальному вигляді обмеження по завантаженню для будь-якої  $j$ -ї посадової особи можна записати таким чином:

$$\rho_{j\text{min}} \leq \rho_j \leq \rho_{j\text{max}} \quad (4)$$

Гранично допустимі норми: завантаження  $\rho_{j\text{min}}$ ,  $\rho_{j\text{max}}$  залежать від характеру задач, що вирішуються посадовою особою, і визначаються вимогами ергономіки.

Рішення задачі синтезу організаційної структури органу управління ІТМ проводиться на основі максимізації показника ефективності  $E(\Omega)$  або мінімізації витрат  $C(\Omega)$ , тобто задача може мати дві постановки

$$\max \{E(\Omega) / C(\Omega) \leq C_{\text{дод}}; \quad G(\Omega) \leq G_{\text{дод}}\}; \quad (5)$$

$$\min \{C(\Omega) / E(\Omega) \leq E_{\text{дод}}; \quad G(\Omega) \leq G_{\text{дод}}\}, \quad (6)$$

де  $G(\Omega)$  – характеристики умов роботи посадових осіб.

Сформульована задача може бути вирішена варіантним методом. Суть методу полягає в тому, що шляхом попереднього аналізу колективної діяльності намічаються декілька варіантів організації діяльності. Для кожного з них знаходять значення функції  $E(\Omega)$  і  $\rho(\Omega)$  і вибирається варіант, що забезпечує максимум  $E(\Omega)$  або мінімум  $C(\Omega)$  при виконанні обмежень  $\rho(\Omega)$ .

Для кількісної оцінки величин  $E(\Omega)$  і  $\rho(\Omega)$  можливе використання аналітичних і експериментальних методів, а також методу моделювання.

Як частковий критерій оптимізації діяльності посадової особи зручно використати критерій виду (5), або критерій, що характеризує якість рішення задач управління. Цей критерій може мати вигляд:

$$\bar{P}_{j0} \leq \bar{P}_j \leq 1 \quad \text{для всіх } j = 1, \dots, m, \quad (7)$$

де  $\bar{P}_j$  – середня якість роботи  $j$ -ї посадової особи;

$\bar{P}_{j0}$  – задана якість роботи  $j$ -ї посадової особи:

або інакше

$$P_{i0} \leq P_{ij} \leq 1 \quad \text{для всіх } j = 1, \dots, m; i = 1, \dots, n, \quad (8)$$

де  $P_{ij}$  – імовірність правильного і своєчасного рішення  $i$ -ої задачі  $j$ -ю посадовою особою;

$P_{i0}$  – задана якість рішення  $i$ -ої задачі  $j$ -ю посадовою особою.

Величини  $P_{j0}$  і  $P_{i0}$  визначаються з урахуванням важливості посадової особи і задачі, що вирішується, і звичайно мають значення 0,8...0,95.

Далі визначаються чинники, що впливають на часткові показники якості. Тимчасові імовірнісні характеристики виконання операцій визначаються такими чинниками, як рівень підготовки посадової особи, конструкція робочого місця, параметри інформаційної моделі тощо. Якість рішення задач визначається при заданих характеристиках елементарних операцій алгоритмом рішення задачі. Тому оптимізація рішення задачі полягає в знаходженні найбільш раціонального алгоритму її рішення. Якість

роботи посадової особи при заданих характеристиках рішення задач визначається тим, як організується рішення “потоків” задач управління (дисципліна обслуговування). Нарешті, показник (3) якості роботи колективу визначається чинниками, що характеризують організацію роботи колективу: структурою колективу, кількістю і кваліфікацією посадових осіб, розподілом функцій між ними.

Заключним етапом рішення задачі синтезу організаційної структури органу управління ІТМ є оптимізація умов діяльності та вибору технічних засобів комунікації. На цьому етапі вирішуються питання розміщення посадових осіб, розрахунку необхідної кількості автоматизованих і неавтоматизованих робочих місць вузла ІТМ, вибираються технічні засоби комунікації, задаються ергономічні вимоги до середовища взаємодії посадових осіб і т.п.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Годлевський І. М. Моделі, методи та інформаційна технологія синтезу організаційної структури системи управління логістикою дистрибуції [Електронний ресурс] дис. канд. техн. наук. Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т", Харків, 2020. 178 с.
2. Методи оптимізації та пошуку оптимальних рішень. Навчальний посібник. Укладач Л.Р. Ладієва. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023, 73 с.

**Вдовиченко В.В.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна*  
[vlad182ava@gmail.com](mailto:vlad182ava@gmail.com)

## **ТЕНДЕНЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ 3D МОДЕЛЮВАННЯ В ОСВІТІ**

**Анотація.** У статті досліджується вплив використання 3D-технологій у навчальному процесі, зокрема у предметах, що потребують високого рівня абстракції та візуалізації, таких як хімія, фізика, анатомія та архітектура. Описано, як 3D-моделі та анімації дозволяють учням віртуально взаємодіяти з об'єктами, сприяючи просторовому мисленню та глибшому розумінню складних концепцій. У статті висвітлюються позитивні результати досліджень, які показують, що використання 3D-технологій призводить до покращення результатів навчання та підвищення мотивації студентів.

Крім того, у статті розглядаються потенційні можливості застосування 3D-моделей у різних освітніх галузях, включаючи створення віртуальних музеїв та інтерактивних симуляцій у фізичних музеях. Ці технології розширюють доступ до культурних артефактів та об'єктів, надаючи студентам нові можливості для навчання та інтерактивної взаємодії, роблячи процес навчання більш захоплюючим та ефективним.

**Ключові слова:** 3D моделювання, освіта, віртуальна реальність.

**Abstract.** The article explores the impact of using 3D technologies in the educational process, particularly in subjects requiring high levels of abstraction and visualization, such as chemistry, physics, anatomy, and architecture. It describes how 3D models and animations enable students to virtually interact with objects, promoting spatial reasoning and a deeper understanding of complex concepts. The article highlights positive research results showing that the use of

*3D technologies leads to improved learning outcomes and increased student motivation.*

*Additionally, the article examines the potential applications of 3D models across various educational fields, including the creation of virtual museums and interactive simulations in physical museums. These technologies enhance access to cultural artifacts and objects, providing students with new opportunities for study and interactive engagement, making the learning process more engaging and effective.*

**Keywords:** *3D modelling, education, virtual reality.*

**Вступ.** Термін «3D моделювання» відноситься до процесу створення тривимірного зображення об'єкта за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Зображення, що називається 3D моделлю, може передавати розмір, форму та текстуру об'єкта. Моделювати можна як існуючі предмети, так і ті, що ще не були побудовані в реальному житті [1].

Дослідницька група NATO (The Research and Technology Organisation, RTO) проводила велика дослідження та постановила, що 3D моделювання геометричних і фізичних властивостей міської місцевості надає важливі можливості для покращення Загальної Релевантної Операційної Картини (Common Relevant Operational Picture, CROP) при веденні бойових дій. Це сприяє візуалізації, що підвищує ситуаційну обізнаність користувачів у складних міських умовах. Крім того, такі моделі допомагають виконувати невізуалізаційні завдання, як-от визначення лінії видимості, планування місій, виявлення змін, оцінка мереж датчиків, аналіз загроз і розрахунок акустичних, хімічних та електромагнітних поширень [2].

Застосування 3D моделювання не обмежується лише військовою справою. Сьогодні 3D-моделювання використовується в різних галузях, таких як кіно, анімація та ігри, дизайн інтер'єру та архітектура [3]. 3D моделі також використовуються в медичній індустрії для створення інтерактивних

зображень анатомії [4], зокрема для демонстрації детальних моделей органів, що можуть бути створені за допомогою кількох двовимірних фрагментів зображення з МРТ або КТ.

3D моделі також мають значний потенціал для використання в освітніх цілях, оскільки вони дозволяють студентам та учням отримати глибше розуміння складних концепцій завдяки візуалізації та інтерактивній взаємодії. 3D моделювання дає змогу створювати віртуальні навчальні середовища, де можна моделювати реальні процеси та явища. Це забезпечує не лише теоретичне вивчення, але й практичне застосування знань через симуляції. Це особливо важливо для дистанційного навчання, оскільки дає змогу забезпечити інтерактивний досвід, схожий на той, який можна отримати в традиційних навчальних лабораторіях або класах.

**Основна частина.** Як 3D моделювання може покращити освітній процес? 3D моделі надають наочне уявлення про складні концепції, роблячи їх зрозумілішими для учнів. Незалежно від того, чи це візуалізація структури людського тіла, чи дослідження хімічних елементів, 3D моделі пропонують більш захоплюючий та інтерактивний досвід навчання.

У ході дослідження, проведеного серед чеських учнів середніх і старших класів, вчені з'ясували, що 3D-анімації та моделі позитивно впливають на учнів. Наприклад, під час одного з експериментів учні пройшли тести на знання до і після використання технологій на уроках хімії та природничих наук. Результати показали (рис. 1), що учні з експериментальної групи (EG) значно перевершили результати учнів із контрольної групи (CG) під час повторного тестування, що свідчить про ефективність впровадження навчальних матеріалів на основі 3D-технологій [5].

### Вплив 3D моделей та анімацій на результати тестування студентів в Природничих Науках

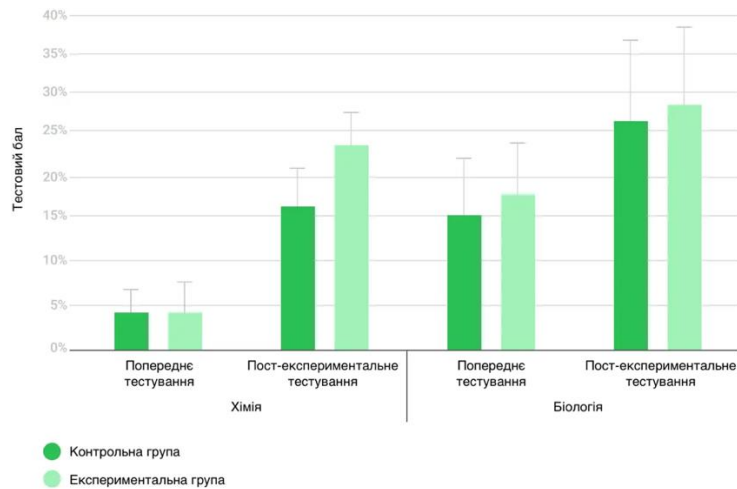


Рисунок 1 – Вплив 3D моделей та анімацій на результати тестування здобувачів вищої освіти

Для розуміння точних наук, таких як хімія, фізика, анатомія та архітектура, необхідний високий рівень абстракції та візуалізації. Використання 3D моделей і анімацій є цінним засобом для покращення розуміння абстрактних концепцій. Вони дозволяють учням віртуально маніпулювати об'єктами та взаємодіяти з ними, досліджуючи нові аспекти, які можуть бути недоступними у фізичному світі. 3D технології допомагають розвивати просторове мислення, дозволяючи краще розуміти поняття, пов'язані з формою, розміром та просторовими відносинами. Вони також сприяють тому, що учні можуть легше поєднувати теоретичні концепції з реальними застосуваннями. Відповідно, інтеграція цих інструментів покращує загальне розуміння предмета, що призводить до кращих результатів під час оцінювання в освітньому процесі.

Інтерактивний досвід навчання, включаючи той, що задіює 3D технології, може викликати захоплення від навчання та допомогти покращити засвоєння матеріалу. Залучення до курсів, які використовують інноваційні мультимодальні навчальні інструменти, зокрема 3D моделі та

анімації, було визнано одним із ключових джерел мотивації серед студентів-медиків у Канаді. Дослідження, присвячене електронному курсу з анатомії вроджених вад серця, показало, що 88,5% студентів були високо вмотивовані та висловили задоволення курсами, які використовували 3D моделі та інші віртуальні інструменти. Вони вважали їх цікавими, захопливими та добре пристосованими до їхніх навчальних потреб [6].

Основний висновок дослідження полягає в тому, що інтеграція 3D моделей та анімацій у навчальний курс не тільки покращує розуміння студентами складних концепцій, але й сприяє більш зануреному та насиченому освітньому досвіду загалом. Здобувачі вищої освіти демонструють більшу мотивацію до вивчення матеріалів курсу, коли використовуються інтерактивні та візуально стимулюючі ресурси.

### **Приклади впровадження 3D моделей в освітній процес**

#### *Віртуальні/фізичні інтерактивні музеї*

Одним із застосувань 3D-технологій є представлення мистецтва та культурної спадщини у віртуальних музеях. Ці віртуальні простори мають на меті поширювати мистецтво онлайн, демонструючи цифрові архіви, фотографічні записи та інформацію про колекції реальних музеїв. Такий підхід підвищує доступність, надаючи громадськості доступ до недоступних середовищ і культурних артефактів. 3D-модельовання також може використовуватися в фізичних музеях для забезпечення інтерактивних симуляцій без ризику пошкодження цінних фізичних об'єктів.

#### *Медична підготовка*

Однією з галузей, де 3D модельовання найчастіше використовується, є медична підготовка. Лікарі по всьому світу часто покладаються на зображення з КТ та МРТ сканувань, які надають 3D набір даних, але зазвичай переглядаються у 2D форматі, що призводить до різних інтерпретацій. Радіологи проводять свою кар'єру, аналізуючи складні 2D зображення та передаючи інформацію іншим клініцистам, які можуть не



мати такого ж рівня експертизи. Однак нові технології, такі як доповнена реальність, віртуальна реальність і голографічні дисплеї, пропонують рішення. 3D моделювання робить анатомічні зображення більш інтуїтивно зрозумілими для клініцистів різних спеціальностей, що сприяє покращенню діагностики, планування операцій, навчання та загальних результатів.

Ваннанський медичний коледж (Wannan Medical College) провів дослідження за участю 460 студентів, які спеціалізуються на медичній візуалізації. Дослідники поєднали анатомію з візуалізацією, перетворюючи 2D інформацію з різних методів візуалізації, таких як КТ, рентгенографія (DR), МРТ і СПЕКТ, на 3D зображення (рис. 2). Під час експерименту дві групи студентів вивчали основні матеріали, використовуючи 2D та 3D візуалізацію. Результати дослідження показали суттєві покращення як у теоретичних знаннях, так і в аналізі клінічних випадків у експериментальній групі порівняно з контрольною [7].

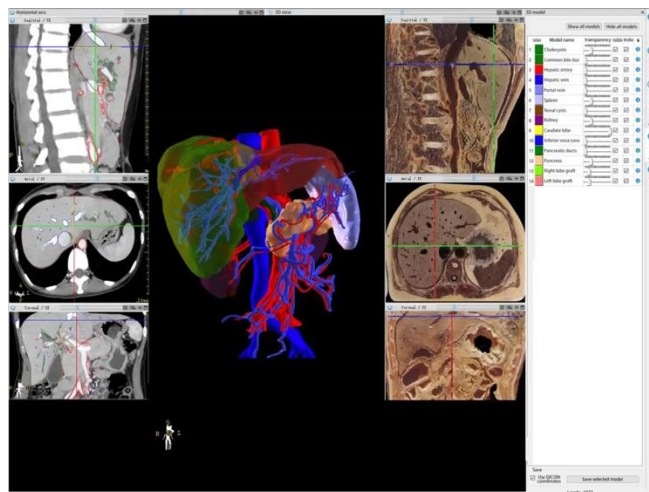


Рисунок 2 – 3D модель грудної клітини людини

### *Освітні курси та додатки*

3D технології можуть застосовуватися до будь-яких освітніх курсів та веб- або мобільних додатків. Це стосується зображень, які покращують процес навчання та надають студентам глибше розуміння складних концепцій. Вони можуть досліджувати, маніпулювати та розуміти поняття

так, як традиційні 2D методи не здатні це повторити, що зрештою покращує їхній освітній шлях.

Наприклад, замість того, щоб представляти традиційну електричну схему, можна створити 3D-схему, яка буде більш деталізованою та зрозумілою (рис. 3).

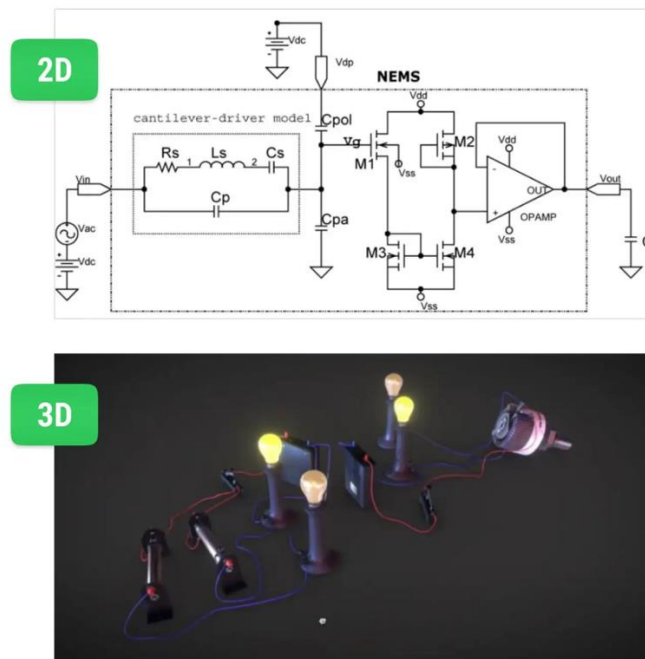


Рисунок 3 – Моделювання схеми

### *3D гейміфікація*

3D гейміфікація в освіті підвищує мотивацію, залученість та результати навчання, надаючи контекст реального світу, багатосенсорні переживання та сприяючи співпраці.

Одним із помітних прикладів 3D гейміфікації в науковій освіті є віртуальна лабораторія від Immersive Labz під назвою "Simulab" [8]. Simulab пропонує студентам практичний досвід роботи з реальним обладнанням у віртуальному середовищі (рис. 4). Через ігрові сценарії, орієнтовані на досягнення цілей, та використання таких технологій, як віртуальна реальність (VR), студенти занурюються в інтерактивні та динамічні експерименти.

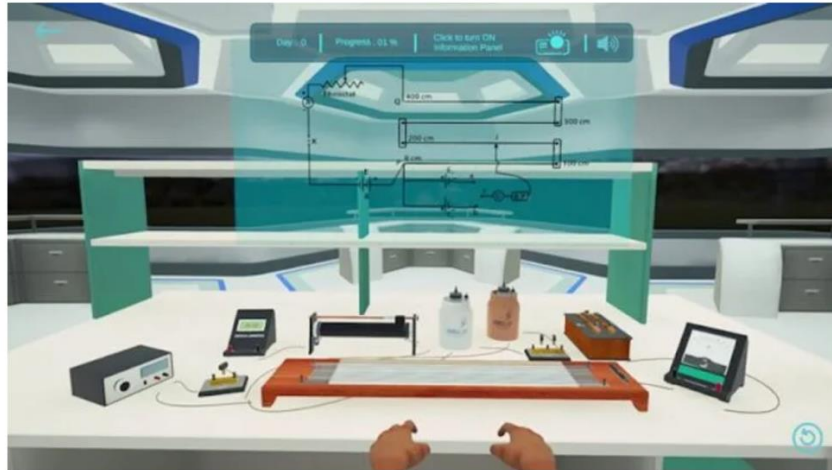


Рисунок 4 – Simulab

**Висновок.** Підбиваючи підсумки можна зазначити, що інтеграція 3D моделей у курси електронного навчання має потенціал суттєво покращити результати навчання. Використовуючи можливості 3D технологій, студенти можуть краще розуміти складні концепції, залишатися мотивованими та більш занурено взаємодіяти зі своїм навчанням.

## ЛІТЕРАТУРА

1. The Ultimate Guide to 3D Modelling in Construction. URL: <https://www.takeoffpros.com/blog/guide-to-3d-modeling/>
2. NATO RTO Technical Report. 3D Modelling of Urban Terrain. URL: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA550480.pdf>
3. What is 3D Modeling and Design? A Beginners Guide to 3D. URL: <https://marketscale.com/industries/building-management/what-is-3d-modeling-and-design-a-beginners-guide-to-3d/>
4. 3D virtual reality models help yield better surgical outcomes. URL: <https://www.sciencedaily.com/releases/2019/09/190918131457.htm>
5. Influence of 3D models and animations on students in natural subjects. URL: <https://stemeducationjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40594-022-00382-8>

6. Replicating Anatomical Teaching Specimens Using 3D Modeling Embedded Within a Multimodal e-Learning Course: Pre-Post Study Exploring the Impact on Medical Education During COVID-19. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8663546/>
7. Application of 3D modeling and fusion technology of medical image data in image teaching. URL: <https://bmcmededuc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12909-021-02620-z>
8. About Simulab. URL: <https://simulab.com/pages/about-simulab>

Вінярська З.<sup>1</sup>, Зосімов В.<sup>2</sup>, Булгакова О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>2</sup>Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна

[vinyarska.zarina@gmail.com](mailto:vinyarska.zarina@gmail.com),

[viacheslav.zosimov@knu.ua](mailto:viacheslav.zosimov@knu.ua),

[sashabulgakova2@gmail.com](mailto:sashabulgakova2@gmail.com)

## СИСТЕМА ОНЛАЙН-ОСВІТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЕРСОНАЛІЗОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ

**Анотація.** Стаття присвячена аналізу та проектуванню системи онлайн-освіти з інтегрованими можливостями штучного інтелекту для надання персоналізованих рекомендацій і підтримки в режимі реального часу. Описується архітектура програмного забезпечення, використання клієнт-серверного патерну та особливості розробки інтерфейсу користувача, бази даних і серверної частини. Стаття також акцентує увагу на можливості адаптації цієї системи для локальних освітніх потреб.

**Ключові слова:** онлайн-освіта, штучний інтелект, персоналізація, е-освіта.

**Abstract.** The article is devoted to the analysis and design of an online education system with integrated artificial intelligence capabilities to provide personalized recommendations and real-time support. It describes the software architecture, the use of the client-server pattern, and the features of user interface development, database, and server components. The article also highlights the potential for adapting this system to local educational needs.

**Keyword:** online education, artificial intelligence, personalization, e-learning.

**Вступ.** У сучасних умовах цифровізації онлайн-освіта стала для багатьох з нас звичною справою. Такий підхід до навчання активно впроваджується впродовж останніх кількох років у всьому світі та Україні зокрема. Передумовами розвитку сфери освіти в Інтернеті стали виклики часу, серед яких глобальна пандемія коронавірусної хвороби (2020-2022 роки) та воєнний стан на території нашої держави [1-3].

Про актуальність питання онлайн-освіти також свідчить наявність на ринку багатьох безкоштовних та платних платформ, що надають користувачеві можливість засвоювати нові знання з природничих наук, бізнесу, дизайну, програмування, іноземних мов тощо.

Це дослідження підкреслює важливість онлайн-навчання для надання гнучкої, доступної та персоналізованої освіти, особливо під час кризи, а також показує можливість використання засобів штучного інтелекту для покращення освітнього процесу.

**Аналіз готових рішень.** Аналіз конкурентів є важливим етапом при розробці моделі нового продукту. Він дозволяє перевірити, чи дійсно існує потреба у подібному застосунку, які переваги та недоліки відмічають користувачі, на що варто акцентувати уваги при створенні прототипу. Для аналізу продуктів конкурентів було проведено дослідження присутніх на ринку сайтів для онлайн-навчання.

Coursera – технологічна компанія, що працює в галузі освіти. Заснована у квітні 2012 року професорами інформатики Стенфордського університету Ендрю Ін та Дафною Коллер. Платформа пропонує користувачам сотні безкоштовних онлайн-курсів з різних дисциплін, у разі успішного закінчення видає сертифікат, а також співпрацює з університетами різних країн світу. Кількість студентів на сайті вже перевищила позначку 10 мільйонів.

Khan Academy («Академія Хана») – некомерційна освітня організація, створена педагогом Салманом Ханом у 2006 році. Окрім лекцій у форматі

відео, веб-сторінка організації має практичні заняття та методичні матеріали для вчителів. Лекції опубліковані англійською мовою, наразі діє волонтерський проєкт з перекладу матеріалів платформи іншими мовами [4].

Udacity – комерційна освітня організація, заснована Себастьяном Траном, Девідом Ставенсом і Майком Соколскі., На їхньому сайті розміщені масові відкриті онлайн-курси (МВОК). Спочатку організація була зосереджена на наданні курсів, що були подібні до університетських, та наразі на платформі більше професійних курсів, орієнтованих на спеціалістів [5].

Порівняльна характеристика описаних платформ представлена у таблиці 1.

Таблиця 1 – Аналіз конкурентів

Характеристика	Coursera	Khan Academy	Udacity
Реєстрація через електронну пошту та авторизація	Наявна	Наявна	Наявна
Додаткові способи авторизації	Google, Facebook, Apple	Google, Clever, Facebook, Apple	Google, Facebook
Відновлення паролю	Наявне	Наявне	Наявне
Можливість обрати роль користувача (учень, вчитель, батьки)	Відсутня	Наявна	Відсутня
Опитування після реєстрації для персоналізації контенту	Опитування про професію, досвід роботи, освіти, роботодавця тощо	Опитування про клас навчання у школі або університеті (окремий пункт для випускників та дорослих користувачів) та предмети, які користувач хоче вивчати	Відсутнє

## Продовження Таблиці 1

Характеристика	Coursera	Khan Academy	Udacity
Локалізація	Наявна, доступно 23 мови	Відсутня, мова сайту – англійська	Відсутня, мова сайту – англійська
Редагування та видалення профілю	Наявне	Наявне	Наявне
Відображення за категоріями	Наявне	Наявне	Наявне
Сортування за складністю	Відсутнє	Відсутнє	Наявне
Відображення оцінки курсу та відгуків	Наявне	Відсутнє	Наявне
Сортування за періодом навчання	Відсутнє	Відсутнє	Наявне
Відображення курсів, що проходяться, та пройдених	Наявне	Наявне	Наявне
Відображення статистики проходження за певний період часу	Відсутнє	Наявне	Відсутнє
Проведення тестувань	Наявне	Наявне	Наявне
Аудіо та відеоматеріали в заняттях	Наявні	Наявні	Наявні
Пошук курсів	Наявний	Наявний	Наявний
Підтримка різних браузерів	Google Chrome (рекомендований), Microsoft Edge, Mozilla Firefox, Apple Safari	Google Chrome, Microsoft Edge, Mozilla Firefox, Apple Safari	Google Chrome і Mozilla Firefox (працює найкраще), Microsoft Edge та Apple Safari (підтримує)

Також ці платформи були досліджені на наявність ШІ в якості помічника. Незважаючи на наявність добре запроваджених навчальних онлайн-платформ, таких як Coursera, Khan Academy та Udacity, залишається гострою потреба в розробці нової системи з інтегрованими можливостями консультацій ШІ, адаптованих для України (або іншої країни). Існуючі платформи пропонують певний рівень персоналізації за допомогою



опитувань і рекомендацій курсів на основі ШІ. Однак вони не надають персоналізованих консультацій у реальному часі за допомогою штучного інтелекту, які можуть запропонувати студентам негайні індивідуальні поради та підтримку, тим самим значно покращуючи їхній досвід навчання. Система, розроблена спеціально для користувачів у вибраній країні (вибраній під час реєстрації), може включати консультації щодо ШІ, які стосуються місцевих освітніх потреб і проблем. Таким чином, незважаючи на те, що існуючі платформи забезпечують міцну основу для онлайн-навчання, існує явна можливість інновацій та вдосконалення їхніх пропозицій шляхом розробки нової системи з інтегрованими можливостями консультацій ШІ спеціально для обраної країни. Це дозволить усунути поточні обмеження та краще задовольнити різноманітні потреби учнів.

### **Проектування системи е-освіти**

Для початку розглянемо діаграму варіантів використання, також відому як діаграма прецедентів. Вона візуалізує функціональні вимоги до програмного забезпечення та зображує взаємодію акторів з системою у вигляді різних варіантів використання (прецедентів), які позначаються на діаграмі овалами.

Діаграма варіантів використання веб-системи для онлайн-навчання зображена на рисунку 1, згідно якої користувач, який перейшов на веб-сайт має можливість виконувати такі дії: зареєструватися на сайті, використовуючи електронну пошту, авторизуватися в системі за допомогою зареєстрованої електронної пошти або акаунту Google. У другому випадку система взаємодіє зі стороннім сервісом Google Cloud. Окрім того, користувач має можливість відновити пароль облікового запису, редагувати свій профіль.



Рисунок 1 – Діаграма варіантів використання веб-сайту

На рисунку 2 представлено процес відображення усіх курсів. CoursesController отримує курси з бази даних та передає їх на HomeView, який у свою чергу відображає отримані дані на екрані.

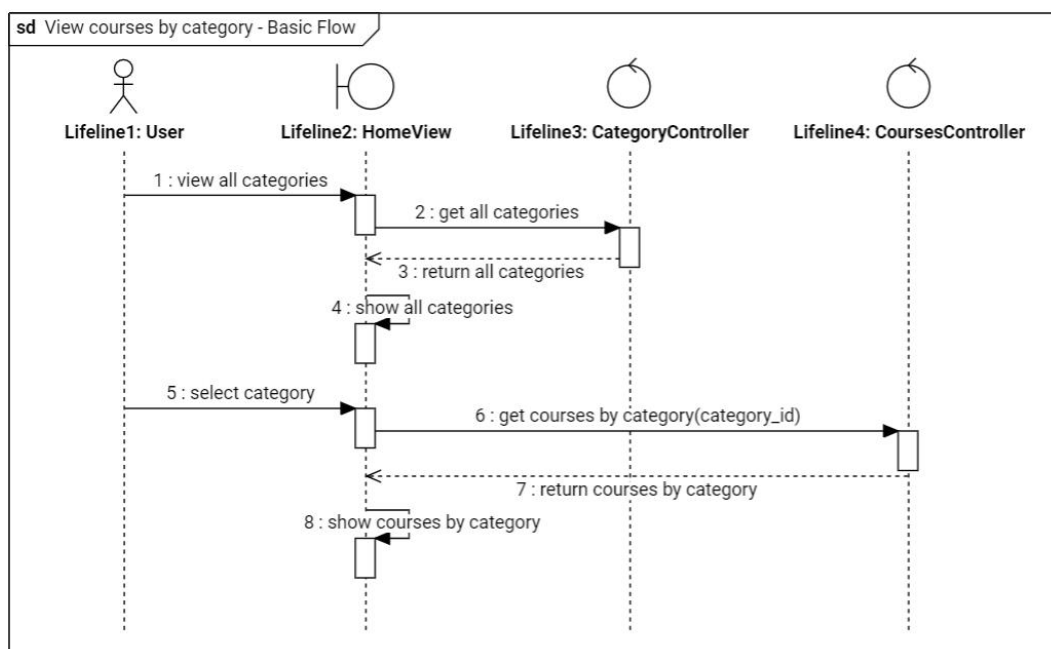


Рисунок 2 – Діаграма послідовності

На діаграмі (рис. 3) зображено три типи класів: сутності, граничні та керуючі класи. Сутності представляють ключові абстракції, використані під час розробки моделі. Граничні класи мають на меті забезпечувати взаємодію зовнішніх об'єктів з системою. У моделі веб-сайту представлені такі граничні класи: RegisterView для реєстрації в системі, AuthorizeView – для авторизації, ResetPasswordView – для відновлення паролю, EditProfileView – для редагування профілю, HomeView – для відображення головної сторінки, RatingView – для виставлення оцінки курсу, ChatView – для обміну повідомленнями з генеративною моделлю.

Керуючі класи управляють поведінкою компонентів системи та забезпечує зв'язок між граничними класами та сутностями. Діаграма зображує такі керуючі класи: UserController дозволяє працювати з сутністю користувача, CategoryController – з категоріями, CoursesController – з курсами та RatingController – з оцінками, ChatController – зі штучним інтелектом.

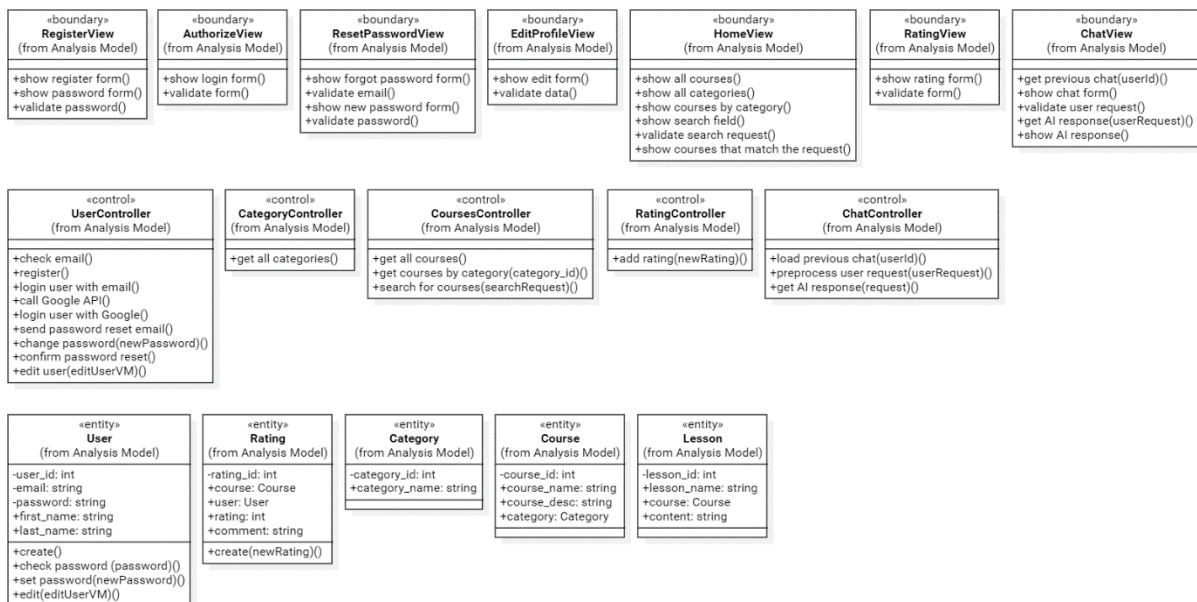


Рисунок 3 – Діаграма VOPC (лише класи)

## Прототип системи онлайн-освіти

Платформа включає функцію чату на основі штучного інтелекту, яка надає підтримку та допомогу в режимі реального часу, персоналізовані рекомендації щодо навчання та адаптивний зворотний зв'язок на основі продуктивності користувача (рис. 4). Інтуїтивно зрозумілий і привабливий інтерфейс користувача забезпечує взаємодію з користувачем, сумісність з різними пристроями та браузерами. Система підтримує кілька мов (українську та англійську), що робить її доступною для більш широкої аудиторії.

При натисканні пункту “Ask EduChat” у головному меню сайту відкривається сторінка чату зі штучним інтелектом, макет якої зображено на рисунку 4.

У центральній частині сторінки розміщується поточний чат та поле для введення повідомлення разом з кнопкою його відправки. На панелі зліва знаходиться посилання “Explore EduChat” для ознайомлення з можливостями цього штучного інтелекту та порадами щодо його використання, а нижче у вигляді списку відображена історія чатів зі штучним інтелектом платформи для зареєстрованого користувача. Кожний пункт є посиланням, натиснувши на яке користувач має можливість переглянути обрану розмову.

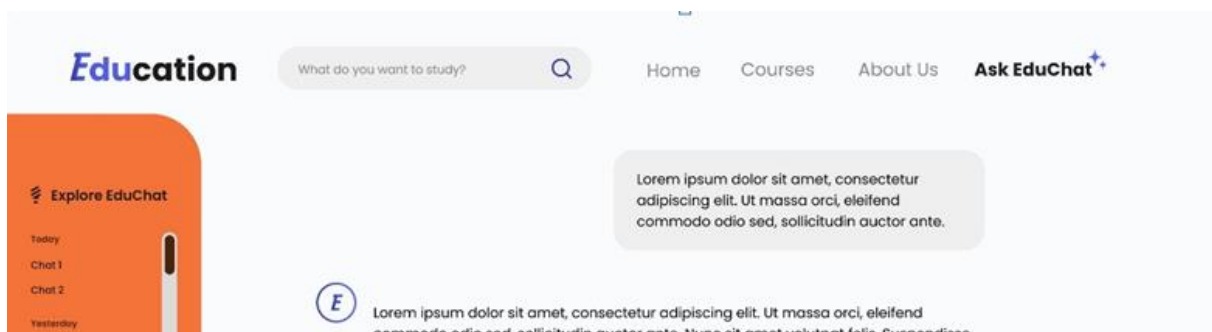


Рисунок 4 – Сторінка чату зі штучним інтелектом

**Висновок.** У роботі проведено аналіз, проектування і розробку прототипу ПЗ системи онлайн-освіти. Платформа забезпечує реєстрацію та автентифікацію користувачів, керування профілями та відновлення пароля. Користувачі можуть легко отримувати доступ до вмісту курсу, включаючи відео, текстові матеріали та тести, з надійними можливостями пошуку. Включення функцій на базі штучного інтелекту покращує процес навчання, надаючи підтримку в реальному часі, персоналізовані рекомендації та адаптивний зворотний зв'язок.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Future Index. [Online]. URL: [https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/05/ENG\\_report.pdf](https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/05/ENG_report.pdf).
2. B. Means, Y. Toyama, R. Murphy, M. Baki “The effectiveness of online and blended learning: A meta-analysis of the empirical literature”, Teachers College Record, 115(3), 2013, pp. 1-47. DOI: 10.1177/016146811311500307.
3. M. Alesi, G. Giordano, A. Gentile, B. Caci “The Switch to Online Learning during the COVID-19 Pandemic: The Interplay between Personality and Mental Health on University Students”, Int J Environ Res Public Health, 20(7):5255, 2023. DOI: 10.3390/ijerph20075255.
4. Coursera Vs Khan Academy: Complete Comparison 2024 [Online]. URL: <https://edwize.org/coursera-vs-khan-academy/>.
5. Udemy vs. Coursera vs. Udacity vs. Edx – Which is Best? (2024 Review). URL: <https://studelpfounder.medium.com/udemy-vs-coursera-vs-udacity-vs-edx-c985d44cf9fd>.

Воловецький В.Б.<sup>1</sup>, Романишин Ю.Л.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Філія «Науково-дослідний інститут транспорту газу» АТ «Укртрансгаз»,  
Харків, Україна

<sup>2</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
Івано-Франківськ, Україна  
vvb11@ukr.net, yulromanyshyn@gmail.com

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТУВАННЯ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ

**Анотація.** У роботі розглянуто актуальне питання розроблення програмного забезпечення для визначення різних параметрів експлуатування підземних сховищ газу. Завдяки проведеним розрахункам можна визначити продуктивність свердловин за різних умов, а відтак прогнозувати об'єм відбору газу. Використовування розробленого програмного забезпечення дає змогу визначати різні режими експлуатування підземних сховищ газу та вибрати оптимальний.

**Ключові слова:** підземне сховище газу, експлуатування, режими, програмне забезпечення.

**Abstract.** The paper deals with the current issue of software development for determining various operating parameters of underground gas storage facilities. The calculations allow us to determine the productivity of the wells under different conditions and thus predict the volume of the gas production. The developed software makes it possible to determine different operating modes of underground gas storage facilities and select the optimal one.

**Keywords:** underground gas storage facility, operation, modes, software.

**Вступ.** В Україні у ХХ столітті створено підземні сховища газу (ПСГ). ПСГ містять, як підземну, так і наземну інфраструктуру, яка забезпечує зберігання, підготовлення природного газу та подавання його через наявні під'єднані газопроводи споживачам.

ПСГ України мають значний активний об'єм (близько 32 млрд. м<sup>3</sup>). За обсягами зберігання активного газу Україна посідає третє місце у світі [1].

Основне завдання створення ПСГ – забезпечити стабільність поставок газу споживачам, тобто регулювати сезонні потреби в споживанні газу та забезпечувати газом у непередбачуваних випадках, таких як аварії або зменшення обсягів під час транспортування магістральними газопроводами. ПСГ під'єднані до системи газопроводів, яка забезпечує подавання його на експорт, споживання на внутрішньому ринку, а також отримування від реверсного надходження для закачування.

Під час експлуатування ПСГ виникає чимало проблемних питань, які потребують негайного розв'язання [2]. Тому для надійного експлуатування газосховищ розробляють та уживають різні заходи, спрямовані на модернізацію обладнання та вдосконалення технологічного процесу. Одним із важливих завдань для газосховищ є прогнозування режиму їх експлуатування на визначений період, оперативне визначення оптимальних параметрів режиму, а також підвищення продуктивності свердловин.

**Основна частина.** Технологічний процес на ПСГ умовно можна поділити на такі періоди: закачування газу, нейтральний, відбирання газу.

У період закачування газ із газопроводу надходить на установку очищення для запобігання потрапляння різних забруднень (рідинних та твердих). Очищений газ надходить на обліковування, у разі потреби на компримування та подають на вузол від'єднувальних пристроїв. Далі газ шлейфами надходить до свердловин і ліфтовою колоною у продуктивний горизонт.

У період відбирання газ разом із рідиною з продуктивного горизонту ліфтовою колоною надходить на поверхню. Далі газ проходить наземним гирловим обладнанням свердловини і шлейфом, що може мати висхідні, низхідні та прямолінійні ділянки, різні місцеві опори, надходить до газозбірного пункту, де його очищують від механічних домішок та рідини [3]. Очищений газ надходить на осушування, обліковування, у разі потреби на компримування та подають через наявні під'єднані газопроводи споживачам [4].

Залежно від наявної інфраструктури газосховищ, принципова технологічна схема може дещо відрізнитися, наприклад, наявним обладнанням і процесом. Як відбирання газу, так і закачування його у газосховище на більшості ПСГ може відбуватися компресорним і безкомпресорним способом, що залежить від величини пластового тиску та тиску в магістральному газопроводі [5].

Контролює режим відбирання/закачування газу з/до ПСГ диспетчерська служба АТ «Укртрансгаз». У разі різкого зниження температури навколишнього середовища та відповідно до зростання номінацій на відбір газу від замовників послуг, фахівці ухвалюють рішення щодо збільшення відбору газу з ПСГ.

У сучасному світі мабуть немає жодної галузі, яка би не використовувала сучасне програмне забезпечення (ПЗ), що допомагає персоналу ухвалювати правильні та оперативні рішення.

У зв'язку з вище викладеним запропоновано розробити ПЗ «Режим ПСГ» для проведення газодинамічних розрахунків за різних умов експлуатування газосховищ. Екранні форми ПЗ запропоновано зробити у формі таблиць, які дадуть змогу вносити фактичні дані за різний період експлуатування ПСГ та в інтерактивному режимі отримувати числові значення, розраховані на підставі заздалегідь розроблених алгоритмів.



За допомогою ПЗ «Режим ПСГ» можна забезпечувати розв'язання таких задач:

- визначення тиску свердловин на вибої, гирлі та на газозбірному пункті в контрольних ділянках;
- визначення мінімальної та максимальної продуктивності свердловин за зміни різних параметрів експлуатування ПСГ;
- визначення оптимальної кількості свердловин та послідовність пуску їх в експлуатацію під час відбирання газу для досягнення заданої продуктивності;
- прогнозування різних режимів ПСГ за умови зміни тиску в магістральному газопроводі.

Створене ПЗ «Режим ПСГ» має такі основні складники:

- базу даних з геолого-промисловими характеристиками свердловин, а також їх шлейфів, що під'єднано до газозбірного пункту;
- розроблені алгоритми розрахунків, які містять різні методики;
- клієнтську частину з екранними формами на яких відображаються вихідні дані та результати розрахунків.

Розроблене ПЗ не потребує додаткового спеціалізованого програмного забезпечення для встановлення та використання безпосередньо на персональному комп'ютері користувача. ПЗ «Режим ПСГ» має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для користувача і працює таким чином: у головній екранній формі потрібно вибрати свердловини з відповідними вихідними даними, а в іншій екранній формі задати значення окремих параметрів, які потрібні для розрахунку. Розрахунки виконуються на підставі розроблених алгоритмів, а результати відображаються у формі таблиць та графіків.

Для забезпечення подальшого розширення функцій ПЗ доцільно його інтегрувати з різними базами даних, а також періодично актуалізувати наявну геолого-промислову інформацію.

**Висновок.** Впровадження ПЗ «Режим ПСГ» на виробництві дасть змогу оперативно виконувати розрахунки різних режимів експлуатування ПСГ. За результатами розрахунків можна визначити оптимальний режим експлуатування ПСГ та прогнозувати відбирання газу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сторчак С.О., Заєць В.О. Підземні сховища газу України – надійна основа для створення Східноєвропейського газового хабу. *Нафтогазова галузь України*. 2016. № 3. С. 24-25.
2. Volovetskyi V.B., Doroshenko Ya.V., Matkivskyi S.V., Raiter P.M., Shchyrba O.M., Stetsiuk S.M., Protsiuk H.Ya. Development of methods for predicting hydrate formation in gas storage facilities and measures for their prevention and elimination. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2023. № 117/1. Pp. 25-41. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.5955>.
3. Volovetskyi V.B., Doroshenko Ya.V., Bugai A.O., Kogut G.M., Raiter P.M., Femiak Y.M., Bondarenko R.V. Developing measures to eliminate of hydrate formation in underground gas storages. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2022. № 111/2. Pp. 64-77. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.9996>.
4. Бугай А., Воловецький В., Пономарьов Ю. Інтелектуальна система контролювання та регулювання режиму експлуатування свердловин газосховищ в умовах гідратуотворення: зб. матеріалів 8-ої Міжнародної науково-технічної конференції "Інформаційні системи та технології ICT-2019" (09-14 вересня 2019 р.). Харків: ХНУРЕ. 2019. С. 26-29.
5. Воловецький В., Бугай А., Пономарьов Ю. Критерії побудови оптимальної системи прогнозування параметрів роботи підземних сховищ газу: зб. матеріалів 7-ої Міжнародної науково-технічної конференції "Інформаційні системи та технології ICT-2018" (10-15 вересня 2018 р.). Харків: ХНУРЕ. 2018. С. 94-96.

Гнатієнко Г.М.<sup>1</sup>, Гнатієнко В.Г.<sup>1</sup>, Зозуля О.Л.<sup>2</sup>, Іларіонов О.Є.<sup>1</sup>,  
Сисак К.Я.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>2</sup>ТОВ «Сингента», Київ, Україна

[gnatienko@gmail.com](mailto:gnatienko@gmail.com), [vladgnat1483@gmail.com](mailto:vladgnat1483@gmail.com),  
[alexandr.zozulya@syngenta.com](mailto:alexandr.zozulya@syngenta.com), [oleg.ilarionov@knu.ua](mailto:oleg.ilarionov@knu.ua),  
[kateryna.sysak@knu.ua](mailto:kateryna.sysak@knu.ua)

## ДЕЯКІ АСПЕКТИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНІХ ПРОЦЕСАХ АГРАРНОГО СЕКТОРУ ЕКОНОМІКИ

**Анотація.** У цій роботі розглядаються основні аспекти застосування штучного інтелекту в освітніх процесах аграрного сектору економіки. Досліджено різні напрямки можливого застосування сучасних досягнень у галузі штучного інтелекту. Розглянуто також перспективи застосування результатів досліджень у галузі генеративного штучного інтелекту.

**Ключові слова:** штучний інтелект, освітній простір, аграрний сектор, наукові дослідження.

**Abstract.** This educational work examines the main aspects of the application of artificial intelligence in the processes of the agrarian sector of the economy. Various areas of application of modern achievements in the field of artificial intelligence have been studied. Prospects for the application of research results in the field of generative artificial intelligence are also considered.

**Keywords:** artificial intelligence, educational space, agricultural sector, scientific research.

**ВСТУП.** Цифрова трансформація змінює спосіб діяльності більшості організацій та у сфері надання послуг. Використання різноманітних технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання, великі дані,

інтернет речей, хмарні обчислення тощо, забезпечать покращення стану та якості роботи організацій. Значною мірою це стосується також компаній агропромислового комплексу. Використовуючи ці технології, компанія може краще описувати ситуації, бути більш гнучкою в умовах турбулентності, оскільки вона може краще прогнозувати і застосовувати рекомендовані стратегії для організації. Інновації в бізнес-процесах, зумовлені реінжинірингом бізнес-процесів на основі цифрових технологій, є ключовим фактором цифрової трансформації. Причому, штучний інтелект є одним з основних інструментів для інновацій.

Тріада Л-П-Т (Люди - Процес - Технологія) є важливою при впровадженні більшої частини нових технологій у аграрно-промисловому секторі господарства. У багатьох випадках людський аспект цієї тріади ігнорується, більшість організацій зосереджуються лише на технологічних аспектах. Це легко пояснюється очевидними реаліями – адже персонал потребує більше часу для розвитку, а також більшої фінансової підтримки. Водночас очевидно, що співробітники у будь-якій галузі людської діяльності мають вирішальне значення і нерідко саме вони визначають успіх впровадження та адаптації нових технологій. Безумовно вірною є теза про те, що стратегічне кадрове планування при визначенні напрямів розвитку аграрного сектора має бути включене в розвиток технологій, а також, зокрема, у впровадження штучного інтелекту. Слід також зазначити, що впровадження нових технологій освіти та новітніх технологій в освіті є ключовим фактором у навчанні працівників аграрних підприємств та організацій.

На сьогодні система автоматизації навчальних процесів в організаціях в основному складається з введення даних (датчики), автоматичної обробки та виведення (виконавчі механізми). Штучний інтелект може допомогти зробити процес автоматизації процесів та процедур навчання у аграрних підприємствах та організаціях розумнішим, ефективнішим і точнішим. Автоматизована обробка за допомогою штучного інтелекту може

виконуватися з використанням алгоритму машинного навчання. При цьому штучний інтелект може вчитися на прикладах, таких як конкретні ситуації, які виникають в навколишньому середовищі в процесі діяльності аграрних підприємств.

## **2. АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНІХ ПРОЦЕСАХ**

### **2.1. Типи співпраці при сучасному рівні розвитку штучного інтелекту**

Основними типами співпраці, які можуть бути використані в умовах навчальних приміщень сучасних сільськогосподарських підприємств та організацій, є такі:

- паралельне розташування, коли студенти отримують однакові інструкції, виглядає як традиційна модель навчальних класів;
- чіткий порядок: у цій моделі кожна група працює над окремим завданням: робочий стіл – це напівприватний робочий простір кожного, хто залучений у процес навчання;
- загальна організація навчального процесу, коли можлива співпраця між групами, а колективне обговорення проблем, які виникають, відбувається у великому класі.

Штучний інтелект може сприяти автоматизації ключових видів діяльності в освіті та процесах навчання в аграрному секторі, таких як оцінювання. Зокрема, освітні програми можуть бути адаптовані до потреб студентів. Штучний інтелект може вказати на ті сфери, де навчальні курси та окремі дисципліни потребують вдосконалення. Студенти можуть отримати додаткову допомогу від автоматизованих репетиторів зі штучним інтелектом. Програмне забезпечення на основі штучного інтелекту може надавати корисний зворотний зв'язок для студентів і викладачів. Штучний інтелект змінює також те, як ми знаходимо інформацію та взаємодіємо з нею.

## 2.2. Напрямки використання штучного інтелекту в системі навчання у організаціях аграрної галузі

Основними напрямками використання штучного інтелекту в системі навчання у організаціях аграрної галузі на сьогодні є такі:

- допомагає працівникам аграрних підприємств та організацій вчитися у власному темпі;
- сприяє точном визначенню потреб людини;
- значною мірою допомагає усунути бюрократію в навчальних підрозділах аграрного сектора економіки;
- забезпечує контроль раціональності витрат часу на навчання;
- прямо та опосередковано забезпечує підвищення якості освіти у напрямку сільськогосподарського виробництва;
- гарантує забезпечення комфорту для роботи у навчальному циклі як викладачів, так і студентів;
- застосовується для підтримки прийняття правильного рішення завдяки швидкому аналізу даних;
- забезпечує планування навчання відповідно до здібностей і темпу освоєння студентами навчальних дисциплін;
- використовує новітні підходи та обґрунтований вибір ефективних методів навчання за допомогою аналізу динаміки освітнього процесу;
- створює можливість практикувати навчання в малих групах з ефективним плануванням навчальних процедур;
- забезпечує підвищення ефективності індивідуального навчального процесу в аграрних організаціях та підприємствах.

Штучний інтелект також надає можливість навчати менеджерів аграрного сектору приймати рішення на основі дійсних завдань в умовах виробництва, використовуючи віртуальну реальність.

### 2.3. Проблеми в навчанні та їх вирішення за допомогою штучного інтелекту

Основні проблеми в навчанні та підходи до їх вирішення за допомогою штучного інтелекту представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Проблеми в навчанні та їх вирішення за допомогою штучного інтелекту

Номер по порядку	Формулювання проблеми	Вирішення для штучного інтелекту
1	Стандартизована навчальна програма не відповідає індивідуальним потребам	Персоналізована освіта
2	Обмежений час роботи тьютора	Персональні віртуальні вчителі
3	Велика кількість студентів у класі, на багато питань, на які неможливо відповісти	Асистенти віртуального класу
4	Персоналізоване спілкування дуже складне для великої кількості студентів	Чат-бот швидко відповідає на адміністративні питання
5	Обґрунтований відбір найкращих студентів із заявок	ШІ може вибирати на основі критеріїв, використовуючи усю множину наданих даних про студентів
6	Зростання рівня відсіву студентів, які не змогли засвоїти матеріал	Аналіз настроїв за допомогою штучного інтелекту
7	Складність аналізу успішності навчального досвіду	Доповнює існуючу навчальну аналітику, надаючи своєчасну інформацію про успіхи, проблеми та потреби студентів, яка може бути використана для формування навчального процесу
8	Складність відстеження інших навичок	ШІ розробляє надійні та точні метрики для відстеження прогресу учнів, включаючи такі важко вимірювані риси, як креативність і допитливість
9	Необхідність забезпечення викладачами значного обсягу канцелярської адміністративної роботи	ШІ діє як інтелектуальний сервер для виконання канцелярських завдань. Однак остаточне рішення все одно залишається за вчителем, оскільки людський інтелект залишається затребуваним

## Продовження Таблиці 1

Номер по порядку	Формулювання проблеми	Вирішення для штучного інтелекту
10	Підхід «зупинись і перевір» в оцінюванні	ШІ може виконувати якісний аналіз, аналіз настроїв і надавати персоналізовану та індивідуальну оцінку, а також забезпечувати рольові ігри та спільні проекти в рамках методу оцінювання
11	Надавати нові знання, які важко або неможливо отримати за допомогою традиційних оцінок	ШІ може аналізувати різні джерела даних, співвідносити та візуалізувати їх, щоб вчитель міг краще розуміти учнів

Можливість виявляти індивідуальні навички студентів та розвивати їх за окремими спеціалізаціями, до яких вони мають найбільші здібності. Як правило, студенти не можуть мати повноцінно практичні навички та не готові до роботи в реальних умовах. Тому найкраще рішення в таких ситуаціях – навчання з використанням технології віртуальної реальності.

Крім того, штучний інтелект можна використовувати в системах навчання аграрної галузі в таких випадках:

- академічне аналітичне оцінювання студентів з використанням адаптивного методу навчання та персоналізованого підходу до навчання;
- оцінювання модульних контрольних робіт, заліків та іспитів за допомогою розпізнавання зображень, комп'ютерного зору та методів прогнозування, а також навчальної аналітики з використанням наборів даних;
- віртуальний персональний асистент для аналітичного навчання в режимі реального часу;
- інтелектуальна автоматизація навчальних матеріалів та процесів;
- створення автоматичних навчальних програм з використанням доповненого інтелекту, орієнтованих на конкретні потреби студентів;
- взаємодія зі студентами та викладачами на основі останніх досягнень штучного інтелекту в галузі комунікацій;



- підтримка студентів з інвалідністю та проблемами зі здоров'ям за допомогою робототехніки та віртуальної реальності;
- превентивне виявлення студентів, яким загрожує відсів, допомога їм у зниженні рівня відсіву та відрахувань;
- вивчення іноземної мови шляхом розпізнавання та аналізу мовлення, корекції вимови та виправлення помилок, знижуючи відсоток помилок на поточному рівні розвитку в середньому на 83%;
- посилення процесу прийняття рішень в навчальних підрозділах аграрного сектору за допомогою штучного інтелекту;
- адаптація та персоналізація навчальних програм на основі знань, інтересів та сильних сторін користувачів;
- створення індивідуальних підручників для конкретної організації, підрозділу організації чи навіть окремої групи студентів сільськогосподарського підприємства.

У таблиці 2 перелічено основні функції штучного інтелекту, які можуть бути задіяні в процесах навчання аграрних підприємств та організацій.

Таблиця 2 – Функції штучного інтелекту, які можуть бути задіяні в процесах навчання

Номер по порядку	Напрямок використання штучного інтелекту	Основні функції цього напрямку
1	У напрямку контролю навчального процесу	<p>Сприяння швидшому виконувannya адміністративних завдань, які вимагають значних витрат навчального часу, наприклад, в процесах опитування, оцінювання модульних контрольних робіт, заліків, іспитів тощо та надання зворотного зв'язку</p> <p>Допомога викладачам у процесах підтримки прийняття рішень та роботою на основі наявних даних</p> <p>Своєчасна та безпосередня робота з кожним студентом – з одержання зворотного зв'язку та генерування управлінських впливів</p>

## Продовження Таблиці 2

Номер по порядку	Напрямок використання штучного інтелекту	Основні функції цього напрямку
2	Управління навчальним процесом у підрозділах сільськогосподарських підприємств та організацій	Прогнозування, наскільки студент перевершить очікування в проектах і вправах, а також екстраполяція рівень відсіву студентів залежно від поточного стану навчання та аналізу динаміки навчального процесу
		Допомога викладачам у створенні індивідуальних навчальних планів для кожного студента
		Допомога студентам у навчанні поза класом та підтримка потенційної результативної співпраці
		Налаштування стилю навчання для кожного студента на основі його особистої інформації;
		Аналіз запропонованої програми навчання, навчальних дисциплін та матеріалів навчального курсу
3	Результативна співпраця у процесі навчання	Виявлення недоліків у навчанні студента та усунення їх на початкових етапах навчання
		Налаштування навчальної траєкторії для кожного студента на основі збору навчальних даних
		Визначення навчальних ситуацій, застосування інтелектуальної обробки даних про особливості навчальних ситуацій та своєчасне адаптивне втручання в процес навчання студентів

Позитивною особливістю запропонованих підходів до організації процесів навчання в аграрних організаціях та перевірки знань є прозорість правил, апріорно заданих організаторами тестування, відсутність ситуацій невизначеності під час процедури оцінювання, монотонність поведінки функції, яка відображає інтегральну оцінку відповідей [1]. Відповідно до запропонованої технології, визначення результуючої оцінки студентів сільськогосподарських організацій та підприємств є обґрунтованою та формалізованою процедурою. Крім того, технології, які ґрунтуються на

використанні штучного інтелекту, дають можливість подальшого вдосконалення описаних підходів [2].

### **3. ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ГАЛУЗІ ОСВІТИ ТА НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ**

Генеративний штучний інтелект (ГШІ), як сукупність нових прогресивних технологій, з'явився порівняно недавно і на сьогодні бурхливо розвивається. Деякі дослідники вважають цей напрямок технологією майбутнього [3]. Як і будь-які інші нові технології, ГШІ має безумовно позитивні характеристики, і водночас несе у собі явні та приховані ризики, а можливо, навіть і небезпеки. ГШІ призначений для створення нового контенту на основі вхідних даних чи правил. На сьогодні він застосовується у найрізноманітніших сферах нашого життя: електронній комерції, енергетиці та комунальних послугах, телекомунікаціях, автомобілебудуванні та транспортному виробництві, чат-ботах аеропортів тощо. Спектр застосування ГШІ постійно зростає, а елементи його присутності у житті людей неухильно збільшується [4].

Зрозуміло, що у таких умовах виникає необхідність системного аналізу впливу ГШІ на суспільство та визначення потенційних проблем, пов'язаних з його розвитком та подальшою інтелектуалізацією. Однією з основних галузей, на яку вже суттєво впливає ГШІ, є освіта та наукові дослідження. Важливо передбачити особливості впливу ГШІ на існування та розвиток цієї галузі, встановити його переваги та недоліки, а також загрози від застосування. Негативний вплив ГШІ значною мірою полягає у його застосуванні для генерації різного роду контенту, що сприятиме порушенню принципів академічної доброчесності. Але не слід перебільшувати цю загрозу. Вона неодмінно спричинить появу нових трендів в освіті, які будуть спрямовані на мінімізацію таких порушень. Крім

того, вже найближчим часом з'являться технології для визначення, чи застосовувався ГШІ при генерації контенту з відповідними наслідками.

Позитивний ефект від розробки, використання та впровадження технологій ГШІ є набагато більшим, зазвичай, для розв'язання яких вони можуть бути використаними, можна поділити на такі групи:

- генерування експрес оглядів наукових робіт на початкових етапах досліджень з нових наукових напрямків – це може допомогти молодим дослідникам при написанні статей та дисертаційних робіт;
- консультативна допомога викладачам при створенні навчальних матеріалів та при генеруванні питань для тестування, завдань для самостійної роботи тощо при проведенні контрольних заходів;
- допомога викладачам при аналізі відповідей на відкриті питання при перевірці контрольних заходів та використання ГШІ для автоматичного оцінювання робіт студентів;
- створення адаптивних навчальних платформ для масових онлайн-курсів з можливістю формування індивідуальних траєкторій та реалізації персоналізованого навчання, при якому аналізуються дані про студентів, включаючи їх академічний прогрес, стиль навчання та інші фактори з метою створення персоналізованих навчальних матеріалів і рекомендацій;
- створення віртуальних асистентів, які можуть надавати підтримку студентам у процесі їх навчання;
- сприяння в автоматизованій побудові індивідуальних освітніх траєкторій для студентів аграрного сектору;
- створення антигенеративних програм ідентифікації тексту, що написаний штучним інтелектом: ця проблема спричинена тим, що використання ChatGPT та інших інструментів написання тексту за допомогою штучного інтелекту, особливо в дисертаційних дослідженнях, дипломних роботах, наукових статтях, наукових звітах та інших документах,

виконавці яких мають відповідні авторські права, може порушувати принципи академічної доброчесності.

**Висновок.** Аналіз тенденцій розвитку технологій [5, 6] свідчить про періодичну появу нових результатів, які змінюють наше уявлення про перспективні та раціональні напрямки розвитку суспільства і соціально-економічних систем. Технології ГШІ наближають нас до створення повноцінних систем штучного інтелекту. Розробка та взаємоіснування таких систем і людської цивілізації, проблеми доцільності та безпеки вимагають міждисциплінарних досліджень на стику філософії, психології, лінгвістики, етики та інших наук.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Hnatiienko, H., Snytyuk, V., Tmienova, N., Voloshyn, O. Application of expert decision-making technologies for fair evaluation in testing problems // Selected Papers of the XX International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Security" (ITS 2020), Kyiv, Ukraine, December 10, 2020 / *CEUR Workshop Proceedings*, 2021, 2859, pp. 46-60.
2. Hryhorii Hnatiienko, Georgii Gaina, Oleh Ilarionov, Vitaliy Snytyuk and Nataliia Tmienova. Methods of Identifying the Correlation of Ukrainian Scientific Paradigms Based on the Study of Defended Dissertations / *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3646, pp. 64-75, 2023 // Selected Papers of the X International Scientific Conference "Information Technology and Implementation" (IT&I 2023). Workshop Proceedings Kyiv, Ukraine, November 20-21, 2023.
3. Vanessa Ratten and Paul Jones. Generative artificial intelligence (ChatGPT): Implications for management educators. *The International Journal of Management Education*. Volume 21, Issue 3, November 2023, 100857.
4. David Baidoo-Anu and Leticia Owusu Ansah. 2023. Education in the Era of Generative Artificial Intelligence (AI): Understanding the Potential Benefits of

ChatGPT in Promoting Teaching and Learning. Available at SSRN 4337484 (2023)

5. S. M. J. Uddin, A. Albert, A. Ovid, A. Alsharif. Leveraging ChatGPT to Aid Construction Hazard Recognition and Support Safety Education and Training. *Sustainability* 2023, 15, 7121. <https://doi.org/10.3390/su15097121>
6. Erik Brynjolfsson, Daniel Rock, and Chad Syverson. 2019. Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. In *The Economics of Artificial Intelligence*, edited by Ajay Agrawal, Joshua Gans, and Avi Goldfarb, pp. 23-60. Chicago: University of Chicago Press.

Гнатієнко Г.М.<sup>1</sup>, Доманецька І.М.<sup>1</sup>, Гнатієнко О.Г.<sup>1</sup>, Хроленко Я.О.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>2</sup>Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, Київ, Україна

[g.gna5@ukr.net](mailto:g.gna5@ukr.net), [domanetska@knu.ua](mailto:domanetska@knu.ua), [oleksii.hnatiienko@knu.ua](mailto:oleksii.hnatiienko@knu.ua),

[yaroskhr@gmail.com](mailto:yaroskhr@gmail.com)

## СХЕМА ПОСЛІДОВНОГО АНАЛІЗУ ВАРІАНТІВ В ЕКСПЕРТНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ АНАЛІЗУ КОНКУРСНИХ ПРОПОЗИЦІЙ МІСЬКОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

**Анотація.** У статті досліджуються процедурні аспекти вибору ефективних рішень та надається аналіз публікацій щодо застосування різних методів прийняття рішень у задачах управління, зокрема в контексті сучасної міської трансформації. Обговорюється схема послідовного аналізу варіантів як ефективний інструмент для звуження простору можливих рішень та пропонується узагальнена методологія відбору проєктів на конкурсній основі, акцентуючи увагу на формалізації процедур відбору, цифровізації та автоматизації обробки даних.

**Ключові слова:** конкурс проєктів, цифровізація, формалізація процедури відбору проєктів, схема послідовного аналізу варіантів.

**Abstract.** The article investigates the procedural aspects of selecting effective solutions and provides an analysis of publications on the application of various decision-making methods in management tasks, particularly in the context of modern urban transformation. The scheme of sequential analysis of options is discussed as an effective tool for narrowing the space of possible solutions, and a generalized methodology for the selection of projects on a competitive basis is proposed, with a focus on the formalization of selection procedures, digitization and automation of data processing.

**Keywords:** project competition, digitalization, formalization of the project selection procedure, scheme of sequential analysis of options.

**Вступ.** Цифровізація є одним із визначальних трендів сучасності. Перехід до цифрового середовища передбачає фундаментальну системну трансформацію всіх аспектів діяльності організацій на різних рівнях. Це процес переходу на новий рівень управління з широким впровадженням формалізованих моделей бізнес-процесів, використанням інтелектуальних інструментів, автоматизації процесів і документообігу на основі сучасних інформаційних технологій [1].

Процеси урбанізації стали мегатрендом глобального розвитку в XXI столітті. «Розумне місто» – це сучасна модель міської трансформації, в якій цифрові технології допомагають адекватно реагувати на найбільші виклики міста, трансформують систему управління та створюють умови для розвитку як мешканців, так і їхніх спільнот. Завдання міської трансформації та реалізації інноваційних проєктів вимагають широкого впровадження конкурентних принципів аналізу, оцінки та відбору ефективних рішень, що привело до розгляду конкурсних процедур у межах концепції «Розумного міста».

Метою цієї статті є структуризація проблеми підтримки конкурсного відбору проєктів міської трансформації на всіх етапах підготовки та реалізації цього відбору. Для формалізації компонентів цього процесу автори використовують математичні інструменти з різних галузей досліджень, застосовують широкий спектр методів та алгоритмів експертної оцінки, теорії прийняття рішень, системного аналізу та інших сучасних інструментів і технологій. Дослідження розвиває теоретичні та практичні аспекти використання сучасних цифрових технологій і методів прийняття рішень для автоматизації та інтелектуалізації процедури конкурсного відбору проєктів.

Експертні технології є поширеною стратегією вирішення практичних завдань прийняття рішень у різних сферах людської діяльності [2]. Експертні знання застосовуються у випадках, коли проблема недостатньо вивчена, слабо формалізована, погано структурована і важко піддається безпосередньому



моделюванню. У ситуаціях прийняття рішень із великою розмірністю та значною обчислювальною складністю успішно застосовуються схеми послідовного аналізу варіантів [3]. Слід зазначити, що управлінське прийняття рішень – це складне і багатогранне завдання, яке вимагає значних часових та трудових ресурсів. Цифровізація значно полегшує процес прийняття рішень, надаючи швидкий доступ до необхідної інформації, автоматизуючи бізнес-процеси та підтримуючи співпрацю між командами [3]. Цифрові технології дозволяють підвищити точність аналізу, скоротити час прийняття рішень та зробити процес більш ефективним і прозорим, максимально виключаючи суб'єктивний фактор. Одним із інструментів прийняття рішень є конкурсний відбір, який передбачає залучення та оцінку різних ідей, пропозицій або проєктів з метою вибору найкращого або найбільш відповідного для вирішення конкретного завдання або проблеми.

У [4] було проведено детальний аналіз публікацій щодо використання різних методів прийняття рішень та сформовано загальну карту їх застосування для різних завдань на різних рівнях прийняття рішень і етапах реалізації у завданнях "Розумного міста". Автори виокремили чотири групи методів: методи багатокритеріального прийняття рішень, методи математичного програмування, методи штучного інтелекту та інтегровані методи. Методи багатокритеріальної оцінки та відбору, а також методи математичного програмування широко використовуються в сфері "Розумного міста", хоча останні тенденції вказують на збільшення частки методів, оснований на технологіях штучного інтелекту.

З огляду на те, що технології конкурсного відбору широко застосовуються в практиці управління проєктами "Розумного міста", для усунення зловживань, підвищення якості управлінських рішень та забезпечення контрольованої алгоритмічної прозорості процедур відбору, а також за відсутності спеціалізованого програмного забезпечення, створення

інструментів у вигляді інформаційних технологій для конкурсного відбору проектів є нагальною задачею.

Для вирішення проблем вибору автори пропонують застосувати схему послідовного аналізу варіантів. На основі узагальнення ідей теорії послідовних рішень і динамічного програмування В.С. Михалевич розробив загальну схему послідовного аналізу варіантів (ПАВ), у якій процес прийняття рішень є багатоступеневою структурою, що нагадує структуру складного експерименту. Кожен крок пов'язаний з перевіркою існування певних властивостей підмножини варіантів і веде або до прямого скорочення початкового набору варіантів, або готує можливість такого скорочення в майбутньому.

З точки зору формальної логіки схема послідовного аналізу варіантів зводиться до наступної послідовності повторюваних процедур:

- поділ набору варіантів для вирішення проблеми на кілька підмножин, кожна з яких має специфічні властивості;
- використання цих властивостей для виявлення логічних суперечностей у описі окремих підмножин;
- виключення з подальшого розгляду тих підмножин варіантів рішень, які містять логічні суперечності у своєму описі.

На сьогодні елементи послідовного аналізу варіантів вибірково застосовуються при створенні правил взаємодії в багатьох галузях і сферах людської діяльності.

Проблеми урбаністичного розвитку та пов'язані з ними процеси урбанізації є невід'ємною рисою сучасного світу. Міста концентрують населення та ресурси, що створює додаткові потреби та умови для реалізації фундаментальних змін у сферах енергетики, транспорту, водокористування, землекористування, житла, споживання та способу життя, необхідних для забезпечення життєздатності, добробуту та стійкості їх розвитку.

Одним із аспектів міської трансформації є впровадження інноваційних технологій у сфері муніципального управління, так званої концепції "Розумного міста". Основна ідея "розумного міста" полягає в покращенні можливостей міських адміністрацій через запровадження стратегічного управління, інноваційних технологій, ефективних рішень для управління міськими ресурсами та залучення громадян до активної участі у формуванні вищого стандарту життя в міському середовищі.

Кожен процес міської трансформації є набором унікальних дій, пов'язаних спільною метою, через які реалізуються потреби та вимоги конкретного міста в умовах обмежених ресурсів і за участю різних зацікавлених сторін. Навкруги міської трансформації почало формуватися широке поле досліджень, що поєднує численні наукові дослідження, онтології, моделі та методи прийняття рішень. Аналіз публікацій [4, 5] показав, що завдання прийняття рішень, а зокрема завдання вибору найкращих варіантів, є притаманними процесу трансформації та технологіям "Розумного міста". Ці завдання охоплюють широкий спектр сфер. На основі публікацій автори створили діаграму, що відображає розподіл публікацій за основними компонентами проєктів "Розумного міста" (рис. 1).



Рисунок 1 – Розподіл публікацій за основними компонентами проєктів "Розумного міста"

Задача, що вирішується в дослідженні: необхідно організувати та провести тендер на право виконання консалтингових (консультативних, аудиторських, юридичних та оцінювальних) послуг для виявлення найкращих проєктів міської трансформації. Потреба в створенні та формалізації такої процедури відбору виникла через масштаби проблеми та наявність сотень потенційних учасників для такого конкурсу. Очевидно, що кількість осіб, які могли б надати консалтингові та юридичні послуги, була ще більшою.

Таким чином, для створення системи справедливого відбору найкращих кандидатів з досить великої кількості потенційних учасників було вирішено базувати відбір на схемі послідовного відбору. Метою цього підходу є звуження початкового набору учасників шляхом виключення неперспективних кандидатів для участі в конкурсі на надання консалтингових послуг у сфері управління державними корпоративними правами. Цей підхід допомагає підвищити якість послуг та прозорість процедур відбору.

Зважаючи на участь сотень компаній у конкурсі проєктів міської трансформації, було прийнято рішення про вибір переможців у два етапи. Технології експертного прийняття рішень були поєднані з послідовним аналізом та попереднім виключенням неперспективних варіантів. Цей підхід дозволив організаторам встановити необхідні умови для участі в конкурсі.

На першому етапі цієї процедури організатори тендеру запропонували участь у конкурсі тим компаніям, які відповідали певним попередньо встановленим обмежувальним вимогам. Таким чином, вже на першому етапі тендеру деякі компанії просто вирішили не брати участі, інші компанії не змогли виконати вимоги, а деякі компанії не дотрималися бюрократичних процедур тощо.

Після завершення першого етапу конкурсу кількість потенційних учасників зменшилася кілька разів у порівнянні з початковою кількістю. Ці компанії підписали загальні угоди для подальшої участі в тендерних процедурах. Це свідчить про те, що схема послідовного аналізу та виключення неперспективних варіантів виявилася ефективною.

Другий етап конкурсу проєктів фактично встановив достатні умови для участі компаній у конкурсі. І, як і на першому етапі, були використані технології експертного прийняття рішень. Оскільки неможливо надійно виміряти деякі показники компаній, організатори конкурсу традиційно використовували експертну оцінку.

Формальна модель проблеми структуризації ринку консалтингових послуг у сфері управління проєктами міської трансформації має наступну схему. Позначимо  $A^0$  як множину всіх юридичних осіб та індивідуальних підприємців, які потенційно можуть надавати послуги в управлінні та підготовці до управління державними корпоративними правами. З огляду на корупційні аспекти управління державними корпоративними правами, а також необхідність відкритої та прозорої політики публічного управління, виникає потреба у розробці відповідних механізмів відбору з множини  $A^0$ , які дозволили б найефективніше використовувати найкращі ресурси в управлінні державними корпоративними правами.

Припустимо, що деякі фізичні та юридичні особи з множини  $A^0$  висловили бажання працювати в сфері консалтингу з проєктів міської трансформації. Множину таких осіб позначимо як  $A^1$ . Завдання полягає у визначенні придатності таких осіб шляхом звуження множини. Згідно з методологією послідовного аналізу варіантів, передбачено два етапи конкурсів:

1. Укласти Загальну угоду про співпрацю на надання консалтингових (консультативних, аудиторських, юридичних та оцінювальних) послуг.
2. Укласти угоду на виконання послуг.

Переможець тендеру матиме право надавати одну або кілька послуг з управління державними корпоративними правами. Причому участь у другому етапі тендеру беруть лише ті учасники, які пройшли попередній етап і мають Загальні угоди про співпрацю з організатором конкурсного проєкту.

Основними критеріями для визначення переможців конкурсів є:

- Рівень професійної кваліфікації учасників (f1);
- Профіль учасників (f2);
- Наявність досвіду роботи не менше двох років у зазначеній сфері (f3);
- Наявність відповідних документів, що дозволяють спеціалістам надавати послуги (f4);
- Пропозиції учасників щодо умов оплати за послуги (f5);
- Додаткове обмеження: термін Загальної угоди лише два роки або зафіксовані випадки надання некваліфіковані або неякісних послуг, порушення закону або зобов'язань за угодою (f6).

Введемо наступні позначення:

- $A^2$  – множина осіб, з якими укладено Загальну угоду;
- $A^3$  – множина осіб, з якими укладено угоду на виконання поточної послуги (за видом діяльності);
- $A^4$  – множина осіб, які ще не досягли двох років терміну.

У результаті ми отримуємо ланцюг включень, який формується внаслідок правильного застосування схеми послідовного аналізу варіантів:

$$A^0 \supset A^1 \supset A^2 \supset A^3 \supset A^4. \quad (1)$$

Таким чином, на кожному етапі процес звужує множину претендентів відповідно до вказаної схеми (1).

Рисунок 2 надає графічну ілюстрацію діаграми послідовного аналізу варіантів. Діаграма зображена в площині двох критеріїв С1, С2. Кожна точка на діаграмі відповідає окремому варіанту (кандидату на укладення угоди).

На першому етапі претенденти відбираються відповідно до критерію С1, що дозволяє укласти Загальну угоду про співпрацю на виконання послуг з організатором тендеру (критерій С1). Червоне штрихування на рисунку 2

визначає множину учасників тендеру, які відповідають вимогам критерію С1 і можуть брати участь у наступному етапі.

Відбір на другому етапі відбувається на зменшеній множині варіантів. Крім того, на кожному етапі алгоритму, якщо потужність множини варіантів, що підлягають виключенню, дорівнює нулю або мала, умова відбору може бути посилена.

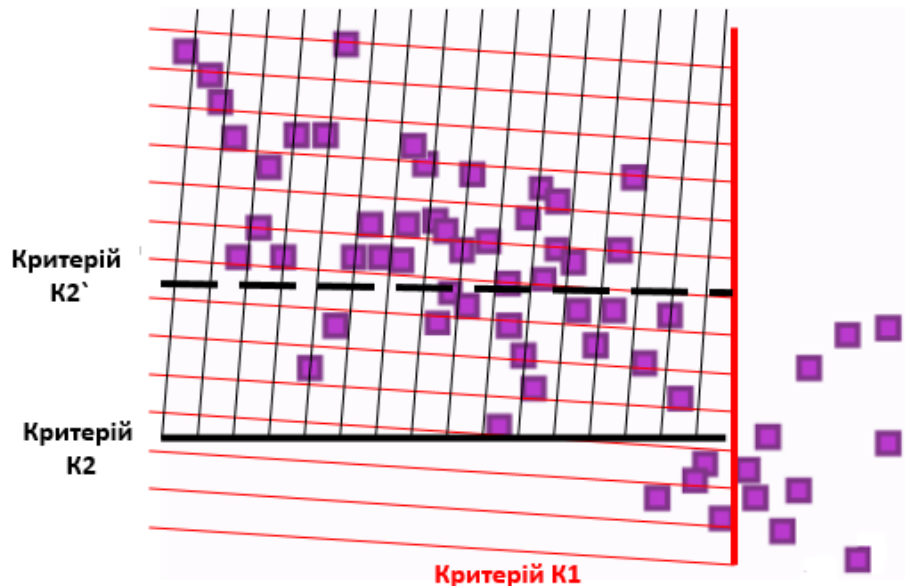


Рисунок 2 – Схематична діаграма вибору ефективних варіантів за допомогою послідовного аналізу варіантів

Другий етап передбачає відбір учасників відповідно до критерію С2, який надає відібраним учасникам право надання однієї або декількох послуг з управління державними корпоративними правами (критерій С2). Чорне штрихування на діаграмі представляє множину учасників, які відповідають критерію С2. Важливо підкреслити, що відбір на основі критерію С2 застосовується лише до тих кандидатів, які відповідають критерію С1, тому область чорного штрихування обмежена раніше визначеною областю червоного штрихування. Кандидати, які відповідають обом критеріям, знаходяться в зоні подвійного штрихування.

Умови відбору на другому етапі конкурсу були такими:

$S2 = \{ \text{"Особи, для яких термін обмеження у 2 роки не минув"} \}$ .

Оскільки кількість вільних пропозицій на право надання послуг з управління державними корпоративними правами менша, ніж кількість заявників, умова відбору на другому етапі була посилена:

$C2' = \{ \text{"Особи, для яких термін обмеження у 3 роки не минув"} \}$ .

Інший підхід, що також працює, полягає у врахуванні пропозицій учасників щодо умов оплати та термінів на останньому етапі процесу відбору. Такі підходи дозволяють гнучко регулювати ємність множини учасників.

Розробка та впровадження експертних технологій на основі схем послідовного аналізу опцій дозволили формалізувати аспекти процесу прийняття рішень в управлінні державними корпоративними правами, які підлягають маніпуляціям, зловживанню владою, недобросовісній конкуренції та іншим несприятливим суб'єктивним впливам. Цей підхід також підвищив прозорість документів та процесу прийняття рішень. Досвід практичного використання розроблених інструментів демонструє ефективність запропонованого підходу.

**Висновок.** Таким чином, управління сучасними міськими трансформаціями є складним завданням, яке вимагає розробки та впровадження ефективних стратегій і рішень для вирішення широкого спектра проблем. Зокрема, виклики, що виникають у рамках реалізації концепції «розумних міст», ілюструють необхідність цифровізації та застосування сучасних методів і процедур прийняття рішень.

Аналіз публікацій підтвердив, що процес прийняття рішень, особливо в контексті вибору найкращих варіантів, є ключовим елементом технологій трансформації Smart City. Схема послідовного аналізу варіантів дозволяє мінімізувати вплив людського фактору в процесі прийняття рішень, формалізуючи ті аспекти, які можуть бути використані для маніпуляцій, зловживань, недобросовісної конкуренції та інших негативних факторів.

У роботі продемонстровано застосування схеми послідовного аналізу варіантів для розробки загальної методології проведення конкурсних



процедур. Запропонована методика була використана як основа для розробки регламентуючого документа, затвердженого державним органом як нормативний акт. Цей документ дозволяє ефективно управляти процесом відбору найпрофесійніших претендентів на надання консалтингових послуг для управління державними корпоративними правами. Практичний досвід використання запропонованих інструментів підтверджує їхню ефективність.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Панкратова, О., 2021. Цифровізація як сучасний тренд розвитку менеджменту. Економіка та суспільство, (33). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-33-55>
2. Babenko, T., Hnatiienko, H., Ignisca, V., Iavich, M. Modeling of critical nodes in complex poorly structured organizational systems // Proceedings of the 26th International Conference on Information Society and University Studies (IVUS 2021), Kaunas, Lithuania, April 23, 2021 / CEUR Workshop Proceedings, 2021, 2915, pp. 92-101.
3. Hnatiienko H., Tmienova N., Kruglov A. (2021) Methods for Determining the Group Ranking of Alternatives for Incomplete Expert Rankings. In: Shkarlet S., Morozov A., Palagin A. (eds) Mathematical Modeling and Simulation of Systems (MODS'2020). MODS 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1265. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-58124-4\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-030-58124-4_21). Pp. 217-226.
4. S. Seppänen, M. Saunila, J. Ukko. Digital Transformation of Organizational and Management Controls – Review and Recommendations for the Future. Management and Industrial Engineering Management for Digital Transformation, 2023, pp. 1-25.

5. Grab, B., Ilie, C., 2021. Innovation management in the context of smart cities digital transformation. In: Economic and Social Development: Book of Proceedings, pp. 165-174 (2019).

Гнатієнко В. Г., Снитюк В. Є.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
[hnatiienko.vladyslav@knu.ua](mailto:hnatiienko.vladyslav@knu.ua), [snytyuk@knu.ua](mailto:snytyuk@knu.ua),

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЕЛЕМЕНТИ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПОДІЛЕНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

**Анотація.** Основна мета – підвищити точність прогнозування врожайності шляхом розробки методів обробки даних та нейромережних технологій. Буде розроблена технологія прогнозування врожайності, що включатиме моделі розпізнавання образів для аналізу супутникових знімків та підвищення якості даних у навчальних наборах, методи обробки даних та глибокі нейронні мережі у поєднанні з іншими моделями штучного інтелекту. На основі цієї технології буде проаналізовано ефективність та доцільність застосування деяких агротехнічних заходів, що забезпечить підтримку прийняття рішень при виробництві сільськогосподарської продукції.

**Ключові слова:** сільськогосподарська продукція, розподілене прогнозування, точність прогнозування.

**Abstract.** The main objective of the research is to improve the accuracy of yield forecasting by developing data processing methods and neural network technologies. A yield forecasting technology will be developed, incorporating image recognition models for satellite image analysis and improving data quality in training sets, data processing methods, and deep neural networks in combination with other artificial intelligence models. Additionally, based on this technology, the efficiency and feasibility of applying certain agricultural practices will be studied, providing decision support in agricultural production.

**Keywords:** agricultural production, site-specific forecasting, forecasting accuracy.

**Вступ.** Цифрова агрономія знаходиться на етапі активного розвитку, власники господарств все частіше включають у свої стратегії застосування фарм-менеджменту, що дозволяє дистанційно моніторити та контролювати польові роботи. Фахівці застосовують штучний інтелект, проводять дослідження для поглиблення знань та розробки ефективних технологій цифрової агрономії. В сучасних дослідженнях методів прогнозування врожайності досягається середньоквадратична помилка (RMSE) на рівні 10-15% від середніх значень врожайності. Більшість моделей використовуються для прогнозування сумарного врожаю поля, без можливості виконання розподіленого прогнозування. Ті ж, за допомогою яких будують детальні карти прогнозованої врожайності, загалом протестовані на замалих вибірках, через що неможливо достовірно оцінити їх ефективність.

На даний момент актуальною задачею є розробка технології прогнозування з деталізацією до окремих ділянок поля. В процесі дослідження буде проаналізовано особливості даних, зв'язки та ступені впливу на врожайність різних агрономічних показників. Наукова цінність полягає в тому, що інформація про особливості агрономічних даних дозволить спростити та оптимізувати майбутні дослідження, надавши розуміння які дані і чому ефективно застосовувати, а деталізація прогнозів до окремих ділянок відкриє нові напрями майбутніх досліджень. З практичної точки зору прогнозування дасть можливість планувати бюджет, аналізувати ризики та вживати завчасних заходів.

Очікувані результати дослідження забезпечать відкритий доступ до інноваційних рішень, що сприятиме розвитку цифрової агрономії.

**Ступінь розробленості теми.** На даний момент проводиться багато досліджень, метою яких є підвищення точності прогнозування врожайності різноманітних культур. Використовується широкий спектр джерел інформації, таких як генетичні дані рослин, дані про умови навколишнього

середовища, супутникові знімки тощо. Для обробки та аналізу цих даних застосовуються різні моделі, від класичних статистичних моделей до сучасних глибоких нейронних мереж.

У дослідженні [1] для прогнозування врожаю використали дані про генотип рослин, погодні умови та показники ґрунту. Для прогнозування застосували глибоку нейромережу та отримали RMSE на рівні 11-12% від середнього рівня врожаю. Проте розглядається лише прогнозування сумарного врожаю цілого поля без деталізації до окремих його ділянок, що є обмеженням для можливих застосувань такого підходу. Такий самий недолік стосується дослідження [2], в якому використовувалась модель Random forest. Показники RMSE становлять 11.9%, 16.7%, 13.9% і 5.8% від середніх значень для пшениці, кукурудзи в США, картоплі і кукурудзи в Північно-Східному прибережному регіоні США, відповідно. Автори відзначають, що вибрана модель схильна до перенавчання, через що можуть виникнути складності в узагальненні. Також проблемою є низька надійність: модель ефективна в середньому, що дозволяє аналізувати загальні особливості великих даних, проте є висока ймовірність отримати значні похибки при виконанні окремих прогнозів.

Ефективними є методи, в яких використовуються супутникові знімки для прогнозування. Наприклад, в дослідженні [3] прогнозується врожай картоплі на основі виявлення залежності між значеннями вегетаційних індексів та значеннями врожайності з відхиленнями на рівні 5-9% від середніх показників, проте, елементи навчального та тестового наборів належали одному полю, через що складно оцінити можливості узагальнення такого підходу. В дослідженні [4] 5 полів формують навчальний набір, а на інших 5 полях відбувається тестування моделі. Результати вказують на те, що найбільш ефективна модель - Random forest, яка працює зі значеннями RMSE від 0.284 до 0.473 т/га, що становить близько 9-14% від середніх показників урожайності соняшника, але про надійність таких результатів

стверджувати складно, враховуючи невеликий розмір тестової вибірки. Як зазначають автори, під час дослідження був вдалий період для збору інформації: вдалось зібрати 16 супутникових знімків у сонячні дні впродовж періоду дозрівання, що створило сприятливі умови для навчання моделі. Зазвичай через постійну наявність хмар вдається зібрати лише від 3 до 7 знімків, що значно ускладнює прогнозування з використанням подібних моделей.

**Актуальність.** Основними недоліками сучасних технологій прогнозування є недостатня точність і сильна залежність від погодних умов. Також в більшості досліджень зосереджуються на прогнозуванні сумарного врожаю, а ті, в яких виконується розподілене прогнозування, зазвичай мають значно обмежені вибірки в експериментальних верифікаціях, через що неможливо достовірно оцінити ефективність запропонованих підходів. Додаткові проблеми виникають через відсутність знань про доцільність використання різних джерел даних: невідомо, які фактори найбільше впливають на врожайність рослин, через що в дослідженнях можна побачити використання інформації про генотипи рослин, погодні умови, перепади рельєфу, вміст азоту і фосфору в ґрунті, супутникові знімки тощо - всі ці дані надходять з різних джерел різними способами та мають великі відмінності у складності і вартості отримання.

З точки зору практичного застосування, агрономічні експерти та власники господарств стикаються з тим, що сучасні сервіси прогнозування не забезпечують достатню точність та надійність. Відхилення прогнозованих значень від реальних часто коливається від 3-5% до 30-40%, що є закономірним наслідком недостатньої дослідженості цього напрямку в науковому просторі. Це призводить до того, що від прогнозування часто відмовляються, що негативно впливає на розвиток сільськогосподарського виробництва: постачальники технологій аналітики даних і прийняття рішень не отримують достатнього фінансування на їх розвиток, а власники

господарств втрачають потенційний прибуток, який могли б отримати при застосуванні таких технологій.

*Наукова новизна* роботи полягає у особливій архітектурі системи прогнозування та методах обробки даних, що розроблятимуться для мінімізації впливу погодних, зокрема наявності великої кількості хмар. В процесі реалізації, з метою оптимального налаштування моделей, буде проаналізовано вплив різних факторів на врожайність та виявлено, які з них є найважливішими, що дозволить спростити майбутні дослідження. Також для підвищення якості навчальних наборів та кращого розуміння даних буде проводитись аналіз внутрішніх просторів моделей та внутрішніх представлень даних, що дасть багато корисної інформації про особливості агрономічних даних, їх зв'язки та патерни і, зокрема, це дозволить доповнити аналіз впливу факторів на точність моделі. Важливим напрямом є прогнозування з деталізацією до окремих ділянок, що відкриває багато можливостей для майбутніх досліджень, таких як оптимізація диференційованого внесення хімічних речовин, аналіз впливу локальних особливостей поля, таких як перепади висоти ділянок над рівнем моря та нерівномірність ґрунтової вологості на відмінності врожайності рослин і як застосувати ці знання для підвищення врожайності: оптимізація поливного режиму, прогнозування появи шкідників та хвороб для своєчасного реагування.

*Практична цінність* полягає в тому, що розроблена технологія дозволить виконувати прогнозування з високою точністю, що дасть можливість аналізувати і завчасно реагувати на ризики, та більш ефективно планувати бюджет. На її основі будуть проведені експерименти з метою визначення доцільності застосування хімічних обробок. Крім цього, прогнозування приросту врожаю від застосування продуктів хімічної обробки може бути використано як маркетинговий інструмент для підвищення їх продажів. Таким чином, побудована система сприятиме

розвитку сільськогосподарського виробництва за рахунок підвищення якості інформаційно-аналітичних послуг та відкриття нових можливостей.

*Об'єкт дослідження* – інформаційно-аналітичний супровід прогнозування та процесів прийняття рішень при виробництві сільськогосподарської продукції.

*Предмет дослідження* – моделі, методи та інструментальні засоби прогнозування врожайності сільськогосподарських культур.

*Мета дослідження* - підвищення точності прогнозування та ефективності процесів прийняття рішень шляхом розробки моделей, методів та інструментальних засобів оптимізації і прогнозування сільськогосподарського виробництва.

**Дослідницькі задачі та підходи.** Основні задачі спрямовані на підвищення точності прогнозування та експериментальну верифікацію ефективності обраних підходів:

- Розробка методу виявлення хмар на супутникових знімках та відновлення даних, спотворених цими хмарами.

- Розробка та аналіз ефективності підходу до прогнозування, заснованого на інтеграції моделей різного спрямування: прогнозування відносних значень з деталізацією та визначення коефіцієнтів для приведення прогнозованих значень до абсолютних на основі загальних показників поля.

- Застосування і налаштування методів автоматизованого вибору параметрів вхідних даних для зменшення обчислювальних витрат.

- Аналіз доцільності використання різних джерел інформації та параметрів опису стану, таких як висота ділянки над рівнем моря, координати ділянки, дата посіву тощо.

- Аналіз доцільності використання даних, що описують стан поля за попередні сезони.



- Застосування моделей для прогнозування на основі часових рядів, зокрема LSTM та трансформерів. Порівняння точності їх прогнозів з точністю попередніх підходів на основі моделей LightGBM та U-Net.

- Аналіз векторного представлення навчених моделей та розв'язання задач: формування репрезентативної навчальної вибірки шляхом порівняння векторних представлень її елементів з представленнями інших доступних даних та забезпечення її максимальної повноти, виявлення аномальних даних та виключення їх з навчальної вибірки.

**Очікувані результати та перспективи.** Результатом роботи стане технологія розподіленого прогнозування врожайності. Перспективним застосуванням технології є підтримка прийняття рішень в сільськогосподарському виробництві:

- Визначення економічної доцільності застосування десикації. Прогнозування приросту врожайності та обчислення потенційного прибутку з урахуванням вартості хімікатів та витрат на їх застосування.

- Налаштування системи для прогнозування на ранніх етапах дозрівання рослин.

- Аналіз комбінацій значень параметрів у наборах даних з метою визначення ефективних умов для вирощення різних типів рослин.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Khaki, S. & Wang, L. Crop yield prediction using deep neural networks. *Front. Plant Sci.* 10, 621 (2019).
2. Jeong JH, Resop JP, Mueller ND, Fleisher DH, Yun K, Butler EE, Timlin DJ, Shim KM, Gerber JS, Reddy VR, Kim SH. Random Forests for Global and Regional Crop Yield Predictions. *PLoS One.* 2016 Jun 3;11(6).
3. Al-Gaadi KA, Hassaballa AA, Tola E, Kayad AG, Madugundu R, Alblewi B, Assiri F. Prediction of Potato Crop Yield Using Precision Agriculture Techniques. *PLoS One.* 2016 Sep.

4. Amankulova, K., Farmonov, N., Mukhtorov, U. & Mucsi, L. Sunflower crop yield prediction by advanced statistical modeling using satellite-derived vegetation indices and crop phenology. *Geocarto Int.* 38, 1.

Голотюк В.М., Ващіліна О.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
[viktoriia\\_holotiuk@knu.ua](mailto:viktoriia_holotiuk@knu.ua), [olenavashchilina@knu.ua](mailto:olenavashchilina@knu.ua)

## ЗАСТОСУВАННЯ МОДУЛЬНОГО ТЕСТУВАННЯ В ПРОЦЕСІ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ

**Анотація.** У публікації здійснено аналіз важливості модульного тестування в контексті сучасних мобільних застосунків, висвітлено головні методи та підходи до тестування, а також наведено конкретні приклади реалізації, що демонструють підвищення якості та надійності продукту. Особливу увагу приділено огляду важливих інструментів і платформ для модульного тестування мобільних застосунків, таких як Mockito, XCTest, JUnit та Espresso, з детальним описом їх функціональності та переваг.

**Ключові слова:** модульне тестування, мобільні застосунки, якість, надійність, розробка.

**Abstract.** The report analyzes the significance of modular testing in the context of modern mobile applications, highlighting key methods and approaches to testing, as well as providing specific examples of implementations that demonstrate improvements in product quality and reliability. Particular attention is given to the review of popular tools and platforms for unit testing mobile applications, such as Mockito, XCTest, JUnit, and Espresso, with a detailed description of their functionality and advantages.

**Keywords:** unit testing, mobile applications, quality, reliability, development.

**Вступ.** У сучасному світі мобільні застосунки стали невід'ємною частиною життя мільйонів користувачів, а мобільні технології розвиваються надзвичайно швидкими темпами. З огляду на це потреба в забезпеченні надійності, стабільності та високої якості таких застосунків зростає. Модульне тестування є одним із найефективніших інструментів для досягнення цих цілей. Воно дозволяє виявляти та виправляти помилки на ранніх етапах розробки, що допомагає уникнути проблем на рівні інтеграції та покращує загальну якість програмного забезпечення.

**Основна частина. Модульне тестування** – це процес перевірки найменших одиниць коду, таких як функції, методи або класи, ізольовано від решти системи. Його основна мета – переконатися, що кожен окремий компонент працює відповідно до визначених вимог і не містить помилок.

До основних принципів модульного тестування належать:

- ізоляція (кожен тест перевіряє окремий модуль або компонент, без впливу інших частин системи);
- незалежність (кожен тест виконується окремо, і його результат не залежить від того, чи працюють інші тести);
- повторюваність (тести повинні давати однакові результати при кожному запуску);
- точність (тест повинен точно виявляти причину помилки, прив'язуючи її до конкретного модуля або функції);
- чітка структура (кожен тест має бути простим і зрозумілим, із чітким вхідними даними, очікуваним результатом і перевіркою).

Використання **модульного тестування** має численні переваги. Однією з головних переваг є раннє виявлення помилок, що дає змогу швидко їх виправляти. Це також забезпечує стабільність і надійність застосунку при внесенні нових змін, дозволяючи уникати помилок під час виконання вже працюючих функцій. Швидкий зворотний зв'язок для

розробників дає можливість швидко тестувати нові зміни, що прискорює процес розробки та мінімізує ризики появи помилок у кінцевій версії продукту. Також тести допомагають при масштабуванні, забезпечуючи впевненість у тому, що внесені зміни не зашкодять існуючому функціоналу. Крім того, тести можуть слугувати як документація, адже, описуючи поведінку окремих модулів, вони допомагають новим розробникам швидше розібратися у структурі програми, полегшуючи її підтримку та розвиток.

Проте модульне тестування має свої недоліки. Написання та підтримка тестів може бути трудомістким процесом, що збільшує витрати часу. Ще одним недоліком є те, що тести перевіряють лише окремі компоненти, не враховуючи їх взаємодію з іншими частинами системи. Вирішенням цієї проблеми є поєднання модульних тестів з інтеграційним і кінцевим тестуванням. Також може виникати складність тестування специфічних функцій мобільних пристроїв, таких як камера або GPS, проте для цього можна використовувати **mock-об'єкти** або емулятори, які дозволяють імітувати їх поведінку без необхідності взаємодії з реальними пристроями. Отже, незважаючи на певні виклики, модульне тестування є важливим елементом забезпечення якості мобільних застосунків, а правильна реалізація цього підходу в процес розробки дозволяє максимізувати його переваги.

Успішне модульне тестування мобільних застосунків потребує використання спеціалізованих платформ та інструментів, які дозволяють автоматизувати процеси перевірки та підвищити ефективність тестування. Розглянемо найбільш популярні з них: Mockito, XCTest, JUnit, Espresso.

Mockito є популярною бібліотекою для Java, яка дозволяє створювати mock-об'єкти для імітування поведінки реальних залежностей під час тестування. Вона надає можливість ізолювати модулі, що тестуються, від зовнішніх компонентів, таких як бази даних або API. Завдяки цьому розробники можуть зосередитися на перевірці конкретної бізнес-логіки, не

відволікаючись на деталі реалізації зовнішніх залежностей. Це робить тести більш швидкими, надійними і легшими для розуміння, що значно підвищує ефективність тестування.

XCTest – це фреймворк для тестування, який входить до складу Xcode і активно використовується для розробки застосунків на iOS. Цей інструмент підтримує як модульне, так і інтеграційне тестування та дозволяє розробникам перевіряти не тільки окремі модулі, а й їхню взаємодію між собою. XCTest пропонує різноманітні функції, що включає вимірювання продуктивності та також можливість створення UI-тестів. Саме це робить його універсальним інструментом, здатним забезпечити високий рівень якості застосунків на платформах Apple.

JUnit є стандартним фреймворком для модульного тестування Java та широко використовується в Android-розробці. Він забезпечує простий і зрозумілий синтаксис для створення та запуску тестів, наприклад, анотації, що полегшують організацію тестів. JUnit дозволяє перевіряти бізнес-логіку та функціональність модулів, що робить його невід'ємною частиною процесу розробки Android-додатків. Використання JUnit допомагає підтримувати високий рівень організації коду і забезпечує надійність кінцевого продукту.

Espresso також є потужним інструментом для автоматизованого тестування інтерфейсу користувача в Android-додатках. Фреймворк дозволяє розробникам писати тести для перевірки взаємодії з UI-компонентами, забезпечуючи простий та інтуїтивно зрозумілий спосіб перевірки функціональності застосунків. Це дозволяє інфраструктурі виконувати дії, подібні до користувальницьких, наприклад натискання кнопок, введення тексту в текстові поля та вибір параметрів у меню. Завдяки цьому Espresso забезпечує виявлення проблем інтерфейсу застосунку на ранніх етапах розробки та підвищує якість користувацького досвіду, що робить його важливим елементом комплексного процесу тестування.

Порівняльна характеристика інструментів модульного тестування Mockito, XCTest, JUnit, Espresso наведена у таблиці 1, що допоможе наочно продемонструвати, який інструмент краще підходить для різних типів тестування та мов програмування.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика інструментів модульного тестування

Параметр	Mockito	XCTest	JUnit	Espresso
Платформа	Java/ Android	iOS/macOS	Java/Android	Android
Тип тестування	Модульне (мокування)	Модульне, інтеграційне, UI	Модульне	UI/ інтеграційне
Основне призначення	Створення мок-об'єктів	Комплексне тестування iOS додатків	Модульне тестування Java коду	Тестування користувацького інтерфейсу
Автоматизація	Вручну через створення Mock об'єктів	Підтримка автоматизованих тестів	Автоматизація через JUnit правила	Підтримка автоматизованих сценаріїв UI
Інтеграція з IDE	Android Studio	Xcode	Eclipse, IntelliJ IDEA	Android Studio
Складність використання	Середня	Низька	Низька	Висока
Підтримка асинхронного тестування	Обмежена	Так	Через додаткові бібліотеки	Так
Можливості звітування	Обмежені	Розширені	Розширені	Базові

Вибір правильних платформ та інструментів для модульного тестування є критично важливим для забезпечення якості мобільних застосунків, а впровадження модульного тестування охоплює кілька ключових етапів, починаючи з планування та розробки, і закінчуючи тестуванням, інтеграцією та релізом. Розглянемо ключові аспекти кожного з цих етапів.

Вибір правильних платформ та інструментів для модульного тестування є критично важливим для забезпечення якості мобільних застосунків, а впровадження модульного тестування охоплює кілька ключових етапів, починаючи з планування та розробки, і закінчуючи тестуванням, інтеграцією та релізом. Розглянемо ключові аспекти кожного з цих етапів.

Першим етапом є **планування**. Тут розробники визначають вимоги до застосунку, а також планують, які модулі потрібно протестувати. Важливо вже на цьому етапі розглянути, як модульне тестування вплине на архітектуру застосунку, щоб забезпечити легкість у написанні тестів.

Наступний етап – це розроблення тесту. Під час написання коду розробники створюють модульні тести паралельно з реалізацією нових функцій. Цей підхід, відомий як розробка через тестування (TDD), сприяє створенню тестів перед написанням коду, що дозволяє зменшити кількість помилок і покращити структуру коду.

Коли код написано, розпочинається **етап тестування**. Усі модульні тести запускаються, щоб виявити будь-які недоліки в логіці та функціональності окремих модулів. Автоматизація тестування забезпечує швидкий зворотний зв'язок, що дозволяє розробникам швидко усувати помилки.

Після виявлення та виправлення помилок, настає етап **інтеграції**. Тут модульні тести допомагають перевірити, чи коректно взаємодіють нові модулі з уже існуючими компонентами системи.

На етапі **впровадження та підтримки системи** модульні тести також відіграють важливу роль. Перед випуском нової версії застосунку всі тести повинні бути успішно пройдені, що гарантує відсутність критичних помилок у кінцевій версії. Модульні тести також мають оновлюватися разом із внесенням нових функцій або виправленням помилок. Регулярне



проведення тестів під час оновлень забезпечує стабільність та надійність застосунку протягом його життєвого циклу.

Для прикладу розглянемо тестування мобільного застосунку, який допомагає користувачам організувати свій час. Він надає можливість створювати, редагувати та видаляти завдання, а також сортувати їх за категоріями. Для забезпечення стабільності та надійності функцій було впроваджено модульне тестування, що дозволило створити якісний кінцевий продукт.

Перед початком роботи з мобільним застосунком критично важливо забезпечити коректність і надійність бази даних, яка є основою для зберігання всієї інформації, включаючи завдання та категорії. Тестування ініціалізації бази даних є першим кроком у верифікації її функціональності. Тест, зображений на рис. 1, перевіряє, чи правильно створюється база даних та чи існують усі необхідні таблиці. Цей процес забезпечує правильність подальших операцій з базою даних, зокрема вставлення, оновлення та видалення даних.

```
test('Database is initialized correctly', () async {
  final db = await databaseHelper.database;
  expect(db.isOpen, true);
});

test('Tables are created correctly', () async {
  final db = await databaseHelper.database;
  // Перевірка існування таблиці tasks
  final taskTable = await db.rawQuery("SELECT name FROM sqlite_master WHERE type='table' AND name='${DatabaseHelper.taskTable}'");
  expect(taskTable.isNotEmpty, true);
  // Перевірка існування таблиці categories
  final categoryTable = await db.rawQuery("SELECT name FROM sqlite_master WHERE type='table' AND name='${DatabaseHelper.categoryTable}'");
  expect(categoryTable.isNotEmpty, true);
  // Перевірка існування таблиці reminders
  final reminderTable = await db.rawQuery("SELECT name FROM sqlite_master WHERE type='table' AND name='${DatabaseHelper.reminderTable}'");
  expect(reminderTable.isNotEmpty, true);
});
```

Рисунок 1 – Модульне тестування ініціалізації бази даних

Також важливим аспектом була перевірка функціональності додавання нових завдань. Тест, зображений на рис. 2, перевіряє, чи система правильно реагує на спробу додати завдання. Він перевіряє, чи при успішному додаванні повертається коректний ідентифікатор нового завдання. Процес починається з того, що створюється об'єкт Task, який

містить усі необхідні дані: заголовок, опис, початковий і кінцевий терміни виконання, ідентифікатор категорії та статус виконання.

```
test('Insert task: should insert a task into the database', () async {
  final task = Task(
    title: 'Test Task',
    description: 'Test Description',
    deadlineStart: DateTime.now(),
    deadlineEnd: DateTime.now().add(Duration(hours: 1)),
    categoryId: 1,
    isCompleted: false,
  );
  final id = await taskService.insertTask(task);
  expect(id, greaterThanOrEqualTo(0));
  await taskService.deleteTask(id);
});
```

Рисунок 2 – Модульне тестування додавання категорії

Ще одним важливим моментом була перевірка коректності роботи функції отримання категорій. Тест, що зображений на рис. 3, перевіряє, чи система може правильно знайти категорію за її унікальним ідентифікатором. Спочатку категорія додається до бази даних, а потім за її ID здійснюється запит.

```
test('Get category by ID: should retrieve a category from the database by its ID', () async {
  final category = Category(id: 0, name: 'Test Category');
  final id = await categoryService.insertCategory(category);
  final fetchedCategory = await categoryService.getCategoryById(id);
  expect(fetchedCategory, isNotNull);
  expect(fetchedCategory!.id, id);
  expect(fetchedCategory.name, 'Test Category');
  await categoryService.deleteCategory(id);
});
```

Рисунок 3 – Модульне тестування отримання категорії

На основі прикладу цієї програмної системи можна переконатися у важливості модульного тестування для мобільних застосунків. Завдяки такому підходу до тестування було досягнуто впевненості в коректності роботи бази даних, а також у правильності обробки дій користувачів. Це сприяло створенню надійного застосунку, що відповідає вимогам користувачів.

**Висновок.** У підсумку, можна стверджувати, що модульне тестування є потужним інструментом, який дозволяє розробникам створювати більш надійні, стабільні та якісні мобільні застосунки. Воно не лише допомагає виявляти та усувати помилки, але й сприяє покращенню архітектури програми, полегшує процес рефакторингу та забезпечує впевненість у стабільності продукту протягом усього життєвого циклу розробки. У контексті стрімкого розвитку мобільних технологій та зростаючих вимог користувачів до якості програмного забезпечення, модульне тестування стає не просто корисним доповненням, а необхідним елементом процесу розроблення програм, що забезпечує конкурентоспроможність та успіх мобільних застосунків на ринку.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Khorikov V. Unit Testing. Principles, Practices, and Patterns. New York: Manning Publications, 2020. 282 p.
2. GeeksForGeeks “Unit Testing – Software Testing”. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/unit-testing-software-testing/> (дата звернення: 20.09.2024).
3. Medium “Unit Testing in Android: A Guide of Using JUnit, Mockito, MockK, and Espresso”. URL: <https://dogukanincee.medium.com/unit-testing-in-android-a-guide-of-using-junit-mockito-mockk-and-espresso-d7a47819ada5> (дата звернення: 21.09.2024).
4. QALight “Модульне тестування”. URL: <https://qalight.ua/baza-znaniy/modulne-testuvannya/> (дата звернення: 21.09.2024).
5. ZapTest “Що таке модульне тестування?”. URL: <https://rb.gy/rgg4b2> (дата звернення: 21.09.2024).

Гончарук Д.Р.

*Державний торговельно-економічний університет, Київ, Україна*

*d.honcharuk@knute.edu.ua*

## СТРАТЕГІЯ НАТО У СТАНОВЛЕННІ ПРАВИЛ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

**Анотація.** У роботі описано важливість коректного застосування стандартів та протоколів для автономних систем озброєння та штучного інтелекту у стратегічних завданнях країн НАТО при розвитку сучасної стратегії оборони та безпеки.

**Ключові слова:** законодавчі рамки для використання ШІ у військових цілях, стандарти НАТО

**Abstract.** The paper describes the importance of the correct application of standards and protocols for autonomous weapons systems and artificial intelligence in the strategic tasks of NATO countries in the development of a modern defence and security strategy.

**Keywords:** legal framework for the use of AI for military purposes, NATO standards

**Вступ.** Штучний інтелект (ШІ) розглядається як один із основних елементів сучасної стратегії оборони та безпеки. Він здатний трансформувати сучасну військову практику, викликаючи складні правові та етичні питання, пов'язані з міжнародним гуманітарним правом та правами людини [1]. Саме тому НАТО прийняла стратегію з питань штучного інтелекту у 2021 році, яка визначає головні принципи відповідального використання цієї технології у військовій сфері.

**Основна частина.** Головна мета стратегії з питань штучного інтелекту полягала в тому, щоб забезпечити інтеграцію ШІ у військові операції без порушення міжнародних норм. Стратегія ШІ НАТО 2021 року містила стратегічне бачення з чотирма цілями та шістьма результатами. У

рамках стратегії штучного інтелекту члени Альянсу схвалили шість принципів відповідального використання для штучного інтелекту в обороні, такі як: правомірність, відповідальність і підзвітність, доступність для розуміння та відстеження, надійність, керованість і пом'якшення упередженості [2].

У 2024 році стратегія НАТО щодо ШІ була переглянута, спрямована на те, щоб:

1. Забезпечити основу, щоб НАТО та члени Альянсу могли подавати приклад і заохочувати розвиток і відповідальне використання ШІ для цілей оборони та безпеки Альянсу.

2. Прискорити та запровадити ШІ у розробці та наданні можливостей, підвищуючи взаємодію як ключового елемента в Альянсі, включаючи надання сценаріїв використання ШІ.

3. Визначати та захищати від загроз, пов'язаних із супротивним використанням ШІ [2].

Використання ШІ у військових операціях піднімає питання щодо відповідності принципам міжнародного гуманітарного права, зокрема принципам розрізнення, пропорційності та необхідності [3]. Адже вже сьогодні, автономні системи озброєння (АСО) можуть самостійно приймати рішення про застосування сили, що викликає занепокоєння щодо дотримання МГП [4].

У жовтні 2022 року міністри оборони країн НАТО ухвалили набір політик, спрямованих на продовження імплементації всеосяжної стратегії щодо нових технологій, включаючи створення наглядової ради НАТО з питань даних та штучного інтелекту (Data and AI Review Board, DARB).

Рада слугує реалізації принципів НАТО щодо відповідального використання ШІ, викладених у Стратегії НАТО з питань ШІ. Першим завданням наглядової ради НАТО була розробка зручного для користувача стандарту сертифікації відповідального ШІ, включаючи контроль якості та

зниження ризиків, що допоможе узгодити нові проекти ШІ та даних із Принципами відповідального використання НАТО, затвердженими в жовтні 2021 року.

Штучний інтелект, використання даних і автономія входять до дев'яти пріоритетних для НАТО технологічних сфер. Сюди також входять квантові технології, біотехнології та вдосконалення людини, гіперзвукові технології, нові матеріали та виробництво, енергетика та двигуни, а також космос [5].

Сьогодні завдяки ШІ військові отримують доступ до нових методів автоматизованого управління інформацією, що дозволяє підвищити точність і швидкість операцій. Це включає використання хмарних технологій, обробку великих даних і підключення до мереж 5G для забезпечення швидкої обробки інформації та безперебійного зв'язку між військовими підрозділами [6]. Проте автоматизація прийняття рішень може призвести до "де-людизації" війни, де рішення про життя і смерть приймаються машинами без людського втручання [7].

Тому НАТО створює систему тестування, оцінки, перевірки та підтвердження, щоб забезпечити відповідальне впровадження ШІ. НАТО співпрацює з науково-дослідними центрами, такими як Центр передових досліджень ШІ в Кембриджі, для створення нових методологій сертифікації. Всі системи мають відповідати стандартам STANAG, що включають критерії безпеки, пропорційності та гуманітарного права. Згідно зі статтею 36 Додаткового протоколу I до Женевських конвенцій, держави зобов'язані оцінювати нові засоби і методи ведення війни на відповідність МГП [4]. Наприклад, автономні дрони повинні проходити тестування на відповідність принципам МГП, зокрема стосовно мінімізації цивільних втрат під час бойових операцій [8]. Сприяння взаємодії між системами ШІ в Альянсі та внесок у розробку норм і стандартів для відповідального використання ШІ в обороні та безпеці також є визначальними цілями нової системи тестування [9].

Етичні виклики, пов'язані з використанням летальних автономних систем озброєння (LAWS), є однією з найскладніших проблем, з якими стикаються військові та політичні лідери НАТО. Завдяки міжнародній співпраці НАТО намагається створити універсальні етичні принципи, які дозволять регулювати використання АСО на глобальному рівні.

Як зазначає Allen, ці принципи мають на меті запобігти неконтрольованій ескалації конфліктів і забезпечити дотримання етичних стандартів у військових операціях [10].

Як зазначено в NATO AI Strategy 2024, головним викликом для глобального регулювання автономних систем є розбіжність у національних інтересах та пріоритетах. Деякі держави, такі як Росія та Китай, можуть не дотримуватися тих самих стандартів, що підвищує ризик глобальної гонки озброєнь у сфері ШІ [11]. Держави з високим рівнем технологічного розвитку, такі як США, бачать ШІ та LAWS як важливий елемент своєї національної безпеки і вважають, що технологічна перевага надасть їм стратегічні вигоди у глобальних конфліктах.

НАТО активно працює над розробкою глобальних правил для регулювання МГП, зокрема через співпрацю з ООН та іншими міжнародними організаціями. ООН з 2014 року проводить зустрічі Групи урядових експертів щодо LAWS, намагаючись досягти консенсусу щодо їх регулювання або заборони [12]. У 2021 році Генеральна Асамблея ООН ухвалила резолюцію, що зобов'язує країни розробляти законодавчі рамки для використання ШІ у військових цілях [13]. Європейський Союз також активно розвиває нормативну базу, зокрема через Європейський регламент щодо штучного інтелекту (Artificial Intelligence Act), який охоплює правові аспекти використання ШІ у військовій сфері [14].

НАТО співпрацює з цими організаціями, щоб розробити універсальні стандарти для безпечного використання автономних систем, що дозволяє знизити ризики неконтрольованого застосування озброєнь [15]. Однак деякі

експерти закликають до повної заборони LAWS через неможливість забезпечення повного дотримання МГП [3]. Цей процес є складним і вимагає тісної співпраці між державами з різними політичними, економічними та військовими інтересами.

**Висновок.** Загалом, стандарти та протоколи для автономних систем озброєння та ШІ повинні забезпечувати не лише технічну сумісність між державами-членами НАТО, але й відповідність етичним стандартам, міжнародному гуманітарному праву та захист цивільного населення. Тільки через спільну роботу з розробки та впровадження універсальних правил використання ШІ Альянс зможе забезпечити стабільність і безпеку у військових операціях майбутнього [16].

Регулювання автономних систем озброєння та штучного інтелекту стикається з численними викликами, зокрема політичними, етичними, правовими та технологічними. НАТО, як один із лідерів у розвитку таких систем, має не лише можливість, але й обов'язок забезпечити відповідність їх використання принципам МГП та прав людини [1]. Вона продовжує відігравати провідну роль у розробці стратегій і правил, які забезпечать безпеку та стабільність у світі, де ШІ та автономні системи відіграватимуть дедалі важливішу роль.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Schmitt M.N., & Thurnher J.S. (2013). "Out of the Loop": Autonomous Weapon Systems and the Law of Armed Conflict. *Harvard National Security Journal*, 4(2), pp. 231-281.
2. Nato. (n.d.). Summary of NATO's revised Artificial Intelligence (AI) strategy. NATO. URL: [https://www.nato.int/cps/en/natohq/official\\_texts\\_227237.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_227237.htm).
3. Crootof R. (2015). The Killer Robots Are Here: Legal and Policy Implications. *Cardozo Law Review*, 36(5), pp. 1837-1915.



4. Bo M., & Valentine V. (2018). *Autonomous Weapon Systems and International Law*. Cambridge University Press.
5. Nato. (n.d.). NATO Allies take further steps towards responsible use of AI, data, autonomy and digital transformation. NATO. URL: [https://www.nato.int/cps/en/natohq/news\\_208342.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_208342.htm).
6. Gilli A. (2020). NATO-mation: Strategies for leading in the age of artificial intelligence. NATO Defense College.
7. Asaro P. (2012). On Banning Autonomous Weapon Systems: Human Rights, Automation, and the Dehumanization of Lethal Decision-making. *International Review of the Red Cross*, 94(886), pp. 687-709.
8. Wagner B. (2020). Accountability and transparency in artificial intelligence: A NATO perspective. NATO Review. URL: <https://www.nato.int/docu/review/articles/2020/10/accountability>.
9. Werner J. (2024, July 18). NATO updates AI strategy to address emerging challenges and leverage opportunities. BABL AI. URL: <https://babl.ai/nato-updates-ai-strategy-to-address-emerging-challenges-and-leverage-opportunities/>
10. Wagner B. (2020). Accountability and transparency in artificial intelligence: A NATO perspective. NATO Review. URL: <https://www.nato.int/docu/review/articles/2020/10/accountability>.
11. Heyns C. (2013). *Report of the Special Rapporteur on Extrajudicial, Summary or Arbitrary Executions*. United Nations Human Rights Council. URL: <https://www.ohchr.org/en/documents/thematic-reports/ahrc2327-report-special-rapporteur-extrajudicial-summary-or-arbitrary>.
12. Crootof R. (2015). The Killer Robots Are Here: Legal and Policy Implications. *Cardozo Law Review*, 36(5), pp. 1837-1915.
13. United Nations. (2021). Report of the Special Rapporteur on the Promotion and Protection of Human Rights and Fundamental Freedoms while Countering Terrorism.

14. European Commission. (2021). Proposal for a Regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act).
15. NATO. (2024). NATO AI Strategy 2024. URL: [https://www.nato.int/cps/en/natohq/official\\_texts\\_227237.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_227237.htm)
16. Kang K. M. (2024). Enemies, allies, and artificial intelligence: Developing rules and norms for lethal autonomous weapons systems. Georgetown Security Studies Review.

Дзюбановська Н., Маслій В.

Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

[n.dziubanovska@wunu.edu.ua](mailto:n.dziubanovska@wunu.edu.ua), [v.maslii@wunu.edu.ua](mailto:v.maslii@wunu.edu.ua)

## ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ЗАЙНЯТОСТІ В ЄВРОПЕЙСЬКОМУ СОЮЗІ

**Анотація.** Стаття присвячена дослідженню впливу цифровізації на рівень зайнятості населення країн Європейського Союзу з акцентом на кластерний аналіз, що дозволяє виокремити групи країн з подібними характеристиками. Використовуючи багатофакторний регресійний аналіз, виявлено, що цифрові технології, такі як електронна комерція, широкопasmовий доступ до Інтернету та фінансові операції, мають значний вплив на зайнятість. Результати показують, що країни з активним впровадженням електронних послуг можуть забезпечувати позитивний вплив на ринок праці, тоді як менш розвинуті країни стикаються з викликами через недостатню цифрову інфраструктуру. Адаптація політик, спрямованих на підвищення рівня цифровізації, є важливим кроком для розвитку зайнятості в кожному кластері.

**Ключові слова:** індекс DESI, цифровізація, зайнятість, регресійний аналіз, кластерний аналіз, цифрові технології, Європейський Союз.

**Abstract.** The article is dedicated to examining the impact of digitalization on employment levels in European Union countries, with a focus on cluster analysis that allows for the identification of groups of countries with similar characteristics. Using multifactor regression analysis, it was found that digital technologies such as e-commerce, broadband internet access, and financial services significantly influence employment. The results show that countries with active implementation of electronic services can provide a positive impact on the labor market, while less developed countries face challenges due to insufficient

*digital infrastructure. Adapting policies aimed at increasing the level of digitalization is an important step for the development of employment in each cluster.*

**Keywords:** *DESI index, digitalization, employment, regression analysis, cluster analysis, digital technologies, European Union.*

**Вступ.** Початок XXI століття охарактеризувався появою нового явища в глобальному масштабі – цифровізацією економіки, чому сприяло швидке розповсюдження Інтернету. Всесвітня асамблея стандартизації електрозв'язку, наводить наступну статистику: в 2021 році 63 % населення нашої планети були активними користувачами всесвітньої павутини [1]. За даними United Nations Conference on Trade and Development, глобальний Інтернет-трафік в 2021 році перевищив даний показник за 2016 р. [2]. Цифрові інновації не тільки впливають на рівень зайнятості, а й змінюють форми зайнятості та навички працівників. За оцінками Всесвітнього економічного форуму у 2025 році, через зміну в розподілі праці між людьми та машинами, може бути витіснено 85 мільйон робочих місць, в той же час можуть виникнути 97 мільйон нових, більш пристосованих до нового розподілу, робочих місць [3]. Країни з розвиненими економіками, швидкими темпами впроваджують цифрові технології, які змінюють, насамперед, ситуацію на ринку праці. Країни Європейського Співтовариства мають власну стратегію цифровізації, яка має на меті сприяти як економічному зростанню усіх членів даного економічного альянсу, так і збільшенню робочих місць, інвестицій, інновацій та ін. Аналітики, науковці, дослідники акцентують увагу на тому, що цифрові інновації імплементовані в економіку будь-якої держави, можуть нести загрози і виклики наявним ринкам праці та спричиняти вплив на зайнятість. D. Acemoglu та P. Restrepo (2020) зазначають, що значний прогрес в сфері штучного інтелекту, машинного навчання, комунікаційних технологій, його наслідки та їх вплив на

зайнятість, є відкритим та важливим питанням, яке необхідно комплексно досліджувати [4].

Метою нашого дослідження є оцінка того, як процеси цифровізації впливають на загальні тенденції в сфері зайнятості країн-членів європейської спільноти.

**Огляд літератури.** W.P. Groen, K. Lenaerts, R. Bosc та F. Paguier (2017) зазначають, що наслідки цифровізації економіки можуть бути дуже серйозними в контексті створення/скорочення робочих місць.

Проте, вони також зазначають що не існує єдиної точки зору щодо того, наскільки четверта промислова революція, яка передбачає широке впровадження цифрових інновацій та інформаційних комп'ютерних технологій спричинить зміни в сфері зайнятості [5]. У дослідженні, проведеним Організацією економічного співробітництва та розвитку, зазначено, що попередні промислові революції спричиняли збільшення робочих місць через певний проміжок часу, проте спочатку відбувалося їх скорочення. Нові технології сприятимуть зростанню продуктивності, а отже в скороченні потреби робочих місць, з іншого боку, воно призведе до зниження цін, і як наслідок до зростання попиту. Тому важко визначити, наскільки сильно будуть відрізнятися обидва ефекти в розрізі секторів економіки, регіонів та часі [6].

A. Smith та J. Anderson (2014) також зазначають про невизначеність впливу цифрових трансформацій на зайнятість опираючись на результати опитування Pew Research Center [7]. Результати дослідження R. Pena-Casas, D. Ghailani та S. Coster (2018) демонструють, що процеси цифровізації впливають на рівень зайнятості та її якість, а наслідки залежать від галузей та професій [8]. S. Sandri, N. Alshyab та M. Shaban (2022) акцентують увагу на тому, що цифрова трансформація може бути джерелом конкурентної переваги і драйвером економічного зростання будь якої країни та сприяти скороченню безробіття за умов ефективною державною політики в цій сфері

[9]. W. Yunxia, H. Neng та M. Yechi (2023) проаналізували вплив розвитку цифрової економіки на масштаби зайнятості в Китаї та дійшли до висновку, що цифровізація позитивно впливає на рівень зайнятості збільшуючи частку високо- та середньокваліфікованої праці та одночасно зменшуючи частку низькокваліфікованої. Такого роду ефект вони пояснюють ефектами розширення масштабу та продуктивності [10]. Результати дослідження, що провели Е. Руктова та ін. (2024) засвідчили, що існує прямий зв'язок між впровадженням цифрових технологій та зайнятістю в європейських країнах протягом 2012–2019 рр., сприяючи виникненню трьох видів ефектів: заміщення, продуктивності, відновлення [11].

#### **Основна частина. Методологія**

Важливим інструментом для оцінки рівня цифровізації економік країн-членів ЄС є Digital Economy and Society Index (DESI). Він розраховується з 2014 року та складався із наступних компонентів: підключення, людський капітал, використання Інтернету, інтеграція цифрових технологій, цифрові державні послуги. В 2021 році, враховуючи політичні ініціативи ЄС в контексті цифрової трансформації, а саме: створення Фонду відновлення та стійкості та прийняття політичної програми Цифровий компас десятиліття, структура індексу була трансформована в чотирьохвимірну (табл. 1) [12]. DESI надає комплексну картину цифрового розвитку країн-членів ЄС і слугує основою для розробки політик, спрямованих на покращення цифрової інфраструктури та послуг.

Таблиця 1 – Структура DESI

Компонента	Питома вага, %	
	2014 – 2020 рр.	2021 р. до тепер
Підключення	25	25
Людський капітал	25	25
Використання інтернету	15	–
Інтеграція цифрових технологій	20	25
Цифрові державні послуги	15	25

З огляду на дані за період з 2017 по 2022 роки, наведені на Eurostat [13], проаналізуємо динаміку приростів індексу DESI для глибокого розуміння темпів цифрової трансформації країн ЄС, що дасть змогу порівняти їхні досягнення у впровадженні цифрових технологій та оцінити ефективність національних стратегій у цій сфері. Цей аналіз допоможе виявити країни з найзначнішими змінами у показниках, що вказує на їхню динаміку у впровадженні цифрових технологій, та виявити області, де ще існує потреба у вдосконаленні (рис. 1).

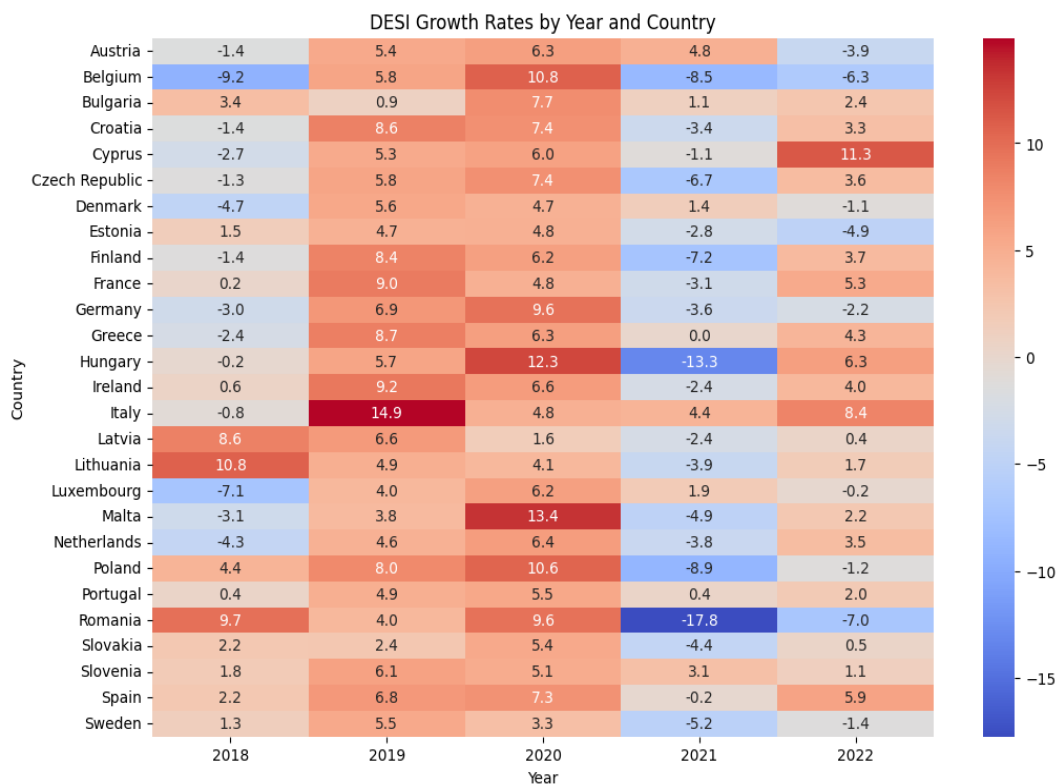


Рисунок 1 – Темпи зростання індексу DESI за роками та країнами

Протягом досліджуваного періоду спостерігається загальне покращення цифрових показників в більшості країн Європи, що вказує на активне впровадження цифрових технологій. Проте у 2021 році в багатьох країнах спостерігається зниження темпів зростання, що може бути наслідком економічних викликів, пов'язаних із пандемією COVID-19 та геополітичними змінами. Литва, Італія, та Болгарія мають найвищі середні темпи зростання за 5 років, що свідчить про стійкий прогрес у розвитку

цифрових технологій. Бельгія, Угорщина та Румунія демонструють нестабільні результати, з періодичними спадами, що вказує на виклики в адаптації до цифрових змін.

Аналіз приростів DESI за період 2017–2022 років вказує на те, що цифрова трансформація в Європі відбувається нерівномірно. Тому для глибшого розуміння процесів цифрової трансформації в країнах Європи та виявлення груп країн, які демонструють схожі тенденції в цифровій трансформації було здійснено кластерний аналіз країн за приростом DESI.

На першому етапі кластерного аналізу використано метод «лікоть» для визначення оптимальної кількості кластерів. Цей підхід ґрунтується на побудові графіку суми квадратів відстаней всередині кластерів (WCSS) для різних значень кількості кластерів. Мета полягає у виявленні точки зламу або «ліктя» на графіку (рис. 2), після якої подальше збільшення кількості кластерів незначно знижує WCSS. Ця точка вказує на оптимальне число кластерів.

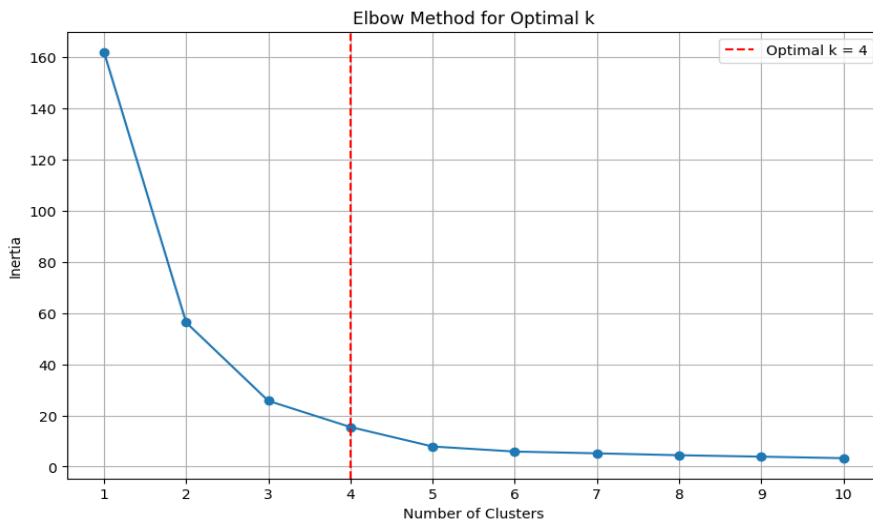


Рисунок 2 – Метод «ліктя» для визначення кількості кластерів за зростанням індексу DESI

На наступному етапі було проведено кластеризацію за допомогою методу *k-means*, який поділяє дані на кластери шляхом мінімізації внутрішньо-кластерної суми квадратів. У результаті всі держави-члени ЄС



були згруповані в чотири кластери відповідно до рівня впровадження цифрових технологій (табл. 2).

Таблиця 2 – Країни-члени ЄС за кластерами

Кластер	Країни-члени ЄС
0	Хорватія, Кіпр, Чеська Республіка, Франція, Угорщина, Італія, Латвія, Португалія, Словаччина, Словенія
1	Австрія, Бельгія, Естонія, Німеччина, Ірландія, Литва, Люксембург, Мальта, Іспанія
2	Данія, Фінляндія, Нідерланди, Швеція
3	Болгарія, Греція, Польща, Румунія

Кластерний аналіз за показниками приросту DESI виділив чотири основні групи країн, які відрізняються за темпами цифрової трансформації. Перший кластер (Cluster 0) об'єднує країни, що демонструють помірний ріст у показниках DESI, з періодичними коливаннями. Деякі з них, наприклад, Хорватія та Угорщина, показують значні позитивні зміни, проте є й негативні значення у 2021 році, що свідчить про нестабільність у їхній цифровій трансформації. Країни з другого кластеру (Cluster 1) мають високі темпи зростання DESI, проте також відзначаються деякими коливаннями. Загалом, країни цього кластеру мають міцні позиції у цифровізації, що може свідчити про залучення інвестицій в цифрові технології. Третій кластер (Cluster 2) характеризується високими темпами зростання DESI і стабільними показниками, що вказує на певну зрілість у процесах цифровізації. Країни цього кластеру демонструють найкращі результати в цій області, що свідчить про ефективність національних стратегій. І до останнього кластеру (Cluster 3) увійшли країни, які мають низькі темпи зростання DESI, що вказує на потребу в більш інтенсивних зусиллях для покращення їхніх цифрових показників. У цілому, можна припустити, що вони стикаються з викликами, пов'язаними з економічним розвитком і адаптацією до нових технологій.

Таким чином, результати кластерного аналізу свідчать про різні етапи розвитку цифрової трансформації в європейських країнах, що може допомогти в формуванні цільових стратегій для кожного з кластерів з урахуванням їхніх специфічних потреб та викликів.

### Результати

У сучасному світі цифровізація стає ключовим чинником, що визначає соціально-економічний розвиток країн. Розуміння впливу цифрових технологій на зайнятість стає надзвичайно важливим для формування ефективних політик на ринку праці. Основною метою цього дослідження є виявлення впливу різних аспектів цифровізації на загальний рівень зайнятості у країнах ЄС, згідно з даними Eurostat [13].

Вибір незалежних змінних для аналізу здійснювався, виходячи із ключових аспектів, що визначають рівень цифрової трансформації країни, які включаються до індексу DESI (табл. 3).

Таблиця 3 – Фактори цифрової економіки та їх характеристики

Субіндекс DESI	Факторні змінні та характеристика
Підключення	<p><i>Покриття широкосмуговим інтернетом за швидкістю (відсоток домогосподарств)</i> Швидкісний інтернет є необхідним для підтримки дистанційної роботи та можливостей цифрового працевлаштування.</p>
	<p><i>Покриття широкосмуговим інтернетом за технологією (відсоток домогосподарств)</i> Доступ до різних технологій забезпечує можливість підключення до інтернету всіх демографічних груп, що сприяє можливостям працевлаштування.</p>
	<p><i>Рівень доступу до інтернету (відсоток домогосподарств)</i> Доступ до інтернету вдома дозволяє шукачам роботи шукати можливості і підвищує їхню конкурентоспроможність на ринку праці.</p>
Людський капітал	<p><i>Зайняті ІТ-спеціалісти (відсоток від загальної зайнятості)</i> Вищий відсоток ІТ-спеціалістів вказує на кваліфіковану робочу силу, здатну стимулювати зростання цифрової економіки та інновації.</p>

## Продовження Таблиці 1

Субіндекс DESI	Факторні змінні та характеристика
Використання інтернет-сервісів	<i>Інтернет-покупки фізичних осіб</i> Звички онлайн-шопінгу відображають поведінку споживачів та їхню адаптивність до тенденцій цифрового працевлаштування.
	<i>Фізичні особи – використання інтернету (відсоток осіб, які користувалися інтернетом протягом останнього року)</i> Рівень використання інтернету показує, наскільки добре підготовлені особи до можливостей дистанційної роботи.
	<i>Сприяння електронній комерції для фізичних осіб</i> Заохочення онлайн-комерції свідчить про готовність брати участь у цифрових ринках праці, що розширює можливості працевлаштування.
	<i>Фінансові операції через Інтернет</i> Залучення до онлайн-фінансових послуг може збільшити можливості працевлаштування в секторі фінансових технологій.
Інтеграція цифрових технологій	<i>Електронна комерція</i> Наявність платформ електронної комерції розширює можливості працевлаштування, з'єднуючи покупців і продавців на цифровому ринку.
	<i>Продаж товарів або послуг</i> Можливість продавати онлайн демонструє підприємницький дух і потенціал для створення робочих місць у цифровій економіці.
	<i>Сприяння електронній комерції для бізнесу</i> Підтримка електронної комерції в бізнесі відображає потенціал для зростання робочих місць у цифрових секторах, залучаючи таланти та інвестиції.
Цифрові державні послуги	<i>Електронні урядові послуги для фізичних осіб через веб-сайти</i> Участь у послугах електронного уряду може призвести до створення робочих місць у державному секторі та покращити громадську участь.
	<i>Електронне банківництво</i> Зростання електронного банківництва свідчить про комфортність із цифровими транзакціями, що може сприяти створенню робочих місць у фінансових технологіях та суміжних секторах.

Результативною ознакою було обрано – *Загальна зайнятість* (відсоток від загальної чисельності населення у віці від 20 до 64 років).

Для кожного із чотирьох кластерів побудовано регресійні моделі, що дозволяють детально вивчити взаємозв'язок між незалежними факторами цифровізації та залежною змінною – загальною зайнятістю. Це дослідження має на меті виявити не лише кореляції між цифровими показниками та рівнем зайнятості, а й зрозуміти, які саме фактори відіграють найзначнішу роль у цих процесах.

Результати регресійного аналізу для Кластеру 0 показують, що модель, яка оцінює вплив різних факторів на загальний рівень зайнятості, є досить ефективною. Значення  $R^2$  на рівні 0,82 свідчить про те, що 82% варіації в загальному працевлаштуванні пояснюється незалежними змінними, що свідчить про високу якість моделі. Коригований  $R^2$  на рівні 0,772 підтверджує це, враховуючи кількість предикторів у моделі.

Коефіцієнт константи становить 58,1581, що вказує на очікуване значення загального рівня зайнятості за умови, що всі незалежні змінні дорівнюють нулю. Цей коефіцієнт є статистично значущим ( $p = 0,000$ ).

Серед ключових незалежних змінних, які мають статистично значущий вплив на зайнятість населення, варто відзначити стимулювання електронної комерції для фізичних осіб, яке має позитивний коефіцієнт 0,4598 ( $p = 0,021$ ). Це означає, що підвищення ініціатив, спрямованих на популяризацію електронної комерції, позитивно впливає на зайнятість. Електронні урядові послуги для фізичних осіб через веб-сайти також виявилися важливими, з позитивним коефіцієнтом 0,2104 і  $p = 0,000$ . Це свідчить про те, що доступність цифрових урядових послуг може покращити ситуацію на ринку праці, завдяки спрощенню процесів, пов'язаних з працевлаштуванням. Натомість, інтернет-покупки фізичних осіб мають від'ємний коефіцієнт  $-0,1929$  з  $p = 0,030$ . Це може свідчити про те, що збільшення обсягів онлайн-шопінгу пов'язане зі зменшенням зайнятості в традиційному секторі, що може вказувати на витіснення робочих місць у роздрібній торгівлі. Дослідження також показує, що швидкість широкосмугового з'єднання має позитивний вплив на загальне працевлаштування (коефіцієнт 0,1126,  $p = 0,001$ ), що підтверджує важливість розвитку інфраструктури для забезпечення доступу до інтернету, оскільки це може сприяти створенню нових можливостей для роботи.

Загалом, результати вказують на те, що країни в цьому кластері мають потенціал для подальшого розвитку, враховуючи позитивний вплив

цифрових технологій на зайнятість, але також підкреслюють необхідність стратегічного підходу до впровадження цифровізації з урахуванням специфіки кожної країни. Це може слугувати основою для розробки політик, спрямованих на підвищення рівня зайнятості в умовах стрімкого розвитку цифрової економіки.

Результати регресійного аналізу для Кластеру 1 вказують на помірну кореляцію між цифровими технологіями та рівнем зайнятості. Значення  $R^2$  становить 0,716, що означає, що близько 71,6% варіації у загальному рівні зайнятості можна пояснити обраними змінними.

Відзначимо, що константа (107,2753) вказує на базовий рівень зайнятості в цих країнах за відсутності впливу інших факторів. Значна позитивна кореляція між «продажем товарів та послуг» (коефіцієнт 0,2594,  $p = 0,004$ ) і результативною ознакою свідчить про те, що зростання продажів сприяє створенню нових робочих місць. Також спостерігається позитивний вплив фінансових операцій через Інтернет (коефіцієнт 0,1961,  $p = 0,001$ ), що підкреслює важливість цифрових фінансових послуг у цій групі країн.

Крім того, позитивний зв'язок з інтернет-покупками (коефіцієнт 0,1909,  $p = 0,048$ ) свідчить про зростаюче значення електронної комерції для економіки країн Кластеру 1. Проте негативний вплив «покриття широкопasmовим інтернетом за технологією» (коефіцієнт  $-0,2576$ ,  $p = 0,023$ ) може вказувати на те, що недостатній розвиток широкопasmового Інтернету є стримуючим фактором для зростання зайнятості.

Країни Кластеру 1 демонструють різноманітність у використанні цифрових технологій, що підкреслює важливість врахування специфічних контекстів для кожної країни. Це вказує на необхідність розробки політик, спрямованих на розвиток електронної комерції та фінансових технологій, як важливих чинників, що можуть сприяти створенню нових робочих місць у цих країнах.

Результати регресійного аналізу для Кластеру 2, що включає країни з високими показниками зайнятості, демонструють дуже високу кореляцію між цифровими технологіями та рівнем зайнятості. Значення  $R^2$  становить 0,975, що свідчить про те, що 97,5% варіації у загальному рівні зайнятості можна пояснити використанням цифрових технологій.

Константа (22,3702) вказує на базовий рівень зайнятості в даних країнах за відсутності інших факторів. Важливою є позитивна кореляція з «сприяння електронній комерції для фізичних осіб» (коефіцієнт 0,6404,  $p = 0,003$ ), що свідчить про позитивний вплив таких активностей на створення робочих місць. Це може вказувати на те, що просування електронної комерції стимулює споживчий попит та веде до зростання зайнятості.

Також варто відзначити, що «покриття широкосмуговим інтернетом за швидкістю» (коефіцієнт 0,1335,  $p = 0,001$ ) має значний позитивний вплив, що підкреслює важливість високоякісного Інтернет-з'єднання для підтримки зайнятості в цих країнах. Крім того, показник «використання Інтернету фізичними особами» також має високий позитивний коефіцієнт (2,2338,  $p = 0,001$ ), що свідчить про значущість активного використання Інтернет-технологій для створення робочих місць.

Однак негативний вплив «інтернет-покупок» (коефіцієнт  $-0,1680$ ,  $p = 0,005$ ) вказує на можливі проблеми в цій сфері, можливо, через зменшення попиту на традиційні послуги чи товари. Інші змінні, такі як «електронні урядові послуги для фізичних осіб через веб-сайти», не виявили статистично значущого впливу на зайнятість, що вказує на потребу в удосконаленні цих сервісів.

Країни Кластеру 2, ймовірно, мають сильні передумови для розвитку цифрової економіки, однак важливо звернути увагу на специфіку кожної країни та врахувати їхні унікальні контексти при розробці політик, що сприятимуть зростанню зайнятості через цифровізацію.

Результати регресійного аналізу для Кластеру 3 демонструють надзвичайно високий рівень пояснювальної сили моделі, з  $R^2=0,982$ . Це означає, що 98,2% варіації у загальному рівні зайнятості в цих країнах може бути пояснено використанням цифрових технологій та відповідними чинниками. Константа (45,4069) свідчить про базовий рівень зайнятості за відсутності впливу інших факторів.

Ключовим показником є «зайняті IT-спеціалісти» (коефіцієнт 8,6569,  $p = 0,000$ ), що має значний позитивний вплив на загальний рівень зайнятості. Це вказує на те, що зростання числа IT-спеціалістів прямо сприяє зростанню зайнятості в регіоні, що підкреслює важливість кваліфікованих кадрів у цифровій економіці.

Покриття широкопasmовим інтернетом за швидкістю (коефіцієнт 0,0820,  $p = 0,050$ ) також виявляє позитивний вплив на зайнятість, хоча й на межі статистичної значущості. Це вказує на те, що покращення швидкості Інтернет-з'єднання може сприяти економічному зростанню та створенню робочих місць.

Однак, інші фактори не виявили статистично значущого впливу на зайнятість. Ці результати вказують на те, що для країн Кластеру 3 важливо розвивати не тільки інфраструктуру широкопasmового інтернет-доступу, а й фокусуватися на підготовці та залученні IT-спеціалістів для підтримки зростання зайнятості. В той же час, політики мають зважати на зміни в споживчих перевагах, пов'язані з електронною комерцією, для збалансування традиційних і цифрових ринків.

**Висновок.** Таким чином, результати регресійного аналізу в усіх кластерах показують важливість цифрових технологій для зростання рівня зайнятості в країнах ЄС, з різними аспектами впливу залежно від специфіки кожного кластера. Кластер 0 демонструє, що країни з активним впровадженням електронних послуг, такі як Франція та Італія, позитивно впливають на ринок праці, тоді як менш розвинуті країни, як Латвія та

Угорщина, стикаються з викликами через недостатню цифрову інфраструктуру. Кластер 1 виявляє менший рівень кореляції між цифровими технологіями та зайнятістю. Проте позитивна кореляція з «продажем товарів та послуг» вказує на те, що зростання продажів сприяє створенню нових робочих місць. Країни цього кластеру потребують специфічних політик для підвищення зайнятості. Кластер 2 демонструє високу кореляцію між цифровими технологіями та зайнятістю. Показник «сприяння електронній комерції для фізичних осіб» позитивно впливає на створення робочих місць, а країни цього кластеру мають добрі умови для розвитку цифрової економіки. Кластер 3 показує надзвичайно високий рівень пояснювальної сили моделі. Ключовим показником є «зайняті ІТ-спеціалісти», які позитивно впливають на зайнятість. Країни цього кластеру повинні зосередитися на підготовці ІТ-спеціалістів та розвитку інфраструктури. Аналіз демонструє значний вплив цифровізації на зайнятість у всіх кластерах, проте специфічні контексти вимагають впровадження індивідуальних підходів до формування політики у цій сфері. Уряди країн мали б акцентувати увагу на розвитку цифрових технологій, електронної комерції та відповідної інфраструктури для підвищення зайнятості.

## ЛІТЕРАТУРА

1. International Telecommunication Union, Statistics, (2021). URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>
2. United Nations Conference on Trade and Development. Digital Economy Report 2021. Cross-border data flows and development: For whom the data flow. (2021). URL: [https://unctad.org/system/files/official-document/der2021\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/der2021_en.pdf)
3. The Future of Jobs Report 2020. (2020). World Economic Forum. URL: <https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2020/>
4. Acemoglu D., Restrepo P. (2020). Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets. *Journal of Political Economy*, 128:2188–2244.



5. Groen W.P., Lenaerts K., Bosc R., Paguier F. (2017). Impact of digitalization and the on-demand economy on labour markets and the consequences for employment and industrial relations. European Economic and Social Committee. URL: <https://www.eesc.europa.eu/sites/default/files/resources/docs/qe-02-17-763-en-n.pdf>
6. OECD Digital Economy Outlook 2015. (2015). OECD Publishing, Paris, 15 July. URL: [https://www.ecd.org/en/publications/oecd-digital-economy-outlook-2015\\_9789264232440-en.html](https://www.ecd.org/en/publications/oecd-digital-economy-outlook-2015_9789264232440-en.html)
7. Smith A., Anderson J. (2014). AI, robotics, and the future of jobs. Pew Research Center, Washington, D.C. URL: <https://www.pewresearch.org/internet/2014/08/06/future-of-jobs/>
8. Pena-Casas R., Ghailani D., Coster S. (2018). The impact of digitalization on job quality in European public services. The case of homecare and employment service workers. Final report EPSU. URL: <https://www.epsu.org/sites/default/files/article/files/FINAL%20REPORT%20EPSU%20DIGITALISATION%20-%20OSE%20June%202018.pdf>
9. Sandri S., Alshyab N., Shaban M. (2022). The Effect of Digitalization on Unemployment Reduction. *New Medit.* 21 (4). <https://doi.org/10.30682/nm2204c>
10. Yunxia W. Neng H., Yechi M. (2023). The Effect of Digital Economy Development on Labor Employment. *Journal of Global Information Management.* 31 (6). <https://doi.org/10.4018/JGIM.321180>
11. Prytkova E., Petit F., Li D., Chaturvedi S., Ciarli T. (2024). The Employment Impact of Emerging Digital Technologies. CESifo Working Paper № 10955. URL: <https://www.cesifo.org/en/publications/2024/working-paper/employment-impact-emerging-digital-technologies>
12. The Digital Economy and Society Index (DESI). European Commission. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi>
13. Eurostat. URL: <http://www.ec.europa.eu/>.

Дідик І.В.

Запорізький Національний Університет, Запоріжжя, Україна  
ilya.didyk@gmail.com

## ВИРІШЕННЯ МОРАЛЬНО-ЕТИЧНИХ ЗАДАЧ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

**Анотація.** У статті розглянуто проблематику морально-етичних задач та вирішення їх за допомогою штучного інтелекту, увага акцентується на сферах застосування, таких як автономні транспортні засоби, медичні рішення та фінансові системи. Висвітлено приклади моральних дилем, які виникають у цих контекстах, а також нейромережі, що використовуються для розв'язання цих задач.

**Ключові слова:** штучний інтелект, морально-етичні задачі, дилема трамвая, нейромережі.

**Abstract.** The article examines the issues of moral and ethical challenges and their resolution using artificial intelligence, with a focus on applications such as autonomous vehicles, medical decisions, and financial systems. It highlights examples of moral dilemmas that arise in these contexts, as well as the neural networks used to address these challenges.

**Keywords:** artificial intelligence, moral and ethical challenges, trolley dilemma, neural networks.

**Вступ.** Штучний інтелект (ШІ) стрімко розвивається та щільно інтегрується у різні сфери нашого життя, він наразі є одним з ключових інструментів як повсякдення, так і професійної діяльності. Одним із можливих напрямків його застосування є вирішення морально-етичних задач, які виникають у процесі взаємодії з людьми та світом [1]. Такі задачі виникають у багатьох сферах, починаючи з керування автономними

транспортними засобами і закінчуючи медичними рішеннями, які приймаються на основі аналізу великих даних.

**Основна частина.** Однією з найвідоміших морально-етичних задач у сфері ШІ є "дилема трамвая" ("trolley problem", також її називають "проблемою вагонетки"), яка адаптується для автономних транспортних засобів [2]. Дилема полягає в тому, щоб визначити, як автомобіль/вантажівка/автобус має поводитися в ситуаціях, де неминуче трапляється аварія, і потрібно вибрати між більшим та меншим злом. Наприклад, коли потрібно обрати між наїздом на пішоходів та ризиком життя пасажирів, що перебувають в машині. Різні компанії використовують унікальні підходи до цього питання при навчанні своїх ШІ, наприклад Tesla Autopilot першим пріоритетом має мінімізацію шкоди, а другим – безпеку самого водія, в свою чергу Mercedes-Benz Intelligent Drive навпаки в першу чергу має намір захистити водія та пасажирів авто. Uber Advanced Technologies Group зробили крок далі і навчають ШІ саме на етичних дилемах з моделюванням різних ситуацій, максимально зменшуючи ризик для вразливих учасників дорожнього руху.

ШІ також використовується для прийняття медичних рішень, таких як діагностика захворювань або вибір оптимального лікування, профілактики, реабілітації, тощо [4]. Основними викликами перед розробниками є етична стандартизація таких факторів як конфіденційність, прозорість, відповідальність, безпека та справедливість [3]. У цьому контексті виникає морально-етична задача довіри автоматизованим системам прийняття рішень, особливо коли йдеться про життя та здоров'я людини, з одного боку – виникає мінімізація людського фактору, з іншого – невизначеність покладання відповідальності у разі невдалого лікування. Прикладами компанії, що займаються такими питаннями можуть слугувати Deep Mind Health від компанії Google. Їхній ШІ ставить у пріоритет прозорість та відповідальність, обробка медичних даних відбувається з жорстким

шифруванням, акцентуючи увагу на мінімізації використання даних. В той же час запускаються прозорі процеси звітності, що дозволяють пацієнтам контролювати яким чином і задля яких цілей використовуються їхні дані. Компанія IBM зі своїм інструментом Watson Health обрала підхід довіри – рішення фокусується на довірі між лікарями, пацієнтами та технологіями, використовуються механізми анонімізації даних за для конфіденційності. Також компанія IBM підтримує активний діалог з етичними комітетами, такими як IEEE Global Initiative on Ethics of Autonomous and Intelligent Systems та навчає свою мережу відповідно до прийнятих етичних стандартів. Важливо зазначити, що всі компанії, які займаються інтеграцію ШІ у сферу медицини, наголошують на використанні своїх інструментів у контексті підтримки прийняття рішень, а не як остаточних авторитетів.

Використання ШІ у фінансових системах для оцінки кредитоспроможності також піднімає питання етики [7]. Компанії що займаються розробкою та впровадженням ШІ для розрахунку кредитних рейтингів, такі як Fair Isaac Corporation – зазначають, що ключовими морально-етичними дилемами є прозорість, конфіденційність, справедливість/дискримінація. Для вирішення цих проблем застосовують big data моделі, що за допомогою виведених моделей оцінки виконують розрахунок рейтингу та прогнозують вдале повернення кредиту. Коли навіть таких вузько направлених моделей недостатньо – компанії звертаються до сторонніх сервісів як Zest AI та Upstart, що пропонують знижувати ризики з уникненням упереджень та аналізувати нетрадиційні дані такі як освіта та досвід клієнта у різних сферах життя.

**Методи вирішення морально-етичних задач.** Штучні нейронні мережі (нейромережі) є однією з ключових технологій, що використовується для розв'язання морально-етичних задач. Вони можуть навчатися на великих обсягах даних і приймати рішення на основі виявлених патернів [5]. Наразі

пропонується розглянути кілька методів і підходів до вирішення цих задач, та виникаючих проблем.

"Навчання з підкріпленням" ("Reinforcement Learning"), або як його ще називають "Навчання з вчителем" або "Навчання на основі винагороди" – цей метод використовується для навчання агентів ШІ, щоб вони приймали рішення на основі досвіду вчителя, власного досвіду, а також моделюванні наслідків дій. Під час вирішення морально-етичних задач навчені агенти ШІ можуть уникати певних ускладнених ситуацій або мінімізувати ризик.

"Глибинне навчання" ("Deep Learning") також має інтерпретації, такі як "Багатошарове навчання" або "Ієрархічне навчання", що використовуються для розпізнавання складних патернів у великих даних, таких як зображення або текстові дані. Під час навчання нейромережа обирає ту модель поведінки, що є найбільш наближеною до поставленої проблеми і користується набутим досвідом. Такий метод може бути корисним для виявлення упереджень під час прийняття рішень, а також забезпечити етичність класифікації контенту.

Коли метод вирішення задачі було обрано, треба забезпечити йому сприятливий рівень довіри [6], з цим допомагають наступні методи:

а) *візуалізація активацій та фільтрів* дозволяє зрозуміти, як нейромережа обробляє інформацію, шляхом наочного відображення нейронів. Прикладом може слугувати модель, що класифікує зображення і під час роботи виділяє фільтри на шарах, щоб побачити які саме зображення викликають найбільшу активацію.

б) *метод оберненої проєкції* передбачає зворотне проходження сигналу, щоб побачити які частини вхідного зображення найбільше вплинули на прийняте рішення. Як приклад – під час розпізнавання кішки, метод показує, що на прийняте рішення найбільш вплинули вуха та хвіст. Принципово відрізняється від попереднього методу тим, що працює постфактум.

в) *Grad-CAM* або метод градієнтної камери передбачає аналіз великої кількості об'єктів, обраховуючи ступінь значущості, будує градієнтну карту, або карту нормалей для візуалізації більш та менш важливих активаторів. Такий самий принцип роботи також має метод Attention Mechanisms.

г) *LIME* або метод незалежних інтерпретованих пояснень апроксимує рішення складних моделей на більш прості моделі, котрі легше інтерпретувати. Прикладом може виступати класифікація тексту, де модель виокремлює певні слова-тригери, замість глибинного аналізу і на їх основі робить рішення – текст є офіційним чи не офіційним. Схожим чином працює також метод Interpretable Surrogate Models.

г) *SHAP* або пояснення додатків Шеплі – метод заснований на концепції варіанту теорії ігор, що надає кількісні оцінки важливості кожної ознаки об'єкта під час прийняття рішень. Найпоширеніше застосування спіткало цей метод у фінансовій індустрії, де метод враховує такі фактори як рівень доходу, кредитна історія, вік, та їх ступінь впливу.

д) Найбільш просунутий та надійний метод – ХАІ(Explainable AI Frameworks), який включає комплексні підходи та інструменти, розроблені для підвищення прозорості та інтерпретованості моделей ШІ. Такі компанії як IBM та Google власноруч розробляють ХАІ інструменти для пояснення рішень, що приймаються складними моделями, в них враховується не лише перевірка, а й регулювання в мануальному та автоматичному режимах.

**Висновок.** На сьогоднішній день штучний інтелект поступово стає невід'ємною частиною багатьох сфер нашого життя, породжуючи нові морально-етичні виклики. Попередньо розглянуті приклади демонструють, що ШІ має потенціал стати ефективним допоміжним інструментом у повсякденні і професійній діяльності. Тим не менш потрібно не лише отримувати відповіді але й бачити що саме до них призвело, тому що штучний інтелект, звичайно може викреслити людський фактор певної діяльності, але розробляється він теж людиною, котра може помилитись.

Важливо продовжувати удосконалювати технології та підходи, що забезпечують прозорість, відповідальність і справедливість у процесах прийняття рішень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Russell S., & Norvig P. (2020). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.
2. Goodall N. J. (2014). Machine Ethics and Automated Vehicles. *In: Salerno A., et al. (eds) Autonomous Driving*. Springer, Cham.
3. Topol E. (2019). *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. Basic Books.
4. Bostrom N. (2014). *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. Oxford University Press.
5. Moor J. H. (2006). The Nature, Importance, and Difficulty of Machine Ethics. *IEEE Intelligent Systems*, 21(4), pp. 18-21.
6. Floridi L., & Cowls J. (2019). A Unified Framework of Five Principles for AI in Society. *Harvard Data Science Review*, 1(1).
7. Pasquale F. (2015). *The Black Box Society: The Secret Algorithms That Control Money and Information*. Harvard University Press.

**Жадько К.С.**

*Університет митної справи та фінансів, Дніпро, Україна  
kafedrep@gmail.com*

## **ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ АВТОМАТИЗОВАНИХ ОБЛІКОВИХ СИСТЕМ**

**Анотація.** *У статті розглянуто теоретичні та практичні питання організації сучасних інформаційних систем, зокрема автоматизованих облікових систем, їх роль для системи управління на підприємствах різних форм власності. Досліджено аспекти побудови автоматизованого обліку на підприємствах, що інформаційно має забезпечити і водночас з тим удосконалити систему управління діяльності підприємства та вирішити проблемні аспекти розвитку автоматизованих облікових систем.*

**Ключові слова:** *інформаційні система підприємства, автоматизована облікова система, інформаційна система управління, система економічних показників, інформаційна система обліку.*

**Abstract.** *The article discusses theoretical and practical issues of organization of modern information systems, in particular automated accounting systems, their role for the management system at enterprises of different forms of ownership. The aspects of building automated accounting at enterprises are studied, which should provide information and at the same time improve the system of management of enterprise activities and solve problematic aspects of the development of automated accounting systems.*

**Keywords:** *enterprise information system, automated accounting system, management information system, system of economic indicators, accounting information system.*



**Вступ.** Враховуючи динамічний розвиток інформаційних систем, цифровізацію в економіці України, зазначимо, що проблемні аспекти використання цифрових технологій потребують досліджень. Для управління діяльністю підприємства використовують різну за складом, економічним змістом облікову інформацію. Залежно від стану та руху активів і пасивів підприємств у процесі діяльності вона підрозділяється на дані обліку і звітності, що характеризують процеси господарської діяльності підприємств. Наприклад, рух коштів на рахунках, облік виробленої готової продукції чи облік реалізації і відображення в програмному реєстраторі розрахункових операцій (ПРРО).

Щомісячна інформація про кількість і вартість активів і пасивів, тобто господарських засобів і джерел їх утворення, що рухалися в звітному періоді, формуються в первинних документах та певних регістрах обліку бухгалтерії. При цьому вона представляється в розрізі по кожному підрозділу, місцю зберігання і, в цілому, на підприємстві, а також за видами операцій постачання. Зазвичай, сучасні облікові автоматизовані системи, такі як BAS, SAP та інші дозволяють багатовимірну аналітичну інформацію.

**Основна частина.** Тільки автоматизований облік дозволяє оперативно і якісно забезпечити необхідною інформацією систему управління підприємством. Обробка облікових даних по стану та руху активів і пасивів підприємства дозволяє одержати необхідні дані для управління діяльністю підприємства та складання звітності. Кінцева мета такого управління — оптимізація використання ресурсів підприємства. Тому безперечно ці дослідження є актуальними і потребують систематизації.

Оборотні відомості по місцях зберігання і використання активів (складам, цехам), оборотні відомості використовуються для обліку наявності і руху активів, звірки облікових даних з фактичними залишками. Вони містять код і найменування виробничих і не виробничих активів, ціну, одиниці вимірювання, кількість і суму початкового і кінцевого сальдо, а

також обороти по кожному запасу. Відомості використовуються для контролю за наявністю і рухом активів на складах, базах постачання і т.д., для перевірки правильності складського обліку. Важливе значення для управління мають відомості залишків активів і пасивів та порівняння їх в динаміці. Такі аналітичні відомості дозволяють виявити наднормативні надлишки активів по їх видах і місцях зберігання, вжити заходи до їх своєчасного переміщення або реалізації.

Разом з тим облікова інформація про наявність і рух активів і пасивів, що складається за допомогою автоматизованих облікових систем, все ще рідко використовується для вирішення комплексу задач по управлінню діяльністю підприємства.

Такі відомості повинні видаватися на будь-яку дату протягом місяця, але не рідше ніж один раз за десять днів. Дані відомості використовуються для своєчасного виявлення дефіцитних номенклатурних позицій активів і вживання заходів по забезпеченню підприємства матеріальними і паливними ресурсами.

Частина активів чи пасивів може не мати руху протягом певного періоду. При необхідності за допомогою ПК роблять вибірку і групування їх за часом утворення. Відповідна таблиця складається за запитом.

Отже, особливе значення для управління діяльністю підприємства має інформаційне забезпечення сучасною автоматизованою обліковою системою. Вихідними даними такого обліку можуть бути звіт про витрачання активів, план-фактний аналіз про відхилення від норм по видах ресурсів. Ці реєстри видаються, як правило, за запитом по цехах і ділянках з вказівкою причин економії або перевитрати. Інформація, що міститься в таких відомостях, використовується для контролю за витрачанням матеріалів у виробництві і для вирішення комплексу задач по обліку витрат і калькуляції собівартості продукції [1].

Управління діяльністю підприємства включає такі основні аспекти: організацію обліку, визначення і виконання принципів ведення обліку активів і пасивів, облік в розрізі аналітичних даних, категорій, деталізація об'єктів тощо.

Типовими формами первинної облікової документації і реєстрів по обліку активів і пасивів підприємств є документи, в яких фіксується змінна початкова інформація про їх наявність, рух і використання, далі журнал обліку, товарно-транспортні накладні, прибуткові ордери, акти про приймання матеріалів, лімітні, лімітно-забірні карти, вимоги, накладні на внутрішнє переміщення матеріалів і відпуск на сторону, картки складського обліку, реєстри приймання-здачі документів, відомості обліку залишків матеріалів на складі, акти про залишки і на списання витрачених матеріалів відкритого зберігання, сигнальні довідки про відхилення фактичного залишку матеріалів від встановлених норм запасу та інше.

Розвиток автоматизованих облікових систем передбачає наявність:

1. Нормативно-довідкової інформації обліку, що об'єднує зафіксовані дані, наприклад, про номенклатуру запасів, довідник рахунків, субрахунків по обліку матеріальних цінностей і їх найменувань або можливість формування кореспонденцій на підставі первинних документів.

2. Безпосередньо первинні документи та журнали в яких вони зберігаються в ПК чи на сервері підприємства, створюються масиви оборотів, залишків ресурсів підприємства на складі і у виробництві, фактичних залишків на дату інвентаризації. В оборотах фіксується кількість, а потім за наслідками обробки на ПК сума оприбуткованого або відпущеного у виробництво і на сторону конкретного виду матеріалів з вказівкою постачальника або одержувача. Достовірність первинного обліку матеріалів контролюється по видах документації, що відображає їх рух. Перевірка повноти оприбуткування матеріальних цінностей здійснюється шляхом порівняння кількості матеріалів, вказаної в прибутковому ордері,

документах постачальника і транспортних організацій. Всяка розбіжність в документах оприбутковування і оплати повинна бути оформлена актом або аналогічним йому за призначенням документом. Зіставлення даних ваги або маси оприбуткованих вантажів з відповідними показниками транспортних документів дозволить виявити приписки у величині транспортних витрат. Псування матеріалів в дорозі проходження, зокрема від станції (пристані) споживача до складу зберігання, повинна бути оформлена особливим документом.

3. Перевірку правильності витрат здійснюють люди на своїй посадах за робочими містами. Ступінь надійності такого контролю вищий, якщо підрозділ знаходиться на госпрозрахунку і рівень витрат є одним з його показників. Контроль здійснюється за допомогою звітів.

Бухгалтерія має нагоду для подальшого контролю правильності початкової облікової інформації. В умовах застосування автоматизованих облікових систем залежно від масштабів підприємства і ступеня його територіальної роз'єднаності може мати один, два або більше рівнів. При однорівневій системі ведеться централізована бухгалтерія підприємства, де здійснюються всі операції по первинному і бухгалтерському обліку сировини, матеріалів, палива і інших матеріальних цінностей.

При дворівневій і більше рівнів – система бази даних розподіляється на центральну – центральний офіс і периферійні – склади, цехи, бази зберігання і місця споживання матеріальних ресурсів оснащуються терміналами.

Рішення задач в автоматизованих облікових системах здійснюється в наступній послідовності. Спочатку створюється і корегується довідкова інформація, потім робиться документальне оформлення операцій по надходженню і витратах активів чи пасивів підприємства. На закінчення підготовчого етапу корегується оперативна інформація.

У процесі обробки облікових даних за відповідними програмами формуються регламентні документи, в яких, як правило, відображаються підсумки за місяць, розробляються оперативні інформаційні таблиці, видані за запитом, здійснюється обробка файлів з використанням програм формування наростаючих оборотів руху засобів підприємства [2-3].

Досліджуючи розвиток автоматизованих облікових систем та практичні аспекти їх застосування потребують, особливо контролю такі проблемні аспекти:

- 1) технічні проблеми – інтеграція та обмін з зовнішніми системами та безпека тощо;
- 2) організаційні проблеми – навчання персоналу, етапне впровадження змін;
- 3) економічні проблеми – високі витрати на проект, довготривала окупність;
- 4) юридичні проблеми – ліцензійність та регулювання застосування, захист персональних даних.

Отже, з метою удосконалення системи управління пропонуємо автоматизувати облік на підприємстві у вигляді комплексної обробки інформації автоматизованою обліковою системою від складання первинних документів до видачі встановлених звітних даних і інформації за запитом. При цьому в процесі обліку повинні бути забезпечені контроль за закупівлею, наявністю і рухом активів, як наприклад, на рис. 1. У міру розвитку і вдосконалення техніки збору і обробки облікової інформації перелік задач матеріального обліку істотно розширяється і вже в даний час може включати облік переоцінки виробничих запасів, контроль за дотриманням постачальниками договірних зобов'язань, визначення величини ліміту витрат матеріальних ресурсів з урахуванням змін норм і відхилень від них, саме це ілюструє рис. 1.

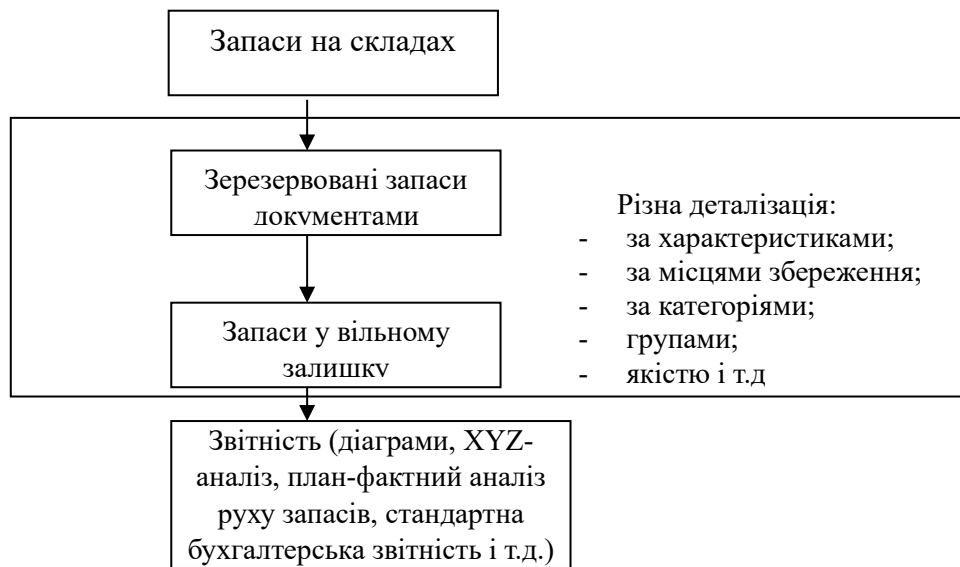


Рисунок 1 – Деталізація облікової інформації по руху матеріальних ресурсів

Організація аналітичного і синтетичного обліку як активів так і пасивів здійснюється по процесах їх формування, руху і використання.

Аналітичний облік надходження включає формування облікових даних про оприбуткування активів на складах за матеріально відповідальними особами. Такий облік ведеться в кількісно-сумовому виразі. За даними аналітичного обліку визначається загальна сума витрат по заготовці і придбанню матеріалів і зведені показники їх оприбуткування. Автоматизована обробка облікових даних процесу заготовки і придбання дозволяє одержати відомості заготовки матеріалів, невідфактурованого постачання, матеріальних цінностей в дорозі. В умовах автоматизації кожна позиція цих звітів може бути представлена детальніше з вказівкою за видами постачальників – постійний, інколи постачає чи не є постійним з вказанням сум і інших елементів змісту документів, на основі яких вони внесені у відомість.

У діючій практиці автоматизації обліку заготовки і придбання матеріальних цінностей застосовують декілька варіантів методологічного і організаційного підходу до рішення сукупності пов'язаних з цим задач. При одному з таких варіантів зіставляються дані прибуткових документів складів і інших місць оприбуткування матеріальних цінностей з інформацією з документів постачальника (рахунків-фактур, платіжних вимог, товарно-транспортних накладних і т.д.). Тим самим контролюється повнота оприбуткування, виявляються кількісні показники невідфактурованих поставок, вартість сировини, матеріалів, палива і інших матеріальних цінностей в дорозі. Облікові дані про невідфактуровані поставки і матеріали в дорозі визначаються як позитивна або негативна різниця між документально обґрунтованими даними по оприбуткуванню матеріальних цінностей і їх оплатою.

Для бухгалтерського обліку, орієнтованого на отримання даних по підсумках за місяць, така методика рахунку цілком прийнятна, хоча і допускає неточності, викликані тим, що оплата рахунків і оприбуткування матеріалів робляться в різні періоди часу. Проте, якщо не було великих коливань в об'ємах поставки і істотно не мінялася структура розрахунків, по підсумку за місяць позитивні і негативні відхилення майже повністю нівелюються.

При оперативному обліку заготовки і придбання різниця у вартості сплачених і оприбуткованих товарно-матеріальних цінностей на будь-яку дату протягом місяця може бути вельми істотною, що веде до виникнення заборгованостей та до втрати довіри. Величину неточності заборгованостей посилює різна оцінка матеріалів, що поступили, на які є документи, і тих, що невідфактуровані. Перші повинні оцінюватися за фактичною собівартістю придбання, а другі — за обліковими цінами.

Організація автоматизованої обробки облікової інформації про наявність і рух активів і пасивів підприємства залежить від діяльності,

спеціалізації, ступеня автоматизації робіт. Так наприклад, на складах всі пристрої зв'язані між собою системою діалогового зв'язку і, по суті, складають єдине ціле. На невеликих або спеціалізованих складах можуть бути локально організовані робочі місця.

Облікова процедура починається із запису інформації з первинного документа за допомогою ПК. На екран дисплея системою команд, що набирають на клавіатурі, викликається форма карти складського обліку. Комірник-оператор набирає на свій особистий пароль, номенклатурний номер матеріалу і починає обробку документів. В процесі розрахунку на екран дисплея в строгій послідовності виводяться найменування кожного чергового реквізиту. Автоматичні «помічники» значно полегшують обробку документів, знижують кількість помилок, підвищують якість облікової роботи. Заповнений рядок після перевірки правильності запису вводиться в пам'ять ПК.

При помилках виявлених в поточному періоді робиться виправлення зробленого раніше запису або додатково вноситься документ-коригування. Всі дії користувача видно на екрані дисплея. Щоденні записи нових даних і корегування нормативно-довідкової інформації забезпечують програмне оновлення масиву аналітичних даних по складу, його постійну інформаційну готовність. Записи і корегування робляться звичайно в кінці робочого дня, коли накопичуються відповідні первинні документи.

**Висновок.** У будь-який час бухгалтер або особа, що має доступ може викликати на екран ПК, яким він користується, записи, перевірити їх і по телефону вказати на неточності і помилки. Виправлення облікових даних складу повинне робиться уповноваженою особою, оскільки він несе відповідальність за достовірність обліку.

Аналітичні звіти, побудовані за формою оборотної відомості, широко поширені в обліку. Їх методична перевага полягає у тому, що в єдиному реєстрі поєднується інформація про залишки, прихід і витрату засобів



підприємства з будь-яким ступенем деталізації в кількісному і вартісному показниках.

Таким чином, сучасний розвиток автоматизованих облікових систем підприємств підвищують вимоги до бухгалтерського обліку, як функції управління що оперативно забезпечує інформацією керівників підприємств про: наявність активів і пасивів по місцях їх зберігання і матеріально відповідальним особам; величину витрат по придбанню і виготовленню активів; план-фактний аналіз; оцінку економічності використання ресурсів підприємства, обчислення витрат; систематичне спостереження за відповідністю фактичної наявності активів встановленим нормам; організацію контролю за використанням ресурсів підприємства і т.д.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Жадько К.С. Сучасні інформаційні системи підприємств. *Вісник Сумського ДАУ. Серія "Фінанси і кредит"*. 2001. №2. С. 252-253.
2. Бутова, Т. А. Моніторинг та діагностика діяльності підприємств харчової промисловості: теорія, методологія, практика : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня д-ра екон. наук : [спец.] 08.00.04 - економіка та управління підприємствами (за видами екон. діяльн.) / Бутова Тетяна Андріївна; Міжнародний ун-т бізнесу і права. Херсон, 2012. 36 с.
3. Жадько К.С., Сірко А.Ю. Діагностика стану господарської діяльності суб'єкта господарювання. Науковий погляд: економіка та управління. 2018. №1 (59). doi: <https://doi.org/10.32836/2521-666X/2018-1-59-7>.

Заславський В.А., Волохович І.І.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
[zaslavskyi.volodymyr@knu.ua](mailto:zaslavskyi.volodymyr@knu.ua), [vol\\_igor@knu.ua](mailto:vol_igor@knu.ua)

## ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ ТА ВІЙСЬКОВИХ КОНФЛІКТІВ НА БЕЗПЕКУ ТА ЖИТТЄДІЯЛЬНІСТЬ БДЖОЛИНИХ СІМЕЙ

**Анотація.** У цьому дослідженні розглянуто важливість підтримки важливої галузі, саме бджільництва, як основи для забезпечення продовольчої безпеки, екосистеми та біорізноманіття, а також проаналізовано сучасні проблеми, з якими стикається ця галузь. Дослідження зосереджується на двох основних проблемах – проблемі глобального потепління та наслідків військових дій. Перераховано наслідки зміни клімату, через які популяція бджіл може мігрувати в інші регіони, або ж відбуваються порушення взаємозв'язку між рослинами та запилювачами, а також зменшення кількості та різке зниження якості продуктів бджільництва. Досліджено наслідки війни, а саме фізичне руйнування пасік і вуликів із бджолами, забруднення навколишнього середовища внаслідок воєнних дій і переселення бджолярів. Крім того, розглянуто можливі шляхи трансформації та відродження галузі бджільництва, зосереджуючись на використанні сучасних технологій, таких як використання супутникових даних для моніторингу територій, машинне навчання для аналізу даних моніторингу та прийняття рішень.

**Ключові слова:** бджільництво, зміна клімату, здоров'я бджолиних сімей, моніторинг територій, машинне навчання на основі супутникових даних, автоматизація, біорізноманіття.

**Abstract.** This study assesses the extent to which beekeeping contributes to food security, ecosystems, and biodiversity as well as understanding the challenges encountered by this sector. The study puts emphasis on two factors of

*interest- the phenomenon of global warming and the phenomenon of war. The effects of climate change were addressed, which might lead to the migration of bee colonies to different areas, interrupted flower-bee relationships, or lowered and poorer biotic products. The effects of the war are being researched, concerning the loss of beekeeping-related assets, adverse effects of warfare on environment, and beekeepers' mobility out of their homes. In addition, the study looks for ways to curtail and bring about a new look in the beekeeping sector willing to take up current advancements in satellite imagery and machine learning.*

***Keywords:** beekeeping, climate change, health of bee colonies, territory monitoring, machine learning based on satellite data, automation, biodiversity.*

**Вступ.** Бджільництво – це багатофункціональна робота та догляд за бджолами та вуликами для бджолиних сімей, які є дуже важливим для суспільства та економіки завдяки здатності бджіл запилювати рослини, а також створювати різномантні корисні продукти бджільництва. Бджоли відіграють важливу роль у відтворенні квіткових рослин і сільськогосподарських культур: понад 87 % квіткових видів у всіх куточках світу і 75 % продовольчих культур залежать від запилення [1]. Медоносна бджола (*Apis mellifera*) є найпоширенішим запилювачем і має велике значення для забезпечення запилення сільськогосподарських культур і продовольчої безпеки [2-6]. Окрім запилення, бджоли також приносять користь у вигляді різних продуктів, включаючи мед, віск, прополіс, маточне молочко, пилок тощо. Мед є найбільш відомим для всіх людей здоровим продуктом харчування, загальний річний обсяг виробництва якого в усьому світі оцінюється приблизно в 1,85 млн тон. Мед використовувався протягом багатьох століть як природний підсолоджувач, а також у народній медицині завдяки своїм антибактеріальним властивостям [7]. Бджолиний віск є ще одним важливим продуктом, який використовується для приготування

косметики, виготовлення свічок і оброблення продуктів харчування [8]. Діяльність бджіл і процесі запилення мають помітний і позитивний вплив на навколишнє середовище, покращуючи екосистему та біорізноманіття. Більшість рослин (87,5%), що цвітуть, відвідуються саме бджолами [9].

Акт запилення не тільки забезпечує відтворення дикорослих квіткових рослин, але й сприяє збереженню генетичного різноманіття та стійкості екосистем [1]. Але в останні роки кількість бджолиних сімей зменшується через такі фактори, як втрата місць проживання, надмірне використання пестицидів і зміна клімату [10]. Глобальне потепління призводить до негативних наслідків через зменшення кількості запилювачів, таких як зниження виробництва сільськогосподарських культур, підвищення цін на продукти харчування, а також зменшення різноманітності рослин. Щоб зменшити ці загрози, необхідно вживати розумних заходів щодо захисту природних ресурсів та відповідних нових методів утримання бджіл [11].

**Основна частина.** Зміна клімату впливає на бджільництво, поведінку бджіл у різних кліматичних регіонах і кількість та якість продуктів, зібраних з вуликів. З глобальним потеплінням і мінливістю клімату бджолам стає важче пристосовуватись в наявних умовах. Зміна клімату призводить до зміни періоду цвітіння рослин, що вимагає одночасного перебування бджіл і квітів. Це сценарій, який може не відбутися, коли час цвітіння рослин аномально зміщується до часу появи бджіл. Така невідповідність призводить до низької кількості врожаю та меду і продуктів бджільництва. Кліматичні зміни також впливають на чисельність і поширення видів бджіл, адже деякі види не можуть вижити при вищій температурі. Через зміну клімату багато бджолиних сімей переміщуються на більш високі території та далі на північ, ніж там, де вони жили [12]. Однак, деякі види бджіл не здатні адаптуватись, що призводить до їх локального вимирання та втрати запилення [13]. Нарешті, щоб зменшити вплив зміни клімату на практику розвитку культури

бджільництва, важливо використовувати різні види бджіл і контролювати регіони, в яких різні бджоли будуть взаємодіяти.

Відповідно до принципу різнотипності, велика кількість видів бджіл може покращити послуги запилення, а також стійкість екосистем, спрямованих на збереження бджіл [14]. Крім того, різноманітність диких бджіл сприятливо впливає на врожайність, а отже, необхідно захистити широкий спектр бджолиних видів [7]. Щоб сприяти ефективному запиленню в своїх ареалах, ці бджоли, як правило, є більш ефективними в кліматах, для яких вони були відбрані. Наприклад, європейська медоносна бджола (*Apis mellifera*) домінує в помірному кліматі, тоді як гібридизація виду з африканізованою медоносною бджолою (*Apis mellifera scutellata*) найкраще розвивається в теплих регіонах [15]. Для надання послуг із запилення надзвичайно важливо зберегти цілий ряд видів бджіл, щоб мати можливість їх розташовувати на територіях з різними кліматом і ландшафтами. Зміни погодних умов у зв'язку зі зміною клімату впливає не лише на кількість бджіл, але й на кількість та якість продуктів бджільництва. Підвищені температури здатні змінити складову меду за допомогою мікробного фактора мурашок, таким чином ринкова вартість меду може знецінитися. Крім того, розвиток рослин і фенологія рослини щодо виробництва нектару можуть поставити під загрозу кількість виробленого меду. Підвищення температури та зміни режиму опадів, пов'язані зі зміною клімату, також впливають на продуктивність бджільництва. Тому необхідно наголошувати на принципах адаптивного управління в умовах зміни клімату, а також на стійкому управлінні. Такі практики, які орієнтовані на управління, включатимуть захист рослин від впливу пестицидів, моніторинг здоров'я бджіл і залучення різноманітних квіткових джерел [4]. Збереження природних середовищ існування та створення сприятливих для запилювачів ландшафтів також здатні допомогти зберегти різноманітність та стійкість бджіл [16]. Військові конфлікти мають серйозні та довгострокові наслідки

для бджільництва, бджіл і продуктів бджільництва. Руйнування інфраструктури, переміщення населення та забруднення навколишнього середовища, пов'язані зі збройними конфліктами, порушують практики бджільництва та загрожують популяції бджіл. Важкі метали та інші забруднюючі речовини, що виділяються під час військових дій, здатні накопичуватися в продуктах бджільництва, становлячи ризик для здоров'я людини та навколишнього середовища [17]. Використання хімічної зброї та інших токсичних речовин під час конфліктів мають руйнівний вплив на бджіл та інших запилювачів. Крім того, хімічні речовини впливають на здоров'я бджіл та різко збільшують їх смертність, зменшують кормову здатність та ослаблюють імунну функцію [5]. У постраждалих від військових конфліктів регіонах знищення природних середовищ існування та сільськогосподарських угідь зменшує доступність квіткових ресурсів для бджіл. Як приклад, зменшення популяції бджіл у зруйнованих війною районах Балкан частково пояснюється втратою придатних місць існування для корму. Переміщення бджолярів під час конфліктів також порушує безперервність практики бджільництва та передачу знань. Існують проблеми, з якими стикаються бджолярі на постконфліктних території, включаючи втрату вуликів, обладнання та традиційних навичок бджільництва. У деяких випадках військові конфлікти можуть призвести до непередбачених наслідків для популяції бджіл. Деякі дослідження показали, що демілітаризована зона між Північною Кореєю та Південною Кореєю, створена після Корейської війни, стала несподіваним притулком для біорізноманіття, включаючи кілька видів бджіл, що знаходяться під загрозою зникнення [18]. Незважаючи на виклики, пов'язані з військовими конфліктами, бджільництво відіграє важливу роль у постконфліктному відновленні та зусиллях з розбудови миру. Щоб пом'якшити вплив військових конфліктів на бджільництво та популяцію бджіл, необхідно розробити стратегії захисту бджіл та їх середовища проживання в зонах

конфлікту. Це може включати створення територій, що охороняються та сприяння сталим методам бджільництва та підвищення обізнаності про важливість запилювачів. З іншого боку, останні досягнення в галузі технологій, такі як наявність якісних даних супутникового моніторингу територій, стрімка еволюція машинного навчання, штучний інтелект та глобальний тренд автоматизації, пропонують багатообіцяючі рішення для моніторингу та пом'якшення впливу кліматичних змін і військових дій на бджіл і бджільництво. Використовуючи ці інструменти, дослідники та природоохоронні структури можуть розробити ефективніші стратегії захисту бджіл та їхнього середовища проживання. Аналіз, проведений за допомогою супутникових зображень і методів дистанційного зондування, є ефективним при вивченні різних впливів глобальної зміни клімату та війни на популяцію бджіл та їхнє середовище. Після внесення необхідних змін, дослідники зможуть визначити зони, схильні до ризику для популяції бджіл, і розробити відповідні заходи збереження. Машинне навчання та штучний інтелект можна застосовувати для вивчення та прогнозування реакції бджіл на зміну клімату та бойові дії шляхом аналізу супутникових зображень та інших наборів даних про навколишнє середовище. Таку методику можливо використати для оцінки поширення інвазивних видів бджіл після зміни клімату та їх вигідного розподілу [19]. Також, ця методика допомагає визначити регіони, які, ймовірно, зіткнуться зі змінами розподілу видів, викликаними зміною клімату, що вплине на популяції місцевих бджіл. Процес розуміння тенденцій і динаміки популяції бджіл у зв'язку зі змінами, спричиненими зміною клімату та війнами, можна спростити за допомогою автоматизації та цифровізації. Оцінка стану та дій бджіл у режимі реального часу може здійснюватися певною мірою за допомогою автоматизованих систем, таких як електронний моніторинг вуликів і використання дронів, які можуть бачити та досліджувати життєдіяльність бджіл у вуликах. Ці пристрої допоможуть пасічникам і вченим якнайшвидше помітити

попереджувальні ознаки стресу для сімей бджіл і допоможуть зупинити втрату, перш ніж вона станеться. Варто згадати розробку інструментів сегментації полів сільського господарства з використанням методів глибокого навчання для використання у вирішенні задач точного бджільництва, таких як оптимізоване розміщення вуликів [20]. Використання супутникових зображень і даних часових рядів у поєднанні з машинним навчанням і методами штучного інтелекту та використанням технологій можна використовувати для ефективної боротьби зі зміною клімату та загрозами військової діяльності для бджіл [21]. Для вирішення таких проблем, наприклад, є потреба у створенні платформ, які використовують безпілотний літальний апарат (БПЛА) і технології глибокого навчання, із супутниковими зображеннями, для моніторингу здоров'я та екології бджіл у зонах бойових дій. Такі підходи можуть однаково визначити, яким природоохоронним заходам слід віддати пріоритет і де. Однак, незважаючи на те, що використання технологій і технологічних рішень є важливим, все ще залишається питання про те, як також можна зменшити наслідки військових дій зміни клімату на бджіл. Крім того, дослідники, бджолярі та місцеві жителі повинні бути скоординовані для розробки ефективної стратегії захисту бджіл та їхніх екосистем [6], захисту від кліщів. Як приклад, це включає потребу заохочувати належне землекористування, необхідність створення охоронюваних територій і навчання людей щодо бджіл як корисних комах, як для навколишнього середовища, так і для людини.

**Висновок.** Підводячи підсумок, неможливо переоцінити важливість бджільництва; воно забезпечує глобальну продовольчу безпеку, підтримує біорізноманіття та сприяє екосистемним процесам. Однак є реальні загрози для бджіл, а також для бджільницького сектору, наприклад, зміна клімату, військові конфлікти та інші явища, спричинені діяльністю людини. Зміна клімату може змінити географічний розподіл і кількість бджолиних груп,



змінити відносини між певними рослинами та бджолами, а також призвести до низької якості та кількості продуктів бджільництва. Військові конфлікти, в той час, можуть призвести до фізичного знищення інфраструктури, необхідної для бджільництва, забруднення та переселення людей, які займаються бджільництвом. Ці виклики лякають, але їх можна подолати, щоб підтримувати бджільництво в майбутньому, використовуючи відповідні адаптивні технології. При цьому стане можливим покращення ефективності галузі бджільництва за допомогою високих технологій: машинного навчання, штучного інтелекту та автоматизації. Поєднуючи нові підходи із залученням суспільства, науковців і природоохоронних структур, стає можливим розроблення ефективніших засобів захисту бджіл та їх середовища проживання в поточній глобальній ситуації. Найважливіше те, що захист бджіл і екосистемних послуг, які вони надають, знаходиться в руках усіх, хто бере участь, включаючи бджолярів, науковців з питань бджіл, державних регуляторів та представників громадськості, що, як наслідок, сприятиме довгостроковому збереженню бджіл і глобальної системи харчування та її безпеки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Potts S. G., Biesmeijer J. C., Kremen C., Neumann P., Schweiger O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345–353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
2. Klein A.-M., Vaissière B. E., Cane J. H., Steffan-Dewenter I., Cunningham S. A., Kremen C., & Tscharntke T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1608), 303–313. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>
3. Osterman, J., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Bosch, J., Howlett, B. G., Inouye, D. W., Jung, C., Martins, D. J., Medel, R., Pauw, A., Seymour, C. L., & Paxton, R. J. (2021). Global trends in the number and diversity of managed pollinator

- species. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 322, 107653. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107653>
4. Potts, S. G., Imperatriz-Fonseca, V., Ngo, H. T., Aizen, M. A., Biesmeijer, J. C., Breeze, T. D., Dicks, L. V., Garibaldi, L. A., Hill, R., Settele, J., & Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540(7632), 220–229. <https://doi.org/10.1038/nature20588>
  5. Kešnerová, L., Emery, O., Troilo, M., Liberti, J., Erkosar, B., & Engel, P. (2020). Gut microbiota structure differs between honeybees in winter and summer. *The ISME Journal*, 14(3), 801–814. <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0568-8>
  6. Brown, M. J. F., Dicks, L. V., Paxton, R. J., Baldock, K. C. R., Barron, A. B., Chauzat, M.-P., Freitas, B. M., Goulson, D., Jepsen, S., Kremen, C., Li, J., Neumann, P., Pattemore, D. E., Potts, S. G., Schweiger, O., Seymour, C. L., & Stout, J. C. (2016). A horizon scan of future threats and opportunities for pollinators and pollination. *PeerJ*, 4, e2249. <https://doi.org/10.7717/peerj.2249>
  7. Meo, S. A., Al-Asiri, S. A., Mahesar, A. L., & Ansari, M. J. (2017). Role of honey in modern medicine. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(5), 975–978. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.12.010>
  8. Bradbear, N. (2009). Bees and their role in forest livelihoods A guide to the services provided by bees and the sustainable harvesting, processing and marketing of their products. *Production and Trade of Beeswax (Chapter 10)*, FAO.
  9. Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321–326. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x>
  10. Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E. L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229), 1255957. <https://doi.org/10.1126/science.1255957>
  11. Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., Cunningham, S. A., Kremen, C., Carvalheiro, L. G., Harder, L. D., Afik, O.,

- Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N. P., Dudenhöffer, J. H., Freitas, B. M., Ghazoul, J., Greenleaf, S., ... Klein, A. M. (2013). Wild Pollinators Enhance Fruit Set of Crops Regardless of Honey Bee Abundance. *Science*, 339(6127), 1608–1611. <https://doi.org/10.1126/science.1230200>
12. Kerr, J. T., Pindar, A., Galpern, P., Packer, L., Potts, S. G., Roberts, S. M., Rasmont, P., Schweiger, O., Colla, S. R., Richardson, L. L., Wagner, D. L., Gall, L. F., Sikes, D. S., & Pantoja, A. (2015). Climate change impacts on bumblebees converge across continents. *Science*, 349(6244), 177–180. <https://doi.org/10.1126/science.aaa7031>
13. Schweiger, O., Biesmeijer, J. C., Bommarco, R., Hickler, T., Hulme, P. E., Klotz, S., Kühn, I., Moora, M., Nielsen, A., Ohlemüller, R., Petanidou, T., Potts, S. G., Pyšek, P., Stout, J. C., Sykes, M. T., Tscheulin, T., Vilà, M., Walther, G., Westphal, C., ... Settele, J. (2010). Multiple stressors on biotic interactions: How climate change and alien species interact to affect pollination. *Biological Reviews*, 85(4), 777–795. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2010.00125.x>
14. Winfree, R., Reilly, J. R., Bartomeus, I., Cariveau, D. P., Williams, N. M., & Gibbs, J. (2018). Species turnover promotes the importance of bee diversity for crop pollination at regional scales. *Science*, 359(6377), pp. 791-793. <https://doi.org/10.1126/science.aao2117>
15. Winston, M. L. (1992). The Biology and Management of Africanized Honey Bees. *Annual Review of Entomology*, 37(1), pp. 173-193. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.37.010192.001133>
16. Garibaldi, L. A., Carvalheiro, L. G., Leonhardt, S. D., Aizen, M. A., Blaauw, B. R., Isaacs, R., Kuhlmann, M., Kleijn, D., Klein, A. M., Kremen, C., Morandin, L., Scheper, J., & Winfree, R. (2014). From research to action: Enhancing crop yield through wild pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(8), 439–447. <https://doi.org/10.1890/130330>

17. Formicki, G., Greń, A., Stawarz, R., Zyśk, B., & Gał, A. (2013). Metal Content in Honey, Propolis, Wax, and Bee Pollen and Implications for Metal Pollution Monitoring. *Pol. J. Environ. Stud.*, 22(1), pp. 99-106.
18. Koh, I., Lonsdorf, E. V., Williams, N. M., Brittain, C., Isaacs, R., Gibbs, J., & Ricketts, T. H. (2016). Modeling the status, trends, and impacts of wild bee abundance in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(1), 140–145. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517685113>
19. Matias, D. M. S., Leventon, J., Rau, A.-L., Borgemeister, C., & Von Wehrden, H. (2017). A review of ecosystem service benefits from wild bees across social contexts. *Ambio*, 46(4), 456–467. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0844-z>
20. Volokhovych, I. (2024). Deep learning-based approaches of agricultural image segmentation. *Наука і Техніка Сьогодні*, 7(35). [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-7\(35\)-646-660](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2024-7(35)-646-660)
21. Volokhovych, I., & Zaslavskyi, V. (2024). Usage of satellite data for optimizing business-processes in beekeeping. *Grail of Science*, 36, 256–258. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.16.02.2024.041>

**Кушнір А.С., Духновська К.К.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
anastasiia\_kushnir@knu.ua, kseniia.dukhnovska@knu.ua*

## **ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА «УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ В НАУКОВІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ»**

**Анотація.** У роботі розглядається проектування і реалізація хмарного застосунку «Управління персоналом в науковій організації», який успішно відповідає всім поставленим вимогам. Завдяки правильно налаштованій системі авторизації та реєстрації користувачів забезпечено високий рівень безпеки та контролю доступу до функціоналу, що дозволяє лише зареєстрованим користувачам виконувати відповідні дії, які відповідають відповідному рівню доступу. Автоматизований процес керування даними, що зберігаються в довідниках, значно спрощує роботу з великими обсягами інформації, забезпечуючи точність та актуальність даних.

**Ключові слова:** інформаційна система управління персоналом.

**Abstract.** *In the course of implementing this project, the application "Human Resource Management in a Scientific Organization" was developed, which successfully meets all the requirements that were set. Thanks to the properly configured user authorization and registration system, a high level of security and access control to functionality is ensured, allowing only registered users to perform corresponding actions that correspond to the appropriate level of access. The automated process of managing data stored in reference books significantly simplifies working with large volumes of information, ensuring the accuracy and relevance of the data.*

**Keywords:** *Human Resource Information System (HRIS).*

---

**Вступ.** З огляду роботи персоналу в науковій організації та яким чином виконуються роботи, що пов'язані зі створенням різної документації, було вирішено розробити власне програмне забезпечення, яке допоможе здійснювати багато процесів більш автоматизовано. Постає питання зручності для співробітників наукової організації, тому що не існує ще така надто гнучка система, яка буде стовідсотково підходити для будь-яких користувачів [1]. Тобто актуальність у розробленні такої програми є досить значна, а потреба в такому програмному забезпеченні є критично важлива, оскільки постає достатньо складне завдання: покращити автоматизацію багатьох процесів, що пов'язані з документуванням наукової організації [2].

**Огляд наявних систем.** Є багато аналогів щодо подібних систем, оскільки їх актуальність для автоматизації роботи наукових організацій зростає з кожним днем. Тому перед створенням цього веб-застосунку було розглянуто ряд методів і рішень для такої задачі.

Першим з розглянутих аналогів є програмний продукт «BAS Бухгалтерія» [3] (рис. 1), що є польсько-українською розробкою. Це програмне забезпечення призначено для автоматизації бухгалтерського і податкового обліку, зокрема й підготовки обов'язкової звітності, в організаціях, що здійснюють будь-які види комерційної діяльності: гуртову і роздрібну торгівлю, комісійну торгівлю, надання послуг, виробництво тощо. Бухгалтерський та податковий облік ведеться відповідно до чинного законодавства України. «BAS Бухгалтерія» має ряд переваг, що роблять цю систему поширеною серед користувачів. Однією з основних є автоматизація бухгалтерського обліку, що значно спрощує роботу та знижує ризик помилок. Програма дозволяє своєчасно враховувати зміни в податкових та облікових нормах. Вона також забезпечує гнучкість завдяки своїй структурі, дозволяючи користувачам вибирати потрібні функції відповідно до потреб бізнесу.



Рисунок 1 – Програма для введення документації BAS

Проте, недоліками є складність освоєння для новачків через велику кількість функцій, що може вимагати додаткового навчання. Також програма може бути вартісною для наукових організацій, оскільки охоплює функції, що можуть бути не потрібними для них.

Іншим аналогом було розглянуто «My Electronic Document» [4] (рис. 2) – це поширене вітчизняне програмне забезпечення для подання звітності до контролюючих органів та обміну юридично значущими первинними документами між контрагентами в електронному вигляді. Програма «My Electronic Document» призначена для: подання звітності до українських контролюючих органів та для реєстрації податкових накладних та юридично значущого електронного документообігу. Дане програмне забезпечення пропонує зручний інструмент для автоматизації звітності, що дозволяє швидко формувати та подавати звіти до державних органів, таких як ДПС чи Пенсійний фонд. Завдяки електронному документообігу, користувачі можуть обмінюватися документами з іншими компаніями з використанням електронного підпису, що робить процес більш оперативним і надійним.

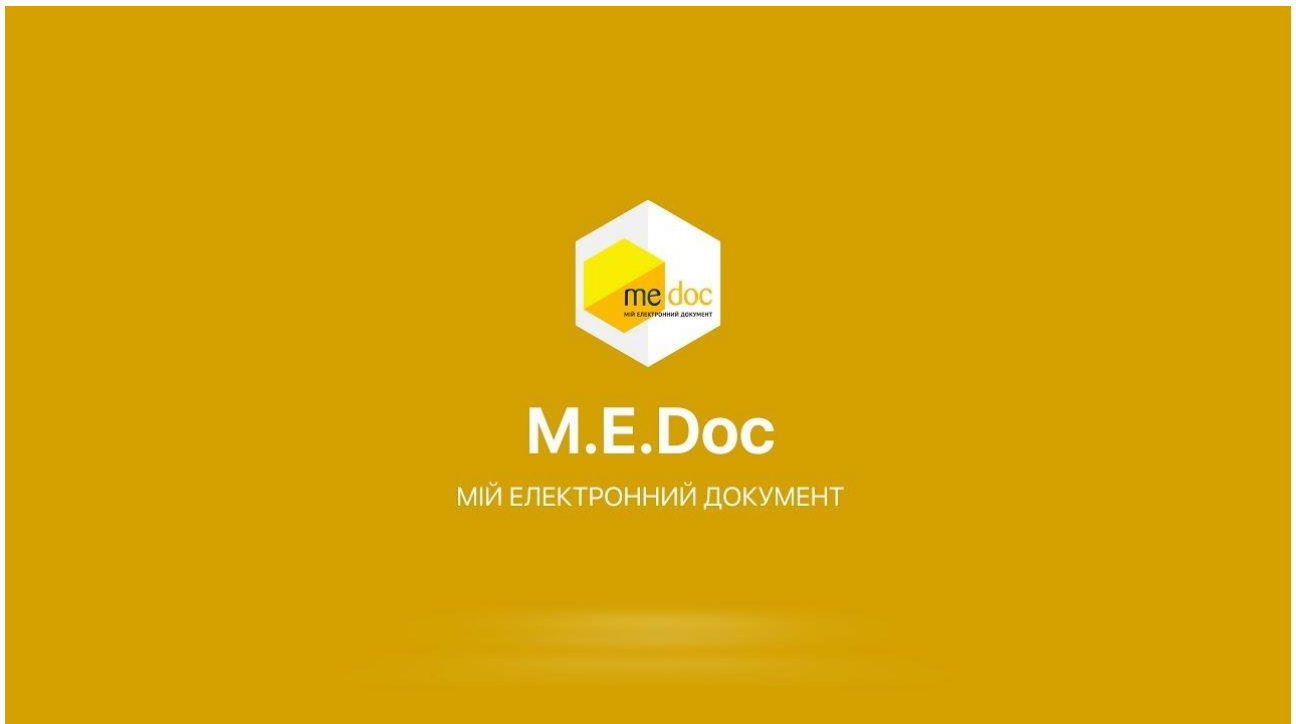


Рисунок 2 – «My Electronic Document», програма для подання звітності

Однак, є і недоліки. Одним з таких є відносна складність інтерфейсу, що може бути важким для освоєння новими користувачами без попереднього досвіду. Крім того, вартість ліцензії та додаткових модулів може бути високою для наукових організацій, особливо якщо необхідно використовувати повний спектр функцій.

Розглянувши ще кілька подібних застосунків, було зроблено висновок, що кожне програмне забезпечення не є досконалим і кожен подібний застосунок потребує вдосконалення, саме тому було вирішено розробити власний зі всіма поставленими вимогами.

**Основна мета** полягає в автоматизації та оптимізації процесів управління персоналом у науковій організації з метою підвищення ефективності роботи, забезпечення прозорості та доступності інформації про співробітників, а також створення сприятливих умов для розвитку наукового потенціалу.



Для досягнення мети було поставлене завдання – спроектувати інформаційну систему «Управління персоналом в науковій організації». Оскільки це досить складне завдання, тому що потрібно розробити систему для наукової організації, яка буде чітко відповідати всім поставленим вимогам, тому необхідно провести детальний аналіз та спроектувати подальший план роботи над розробкою даного програмного забезпечення.

Загалом, система повинна дозволяти ефективну роботу з даними всіх співробітників наукової організації. Однією з ключових складових системи є добре налаштована CRUD-система, а саме створення, читання, оновлення та видалення записів всіх довідників, що будуть наявні у даній системі для наукової організації. Повинна бути чітко згенерована робота для управління даними вищих навчальних закладів, факультетів, спеціальностей, фізичних осіб і їхньої освіти. Система повинна також підтримувати свою головну роботу з управління даними співробітниками, забезпечуючи надійну обробку їхніх особистих даних та інформації про кваліфікацію та досвід.

Надалі з цією всією наявною інформацією потрібно правильно працювати та забезпечити візуально простий інтерфейс для користувачів системи. Слід забезпечити надійну роботу із створенням різної документації для системи. Перш за все потрібно налаштувати систему для генерації різного виду звітності та наказів. До прикладу, наказ про прийом на роботу, де обов'язково будуть дані, як номер наказу, дата створення наказу та всі інші дані співробітника, якого приймають на роботу і того, хто приймає на роботу. Також необхідно створити багато й інші, до прикладу, наказ про переведення на іншу роботу, де будуть дані про номер наказу, дата створення, всі дані співробітника, а головні дані – це про стару та нову посаду. Ще одним із найважливіших наказів буде наказ про звільнення, де буде присутня так само вся інформація, що наявна і в попередніх документах.

Таким чином буде вдало та структурно організована робота даної системи. Користувачам повинен бути наданий мінімалістичний інтерфейс зі всім вищепереліченим функціоналом, що забезпечити надійну роботу системи.

**Стек технологій.** Серед багатьох мов програмування було обрано найбільш оптимальну та гнучку, а це саме С#, що є однією з широко використовуваних мов для розробки програмного забезпечення. Це об'єктно-орієнтована мова, що забезпечує високу продуктивність і надійність, а також підтримує сучасні концепції програмування. Середовище Visual Studio є потужним інтегрованим середовищем розробки, яке ідеально підходить для розробників. Visual Studio пропонує багатий набір інструментів для написання, відлагодження і тестування коду, що значно підвищує продуктивність розробника та спрощує процес розробки. Вибір фреймворку ASP.NET для веб-розробки обґрунтований його високою продуктивністю та потужними можливостями для створення масштабованих і безпечних веб-додатків. Даний фреймворк надає зручну систему маршрутизації, підтримку моделі MVC, що забезпечує можливість постійного вдосконалення програми без втручання в код, що був розроблений раніше.

Таким чином, вибір мови програмування С# з використанням фреймворку ASP.NET та середовища Visual Studio для даного проекту, що буде розроблений для наукової організації, забезпечить високу продуктивність розробки, надійність і масштабованість програмного забезпечення, що дозволить створити потужне програмне забезпечення з багатим функціоналом і сучасними можливостями.

**Проектування інформаційної системи «Управління персоналом в науковій організації».** Проектування даної системи потребує досить високої організації бази даних, яка буде головним компонентом для роботи із системою. Слід якісно та чітко організувати всі класи та їхні

взаємозв'язки. База даних повинна містити інформацію про вищі навчальні заклади, факультети, спеціальності, фізичних осіб, їхньої освіти та найголовніше – інформацію про співробітників. Для цього потрібно створити ряд таблиць та правильно їх скомпонувати.

Перш за все потрібно створити базу даних для відділу кадрів, яка буде містити такі таблиці як: наукові ступені, наукові звання, категорії та розряди. Також, щоб чітко організувати роботу з розділами та розкладом в науковій організації, необхідно створити ряд наступних таблиць: групи підрозділів, підрозділи, посади та штатний розклад. Це зменшить ризик плутанини в системі та забезпечить чіткість вибору необхідних даних для роботи. Наступним кроком у створенні автоматизованої системи буде організація таблиць, які безпосередньо вже потрібні для повної роботи системи. До переліку даних таблиць належать вищі навчальні заклади, факультети, спеціальності, фізичні персони, співробітники та освіти фізичних осіб, де потрібно організувати роботу з вибором видів освіти та кваліфікації. Це значно зменшить ризик виникнення помилок при організації та створенні різних документів, оскільки вся необхідна інформація буде автоматично братись із правильно структурованих і належним чином організованих таблиць. Автоматизація цього процесу сприяє ефективнішій роботі з документами, значно прискорює їх створення та зменшує навантаження на співробітників, відповідальних за обробку даних.

**Реалізація.** Для чіткого розуміння того, яким чином повинна функціонувати система, необхідно детально розглянути кожен етап її розробки та впровадження. Важливо провести аналіз потреб користувачів та визначити ключові аспекти функціоналу системи для наукової організації. Для початку необхідно визначитись з чітким функціоналом, найкращим інструментом для візуалізації функціональних вимог є діаграма використання, саме вона дозволить чітко відобразити всі взаємодії між користувачами та системою (рис. 3).

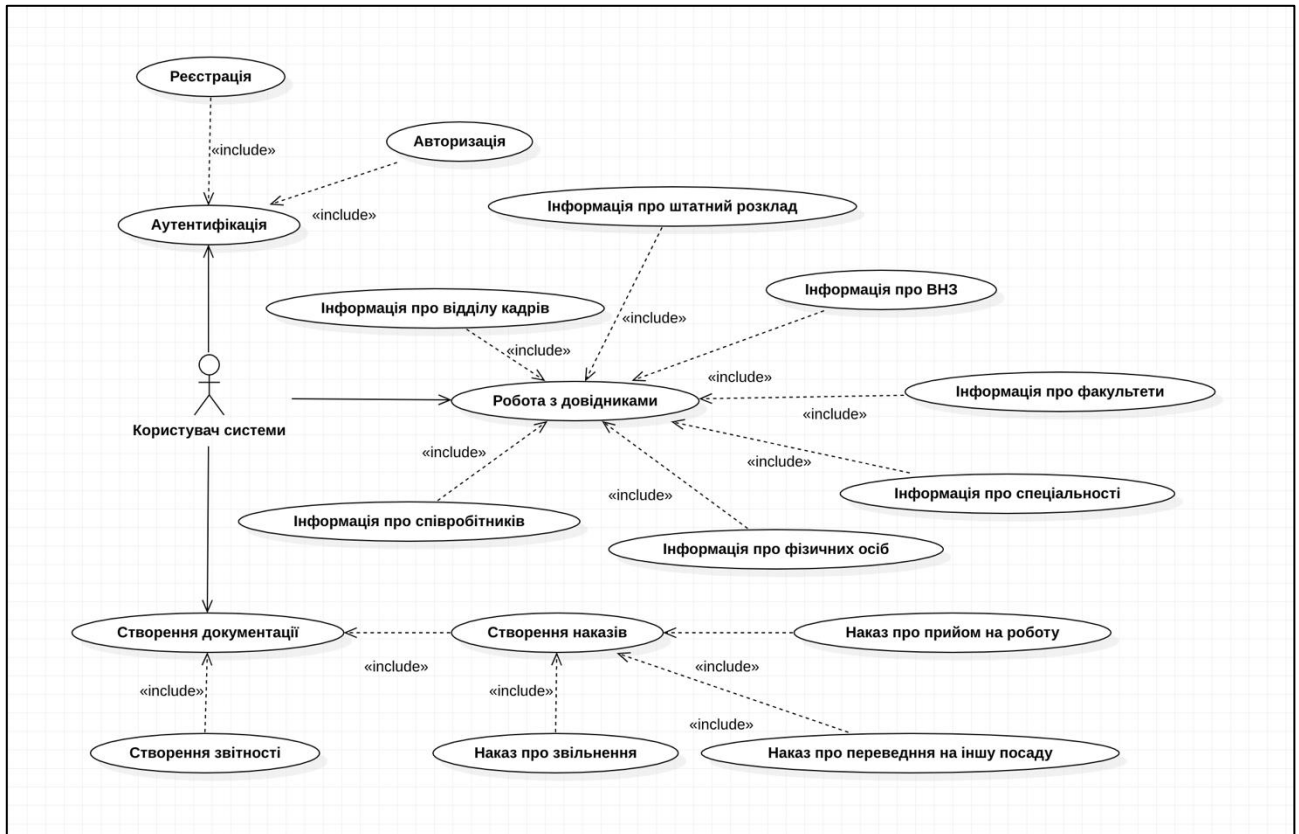


Рисунок 3 – Діаграма використання

Діаграма використання для системи «Управління персоналом в науковій організації» відображає взаємодію користувача з різними функціями системи. Основний процес починається з реєстрації та авторизації користувачів, що дозволяє забезпечити безпеку доступу до системи. Після авторизації користувач отримує доступ до основних функцій, таких як робота з довідниками, де можна переглядати та редагувати інформацію про відділ кадрів, штатний розклад, вищі навчальні заклади, факультети, спеціальності, фізичних осіб та співробітників. Користувачі системи також мають можливість створювати документи, серед яких ключове місце займають накази про прийом на роботу, переведення на іншу посаду та звільнення. Крім того, система підтримує функціонал для створення різних звітів, що дозволяє автоматизувати процес документообігу в науковій організації.

Взаємодія між користувачем і всіма цими функціями побудована таким чином, щоб забезпечити легке та ефективне керування інформацією про персонал, а також швидке генерування необхідної документації на основі даних, що зберігаються в системі.

Діаграма компонентів (рис. 4) для системи «Управління персоналом в науковій організації» ілюструє ключові елементи, що складають структуру додатку, а також зв'язки між цими компонентами. Основним центральним елементом є сам додаток «Управління персоналом в науковій організації», який взаємодіє з кількома базами даних та підсистемами.

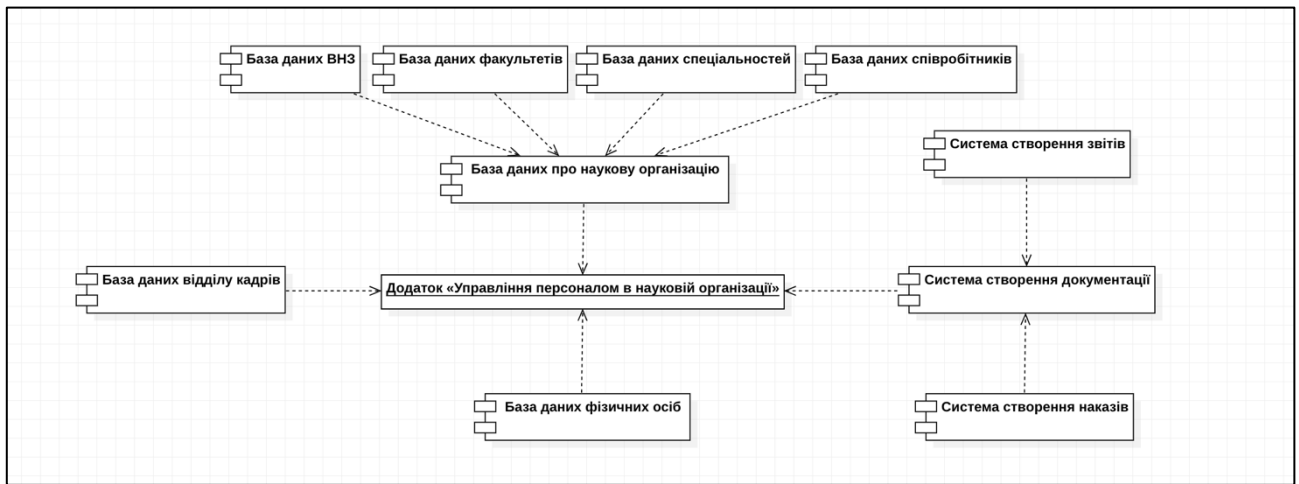


Рисунок 4 – Діаграма компонентів

Система використовує бази даних для зберігання важливої інформації про різні складові. Це включає базу даних вищих навчальних закладів, факультетів, спеціальностей, співробітників, відділу кадрів та фізичних осіб. Кожна з цих баз даних відповідає за зберігання та управління конкретною інформацією. Окрім роботи з базами даних, система також включає кілька функціональних підсистем. Система створення документації забезпечує можливість генерування різноманітних документів, у тому числі наказів та звітів. Підсистема створення наказів відповідає за формування наказів, таких як прийом на роботу, переведення на іншу посаду чи звільнення. Система створення звітів, у свою чергу, надає користувачам

можливість автоматично генерувати звіти на основі даних, що зберігаються у базах даних.

Усі ці компоненти взаємодіють для забезпечення ефективного управління персоналом у науковій організації, введення потрібної документації, чіткого розуміння відповідності різних елементів системи та спрощення процесів обробки та представлення інформації.

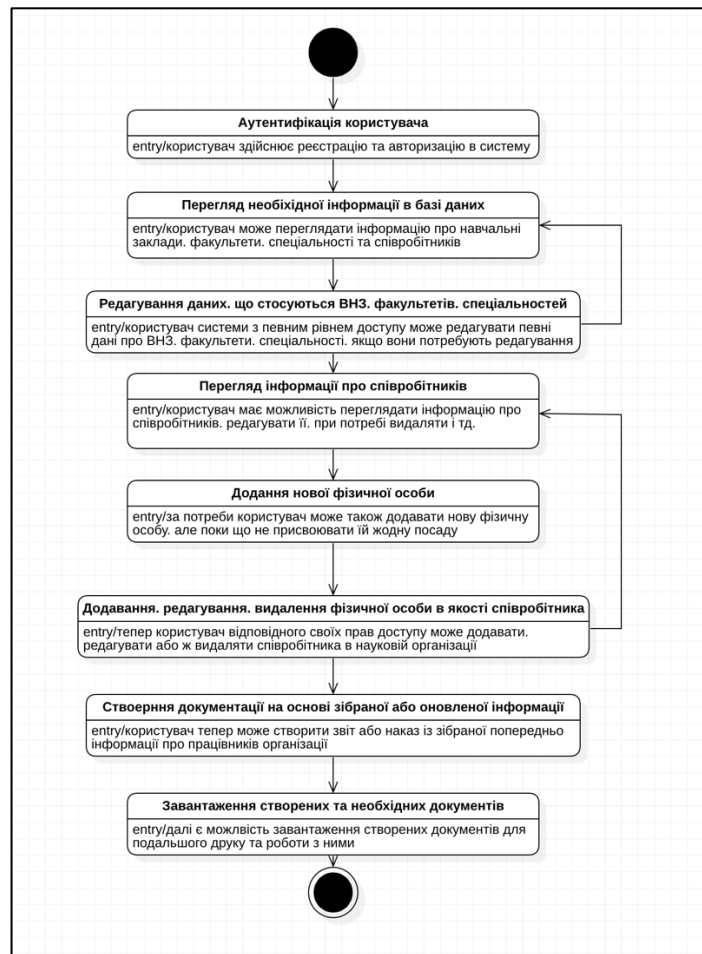


Рисунок 5 – Діаграма станів

Діаграма станів (рис. 5) для системи «Управління персоналом в науковій організації» демонструє послідовність станів, через які проходить користувач під час взаємодії із системою. Першим станом є «Аутентифікація користувача», де користувач здійснює реєстрацію або авторизацію в системі. Після успішної аутентифікації користувач переходить до стану «Перегляд необхідної інформації в базі даних», де він може переглядати різну інформацію, таку як дані про навчальні заклади, факультети, спеціальності

та співробітників. Якщо користувач має права на редагування, він може перейти в стан «Редагування даних, що стосуються вищих навчальних закладів, факультетів, спеціальностей», де він має можливість вносити зміни до цих даних. Наступним можливим станом є «Перегляд інформації про співробітників», який дозволяє користувачеві переглядати або редагувати інформацію про працівників, включаючи додавання нових співробітників або їх видалення. Якщо виникає потреба в додаванні нових осіб у систему, користувач може перейти до стану «Додавання нової фізичної особи», де він додає інформацію про нових фізичних осіб. У випадку, коли ці особи стають працівниками, користувач може додавати їх у систему через стан «Додавання, редагування, видалення фізичних осіб у якості співробітника». Далі користувач переходить до стану «Створення документації на основі зібраної або оновленої інформації», де він може генерувати звіти або накази на основі введених даних. Завершальним етапом є «Завантаження створених та необхідних документів», де користувач має можливість завантажити створені документи для подальшого друку або використання.

Кожен із цих станів представляє різні рівні доступу до функціональності системи, що забезпечує управління даними та документацією в науковій організації.

**Результати.** Результатом роботи розробленого додатку стала повністю функціонуюча система управління різними даними для наукової організації, а саме робота з даними вищих навчальних закладів, факультетів, спеціальностей, фізичних осіб, їхньої освіти та найголовніше - даними співробітників. Після врахування всіх вимог система розроблялася спеціально до всіх поставлених потреб наукової організації. Вона автоматизує всі основні процеси, забезпечуючи роботу з великими обсягами інформації, спрощуючи адміністративні завдання та підвищуючи ефективність діяльності. Також був зроблений акцент на забезпеченні

безпеки даної системи та чіткого контролю доступу, що реалізувався через правильно налаштовану систему авторизації та реєстрації.

Система була наділена правильною роботою з CRUD-системою, яка необхідна була для забезпечення надійної роботи зі всіма наявними довідниками системи. Саме це дозволить ефективно управляти записами всіх вищих навчальних закладів, факультетів, спеціальностей, фізичних осіб та співробітників. Така структура дозволить користувачам швидко здійснювати пошук, редагування чи видалення інформації, а також забезпечить актуальність і точність даних у системі.

Окрім базових функцій управління інформацією, система також дозволяє автоматизувати створення і ведення документів, що є важливою частиною адміністративної роботи. Наприклад, користувачі можуть генерувати різні види звітів та накази про прийом на роботу, переведення на іншу посаду або звільнення. Кожен документ містить всі необхідні дані, такі як номер наказу, дата його створення, інформація про співробітника, його посаду та інші важливі деталі. Така автоматизація значно зменшує можливість помилок при роботі з документами і спрощує процес ведення кадрової документації.

Крім того, додаток передбачає можливість зручного візуального відображення інформації через мінімалістичний, але функціональний інтерфейс, що дозволяє користувачам легко орієнтуватися в системі і швидко виконувати необхідні дії. Система підтримує різні ролі користувачів, надаючи доступ до різних рівнів функціоналу відповідно до їхніх посадових обов'язків (рис. 6).



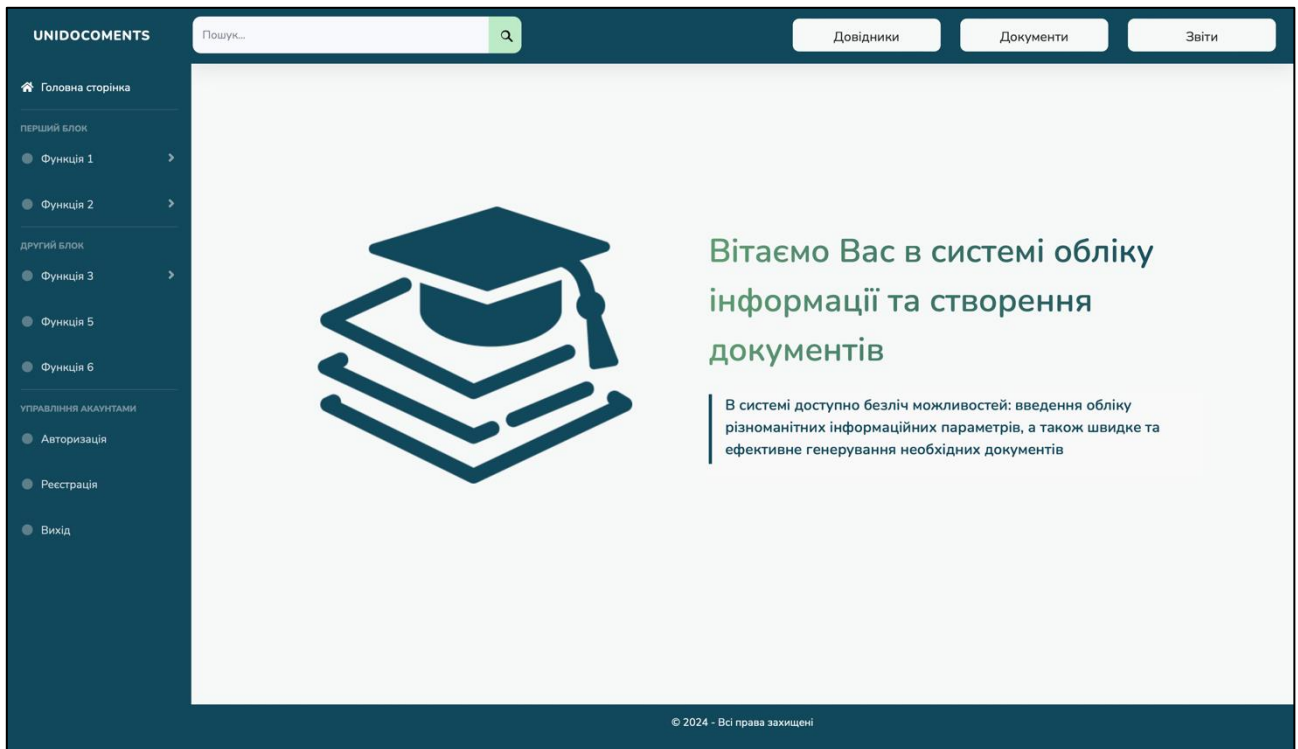


Рисунок 6 – Головна сторінка застосунку

Загалом, розроблений застосунок для наукової організації став важливим інструментом, що дозволяє забезпечити ефективну та організовану роботу з даними та документами. Він допомагає зменшити навантаження на адміністративний персонал, підвищує продуктивність роботи з інформацією і забезпечує високу точність і актуальність усіх внесених даних.

**Висновок.** У ході реалізації цієї роботи було розроблено застосунок «Управління персоналом в науковій організації», який успішно реалізовує всі поставлені вимоги. Завдяки правильно налаштованій системі авторизації та реєстрації користувачів забезпечено високий рівень безпеки та контроль доступу до функціоналу, що дозволяє лише зареєстрованим користувачам виконувати відповідні дії, які відповідають відповідному рівню доступу. Автоматизований процес керування даними, що зберігаються в довідниках, значно полегшує роботу з великими обсягами інформації, забезпечуючи правильність та актуальність даних.

Визначальною перевагою розробленої системи стала можливість створення документів для управління персоналом наукової організації, таких як накази про прийом на роботу, переведення на іншу посаду та звільнення. Це дозволяє знизити адміністративне навантаження та мінімізувати ризик помилок під час оформлення документів. Завдяки зрозумілому мінімалістичному інтерфейсу, користувачі можуть легко орієнтуватися в системі, що підвищує зручність її використання.

Таким чином, розроблена система «Управління персоналом в науковій організації» забезпечує високий рівень ефективності, організованості та прозорості в управлінні персоналом і даними в науковій організації. Вона значно спрощує робочі процеси, забезпечуючи точність і оперативність виконання адміністративних завдань, що робить її цінним інструментом для подальшої роботи в цій галузі.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ekawati E. (2014). Strategi Perencanaan Pengembangan Sistem SAP Pada Human Capital and Legal di Institusi Pendidikan XYZ. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 5(1), pp. 174-190.
2. Meškienė E., & Tamošiūnas T. (2019). Analysis of Temporary Employment Company Business Environment. *Socialiniai tyrimai*, 42(2), pp. 102-118.
3. Softcom. URL: <https://www.softcom.ua/ua/bas/programs/bas-bukhgalteriya-avtomatizatsiya-nalogovogo-i-bukhgalterskogo-ucheta/>
4. Medoc. URL: <https://medoc.ua/integration>

**Жилюк Я.О.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
[y.zhyliuk@gmail.com](mailto:y.zhyliuk@gmail.com)*

## **ВІДМОВОСТІЙКА АРХІТЕКТУРА ПОТОКОВОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДАНИХ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ**

**Анотація.** *У цій статті розглянуто зростаючий попит на обробку безперервних потоків даних із малою затримкою в області аналізу даних у реальному часі, досліджено існуючі підходи до відмовостійкості в розподілених системах обробки потоків даних і запропоновано нову гібридну архітектуру асинхронної взаємної реплікації. Ця архітектура розроблена для вирішення проблем, пов'язаних із затримкою та перебоями в мережі, мінімально впливаючи на узгодженість даних і доступність на вузлах. У дослідженні розглянуто механізми забезпечення стабільності передачі даних та архітектура системи для підвищення продуктивності систем обробки розподілених потоків.*

**Ключові слова:** *відмовостійкість, потокові дані, розподілені системи, реплікація даних, аналітика даних у реальному часі.*

**Abstract.** *This article addresses the increasing demand for processing continuous data streams with low latency in the field of real-time data analytics. The paper explores existing approaches to fault tolerance in distributed stream processing systems and proposes a new hybrid architecture of asynchronous mutual replication. This architecture is designed to resolve issues related to latency and network interruptions while minimally impacting data consistency and availability at nodes. The article discusses fault tolerance mechanisms, data transmission stability, and system architecture to enhance the performance of distributed stream processing systems.*

**Keywords:** *fault tolerance, stream data, distributed systems, data replication, real-time data analytics.*

**Вступ.** Зростаючий попит на оброблення даних у режимі реального часу спонукає впроваджувати нові механізми реплікації, що є критично важливим для різних галузей, включаючи фінансовий сектор, промисловість, телекомунікації та Інтернет речей. Потокове оброблення даних дозволяє своєчасно отримувати інформацію та оперативно реагувати на зміни в інформаційних системах різного призначення.

Однак забезпечення відмовостійкості в таких системах при збереженні швидкості їх роботи залишається критичною проблемою. За своєю природою розподілені інформаційні системи вразливі до збоїв, що можуть серйозно вплинути на надійність і ефективність аналітичних програм у реальному часі. Надійність реплікації даних є ключовим аспектом, що забезпечує безперервне та точне оброблення інформації для підтримки критичних процесів прийняття рішень.

**Основна частина.** Є різні підходи до вирішення проблеми відмовостійкості в розподілених системах потокової обробки даних, що базуються на принципах роботи розподілених систем і консенсусних алгоритмів для пом'якшення впливу збоїв. Одна з класичних стратегій реплікації, відома як реплікація "лідер-послідовник", що забезпечує надійність розповсюдження через реплікацію даних між кількома брокерами розподіленої інформаційної системи. Лідер відповідає за прийом і обробку записів, тоді як послідовники пасивно реплікують дані від лідера. У випадку збою лідера один із послідовників стає новим лідером, що визначається обраним алгоритмом консенсусу.

Стратегії гібридної реплікації поєднують синхронну та асинхронну реплікацію для балансування узгодженості та доступності в розподілених системах. У системі Spanner's TrueTime синхронна реплікація підтверджує оновлення даних лише після їх реплікації в кілька розподілених вузлів, що забезпечує надійну узгодженість, але може викликати затримки та зменшити доступність, особливо, якщо репліки географічно розподілені.

Асинхронна реплікація дозволяє локально підтверджувати оновлення перед розповсюдженням на інші вузли, покращуючи доступність і зменшуючи затримку, але потенційно призводить до розбіжностей у даних.

Незважаючи на спроби мінімізувати затримку за допомогою гібридних стратегій реплікації, необхідність підтримувати стійку узгодженість між розподіленими репліками все ще може призвести до затримок порівняно з системами, які надають пріоритет остаточній узгодженості або призначені для операцій із меншою затримкою.

Продуктивність і надійність таких систем значною мірою залежать від якості та доступності мережі, що з'єднує центри обробки даних, а мережеві збої та переривання можуть потенційно вплинути на здатність підтримувати узгодженість і доступність реплік, що створює додаткові виклики для забезпечення відмовостійкості та ефективної обробки даних в реальному часі.

Однією з головних проблем у розподілених потокових системах є досягнення балансу між узгодженістю даних і доступністю системи. Теорема CAP (Consistency, Availability, Partition Tolerance) стверджує, що розподілена система не може водночас гарантувати всі три властивості.

У контексті систем обробки даних в реальному часі це означає, що необхідно робити компроміси між узгодженістю та доступністю, особливо в умовах мережевих розділень.

Асинхронна реплікація покращує доступність і зменшує затримки, оскільки дозволяє підтверджувати операції локально, однак це може призвести до розбіжностей у даних між вузлами, оскільки оновлення можуть не встигати синхронізуватися вчасно. У критично важливих системах, де узгодженість даних є пріоритетом, такі розбіжності можуть мати серйозні наслідки.

Алгоритми консенсусу, такі як Raft або Paxos, забезпечують узгодженість у розподілених системах, але можуть бути складними для

реалізації та призводити до значних накладних витрат. Вони зазвичай вимагають багатьох раундів обміну повідомленнями, що збільшує затримки. Крім того, вони не завжди оптимізовані для систем з низькою затримкою, що є критичним для обробки даних в реальному часі.

**Гібридна модель асинхронної реплікації.** Розробка гібридної архітектури асинхронної взаємної реплікації може вирішити проблему затримок і мережевих переривань, мінімально впливаючи на узгодженість і доступність даних у вузлах.

З огляду на обмеження наявних підходів, виникає потреба в такій архітектурі, яка б поєднувала переваги синхронної та асинхронної реплікації, мінімізуючи їх недоліки. Ціль дослідження представити та протестувати архітектуру обробки поточкових даних в реальному часі, що здатна забезпечити відносно низьку затримку при збереженні прийняттого рівня узгодженості та відмовостійкості.

Ключовим елементом запропонованого підходу є поняття "найближчого вузла", що визначається на основі часу затримки при обміні повідомленнями між вузлами, що дозволяє організувати реплікацію таким чином, щоб спочатку залучати вузли з найменшими затримками, що зменшує час поширення даних по системі.

Розглянемо запропонований процес поширення даних у розподіленій системі.

**Етап 1. Визначення затримок між вузлами.** Кожен вузол з заданою періодичністю  $t$  надсилає "ping" повідомлення до інших вузлів. Вимірюється час відгуку (RTT, Round Trip Time) для кожного вузла розподіленої системи. Для кожного вузла формується таблиця затримок, яка відображає час зв'язку між елементами системи.

**Етап 2. Первинна реплікація на  $n$  найближчих вузлів.** При зміні стану (наприклад, запис нового повідомлення) вузол реплікує дані на  $n$  найближчих вузлів, при цьому параметр  $n$  може бути налаштований залежно

від вимог до узгодженості та відмовостійкості. Реплікація відбувається асинхронно, щоб не затримувати основну операцію.

**Етап 3. Каскадна реплікація.** Вузли, що отримали дані, повторюють процес реплікації на своїх  $n$  найближчих вузлів, які ще не отримали ці дані. Процес продовжується до тих пір, поки всі вузли в системі не отримають оновлення. Завершальний етап – поширення даних на віддалені вузли шляхом повторення ітерацій реплікації з врахуванням вузлів що уже отримали оновлення.

Запропонований підхід до реплікації забезпечує швидке розповсюдження даних, зі збереженням відносної відмовостійкості та узгодженості даних в розподіленій системі.

Формально представити таку архітектуру можна наступним чином. Нехай  $V$  – це множина всіх вузлів системи,  $v_i \in V$ . Для кожного вузла  $N$  визначають множину найближчих вузлів  $N_i \subset V$ , де  $|N_i| = n$  і  $N_i$  містить вузли з мінімальною затримкою до  $v_i$ . Алгоритм можна описати наступними кроками:

- кожен вузол  $v_i$  обчислює  $N_i$  на основі затримок;
- при оновленні даних на  $v_i$  вузол асинхронно надсилає оновлення до всіх  $v_j \in N_i$ ;
- кожен  $v_j \in N_i$ , отримавши оновлення, повторює крок 2 для своїх  $N_i$ .
- процес продовжується, поки всі вузли не отримають оновлення.

Однією з переваг використання запропонованого підходу є можливість налаштувати параметр  $n$  для досягнення балансу між швидкістю розповсюдження, узгодженістю та швидкістю роботи розподіленої системи. Значення  $n$  впливає на швидкість розповсюдження даних та відмовостійкість системи, збільшення  $n$  підвищує швидкість конвергенції системи до узгодженого стану, але може збільшити мережеві навантаження.

Оптимальне значення  $n$  може бути визначене шляхом моделювання та тестування на реальних даних. В перспективі можливо впровадити динамічне налаштування  $n$  залежно від поточного стану системи.

Запропонований підхід може бути інтегрований з алгоритмом Raft для забезпечення узгодженості. Raft може використовуватися для вибору лідера та прийняття критичних рішень, тоді як асинхронна реплікація на найближчі вузли забезпечує швидку розповсюдженість даних. Така комбінація дозволяє поєднати сильну узгодженість з низькою затримкою.

Якщо вузол недоступний або має високу затримку, він не береться до уваги при виборі найближчих вузлів. Після відновлення зв'язку вузол отримує оновлення від сусідніх вузлів. Це запобігає затримкам у реплікації та забезпечує стійкість системи до мережевих проблем.

Таким чином, система досягає спільного стану за скінченну кількість ітерацій, а швидкість розповсюдження даних може бути регульована параметром  $n$ . При цьому зберігаються інші характеристики системи, визначені алгоритмом консенсусу Raft.

Розглянемо основні переваги та обмеження запропонованого підходу, виявленні на етапі проектування та моделювання роботи розподіленої системи реального часу.

Серед переваг - зменшення затримок, підвищення відмовостійкості та мінімізація впливу мережевих переривань. Реплікація на найближчі вузли з мінімальною затримкою покращує швидкість розповсюдження даних. Оскільки передача даних відбувається спочатку між вузлами з найкращим з'єднанням, загальний час розповсюдження інформації по системі зменшується.

Можливість регулювання параметра  $n$  підвищує гнучкість системи та її стійкість до збоїв окремих вузлів. Якщо один або декілька вузлів виходять з ладу, інші найближчі вузли можуть продовжувати процес реплікації.



Недоступні вузли не беруть участі в процесі реплікації, що запобігає затримкам. Система автоматично адаптується до поточних мережеских умов.

До потенційних обмежень алгоритму можемо винести: ізолюваність віддалених вузлів, необхідність динамічного вимірювання затримок, збільшення навантаження на мережу при зростанні параметру  $n$ .

Вузли з високими затримками можуть стати ізолюваними, що впливає на узгодженість даних. Віддалені вузли можуть отримувати оновлення із затримкою, що може бути критичним для деяких систем.

Оскільки затримки в мережі можуть змінюватися необхідно впровадити механізм регулярного оновлення інформації про затримки між вузлами, що може додатково навантажувати мережу та ресурси вузлів. Вибір оптимального  $n$  є критичним і залежить від специфіки системи

**Моделювання роботи запропонованого механізму реплікації.** Для підтвердження життєздатності даної архітектури проведемо моделювання роботи розподілених систем на базі алгоритму Raft, що є одним із популярних алгоритмів консенсусу, призначених для керування розподіленими системами, та запропонованого гібридного підходу до реплікації даних.

Засобами мови програмування Golang, було змодельовано процес поширення даних в розподіленій системі, враховуючи можливі мережескі затримки що були задані випадковим чином у діапазоні від 1 до 5000 мілісекунд.

Проведено серію вимірювань часу досягнення консенсусу (у мілісекундах) для запропонованого алгоритму зі значенням параметру  $n = 5$  та алгоритму Raft при різній кількості вузлів. Для кожної конфігурації (10, 15 та 25 вузлів) було виконано 5 замірів. Підписи таблиць мають бути над ними.

**Відповідно до проведених вимірювань, результати яких наведені у таблицях 1-3 можемо зробити висновок, що запропонований алгоритм показує швидший час досягнення консенсусу порівняно з алгоритмом Raft,**

що демонструє збільшення часу консенсусу зі збільшенням кількості вузлів, зумовлене його синхронною природою та необхідністю отримання підтвердження від більшості вузлів.

Час досягнення консенсусу збільшується повільніше зі збільшенням кількості вузлів, що свідчить про кращу масштабованість. Запропонований підхід забезпечує менші затримки, що є критичним для систем реального часу.

Таблиця 1 – Результати моделювання роботи системи з 10 вузлів

Номер вимірювання	Запропонований алгоритм (мс)	Raft (мс)
1	120	192
2	115	210
3	118	204
4	143	215
5	117	208

Таблиця 2 – Результати моделювання роботи системи з 15 вузлів

Номер вимірювання	Запропонований алгоритм (мс)	Raft (мс)
1	152	251
2	155	267
3	152	255
4	164	265
5	154	258

Таблиця 3 – Результати моделювання роботи системи з 20 вузлів

Номер вимірювання	Запропонований алгоритм (мс)	Raft (мс)
1	234	300
2	221	318
3	252	295
4	238	299
5	241	308

Відповідно до отриманих в результаті моделювання даних побудуємо графік залежності продуктивності обраних алгоритмів поширення даних зі збільшенням навантаження, де вісь  $x$  – кількість вузлів в розподіленій системі, вісь  $y$  – середній час поширення даних. В результаті візуалізації (див. рис. 1) можемо помітити значне скорочення часу поширення даних у порівнянні з алгоритмом Raft. Так для системи з кількістю вузлів  $N = 10$  середній час поширення даних скоротився на 42%, що є критичним для обробки потокових даних в реальному часі. Це може бути зумовлено тим, що Raft забезпечує сильну узгодженість, але страждає від затримок та потенційних вузьких місць через модель лідера. У мережах з високими затримками та перериваннями запропонований алгоритм показав вищу ефективність, оскільки залежність від єдиного лідера мінімізована завдяки асинхронному підходу до поширення даних.

При цьому можемо помітити, що зростання часу поширення для запропонованого підходу збільшується швидше при кількості вузлів  $N = 20$ , що може свідчити про необхідність збільшення параметра  $n$  для масштабних розподілених систем реального часу.

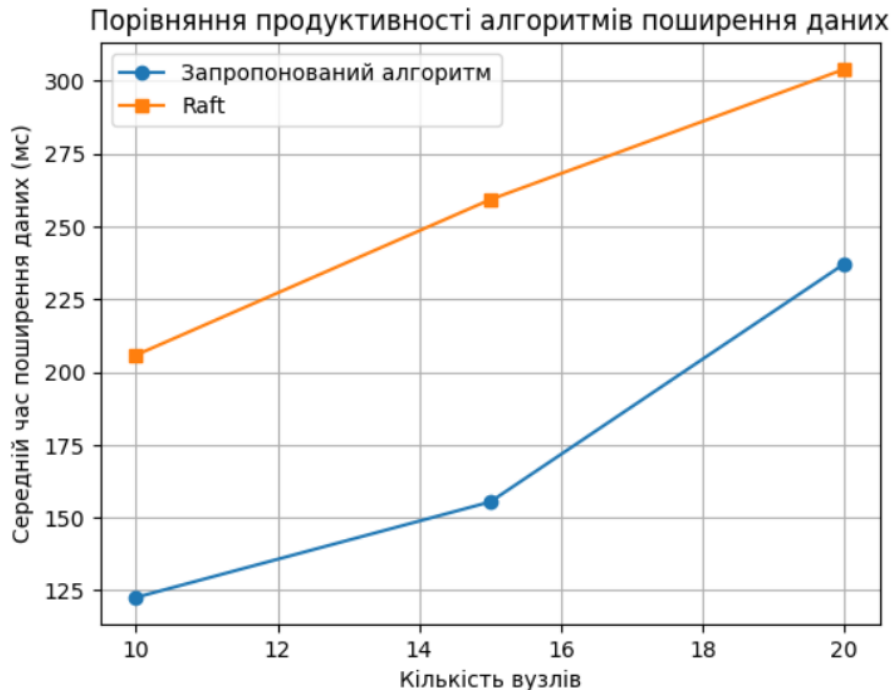


Рисунок 1 – Порівняння продуктивності алгоритмів поширення даних

**Висновок.** У ході проведеного дослідження було запропоновано та проаналізовано новий підхід до відмовостійкої архітектури потокової обробки даних в реальному часі. Запропонований алгоритм асинхронної взаємної реплікації, що базується на розповсюдженні даних спочатку до найближчих вузлів, продемонстрував значні переваги порівняно з традиційними методами.

Запропонована архітектура сприяє підвищенню ефективності розповсюдження даних, завдяки використанню найближчих вузлів, час конвергенції системи зменшився в середньому на 22% у порівнянні з алгоритмом Raft. Асинхронна реплікація дозволила мінімізувати затримки, що особливо важливо для систем, які працюють в реальному часі. Збільшення параметра  $n$  дозволило системі ефективно протистояти збоєм окремих вузлів без втрати продуктивності.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вирішення виявлених проблем та вдосконалення запропонованого алгоритму, включно з розробкою механізмів, які дозволять віддаленим вузлам отримувати оновлення більш ефективно, навіть при значних затримках. Запровадження

додаткових шарів реплікації, які враховують не лише затримки, але й інші метрики, такі як пропускна здатність та надійність зв'язку. Використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування змін у мережі та динамічного налаштування процесу реплікації.

Усі ці напрями досліджень сприятимуть подальшому вдосконаленню відмовостійких розподілених систем обробки даних в реальному часі, забезпечуючи високу продуктивність, узгодженість та надійність навіть у складних мережевих умовах.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Kreps J., Narkhede N., & Rao J. (2011). Kafka: A Distributed Messaging System for Log Processing. *Proceedings of the NetDB*, pp. 1-7.
2. Corbett J.C., et al. (2012). Spanner: Google's Globally Distributed Database. *Proceedings of the 10th USENIX Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI '12)*, pp. 251-264.
3. Білокон А. & Борисов С., Усатенко М., Федорченко В. (2024). Аналіз функціонування розподілених систем обробки та зберігання даних. *Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць*. pp. 84-88. 10.26906/SUNZ.2024.3.084.
4. Brewer, E. A. (2000). Towards Robust Distributed Systems. *Proceedings of the 19th Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing*, pp. 7-10.
5. Глоба Л.С. «Розробка інформаційних ресурсів та систем». Київ, 2013.
6. Lamport L. (2001). Paxos Made Simple. *ACM SIGACT News*, 32(4), pp. 18-25.
7. Tanenbaum A.S., & Van Steen, M. (2007). *Distributed Systems: Principles and Paradigms*. Prentice-Hall.
8. Kleppmann M. (2017). *Designing Data-Intensive Applications*. O'Reilly Media.

9. Gilbert, S., & Lynch, N. (2002). Brewer's Conjecture and the Feasibility of Consistent, Available, Partition-Tolerant Web Services. *ACM SIGACT News*, 33(2), 51-59.
10. Технології розподіленої обробки даних. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/5118185/page:39> (дата звернення: 28.09.2024)
11. Carbone, P., et al. (2015). *Apache Flink™: Stream and Batch Processing in a Single Engine*. *IEEE Data Engineering Bulletin*, 38(4), 28-38.
12. Lakshman, A., & Malik, P. (2010). *Cassandra: A Decentralized Structured Storage System*. *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, 44(2), 35-40.
13. Журавель С., Думич С., Шпур О. Дослідження методів збору та обробки даних в розподілених інформаційних системах - 2021.
14. DeCandia G., et al. (2007). *Dynamo: Amazon's Highly Available Key-value Store*. In *Proceedings of Twenty-First ACM SIGOPS Symposium on Operating Systems Principles* (pp. 205-220).
15. Hunt P., Konar M., Junqueira F.P., & Reed B. (2010). *ZooKeeper: Wait-free Coordination for Internet-scale Systems*. In *Proceedings of the 2010 USENIX Annual Technical Conference* (pp. 145-158).
16. Renesse R. van, & Altinbuken D. (2015). *Paxos Made Moderately Complex*. *ACM Computing Surveys*, 47(3), Article 42.
17. Bailis P., & Ghodsi A. (2013). *Eventual Consistency Today: Limitations, Extensions, and Beyond*. *Communications of the ACM*, 56(5), 55-63.
18. Lin Q., et al. (2017). *STREAM: A Scalable Fault-Tolerant Real-Time Stream Processing System*. In *Proceedings of the 2017 ACM International Conference on Management of Data* (pp. 265-278).

**Зарудний О.Б.<sup>1</sup>, Коваль Р.Г.<sup>1</sup>, Шолохов О.В.<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору  
Національної академії наук України*

*<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
oleksii.zarudnyi@gmail.com, roman.koval.science@gmail.com, gyroalex@knu.ua*

## **МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ТЕКСТІВ НА ОСНОВІ ЛІНГВІСТИЧНИХ ПРАВИЛ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТРЕБ НАСЕЛЕННЯ У СОЦІАЛЬНОМУ ЗАХИСТІ ТА СОЦІАЛЬНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ**

**Анотація.** *Питання соціального захисту та соціального забезпечення завжди були одними з найбільш актуальних для всіх без виключення верств суспільства [1]. А в умовах війни дана сфера набула особливого значення, адже від ефективності державної політики соціального захисту та соціального забезпечення залежить не тільки добробут громадян і збалансованість розвитку суспільства, а й забезпечення національної безпеки. За період війни обсяги витрат на соціальний захист та соціальне забезпечення зросли суттєво і зростатимуть надалі, не зважаючи на обмеженість бюджетного фінансування [2, 3]. Тому, особливої уваги потребує цільова спрямованість коштів на соціальний захист та соціальне забезпечення, контроль за адресністю надання державної допомоги [3, 4]. Оскільки в умовах війни проведення соціологічних дослідження значно ускладнюється, перспективним напрямком стає дослідження он-лайн середовища. Значна кількість населення використовує різноманітні соціальні мережі, цифрові платформи державних установ та організацій, тощо. Тому, маючи інформацію з Інтернет-джерел, можна дослідити проблеми, які є значимими для різних соціальних груп, проаналізувати настрої та очікування населення [5-13].*

*У роботі пропонується методика побудови аналітичної моделі дослідження проблем соціального захисту та соціального забезпечення, що потребують особливої уваги з боку держави, із використанням засобів аналізу текстової інформації з Інтернет-джерел та побудови моделей класифікації.*

**Ключові слова:** *кластеризація текстів, лінгвістичні правила, інтелектуальний аналіз даних, соціальний захист та соціальне забезпечення, інформаційна технологія*

**Abstract.** *Issues of social protection and social security have always been among the most urgent for all, without exception, social strata [1]. And in the conditions of the war, this sphere acquired special importance, because not only the well-being of citizens and the balanced development of society, but also the provision of national security depend on the effectiveness of the state policy of social protection and social security. During the war, the amount of spending on social protection and social security increased significantly and will continue to increase, despite the limited budget funding [2, 3]. Therefore, special attention needs to be paid to the targeting of funds for social protection and social security, control over the targeting of state assistance [3, 4].*

*Since the conduct of sociological research becomes much more difficult in the conditions of war, the research of the online environment becomes a promising direction. A significant number of the population uses various social networks, digital platforms of government institutions and organizations, etc. Therefore, having information from Internet sources, it is possible to investigate problems that are significant for different social groups, to analyze the moods and expectations of the population [5-13].*

*The work proposes a method of building an analytical model for the study of social protection and social security problems that require special attention from the state, using means of analyzing textual information from Internet sources and building classification models.*



***Keywords:** text clustering, linguistic rules, intelligent data analysis, social protection and social security, information technology.*

**Вступ.** Інформаційно-аналітична діяльність в умовах поглиблення цифровізації суспільства стає все більш важливою складовою системи соціального захисту та соціального забезпечення, що в свою чергу, як зазначають вітчизняні та закордонні фахівці [14-16] потребує її постійної модернізації, впровадження сучасних моделей, методів та інформаційних технологій. Впровадження «Єдиної інформаційної системи соціальної сфери» [17] стало новим кроком до наскрізної діджиталізації системи пенсійного забезпечення та соціального захисту населення. Метою запровадження Системи є «забезпечення цілісної автоматизації процесів у соціальній сфері шляхом оптимізації та розвитку електронної інформаційної взаємодії суб'єктів Єдиної системи, спрямованої на забезпечення прозорості соціальної сфери, цифровізацію ринку соціальної підтримки та підвищення рівня її доступності для осіб, які її потребують» [17].

Тому, питання розроблення методик, моделей, інформаційних технологій аналізу текстової інформації з інтернет-джерел є актуальною, має практичне значення [18-20]. У ході дослідження розглядалась практична задача визначення потреби у соціальному захисті та соціальному забезпечення мешканців різних регіонів України та біженців. Для аналізу текстової інформації використано інструменти SAS Text Miner [21-23].

**Основна частина.** Перший етап дослідження виконаний на матеріалах Інтернет-видань, різних за тематикою та аудиторією, державних та недержавних, з яких було відібрано 162 (назви джерел та посилання на них представлені у табл. 1.

Таблиця 1 – Перелік Інтернет-джерел, інформацію з яких використано для аналізу

Номер	Назва джерела	Адреса ресурсу	Кількість текстів
1	УкрІнформ	<a href="https://www.ukrinform.ua/rubric-society">https://www.ukrinform.ua/rubric-society</a>	50
2	Суспільне. Новини	<a href="https://suspilne.media">https://suspilne.media</a>	25
3	Сайт міжнародного наукового видання «Фінансово-кредитна діяльність: проблеми теорії та практики»	<a href="https://fkd.net.ua">https://fkd.net.ua</a>	7
4	Газета «Урядовий кур'єр» — офіційне друковане видання Кабінету Міністрів України.	<a href="https://ukurier.gov.ua/uk/articles">https://ukurier.gov.ua/uk/articles</a>	30
5	Офіційний сайт Київської обласної ради професійних спілок	<a href="http://korps.com.ua">http://korps.com.ua</a>	5
6	Офіційний сайт Національного банку України	<a href="https://knpf.bank.gov.ua">https://knpf.bank.gov.ua</a>	10
7	Офіційний сайт журналу «Forbes Ukraine»	<a href="https://forbes.ua">https://forbes.ua</a>	15
8	Сайт електронного видання «Судово-юридична газета»	<a href="https://sud.ua">https://sud.ua</a>	20

На основі аналізу текстів, що стосуються питань соціального захисту та соціального забезпечення, розміщених на вказаних Інтернет-ресурсах, було отримано шість кластерів.

До першого кластеру увійшли тексти, які містять питання, пов'язані з пенсійною реформою. Найбільш характерними для цього кластеру виявились слова та словосполучення: “реформа”, “страхові виплати”, “страховий стаж”, “обов’язкові пенсійні накопичення”.

До другого кластеру увійшли слова та словосполучення, що описують питання нарахування та виплати пенсій та соціальних допомог Пенсійним фондом України: “своєчасна виплати пенсій” “добровільні внески на пенсійне страхування”, “мінімальна пенсія”, “індексація пенсій”, «підвищення пенсій», “житлова субсидія”, “фінансування поточних виплат”, “перерахунок пенсій працюючим пенсіонерам”.

Третій кластер узагальнює проблеми соціального захисту внутрішньо переміщених осіб. Найбільш характерними є такі слова та словосполучення, як “ВПО”, “ідентифікація”, “звільнені території”, “виплати переселенцям”, “мешканці окупованого Криму”, “Всесвітня продовольча програма ООН” “тимчасово непідконтрольні території”.

До четвертого кластеру увійшли слова та словосполучення, що описують проблеми, пов’язані з втратами, внаслідок військового конфлікту: “військовослужбовець”, “поліцейський”, “зона бойових дій”, “зниклий безвісти”, “втрата годувальника”, “члени родини загиблого”.

Для п’ятого кластеру «актуальними» є питання соціального захисту та соціального забезпечення біженців, зокрема, “пенсія за кордоном”, “праця за межами України”, “пропорційне обчислення страхового стажу”, “страховий стаж одержаний в інших країнах”.

У шостому кластері узагальнені питання, що стосуються постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС: “аварія”, “ЧАЕС”, “чорнобилець”.

Статистичні характеристики побудованої моделі класифікації на основі лінгвістичних правил, було обчислено окремо для тренінгового та тестового наборів даних: співвідношення – 70% для тренінгу та 30% для тестування, тобто 114 та 48 текстів відповідно (табл. 2).

Таблиця 2 – Статистичні характеристики моделі класифікації досліджуваних текстів

Статистика	Набір даних	
	тренінговий	тестовий
TP (True Positive)	30	11
TN (True Negative)	67	26
FP (false positive)	10	6
FN (false Negative)	7	5
MISC,% (частка неправильно класифікованих значень)	15	23
Gini	0,82	0,71
ROC	0,79	0,67

Зображення ROC-кривої для моделі класифікації текстової інформації на основі лінгвістичних правил подано на рис. 1.

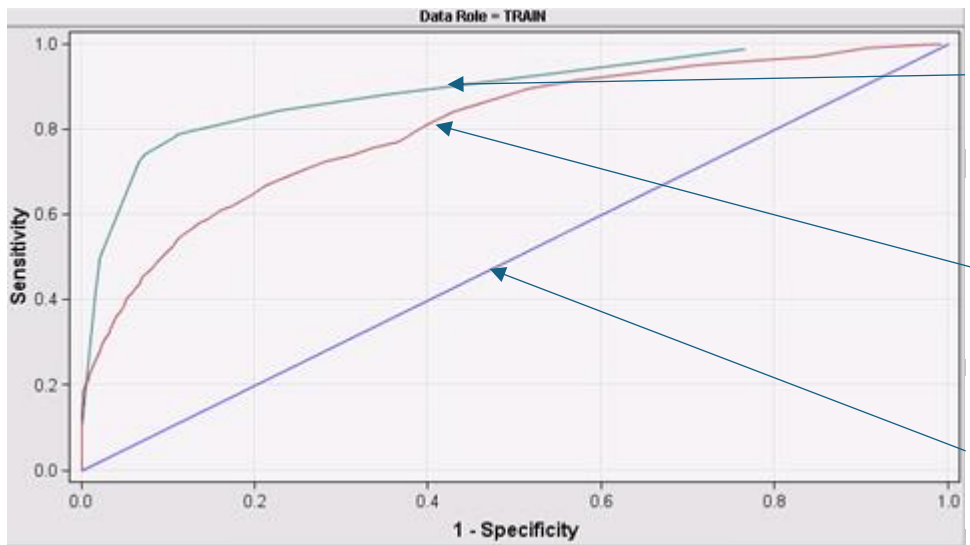


Рисунок 1 – ROC-крива для побудованої моделі класифікації на основі лінгвістичних правил

Побудовані лінгвістичні правила було використано для кластеризації текстів новин, що були опубліковані в мережі Інтернет з вересня 2023 року по вересень 2024 року. Загалом, було вивантажено та оброблено близька 10 тис. текстів за тематикою соціального захисту та соціального забезпечення українців.

Після кластеризації текстів, для кожного кластеру було розраховано кількість текстів, які належать дописувачам з певного регіону. Отримані значення було нормовано по шкалі від 0 до 100 за формулою (1):

$$popularity_i = \frac{n_i}{\max(n_i | \forall i)}$$

де  $popularity_i$  – популярність текстів відповідного кластеру, для  $i$ -го регіону,  $n_i$  – кількість текстів по регіону,  $\max(n_i | \forall i)$  – максимальна кількість текстів за всіма регіонами

Результати розрахунків представлено у табл. 2.

Таблиця 2 – Результати кластерного аналізу текстової інформації з питань соціального захисту та соціального забезпечення по регіонах України

Назва регіону	Популярність текстів відповідного кластеру					
	Кластер 1. (пенсійна реформа)	Кластер 2 (нарахування та виплата пенсій та соціальних допомог Пенсійним фондом України)	Кластер 3 (проблеми соціального захисту внутрішньо переміщених осіб)	Кластер 4 (проблеми, пов'язані з втрагатами, внаслідок військового конфлікту)	Кластер 5 (питання соціального захисту та соціального забезпечення біженців)	Кластер 6. (питання, що стосуються постраждалих внаслідок аварії на ЧАЕС)
Вінницька область	94	65	24	72	79	
Волинська область	87	57	20	100	63	
місто Київ	82	49	32	37	26	33
місто Севастополь	-	-	-	-	-	-
Дніпропетровська область	58	39	43	33	14	
Донецька область	27	32	59	37		
Житомирська область	94	73	19	34	62	88
Закарпатська область	67	45	29	40	75	
Запорізька область	58	39	90	30		
Івано-Франківська область	87	66	24	63	72	
Київська область	84	42	28	37	37	100
Кіровоградська область	92	88	32	73	46	
АР Крим	-	1	1	-	-	-
Луганська область		22	8			

## Продовження Таблиці 2

Львівська область	73	45	20	60	57	
Миколаївська область	76	70	64	47	18	
Одеська область	32	24	27	13	13	
Полтавська область	75	63	32	73	42	77
Рівненська область	100	64	17	81	100	
Сумська область	92	100	52	43	30	
Тернопільська область	50	56	24		63	
Харківська область	47	35	100	15	9	
Херсонська область	71	62	89			
Хмельницька область	87	55	28	78	73	
Черкаська область	87	47	30	50	55	74
Чернігівська область	81	58	24	50	29	
Чернівецька область	83	31	25	1	61	

Результати аналізу, представлені в таблиці можна візуалізувати використовуючи інструменти SAS Enterprise Guide 7.1 (рис. 2, рис. 3).



Рисунок 2 – Кластер 1 популярності текстів за тематикою “Пенсійна реформа” щодо регіонів України

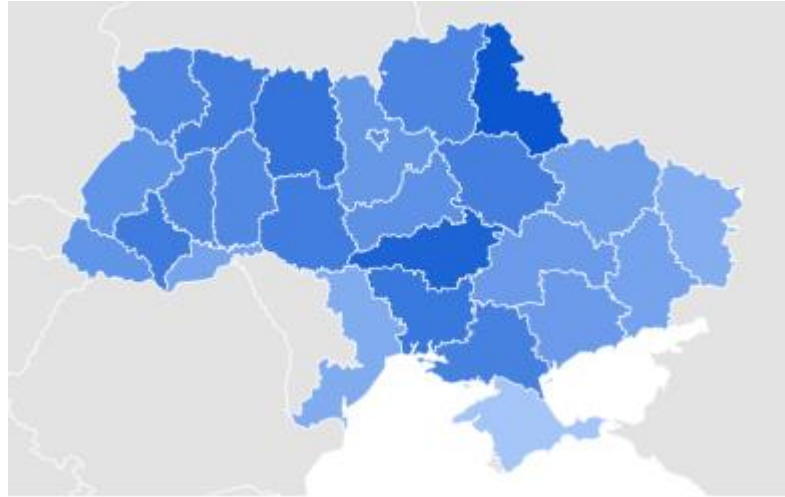


Рисунок 3 – Кластер 2 популярності текстів за тематикою “Питання, пов’язані із Пенсійним фондом взагалі” за регіонами України

**Висновок.** Отримані результати можуть бути в подальшому використані у моделі актуарних розрахунків, під час планування соціальних видатків бюджетів різних рівнів. Пропонований підхід може забезпечувати покращення якості прогнозів в сучасних умовах, коли немає повної інформації про досліджуваний процес чи явище або інформація спотворена.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Шаповалова Т. Поняття і зміст соціального захисту та соціального забезпечення населення в сучасній Україні. Економічний аналіз. 2022. Том 32. № 3. С. 123-130. <https://doi.org/10.35774/econa2022.03.123>
2. Грень Т.Я. Особливості реалізації політики соціального захисту територій в умовах війни. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Публічне управління та адміністрування. 2022. Том 33 (72) № 6. С. 81-84. <https://doi.org/10.32782/TNU-2663-6468/2022.6/13>
3. Видатки на соціальну допомогу. URL: [https://mof.gov.ua/uk/expenditures\\_on\\_social\\_assistance](https://mof.gov.ua/uk/expenditures_on_social_assistance)

4. Смуш-Кулеша М. Федорова А., Мойса Б. Соціальні права в Україні під час війни. Звіт про оцінку потреб. Рада Європи. 2022, 64 с. URL: <https://rm.coe.int/needs-assessment-ua-2/1680a9b408>
5. Sharma S., Jain Role A. Role of sentiment analysis in social media security and analytics. WIREs Data Mining and Knowledge Discovery: Vol. 10, Issue 5. <https://doi.org/10.1002/widm.1366>
6. Шкурко О.В. Види лінгвістичного аналізу тексту: навч. посіб. Дніпро: УН-Т ім. Альфреда Нобеля, 2018. 119 с.
7. Перебийніс В.І. Статистичні методи для лінгвістів: навч. посіб. Вінниця: Нова Книга, 2013. 176 с.
8. Ланде Д.В. Елементи комп'ютерної лінгвістики в правовій інформатиці. Київ: НДПП НАПрН України, 2014. 168 с.
9. Find the information that matters using natural language processing (NLP). URL: [https://www.sas.com/ru\\_ua/software/visual-text-analytics.html](https://www.sas.com/ru_ua/software/visual-text-analytics.html)
10. Survey of Text Mining I: Clustering, Classification, and Retrieval / Ed. by M. W. Berry. Springer, 2003. 261 p.
11. Aggarwal C. C., Zhai C. Mining Text Data. Springer, 2012. 527 p.
12. Text Cluster Node Results. URL: <https://documentation.sas.com/?docsetId=tmref&docsetTarget=n1d7r58qug6sefn162cu6cqX0nq4.htm&docsetVersion=14.3&locale=en>
13. Emerging Technologies of Text Mining: Techniques and Applications / Ed. by H. A. Do Prado, E. Ferneda. Idea Group Reference, 2007. 358 p.
14. Valls Martínez, M.d.C., Santos-Jaén, J.M., Amin, F.-u., Martín-Cervantes, P.A. Pensions, Ageing and Social Security Research: Literature Review and Global Trends. Mathematics 2021, №9, 3258. <https://doi.org/10.3390/math9243258>
15. Social Protection Systems. Ed. E. Schüring, M. Loewe. Elgar Publishing. 2021. 776 p. <https://doi.org/10.4337/9781839109119>



16. Офіційний сайт Міністерства цифрової трансформації України. URL: <https://thedigital.gov.ua>
17. Про затвердження Положення про Єдину інформаційну систему соціальної сфери. Постанова Кабінету Міністрів України від 14 квітня 2021 р. № 404. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/404-2021-п#Text>
18. Гладун А.Я., Рогушина Ю.В. Data mining: пошук знань в даних: підручник. Київ: АДЕФ-Україна, 2016. 451 с.
19. Литвин В.В., Пасічник В.В., Нікольський Ю.В. Аналіз даних та знань: навч. посіб. Львів: Магнолія 2006, 2017. 276 с.
20. Аналіз та обробка потоків даних засобами обчислювального інтелекту: монографія. Є. В. Бодянський та ін. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2016. 235 с.
21. Text analytics using SAS Text Miner: course notes. NC.: SAS Institute, 2014. 218 p.
22. Getting Started with SAS® Text Miner 12.1 URL: <https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/txtminer/12.1/tmgs.pdf>
23. Matignon R. Data Mining Using SAS Enterprise Miner. URL: <https://www.amazon.com/Data-Mining-Using-Enterprise-Miner/dp/0470149019>

Івохін Є.В.<sup>1</sup>, Юштін К.Е.<sup>1</sup>, Гавриленко В.В.<sup>2</sup>, Богуславський М.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний транспортний університет, Київ, Україна

ivohin@univ.kiev.ua, gkons@univ.kiev.ua, vvgavrilenko1953@gmail.com,  
maxbogus09@gmail.com

## ВИКОРИСТАННЯ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ НЕЧІТКОЇ ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА

**Анотація.** *Задача комівояжера (TSP) – це класична комбінаторна задача оптимізації, яка передбачає пошук найкоротшого або найшвидшого маршруту серед набору міст. Щоб формалізувати невизначеність і неточність у вхідних даних, часто викликану суб'єктивними оцінками інтервалів часу подорожі, у цій статті використовуються нечіткі числа. Форма цих нечітких чисел базується на підході, подібному до Гауса. У даній роботі розглядаються особливості застосування алгоритму оптимізації мурашиної колонії (ASO) і пропонується підхід до його оптимального використання. Проаналізовано вплив параметрів алгоритму на якість апроксимованого найкращого рішення. Задача проілюстрована числовими прикладами з участю достатньо великої кількості міст у транспортній мережі.*

**Ключові слова:** *нечітка задача комівояжера, оптимізаційний метод мурашиної колонії, трапецієподібні нечіткі числа, дефазифікація, оцінка ефективності.*

**Abstract.** *The traveling salesman problem (TSP) is a classical combinatorial optimization problem that involves finding the shortest or fastest route among a set of cities. To formalize the uncertainty and imprecision in input data, often caused by subjective evaluations of the travel time intervals, this paper employs fuzzy numbers. The form of these fuzzy numbers is based on a Gaussian-*

*like approach. This work examines the specifics of applying the ant colony optimization (ACO) algorithm and proposes an approach for its optimal use. The impact of the algorithm's parameters on the quality of the approximated best solution is analyzed. The problem is illustrated with numerical examples involving a sufficiently large number of cities in the transportation network.*

**Keywords:** *fuzzy traveling salesman problem, ant colony optimization method, trapezoidal fuzzy numbers, defuzzification, performance evaluation.*

**Вступ.** Один з актуальних напрямків науково-практичних досліджень соціальних та інформаційних процесів базується на використанні математичних методів, у яких закладено принципи реалізації природних механізмів для прийняття рішень. Груповий (ройовий) інтелект — це відносно новий технологічний підхід, який формалізується на основі аналізу соціальної поведінки тварин та комах. Зокрема, спостереження за мурахами дозволили розробити ряд методів і прийомів, серед яких найбільш вивченим і найуспішнішим є метод оптимізації загального вигляду, відомий як оптимізація колонії мурах (Ant System Optimization, ASO). Імітація самоорганізації мурашиної колонії становить основу мурашиних алгоритмів оптимізації – нового перспективного методу природних обчислень. Іншими природними прототипами для оптимізаційних методів також розглядається поведінка бабок (алгоритм рою бабок, BFO), бджіл (алгоритм бджолиного рою, BA), термітів (алгоритм термітів), риб (алгоритм рибної зграї, FSO) та вовків (алгоритм вовчої зграї, WSA).

Під реалізацією ройового інтелекту розуміється спосіб розв'язування різноманітних оптимізаційних проблем за допомогою групи агентів, які взаємодіють між собою за простими правилами, за якими функціонує складна поведінка всієї системи. Стосовно його використання для методики оптимізації найголовнішою перевагою є можливість знаходити глобальні оптимуми у задачах з великою кількістю параметрів та обмежень, а також

гнучкість, масштабованість, можливість розподілених обчислень та захист від відмов. Системи на базі ройового інтелекту дозволяють оперативно знаходити ефективні розв'язки за умов динамічних змін параметрів, відмов окремих агентів та не потребують задання умов централізованого керування.

З іншого боку, серед недоліків ройового інтелекту слід зазначити складність налаштування параметрів, що збільшує ризик знаходження локальних оптимумів у якості розв'язку, вимоги до обчислювальних ресурсів та необхідність експериментальної оцінки.

Розглянемо застосування ройового інтелекту для вирішення задач нечіткої оптимізації на прикладі використання ASO [1]. Мурашині алгоритми широко використовуються вченими з середини 90-х років. Першу версію алгоритму запропонував Марко Доріго у 1992 році [2]. На сьогодні вже отримані непогані результати мурашиної оптимізації при розв'язанні таких складних комбінаторних завдань як задачі оптимізації маршрутів вантажівок, завдання розмальовки графа, квадратичної задачі про призначення, оптимізація мережевих графіків, задач календарного планування та інших [3-5]. Особливо ефективними є мурашині алгоритми при online оптимізації процесів у розподілених нестационарних системах, наприклад, для вирішення проблем розподілу трафіку у телекомунікаційних мережах [6].

Колонія мурах може розглядатися як багатоагентна система, в якій кожен агент (мураха) функціонує автономно за визначеними правилами. Поведінка кожного агента обумовлена простими випадковими правилами. Цей принцип співпадає з поведінкою мурах в реальному світі, де вони працюють разом для будівництва гнізд, пошуку їжі та захисту колонії. У роботах [7, 8] показано, що на базі примітивної поведінки окремих агентів, поведінка сукупної системи дозволяє отримати найкращі результати для різного класу задач.

Ідея алгоритму сформована на основі поведінки мурашиної колонії, яка знаходить шлях до їжі, близький до оптимального. Основу поведінки мурах складає самоорганізація — сукупність динамічних механізмів, за допомогою яких система досягає глобальної мети в результаті взаємодії елементів на низькому рівні. Принциповою особливістю такої низькорівневої взаємодії є використання елементами системи лише локальної інформації, без будь-яких правил централізованого керування та звернення до глобальних параметрів зовнішнього середовища, заданих у вигляді обмежень.

Багатократність взаємодії реалізується у формі послідовного ітераційного пошуку маршруту одночасного декількома мурахами. Кожна мураха починає власний рух випадковим чином, коли покидає мурашник у пошуках їжі. Вважається, що кожен агент не рухається за певним відомим шляхом або заздалегідь відомим напрямом. Ця експлоративна поведінка дозволяє мурахам досліджувати широку ділянку навколо мурашника. Ключовим аспектом поведінки мурах є здатність залишати на власному шляху хімічні сліди – феромони. Ці феромони є сигналами для інших мурах і вказують на те, що шлях вже був досліджений та використовується. Наприклад, у класичній задачі пошуку маршруту комівояжера на мережі, заданій у вигляді графу, додатний обернений зв'язок реалізується таким стохастичним правилом: «ймовірність включення ребра графу в маршрут мурахи пропорційна кількості феромону на ній». Коли мураха знаходить їжу, вона повертається до мурашника і залишає феромоновий слід, який допомагає іншим мурахам знаходити шлях до їжі. Кількість феромону, який відкладає мураха на етапі маршруту, є обернено пропорційною величиною до довжини відповідної ділянки. Чим коротший шлях у процесі пошуку знайшла мураха, тим більше феромону буде відкладене на відповідних етапах маршруту (ребрах графу).

Потрібно зауважити, що використання лише додатного оберненого зв'язку призводить до швидкої (передчасної) збіжності алгоритму, тобто до випадку, коли усі мурахи рухаються одним і тим же субоптимальним маршрутом. Для запобігання перенасиченню шляхів феромони з часом випаровуються, що реалізує від'ємний обернений зв'язок, що дозволяє мурахам адаптуватись до змін в навколишньому середовищі (наприклад, поява нових джерел їжі або завад на шляхах). Випаровування феромонів забезпечує динамічне оновлення інформації та уникнення вибору неоптимальних шляхів (уникнення локальних оптимумів).

З математичної точки зору модель ASO описується через наступні базові компоненти, що пов'язані з поведінкою, як окремих мурах, так і системи в цілому:

- механізми формування шляхів;
- розміщення феромонів для позначення пройдених шляхів;
- випаровування феромонів;
- правила вибору шляху мурахою.

Однією з задач, для якої можна запропонувати спосіб розв'язання на основі мурашиного алгоритму, є логістична задача комівояжера [9].

**Метою даного дослідження** є адаптація алгоритму ASO для вирішення задачі комівояжера з нечітко заданими параметрами переміщень на етапах транспортної мережі на основі використання нечітких трапецієподібних чисел, реалізації компонентів самоорганізаційної поведінки мурах для оптимізації маршруту комівояжера та проведення чисельних експериментів для визначення ефективності розробленого методу.

**Об'єкт дослідження.** Об'єктом дослідження роботи є процес опису та розв'язування нечіткої задачі комівояжера з урахуванням невизначеності вхідних параметрів, отриманих на основі суб'єктивних оцінок користувача.

**Предмет дослідження.** Предметом дослідження є інтелектуальні методи та алгоритми для розв'язання нечіткої задач оптимізації на основі використання методики групової поведінки мурашиної колонії.

**Новизна результатів.** У дослідженні розглянуто та проаналізовано застосування алгоритму оптимізація колонії мурах при розв'язанні задачі комівояжера з нечітко заданою тривалістю переміщень на транспортно-логістичній мережі. Запропоновано та реалізовано алгоритм, застосування якого за умови невеликої кількості ітерацій дозволяє отримати наближені до оптимального маршруту результати.

**Постановка задачі.** Стандартна постановка задачі комівояжера полягає у виборі найкоротшого за довжиною або часом замкнутого шляху на мережі з  $n$  міст, що проходить через усі міста рівно один раз. Кількість можливих варіантів дорівнює  $(n-1)!$ , а за умов симетричності етапів маршруту кількість унікальних маршрутів становить  $\frac{(n-1)!}{2}$ .

Завдання полягає у знаходженні оптимального шляху комівояжера, визначення якого потребує надзвичайно великої кількості обчислювальних ресурсів, що призводить до необхідності використання наближених алгоритмів, таких як ASO.

У реальних задачах логістики поняття тривалості або вартості подорожі між окремими пунктами транспортної мережі не може бути фіксованими, вони визначається наближено, часто з впливом суб'єктивного фактору щодо оцінок часових термінів або вартості переміщення за ділянками маршруту. Це призводить до необхідності врахування невизначеності, її формалізації на основі різних методик. Одним з підходів, що використовується у цьому випадку, полягає у залученні нечітких чисел та реалізації засобів маніпуляції з ними.

**Постановка нечіткої задачі комівояжера.** Розглянемо постановку задачі комівояжера з нечітко заданою тривалістю переміщень на етапах

транспортно-логістичної мережі. У даному випадку необхідно знайти циклічну перестановку номерів міст, що має відвідати комівояжер, відповідно до якої затрати часу будуть мінімальні із врахуванням обмеження щодо відвідування кожного з пунктів не більше одного разу. Математичне формулювання нечіткої задачі комівояжера можна записати так: потрібно мінімізувати з урахуванням деякого способу порівняння нечітких чисел цільову функцію

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \tilde{t}_{ij} x_{ij}, \quad (1)$$

де часові витрати на переміщення між пунктами задаються у вигляді матриці  $\tilde{T} = \{\tilde{t}_{ij}\}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ , з елементами у вигляді нечітких чисел [10], а можливі шляхи переміщень між містами визначаються матрицею  $X$ , за умови виконання обмежень:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1 \text{ для всіх } j = 1, 2, \dots, n, \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} &= 1 \text{ для всіх } i = 1, 2, \dots, n, \\ i - j + nx_{ij} &\leq n - 1, \quad 1 \leq i \neq j \leq n, \\ x_{ij} &= 0 \text{ або } 1 \text{ для всіх } i, j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (2)$$

Для програмної реалізації у матриці  $\tilde{T}$  діагональні елементи  $\tilde{t}_{ii}$  необхідно задати великими додатніми числами для того, щоб отримувати у розв'язку величини  $x_{ii} = 0$  для всіх  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Нечіткі величини тривалості переміщення  $\tilde{t}_{ij}$  між довільними містами  $i, j = \overline{1, n}$ , будемо задавати у вигляді трапецієподібних нечітких чисел.

*Означення.* Нечітким трапецієподібним числом  $\tilde{A}$  [11] називається впорядкована четвірка чисел дійсних чисел  $(a_1, a_2, a_3, a_4)$ ,  $a_1 \leq a_2 \leq a_3 \leq a_4$ , для яких визначено функцію належності  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  вигляду:



$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & \text{якщо } a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & \text{якщо } a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & \text{якщо } a_3 \leq x \leq a_4 \end{cases} \quad (3)$$

Якщо до подання трапецієподібного нечіткого числа застосувати підхід на основі гаусовського розподілу з відповідними характеристиками, то в узагальненому випадку трапецієподібне нечітке число можна представити дещо в іншому вигляді:

$$\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4) = ([a_2, a_3], \alpha, \beta) = (m, w, \alpha, \beta) \quad (4)$$

де використовується середня точка  $m = \frac{a_2 + a_3}{2}$  та напівширина плато

$w = \frac{a_3 - a_2}{2}$ , а коефіцієнти  $\alpha = a_2 - a_1$  та  $\beta = a_4 - a_3$  визначають лівий та

правий розподіл нечіткого числа  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  відповідно.

Для оперування з нечіткими числами потрібно визначити операції, виходячи з наведеного вище опису. В якості середньої точки береться звичайне середньоарифметичне значення границь плато, лівий та правий розподіли розглядаються відповідно до правила решітки, за яким для довільних дійсних чисел  $a, b$  покладемо  $a \cup b = \max\{a, b\}$  та  $a \cap b = \min\{a, b\}$ .

Тоді для довільних трапецієподібних нечітких чисел  $\tilde{A} = (m(\tilde{A}), w(\tilde{A}), \alpha_1, \beta_1)$  та  $\tilde{B} = (m(\tilde{B}), w(\tilde{B}), \alpha_2, \beta_2)$  можна визначити операції додавання, віднімання, множення та ділення, які у загальному випадку позначимо символом  $\circ$ :

$$\begin{aligned} \tilde{A} \circ \tilde{B} &= (m(\tilde{A}) \circ m(\tilde{B}), w(\tilde{A}) \cup w(\tilde{B}), \alpha_1 \cup \alpha_2, \beta_1 \cup \beta_2) = \\ &= (m(\tilde{A}) \circ m(\tilde{B}), \max(w(\tilde{A}), w(\tilde{B})), \max(\alpha_1, \alpha_2), \max(\beta_1, \beta_2)) \end{aligned} \quad (5)$$

Остаточнo маємо

$$\begin{aligned} \tilde{A} + \tilde{B} &= (m(\tilde{A}) + m(\tilde{B}), w(\tilde{A}) \cup w(\tilde{B}), \alpha_1 \cup \alpha_2, \beta_1 \cup \beta_2) = \\ &= (m(\tilde{A}) + m(\tilde{B}), \max(w(\tilde{A}), w(\tilde{B})), \max(\alpha_1, \alpha_2), \max(\beta_1, \beta_2)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tilde{A} - \tilde{B} &= (m(\tilde{A}) - m(\tilde{B}), w(\tilde{A}) \cup w(\tilde{B}), \alpha_1 \cup \alpha_2, \beta_1 \cup \beta_2) = \\ &= (m(\tilde{A}) - m(\tilde{B}), \max(w(\tilde{A}), w(\tilde{B})), \max(\alpha_1, \alpha_2), \max(\beta_1, \beta_2))\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tilde{A} \times \tilde{B} &= (m(\tilde{A}) \times m(\tilde{B}), w(\tilde{A}) \cup w(\tilde{B}), \alpha_1 \cup \alpha_2, \beta_1 \cup \beta_2) = \\ &= (m(\tilde{A}) \times m(\tilde{B}), \max(w(\tilde{A}), w(\tilde{B})), \max(\alpha_1, \alpha_2), \max(\beta_1, \beta_2))\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tilde{A} \div \tilde{B} &= (m(\tilde{A}) \div m(\tilde{B}), w(\tilde{A}) \cup w(\tilde{B}), \alpha_1 \cup \alpha_2, \beta_1 \cup \beta_2) = \\ &= (m(\tilde{A}) \div m(\tilde{B}), \max(w(\tilde{A}), w(\tilde{B})), \max(\alpha_1, \alpha_2), \max(\beta_1, \beta_2))\end{aligned}$$

Для проведення операцій порівняння та ранжування нечітких чисел використаємо спосіб на основі медіанного середнього значення. Іншими словами, якщо для кожного  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4) \in F(R)$  визначено функцію ранжування  $\mathfrak{R}: F(R) \rightarrow R$  з медіанним середнім значенням у вигляді

$$\mathfrak{R}(\tilde{A}) = \left[ \left( \frac{a_2 + a_3}{2} \right) + \left( \frac{\beta - \alpha}{4} \right) \right],$$

тоді для довільних двох трапецієподібних нечітких чисел  $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  та  $\tilde{B} = (b_1, b_2, b_3, b_4)$  маємо наступні можливі варіанти порівняння:

- $\tilde{A} \succ \tilde{B}$  тоді і лише тоді, якщо  $\mathfrak{R}(\tilde{A}) > \mathfrak{R}(\tilde{B})$ ;
- $\tilde{A} \prec \tilde{B}$  тоді і лише тоді, якщо  $\mathfrak{R}(\tilde{A}) < \mathfrak{R}(\tilde{B})$ ;
- $\tilde{A} \approx \tilde{B}$  тоді і лише тоді, якщо  $\mathfrak{R}(\tilde{A}) = \mathfrak{R}(\tilde{B})$ .

Процеси обробки нечітких чисел передбачають етап дефазифікації - перетворення нечіткого результату до чіткого (числового) значення. Це важливий крок у методиці застосування нечіткого підходу, особливо в задачах нечіткого управління та нечіткої бізнес-логіки, де потрібно перетворити нечіткі розв'язки на конкретні події або числові значення. Існують різні методи дефазифікації, серед яких найбільш поширеними є метод центру тяжіння (Center of Gravity, CoG) або центроїду, метод середнього максимуму та метод максимуму. Для проведення порівняння результатів дослідження будемо використовувати метод центру тяжіння. У цьому методі точка дефазифікації обчислюється як центр тяжіння нечіткої множини. Для випадку неперервного способу подання нечітких чисел формула розрахунку центру тяжіння має вигляд:

$$CoG = \frac{\int_{a_1}^{a_4} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{a_1}^{a_4} \mu(x) dx}, \quad (6)$$

а для дискретної нечіткої множини:

$$CoG = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(x_i) \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}, \quad (7)$$

де  $x_i$  – точки, що визначають результат, а  $\mu(x_i)$  – ступінь належності кожної точки нечіткій множині,  $i = \overline{1, n}$ .

*Алгоритм пошуку маршруту комівояжера в нечіткій задачі.* Для формування шляхів в моделі оптимізації ASO розглянемо граф  $G = (V, E)$ , в якому  $V$  – це множина з  $m$  вершин, а  $E$  – множина ребер. Кожному ребру  $(i, j) \in E$  співставляються два ключові параметри: час переміщення  $T_{ij}$  по ребру  $(i, j)$  (зазвичай пропорційний довжині шляху  $D_{ij}$ ) та інтенсивність феромону  $\tau_{ij}$  на ребрі  $(i, j)$ ,  $i, j = m$ .

Збереження рівня феромонів є ключовим процесом для міжагентної взаємодії мурах між собою. Інтенсивність феромонів на ребрі  $\tau_{ij}$  оновлюється на основі досвіду мурах, що пройшли за цим ребром. Для оновлення рівня феромону використовують формулу:

$$\tau_{ij}(s+1) = (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(s) + \Delta \tau_{ij}(s),$$

де  $\rho$  – коефіцієнт випаровування феромону,  $0 < \rho < 1$ , а  $\Delta \tau_{ij}(s)$  – кількість феромону, що залишається мурахами на ребрі  $(i, j)$  на ітерації  $s$ ,  $s = 0, 1, 2, \dots$ .

Випарування феромонів зменшує інтенсивність феромону на всіх ребрах, що дозволяє забувати попередні (можливо неоптимальні) шляхи, адаптуватись до змін і запобігати передчасній збіжності до локальних оптимумів.

Вибір кожного етапу шляху руху мурахі базується на випадкових правилах. Коли на ітерації  $s$  мураха  $k$  знаходиться в вершині  $i$ , вона обирає наступну вершину  $j$  з певної ймовірністю  $P_{ij}^k(s)$ , яка залежить від інтенсивності феромону і видимості  $\eta_{ij}$ , яка є обернено пропорційною довжині шляху  $\eta_{ij} = 1/D_{ij}$ :

$$\begin{cases} P_{ij}^k(s) = \frac{(\tau_{ij}(s))^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{l \in J_i^k} (\tau_{il}(s))^\alpha (\eta_{il})^\beta}, \text{ якщо } j \in J_i^k \\ P_{ij}^k(s) = 0, \text{ якщо } j \notin J_i^k \end{cases} \quad (8)$$

де  $\alpha$  та  $\beta$  – це регульовані параметри, що контролюють відносний вплив феромону та видимості, відповідно, а сума у знаменнику розраховується за всіма доступними ребрами (множина доступних вершин  $J_i^k$  з вершини  $i$ ). Якщо  $\alpha = 0$ , то найвірогіднішим буде перехід у найближчі міста (у класичному випадку це відповідає, так званому, жадібному алгоритму). Якщо  $\beta = 0$ , тоді працює лише феромонне підсилення, що призводить до швидкого завершення роботи алгоритму через збіжність маршрутів усіх мурах до одного субоптимального розв'язку.

Відзначимо, що сума всіх ймовірностей переходу з вершини  $i$  за всіма можливими варіантами з множини  $J_i^k$  на ітерації  $s$  дорівнює 1:

$$\sum_{j \in J_i^k} P_{ij}^k(s) = 1. \quad (9)$$

Основна мета мурашиного алгоритму – мінімізація довжини шляху  $L$ , який є сумою довжин ребер на шляху мурахи:

$$L = \sum_{(i,j) \in P} D_{ij}, \quad (10)$$

де  $P$  позначає множину ребер, з яких складається шлях мурахи.

Розглянемо схему реалізації чотирьох основних компонентів самоорганізаційної поведінки мурах під час оптимізації маршруту комівояжера. Послідовно реалізуючи ітераційні кроки, що відтворюють

процедуру знаходження маршруту кожною мурахою, отримуємо схему функціонування мурашиного алгоритму для розв'язання нечіткої задачі комівояжера. Перехід мурахи з міста  $i$  в місто  $j$  на ітерації  $s$  алгоритму залежить від трьох складових: табу-списка, видимості та віртуального сліду феромону. Табу-список  $A_i^k$  – це перелік міст, які вже відвідані мурахою  $k$  до вершини  $i$  і заходити в які ще раз заборонено. Це перелік збільшується з проходженням за маршрутом та очищується на початку кожної ітерації алгоритму. Позначимо через  $J_i^k$  перелік міст, які ще потрібно відвідати мурасі  $k$ , що перебуває у місті  $i$ . Зрозуміло, що об'єднання переліків  $A_i^k$  та  $J_i^k$  дає множину усіх міст, вказаних в задачі комівояжера.

*Опис алгоритму.* На першій ітерації  $s=0$  кількість феромонів на кожному шляху дорівнює  $\tau_{ij}(0)=0$ . Генерується набір мурах в кожній вершині графу.

В процесі ітерації кожна мураха діє окремо. В першому місті  $i$  табу лист  $A_i^k$  для мурахи  $k$  складається з міста, в якому знаходиться мураха  $A_i^k = \{i\}$ . Далі, кожна мураха обирає з певною ймовірністю наступне місто для переміщення, виходячи з заданої часової тривалості пересування до найближчих міст за формулою (1). Для цього будемо використовувати генератор випадкових чисел.

Після обрання наступного міста  $j$ , додаємо це місто до табу-переліку  $A_j^k = \{i, j\}$ . На наступному кроці обирається наступне місто для переходу і так далі до останнього міста в маршруті. Якщо маршрут не можна замкнути, то мураха вважається недійсною до наступної ітерації.

Після завершення ітерації розраховується випаровування феромону для кожного можливого ребра. Далі для кожної мурахи з успішно завершеним маршрутом після виконання ітерації  $s$  розраховується тривалість маршруту і для кожного ребра, використаного в маршруті,

додається феромон у кількості, яка є обернено пропорційною тривалості маршруту для кожної мурахи

$$\Delta\tau_{ij}(s) = \frac{Q}{L_k},$$

де  $L_k$  – тривалість успішного маршрути кожної мурахи  $k$ , а ребро  $(i, j) \in L_k$  належить до маршруту мурахи  $k$ ,  $Q$  – регульований параметр, значення якого обирають одного порядку з довжиною оптимального маршруту [12].

Таким чином, за умови коректно обраних значень параметрів  $\alpha$  та  $\beta$  з кожною ітерацією поступово отримаємо покращені результати.

**Результати обчислень.** Наведемо результати проведених чисельних експериментів. На попередньому етапі алгоритм АСО був адаптований до вирішення задачі комівояжера з нечіткою тривалістю переміщень між містами. Для цього було проведено фазифікацію задачі, наведеної в роботі [13] за допомогою трапецієподібних нечітких чисел (рис. 1).

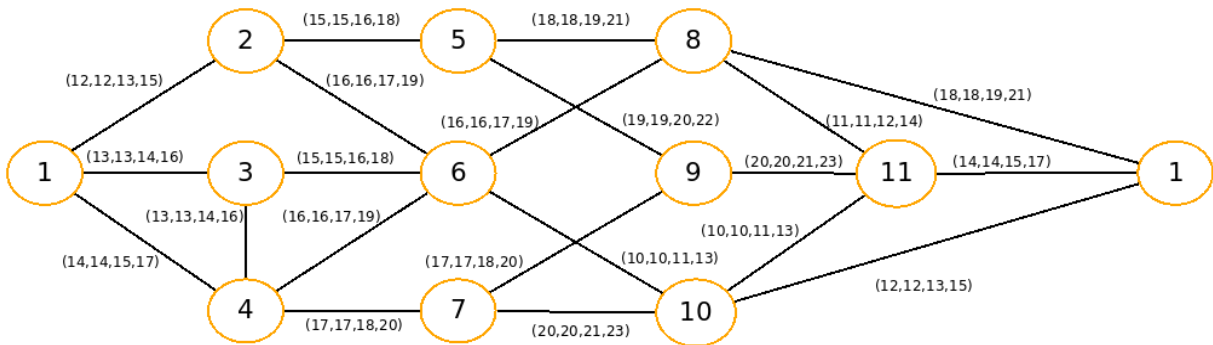


Рисунок 1 – Схема-приклад задачі комівояжера з нечіткою тривалістю

Ранжування маршрутів з нечіткою тривалістю виконувалось за допомогою методу COG для неперервного способу подання нечітких чисел (6).

Для даної задачі проведено чисельні розрахунки маршруту комівояжера методом повного перебору та за допомогою алгоритму ASO. Застосування алгоритму ASO для задачі комівояжера у вказаній конфігурації характеризується високою швидкістю збіжності та забезпечує знаходження найкращого результату при досить консервативних параметрів ASO (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Параметри ASO для вирішення ЗК

$\alpha$	$\beta$	$Q$	$V_{vap}$	<i>Iteration</i>
0.1	-1	20	0.05	4
0.1	-2	20	0.05	3
0.1	-4	20	0.05	2
0.15	-1	20	0.05	5
0.2	-1	20	0.05	5
0.25	-1	20	0.05	7
0.3	-1	20	0.05	8

У колонці “Ітерація” вказано першу ітерацію, на якій отримано найкращий розв’язок з найбільшою ймовірністю.

Оптимальна тривалість маршруту в задачі комівояжера на основі повного перебору визначається нечітким трапецієподібним числом (156,156,167,189). При застосуванні мурашиного алгоритму для вирішення задачі отримано аналогічний розв’язок, при чому результат досягається, як правило, вже на 3-й або 4-й ітерації, а його дефазифікована на основі методу *CoG* величина складає 167.92 одиниць.

Подальші експерименти з ASO проводились для оцінки якості отриманого результату з урахуванням різної кількості міст транспортної мережі. В процесі чисельних розрахунків генетичний алгоритм використовувався для розв’язання ЗК при випадковому розміщенні  $n = 16, 17, 18$  міст на двовимірній площині  $200 \times 200$ , для якого величини переміщення між містами мережі визначались за середньою тривалістю нечіткого часу, яка вважалась пропорційною відстані між відповідними містами.

Було проведено 3 групи експериментів, коли кількість ітерацій дорівнює: чотирикратній кількості міст (табл. 2), подвійній кількості міст (табл. 3), кількості міст (табл. 4). Кількість мурах дорівнює кількості міст у кожному випадку.

Таблиця 2 – Кількість ітерацій дорівнює чотирикратній кількості міст

$V_{vap}$	$\alpha$	$\beta$	$Q$	Кількість міст, якість		
				16	17	18
0.05	0.15	-1	20	103.72%	104.31%	104.0%
0.05	0.15	-1.5	20	103.56%	103.81%	104.28%
0.05	0.15	-2	20	103.67%	103.73%	104.19%
0.05	0.15	-2.5	20	103.75%	103.93%	103.97%
0.05	0.15	-3	20	103.68%	104.18%	104.27%
0.05	0.15	-3.5	20	103.97%	104.21%	104.30%
0.05	0.15	-4	20	103.88%	104.11%	104.33%
0.05	0.1	-3	20	103.77%	104.04%	104.64%
0.05	0.15	-3	20	103.68%	103.78%	103.87%
0.05	0.2	-3	20	103.66%	103.71%	103.98%
0.05	0.25	-3	20	104.02%	104.10%	104.19%
0.05	0.3	-3	20	104.08%	104.11%	104.32%

Таблиця 3 – Кількість ітерацій дорівнює подвійній кількості міст

$V_{vap}$	$\alpha$	$\beta$	$Q$	Кількість міст, якість		
				16	17	18
0.05	0.15	-1	20	104.04%	104.50%	104.74%
0.05	0.15	-1.5	20	103.94%	104.48%	104.78%
0.05	0.15	-2	20	103.98%	104.23%	104.81%
0.05	0.15	-2.5	20	103.99%	104.17%	104.26%
0.05	0.15	-3	20	103.97%	103.99%	104.56%
0.05	0.15	-3.5	20	104.10%	104.26%	104.38%
0.05	0.15	-4	20	103.86%	104.36%	104.55%
0.05	0.1	-3	20	103.88%	104.11%	104.58%
0.05	0.15	-3	20	103.87%	103.91%	104.56%
0.05	0.2	-3	20	104.01%	104.40%	104.47%
0.05	0.25	-3	20	104.12%	104.28%	104.83%
0.05	0.3	-3	20	104.34%	104.44%	104.72%

Таблиця 4 – Кількість ітерацій дорівнює кількості міст

$V_{vap}$	$\alpha$	$\beta$	$Q$	Кількість міст, якість		
				16	17	18
0.05	0.15	-1	20	104.75%	104.92%	104.96%
0.05	0.15	-1.5	20	104.61%	105.06%	105.20%
0.05	0.15	-2	20	104.42%	104.45%	104.69%



Продовження Таблиці 4

$V_{vap}$	$\alpha$	$\beta$	$Q$	Кількість міст, якість		
				16	17	18
0.05	0.15	-2.5	20	104.35%	104.69%	105.11%
0.05	0.15	-3	20	104.54%	104.57%	104.75%
0.05	0.15	-3.5	20	104.38%	104.39%	104.71%
0.05	0.15	-4	20	104.11%	105.12%	105.15%
0.05	0.1	-3	20	104.37%	104.50%	105.13%
0.05	0.15	-3	20	104.34%	104.47%	104.75%
0.05	0.2	-3	20	104.31%	104.77%	104.83%
0.05	0.25	-3	20	104.45%	104.70%	104.83%
0.05	0.3	-3	20	104.47%	104.96%	105.05%

Для кожного експерименту проведено оцінювання впливу зміни параметрів  $\beta$  та  $\alpha$  на остаточний результат. Порівняння найкращого результату, отриманого за допомогою алгоритму ASO за задану кількість ітерацій, з найкращим результатом, отриманим методом повного перебору, наведено в таблицях 2, 3 та 4. Значення якості порівняння результатів подаються у відсотках, які визначаються величиною отриманого збільшення довжини шляху по відношенню до результату, що отримано методом повного перебору.

Як можна бачити з наведених результатів за умови здійснення кількості ітерацій, що дорівнює кількості міст, алгоритм дозволяє отримати результати, що лежать в межах 5% від найкращого. Збільшення кількості ітерацій призводить до покращення результатів. Варіація параметру  $\beta$  в межах від -4 до -1 та параметру  $\alpha$  в межах від 0.1 до 0.3 якісно впливають на результати, які у цьому випадку знаходяться в межах 0.5% від найкращого результату розв'язування задачі комівояжера, який отримано методом повного перебору.

**Висновок.** У роботі розглянуто та проаналізовано застосування алгоритму оптимізація колонії мурах для розв'язання задачі комівояжера з нечітко заданою тривалістю переміщень на транспортній мережі.

Запропоновано схему реалізації алгоритму, що за умови невеликої кількості ітерацій дозволяє отримувати наближені до оптимальних розв'язків результати. Запропонований підхід може бути використаний для пошуку найкращого шляху в ситуаціях зі змінною тривалістю переміщень між містами. Показано, що вибір основних параметрів алгоритму оптимізація колонії мурах суттєво не впливає на якість отриманого наближеного розв'язку. Приклади використання алгоритму підтверджують конструктивність підходу для вирішення проблеми комівояжера для випадку задання нечіткої тривалості переміщень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Dorigo M., Di Caro G.A., Gambardella L.M., "Ant Algorithms for Discrete Optimization." // *Artificial Life* 5, 1999. Vol. 5(2) P. 137-172.
2. Dorigo, M. Optimization, Learning and Natural Algorithms. Ph.D. Thesis, Politecnico di Milano, Italian. 1992.
3. Stützle T., Hoos H. MAX-MIN Ant System // *Future Generation Computer Systems*, 2000, Vol.16(8), P. 889-914.
4. Dorigo, M.: *Ant Colony Optimization*, MIT Press, 2004.
5. Bouamama S., Blum C., Fages J. An algorithm based on ant colony optimization for the minimum connected dominating set problem // *Applied Soft Computing*, 2019, Vol. 80, P. 672-686.
6. Dorigo M., Di Caro G.A. AntNet: Distributed Stigmergetic Control for Communications Networks // *Journal of Artificial Intelligence Research*, 1998, Vol. 9, P. 317-365.
7. Kennedy, J., Eberhart, R.C., *Swarm Intelligence*. - Morgan Kaufmann - ISBN 978-1-55860-595-4. 2001
8. Karaboga, D., A new design method based on artificial bee colony algorithm for digital IIR filters // *Journal of Franklin Institute*, 2009, 346 (4), P. 328-348.

9. Dantzig G.B., Fulkerson D.R., Johnson S.M. Solution of a Large-scale Traveling Salesman Problem// Operations Research, 1954. № 2, 393-410.
10. Zadeh. L.A. Fuzzy sets // Information and Control, 1965. № 8. P. 338-353.
11. Dubois, D., Prade, H., The mean value of a fuzzy number // Fuzzy Sets and Systems, 1987 Vol. 24(3), P. 279-300.
12. Yang L., Wang X., He Z., Wang S., Lin J., Review of Traveling Salesman Problem Solution Methods // Communications in Computer and Information Science Bio-Inspired Computing: Theories and Applications, 2024, P. 3-16.
13. Ivohin E. V., Gavrylenko V. V., Ivohina K. E. On the recursive algorithm for solving the traveling salesman problem on the basis of the data flow optimization method//Radio Electronics, Computer Science, Control, 2023, № 3, P. 141-147.

**Комісаренко О.С., Баранов Г.Л., Войденко О.К., Метельська Д.В.**  
*Національний транспортний університет, Київ, Україна*  
*olenakomisarenko@ukr.net, baranovgl2018@gmail.com, rjerichoo@gmail.com,*  
*metelskadasha@gmail.com*

## **ЦИФРОВІЗОВАНІ ІНФОРМАЦІЙНО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗВ'ЯЗКУ ІНЖЕНЕРНИХ ЗАДАЧ**

**Анотація.** *У даній роботі запропоновано цифровізовану інформаційно інтелектуальну технологію для реалізації точних, багатограних, різномісних відношень стосовно наукового знання оригіналів-натурних об'єктів та зображень бінаризованих модельних описів в еквівалентних лінгвістично-мовним завданням.*

**Ключові слова:** *символьна цифровізація, комп'ютерні продукти, ергатична діяльність, потокові мережі, багатокритеріальне управління, ризики, майбутні задачі.*

**Abstract.** *In this work, a digitalized information and intellectual technology is proposed for the implementation of accurate, multifaceted, multitemporal relationships in relation to scientific knowledge of original natural objects and images of binarized model descriptions in equivalent linguistic and linguistic tasks.*

**Keywords:** *symbolic digitalization, computer products, energetic activity, flow networks, multi-criteria management, risks, future tasks.*

**Вступ.** Відомі прикладні інформаційні системи та технології чисельного аналізу великого обсягу даних сприяють розвитку цифрового суспільств кожної зони глобальної ноосфери. Найстаріші університети Європи та усього світу підтримують методологію набуття наукових знань впродовж усього життя для учнів, студентів та роботодавців й громадян

різних поліергатичних виробничих організацій. За майбутніми стандартами інтелектуальної транснаціональної освіти також розвивається комп'ютерна символна алгебра для міжінституційного співробітництва, консолідації, вдосконалення дієвого інженерного конструктивного потенціалу. У світовому масштабі цифровізовані інформаційно інтелектуальні технології розв'язку інженерних задач забезпечують парадигмальний ефект самоорганізованого накопичування. По-перше, це знання стосовно творчої обізнаності та навичок якісно працювати. По-друге, володіння комп'ютерними інформаційними технологіями сучасності, треба реалізовувати прогресивні, перспективні проекти подальшого розвитку: економіки, енергетики, екології, машинобудування, побудови нової інфраструктури, транспорту, агровиробництва, інформатики та багатьох інших галузей людської діяльності, включаючи медицину, бізнес, фінансово-кредитну економіку. Інтеграція практичного досвіду розв'язку складних (важких, нових) інженерних задач та результатів наукових математичних теорій існування лише за теоремами цікавих властивостей та відношень разом сприяють результатам конкретизації та обґрунтування стійкості функціонування якісних ефектів завдяки майбутнім точним прогнозам за потреб й вимог цифровізованого суспільства геосфери. Дана робота формалізує нові моделі, методи та засоби гібридної інтелектуальної цифровізації для технологій розв'язку інженерних задач побудови потокових складних динамічних систем. Ієрархічні різнотемпові процес задовольняють потреби життєвого циклу біоорганізмів та умовам існування геосфери, яку зараз спрямовують до загибелі масові викиди двоокису вуглецю та інших отрут й сміття.

**Основна частина.** Актуальною науково-технічною проблемою безпеки життєвих циклів біорізноманіття та функціональної стійкості різноманітних галузей людської діяльності є забезпечення підвищення потенціалу інтелектуальних агентів суспільства (ІАС). Це потрібно для технологій

розв'язку інженерних задач (ТРИЗ) з побудовою нової інфраструктури, промисловості, транспорту з енергетичними мобільними для різних переведень (EMV [1-2]) двигунами, за умов власних замкнених контурів, тобто без викидів газів, рідини, твердих часток, що загрожують масштабно-катастрофічними наслідками вже зараз. Розпочати новий етап еволюції без космічного та наземного сміття [2-5], який існує, накопичується та створює небезпечну основу носіїв (НОН) лиха, зможе лише інженер (engineer – проєктант майбутнього, вправний знавець машин, механізмів, інструментів, механік, будівельник, агротехнік, сапер) який відповідно специфіки відтінків англійської мови повинні досягати успіхів у діяльності анти НОН. Безпечна основа носіїв (БОН), як сутність, особливість, специфіка функціонування (СОСФ) майбутнього за критеріями більшості суспільства фіксує відповідне відоме поняття розум. За потреб цифрового суспільства, що зараз застосовує вже 4-5-6 покоління комп'ютерної інформаційної технології (КІТ). Треба зробити ще більш широку цифровізацію інформаційно інтелектуальних технологій (ЦІТ), які будуть адекватно, диференційно, доцільно інтегровано надавати відповіді на різноманітні лінгвістично-мовні ознаки громадян чи на регламентні сигнали роботів зі штучним інтелектом (AIR). Паралельна парадигмальна ознака розумно-діалогова форма спілкування завдяки термінів для людино-машинної взаємодії (НМІ) за умов стандартизованих процедур цифровізації інформаційних інтелектуальних технологій (ЦІТ) за потреб національного суспільства зможе розвивати БОН властивості: навчати інтелектуального агенту системи; здобувати навички з досвіду життєвих циклів; накопичувати, зберігати, передавати іншим знання; володіти ситуаціями у критичних станах, щоб зберігати функціональну стійкість завдяки адекватно швидкого та ресурсоефективного реагування; досягати реальних успіхів, застосування конкретної технологій розв'язку інженерних задач (ТРИЗ).

**Мета роботи** полягає у визначенні цінностей понять категорій, характеристик, критеріїв нормальної компромісної ефективності функціонування в цілому майбутньої інтелектуальної транспортної системи, що гарантує подолання давно відомих фатальних проблем на всіх ієрархічних рівнях різноманіття складних відкритих динамічних комплексах.

**Об'єкт** є процеси побудови гармонічних відношень <ноосфери – гомосапієнс – різних галузей людської діяльності – комунікації многовиду інформаційних транспортних систем> для перехідного етапу від сучасного поточного стану у новий перспективний стан.

**Предмет** моделі, методи та засоби цифровізації інформаційно-телекомунікаційних технологій, що сприяють прийняттю техніко-технологічних рішень для реалізації у заплановані терміни формування транспортних систем у конкретно вибраних технологічно природних комплексах за потреб суспільства техногенного природного комплексу (ТПК).

Щоб розв'язувати проблемні актуальні задачі для майбутнього розвитку БОН геоноосфери треба, щоб повномасштабно цифровізувати (класифікувати, структурувати, регламентувати, оптимізувати НМІ) єдиний інформаційний простір (ЄІП) майбутніх життєвих циклів взаємовідношень потокових складних динамічних систем (СДС) із зовнішнім навколишнім оточуючим середовищем (ЗНОС). Послідовність відповідних тематичних та різноаспектних описів (спочатку на будь-якій звичайній мові лінгвістики державного рівня) доцільно зробити за наступним по черзі формуванням складових інваріантів бази знань.

– Визначення предмета, об'єкта, моделі для класифікації («що називають, яким чином», «що це таке, навіщо», «що взаємодіє з чим»).

– Фіксування класу, виду, типу («що розділяється на що», «що є часткою чого», «що відноситься до чого»).

- Цілі області застосування («що потрібно де, як, навіщо, за яких по треб, у наслідок яких причин, конкретна мета для чого»).
- Календар подій, час, умови конкретних явищ («коли, дата, час, ситуація, стан, тривалість, поряд паралельно, коли (інші зони часу)»).
- Просторове місцезнаходження (що заходиться зараз де», «що функціонує, де», «що буде знаходитись, де», «інші сусіди де, що роблять»).
- Характеристика стану та статички його існування («що складають, з чого», «що є часткою чи елементом чого», «що залежить від чого»).
- Процесно-об'єктна характеристика («що реалізується, яким чином», «що перетворюється в що», «що функціонує за яких умов»).
- Еволюційна єдність розвитку («хто, що з'являється чи народжується де, коли, за яких обставин, яким чином, життєві цикли які»).
- Закономірні причинно-наслідкові відношення («хто, що визначає, яку чергу чи ланцюг», «що перетворюється за рахунок чого», «що за яких умов може стати яким»).
- Технологічні чи природні зміни формотворення («що становиться яким», «що попередньо мало яку форму», «що відбувається та стане чим»).
- Властивості та ознаки конкретних якостей («що характеризується», «щ має які показники», «що відповідає яким критеріям»).
- Результати оцінювання, метризації, порівняння та прийняття рішення («що нагадує інше», «що потрібно, чому», «що еквівалентно чому», «що відрізняється від чого», «що оцінюється новим за якими показниками та характеристиками», «що повноцінно визначає досягнення кінцевого результату чи припинення дії завдання»).

Така попередня процедура вводу конкретних лінгвістичних за мовними ознаками описів цифровізується (стає бінаризованою (0,1) для електронних логічних інженерних задач засобами наявних комп'ютерних інформаційних технологіях (КІТ) у ієрархічних мережах полієргатичних виробничих організацій (ПЕВО).



Завдяки цифровізації проблеми проектів на майбутнє, завдань на програмне забезпечення для подальших технологій автоматизації полієргатичних виробничих організацій (ПЕВО) чи автоматичного керування AIR можливо визначити формалізовану характеристику задачної системи [5-7]

$$Q = \langle \xi, Z, F, \sigma \rangle, \quad (1)$$

де,  $Q$  – тема або об'єкт подальшої обробки вхідних  $L$  даних;  $\xi$  – комплекс, перелік цілеспрямованих інфраструктур по черзі керування в даному класі технологій розв'язку інженерних задач (ТРІЗ) для отримання кінцевих ефектів та результатів;  $Z$  – множина початкового  $Z_0$ , поточних, чергових  $Z_i$ , а також цільових станів  $Z_n$  даного класу об'єктних дій згідно життєвих циклів, що явно задані;  $F$  – множина продуктивних функціоналів, які перетворюються у почерговий ряд визначальних операторів  $f_n(f_{n-1}(\dots(f_i))\dots) \in \xi$  щоб за кінцеву кількість кроків та час обчислень досягти мети за критеріями  $\xi$  інструкцій управління технологічним процесом  $Q$ ;  $\sigma$  – початковий символ переходу до практичної реалізації  $L$  лінгвістично означеної задачної системи з захистом інформації від несанкціонованих дій різних хакерів.

У свою чергу інтерпретації символічних цифрових кодів єдиного інформаційного простору (ЄІП) формальна логічна конструкція окремої задачі має вид

$$D = \langle \xi, X, Y, W \rangle, \quad (2)$$

де, поняття  $D$ , що складено з  $d$  типових програмних модулів (ТПМ) конкретного програмно-апаратного комплексу належать комп'ютерним інформаційним технологіям, відповідає за оператори  $f_i \in F$  у межах обраної обчислювальної системи з заданими інтелектуальними агентами системи даними  $Q$  (1);  $X$  та  $Y$  відповідно вхідні та додаткові інформаційні множини, які повно описують об'єкт, конкретні параметри, умови, критерії та

обмеження, включаючи цілеспрямування для досягнення рішення у заданій формі звітування й візуалізації;  $W$  конкретний опис наявних множинних ресурсів комп'ютерних інформаційних технологій, що може застосувати дана задача за умов точності, надійності, ефективності та завчасності завершення задачних процедур.

Коли всі компоненти  $\xi, X, Y, W$  задані, узгоджені, збалансовані то можливість БОН алгоритмічної ефективності беззаперечна, тоді така тривіальна та у бібліотеці КІТ зафіксована, як типовий програмний модуль (ТПМ) за назвою  $D$  індивідуальності у межах класу. Задачі, поняття, об'єкти, множини, графи математична символіка характеризують  $L$  мову, яка є інструментом лінгвістичних описів ПСДС разом зі ЗНОС засобами цифровізації інформаційно інтелектуальних технологій (ЦІТ) з властивостями вкладеності (3).

$$Q_\tau \in Q \subset L; (X_\tau \in X, Y_\tau \in Y) \in Z \subset L; \omega_\tau \in W \subset L; c_\tau \in C \in \text{const} \subset L, \quad 3)$$

де, кожен машинний лінгвістичний  $L$  символ, знак, код, разом з індексами  $\tau, i, j, k$  за по треб уточнення складових елементів визначають однозначну лінгвістичну змінну [7], що звичайна з тематичними ТРІЗ для ПЕВО згідно призначення.

Лінгвістичні логіко-алгоритмічні об'єкти мають сутність, особливість та специфіку функціоналів (СОСФ) ще й парадигмальну властивість відповідно інженерних конструкцій класу

$$\{A; B_A, C_B(A_C, b_B)\}, \quad (4)$$

де, множини  $A$  та  $A_C$  описують відповідно структуризації узагальнене поняття  $A$  та його частку  $A_C$ , що має відношення з  $C_B$  підмножиною; множини  $B_A$  та  $b_B$  описують узагальнені поняття для області перетину  $A \cap B$ , яка визначає за діаграмами Вена [5-6] спільну єдину частку  $B_A$  означених множин перетину, а також й для лише елементів  $b_B \in B$ , та лише й за умов  $b_B \in C_B$  за окремим перетином  $C_B \cap b_B$ ; вкладена зв'язуюча конструкція

$C_B(A_C, b_B)$  розкриває явним логічним чином дієві зв'язки, які звичайно замовчуються експертами, знавцями, а більшість виконавців програмістів тай не звертають увагу на ці дієві взаємовідношення, які проявляються значно пізніше в умовах реальної експлуатації ТПМ, ПАК, в цілому КІТ згідно задінь ІАС.

Опис множинного відношення наприклад,  $R(X \rightarrow B)$  на лінгвістичному рівні поняття логіки квантора « $\forall$  для всіх елементів множини»  $X$ -носія узагальнено означеної властивості належить іншим всім елементам  $B_i$  універсуму  $B$  множини, що повно в явній формі потребує детального переліку згідно алгоритмічного списку.

$$(X \rightarrow B) := \langle X \rightarrow B_1 \rightarrow B_2 \rightarrow \dots \rightarrow B_i \rightarrow \dots \rightarrow B(N-1) \rightarrow BN \rangle \quad (5)$$

де, повний перелік  $\forall i = \overline{1, N}$  складових залежить від об'єкта, оригіналу та від задачі з розрахунковою обчислювальною моделлю.

Врахування СОСФ природного об'єкта дозволяє довгий ланцюг з елементами  $B_i \in B$  розбивати на доцільні підмножини (наприклад, грані, групи чи підгрупи). Тоді цільову комбінацію  $C_B(A_C, b_B)$  можна зберегти завдяки  $A_C$  та  $b_B$  вказівок еквівалентного змісту чи розширення БОН універсумів  $A$  та  $B$  між якими окремо виділена  $C_B$  множина грає власну роль для ефективного обчислення в конкретній задачі з конкретними  $B_i$  об'єктами. ТПМ використовують в процедурах обчислень зворотні описи  $\bar{R}(X \leftarrow \{B_i \in B\})$  замість лінгвістичних  $R(X \rightarrow B)$ . ІАС, встановлюючи завдання на обчислення на основі досвіду, обізнаності та практичних знань, за необхідністю локальні фрагменти мережі конкретизує, наприклад,  $\{B_i, B_j, B_k\} \in B$  чи навпаки  $C_B(A_C, b_B)$  для отримання результатів управління.

Інваріантність запропонованої бази знань у парадигмальних двох сутностях (лінгвістичної  $l \rightarrow L$  мови запитів та відповідностей

12 спрямувань; бінаризованої  $L$  у регістрах пам'яті КІТ досягається з метою розвитку та розширення масштабів ТРІЗ за рахунок необхідних та достатніх ЦІТ. Єдиний інформаційний простір відображається  $l \rightarrow L \rightarrow l$  парадигмально у єдиній інтелектуальній системі структуризації. Для диференціальних та інтегральних, логічних та алгебраїчних перетворень при розв'язках математичних задач аналізу, синтезу керованих об'єктів та відповідних засобів управління ними.

База знань ЦІТ також пояснює СОСФ на рівнях термінів, понять; концептуально-семантичних моделей; характеристик властивостей, критеріїв, еквівалентності та обмежень; формально-логічних цільових відношень та узагальнених категорій цифровізованого інтелекту ТРІЗ для ПСДС.

Кожна парадигмальна складова ядра бази знань ЦІТ характеризується описами п'яти класів. МЕ – поняття мети об'єкта ієрархії цілей  $ME_i \in ME, \forall i = I$  згідно  $Q$  теми. МА – макрооб'єкти  $MA_j \in MA_j \subset ME_i, \forall j = J$  матеріальної організації. МІ – мікрооб'єкти  $MI_k \in MI_k \subset MA_j, \forall k = K$  елементи породження складності. ТСВ – тематичні системоутворюючі зв'язки зовнішніх  $R_h$  з'єднань. МВО – макрозв'язки внутрішніх власних  $R_m$  з'єднань.

Графова форма відображень моделей відповідних об'єктів  $G(B, C, Q)$ , де  $B$  – множина вузлів даної мережі (фрагменти у підмережі);  $C$  – множина граней, що вміщують лише породжуючи кількість вузлів та зв'язків (гілок, каналів, шляхів, трас, способів локального зв'язку) у ЄП;  $Q$  – повна множина лише парних зв'язків, що у ланцюгах проміжних вузлів  $B_i$  відображає початковий (begin, start) та кінцевий (end, finish) локалізований зв'язок. Для понять ТСВ та МВО відповідно маємо пари

$$R_h(ME_i, MI_k) \in ME_i, \forall h \in H; R_m(MA_j, MI_k) \in MA_j, \forall m \in M. \quad (6)$$

У процесах ергатичного моделювання за потреб ТРІЗ для всіх аналогів (4) ієрархічних етапів декомпозиції чи зворотного інтегрування доцільна підпорядкована підсистема СОСФ взаємозв'язків. СФД – сутність функцій дієвості атрибутних тематичних взаємозв'язків, що уточнюють контактні зовнішні зв'язки між  $ME_i$  та  $MI_k$  поняттями. СВС – сутність визначних ситуацій атрибутів ситуаційної парадигмальної єдності між  $MA_j$  та  $MI_k$  поняттями процесу конкретних потокових внутрішніх явищ. УСК – уніфіковані системні коди (без повторень для розпізнання), що призначені конкретизувати змістовність поняття  $MI_k$  для вибору методу застосування ефективного ТПМ з повномасштабної бібліотеки ПАК КІТ. ТРП – таблиця робочих параметрів, що за множиною конкретних різноманітних таблиць параметризують практичний досвід та досить точно характеризують чисельні значення аналогів та прототипів стосовно особливих точок (перетину осі  $X$ ,  $Y$  чи  $Z$ ; крутизни та кручення у локальній зоні; заборони НОН та означення БОН; граничних нормалізованих обмежень; можливого розгалуження за ситуацією динамічної зміни), а також показників метрологічності (план, факт, контроль, діагностика, рішення) якості, ефективності, прибутковості, результативності капіталовкладень за темою.

**Висновок.** Цифровізовані інформаційно інтелектуальні технології розв'язку інженерних задач за потреб безпеки геонаосфери гарантує розвиток нової інфраструктури ПЕВО на майбутнє без небезпечної основи носіїв загроз, збурень, завад, лиха за рахунок врахування парадигмальних ієрархічних відношень.

Наведено описи баз знань нового науково-методичного апарату накопичування, зберігання та активного застосування за потреб інтелектуальних агентів системи, що відповідають за майбутні результати ТРІЗ для оперативного, адекватного управління, яке упереджує природні збурення об'єктів нової інфраструктури. Визначено сутність, особливість,

специфіку функціонування оригінальних об'єктів всіх видів їх побудови згідно завчасних обчислень засобами ТРІЗ на базі нових поколінь ПАК КІТ.

Рекомендовано одночасно, паралельно, планомірно розширювати запропоновані результати практичної апробації ЦІТ для всіх галузей людської діяльності у межах геаноосфери шляхом інтелектуалізації розвитку ПЕВО, машинобудування, енергетики, транспорту та за іншими актуальними напрямками ТРІЗ для машинного навчання, медичної допомоги, фінансово-банківського забезпечення в цілому економіки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Баранов Г.Л., Комісаренко О.С., Прохоренко О.М., Процесні інфологічні моделі в задачах гетерогенної взаємодії складних динамічних систем та нестационарного середовища. Вісник Національного транспортного університету. №1. 2019. С. 3-12.
2. Chessell M. Common Information Models for an Open, Analytical, and Agile World / M. Chessell, G. Sivakumar, D. Wolfson et all. New York: IBM Press, 2015. 240 p.
3. Hilbert M. How Much Information is There in the “Information Society”? Significance. 2012. Vol. 9(4). P. 8-12.
4. Баранов Г.Л., Левковець П.Р. Телекомунікаційні технології на транспорті. Київ : НТУ, 2007. 448 с.
5. Bawden D., Robinson L. The dark side of information: overload, anxiety and other paradoxes and pathologies. Journal of information science. 2008. Vol. 35(2). P. 180-191.
6. Peter Norvig, Stuart Russell. Artificial Intelligence Third Edition - A Modern Approach. URL: <https://www.askbooks.net/2022/02/pdf-ai-artificial-intelligence-third.html>.
7. Pave A. Modeling of Living Systems: From Cello Ecosystem. New York: John Wiley & Sons. 2012. 620 p.

Лемешко А., Ткаченко О.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
[andrii.lemeshko@gmail.com](mailto:andrii.lemeshko@gmail.com), [olga.tkachenko@knu.ua](mailto:olga.tkachenko@knu.ua)

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕРЕЖЕВОЇ БЕЗПЕКИ: ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИСТРОЇВ І СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАХИСТУ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

**Анотація.** У роботі досліджено сучасні підходи до забезпечення безпеки інфокомунікаційних мереж, зокрема локальної мережі підприємства. Проведено аналіз переваг та недоліків архітектур та пристроїв що забезпечують кібербезпеку, порівняно вплив на ефективність захисту інформаційних систем від кіберзагроз. Використано середовище Cisco Packet Tracer, для моделювання мережевої інфраструктури та оцінки ефективності інтеграції брандмауерів, систем IDS/IPS і VPN-з'єднань. Розглянуто концепції нульової довіри та сегментації мережі.

**Ключові слова:** онлайн-освіта, штучний інтелект, персоналізація, е-освіта.

**Abstract.** This paper explores modern approaches to ensuring network security, particularly in the context of the local area network of the enterprise LLC. It analyzes the advantages and disadvantages of various security devices and architectures, as well as their impact on protecting information systems from cyber threats. Using the Cisco Packet Tracer network infrastructures modeled to evaluate the effectiveness of integrating firewalls, IDS/IPS systems and VPN connections. The concepts of Zero Trust and network segmentation discussed.

**Key words:** network, topology, hierarchical model, architecture, firewall, security systems.

**Вступ.** Захист інформації в сучасних інфокомунікаційних мережах є одним із визначальних пріоритетів. Серед основних загроз – викрадення конфіденційної інформації, знищення даних, спотворення інформації та виведення з ладу комп'ютерних систем. Це лише частина потенційних ризиків, що виникають під час експлуатації та використання прикладних інформаційних систем. Ефективна система безпеки повинна мати комплексний характер і забезпечувати захист від різноманітних загроз, включаючи контроль за діяльністю працівників, які мають доступ до внутрішніх ресурсів автоматизованої інформаційної системи.

### **Постановка задачі.**

Для досягнення цього необхідно використовувати спеціалізовані апаратно-програмні засоби, які забезпечують високий рівень безпеки, здійснюють моніторинг комп'ютерної системи в режимі реального часу, захищати дані від зовнішніх і внутрішніх атак, а також своєчасно реагувати на спроби несанкціонованого доступу.

Оскільки кількість інформації, що передається в електронному вигляді, постійно зростає, важливо враховувати безпеку під час функціонування локальної мережі. Незважаючи на те, що велика увага приділяється безпроводовим мережам і віддаленому доступу до них, важливо враховувати масштаб мережі, а саме:

- невелику домашню мережу, яка з'єднує кілька комп'ютерів один з одним та з глобальною мережею Інтернет;
- малий офіс, що дозволяє завдяки комп'ютеру підключатися до корпоративної мережі чи отримувати доступ до централізованих, спільних ресурсів з метою забезпечення роботи офісу;
- мережу середнього та великого розмірів можуть охоплювати декілька локацій із сотнями або тисячами з'єднаних комп'ютерів;
- глобальну мережу Інтернет, що з'єднує сотні мільйонів комп'ютерів.



Необхідність врахування масштабу мережі під час обрання інструментів для її захисту зумовлено тим, що навіть найпоширеніші типи мережевих інфраструктур (локальні мережі та глобальні мережі) суттєво відрізняються за: площею; кількості під'єднаних користувачів; діапазоном і послугами; сферою відповідальності.

### Аналіз готових рішень

З іншого боку, більшість локальних мереж, як і глобальні мережі, розроблено як згорнуті магістральні мережі за допомогою комутатора рівня 2 або 3 (рис. 1).

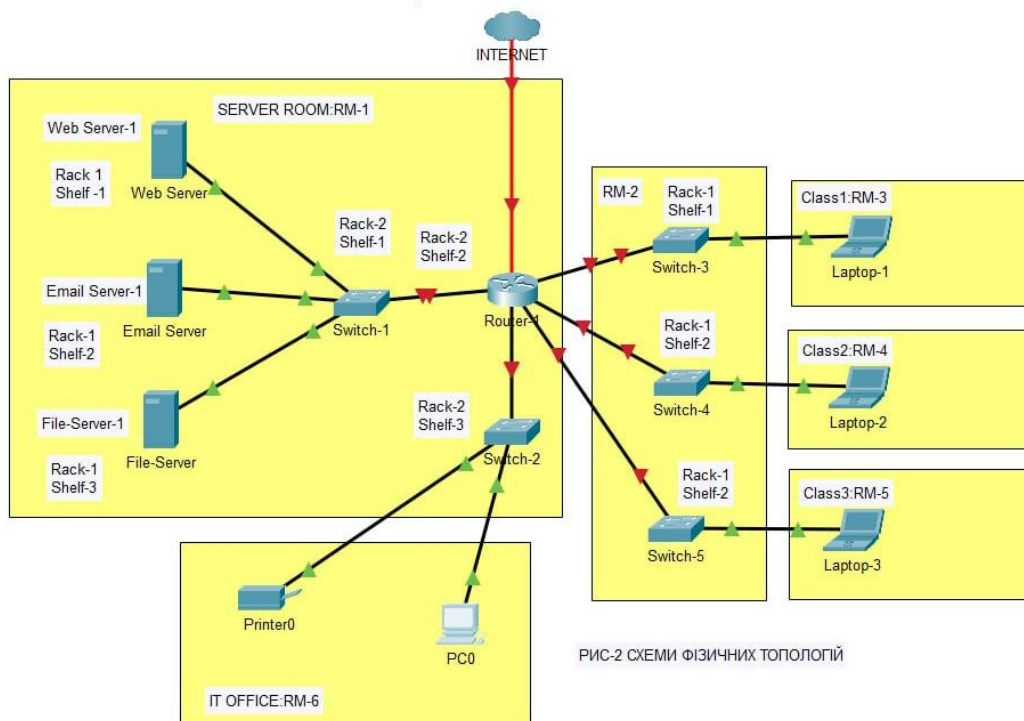


Рисунок 1 – Приклад мережі LAN, підключеної до мережі WAN

Недоліком такої побудови мережі є те, що, якщо комутатор або маршрутизатор вийшов з ладу через збій живлення, сегмент або вся мережа може припинити роботу до відновлення живлення або заміни обладнання, що вийшло з ладу внаслідок збою. Такий вихід з ладу обладнання є дуже поширеним явищем під час стабілізаційних відключень електроенергії в об'єднаній енергетичній системі України внаслідок військових дій. У деяких

випадках збій мережі є результатом вірусної атаки на вторинне сховище, що призводить до втрати даних.

У зв'язку з тим, що традиційні моделі безпеки комп'ютерних мереж поступово втрачають свою ефективність, виникає нагальна потреба у розробленні та впровадженні нових підходів для забезпечення захисту автоматизованих інформаційних систем від сучасних кіберзагроз, що ставить перед організаціями завдання пошуку досконаліших методів захисту, які б відповідали вимогам сучасних корпоративних сервісів і продуктів.

З огляду на це, актуальним завданням є розроблення способів удосконалення безпеки корпоративної мережі, зокрема підвищення ефективності захисту її операційних середовищ, даних і вузлів. Важливо, щоб нові підходи враховували специфіку сучасних кіберзагроз, зростаючу складність атак, а також обмеженість ресурсів, доступних для імплементації рішень.

Тому, для знаходження ефективного шляху реалізації захисних заходів, необхідно враховувати такі важливі фактори, як складність впровадження, вартість рішень, а також обмежені технічні та фінансові ресурси, що є типовими для більшості організацій.

Сучасні тренди забезпечення мережевої безпеки швидко змінюються через зростаючі кіберзагрози, розвиток технологій та нові виклики, пов'язані з масштабованістю мереж і цифровізацією бізнесу.

Як-от, концепція Zero Trust передбачає, що жоден користувач або пристрій не вважають надійним, навіть якщо він знаходиться всередині корпоративної мережі, тому для доступу до ресурсів необхідна постійна перевірка ідентифікації користувача, пристрою та дій, що виконує цей користувач.

Новим викликом є використання штучного інтелекту та машинного навчання для виявлення загроз та автоматизації процесів безпеки. Ці

технології аналізують великі обсяги даних для виявлення аномалій і кібератак на ранніх стадіях. Їх також використовують для автоматизації відповіді на інциденти.

Відомим підходом є SASE (Secure Access Service Edge), що означає об'єднання мережевих технологій і функцій безпеки, таких як SD-WAN, VPN, міжмережеві екрани в одну хмарну платформу. SASE дозволяє захистити віддалений доступ до корпоративних ресурсів, незалежно від місця перебування користувачів.

Зі зростанням поширеності хмарних сервісів з'являються нові виклики у сфері безпеки. Організації фокусуються на захисті хмарної цифрової інфраструктури, використовуючи хмарні міжмережеві екрани, багатофакторну аутентифікацію, шифрування даних у хмарі.

Застосовують нині Endpoint Detection and Response (EDR), що передбачає активний моніторинг і виявлення загроз на кінцевих пристроях, таких як комп'ютери, мобільні пристрої або сервери. Системи EDR не тільки ідентифікують загрози, але й дозволяють швидко реагувати на них для мінімізації шкоди.

Через зростання кількості IoT-пристроїв важливим аспектом стає їх захист. IoT-пристрої часто вразливі через недостатні можливості для оновлення та слабкий рівень захисту. Нові рішення спрямовано на моніторинг цих пристроїв та запобігання потенційним загрозам.

Технології аналізу ризиків у режимі реального часу дозволяють установам виявляти потенційні загрози на основі поточних даних і миттєво вживати заходів для захисту.

DevSecOps – це інтеграція безпеки у всі етапи розроблення програмного забезпечення, що дозволяє виявляти і виправляти вразливості на ранніх етапах розробки, що знижує загальні ризики.

Мультифакторна аутентифікація стає стандартом для захисту облікових записів і зменшення ризику несанкціонованого доступу до мереж

і систем. Використання декількох факторів аутентифікації, таких як паролі, одноразові коди чи біометричні дані значно підвищує рівень безпеки.

Тому зі зростанням кількості віддалених співробітників багато компаній інвестують у рішення для забезпечення безпечного доступу до корпоративних ресурсів, таких як VPN, хмарні рішення для безпеки, та рішення для моніторингу віддалених робочих середовищ.

Дійсно, мережева безпека стає дедалі складнішою, і підприємства мають адаптуватися до нових викликів через впровадження сучасних технологій і стратегій.

У зв'язку з постійним розвитком кіберзагроз і технологій, необхідно обирати такі рішення, що не лише забезпечують високий рівень захисту, але й можуть бути ефективно впроваджені з урахуванням специфіки підприємства та доступних ресурсів, що вимагає ретельного аналізу наявних технологій та їхньої адаптації до потреб компанії.

### **Впровадження пристроїв та систем**

Розглянемо можливості використання апаратних і програмних засобів, таких як міжмережеві екрани, системи виявлення та запобігання вторгненням (IDS/IPS), VPN для безпечного з'єднання, а також архітектурні рішення, включаючи Zero Trust та сегментацію мережі, що сприяють підвищенню рівня захисту без значного збільшення витрат.

Таким чином, детальний аналіз цих компонентів допоможе знайти оптимальні шляхи для впровадження захисних заходів в типову інфраструктуру мережі з урахуванням поточних ресурсних обмежень та технічних вимог.

*Архітектури безпеки* Дизайн брандмауера полягає, передусім, в інтерфейсах пристроїв, що дозволяють чи забороняють трафік за джерелом, призначенням та типом трафіку. Три конструкції брандмауера є такими.

1) Публічний і приватний – це загальнодоступна/публічна мережа (зовнішня мережа) – ненадійна мережа, приватна мережа (внутрішня мережа) – надійна мережа (рис. 2).

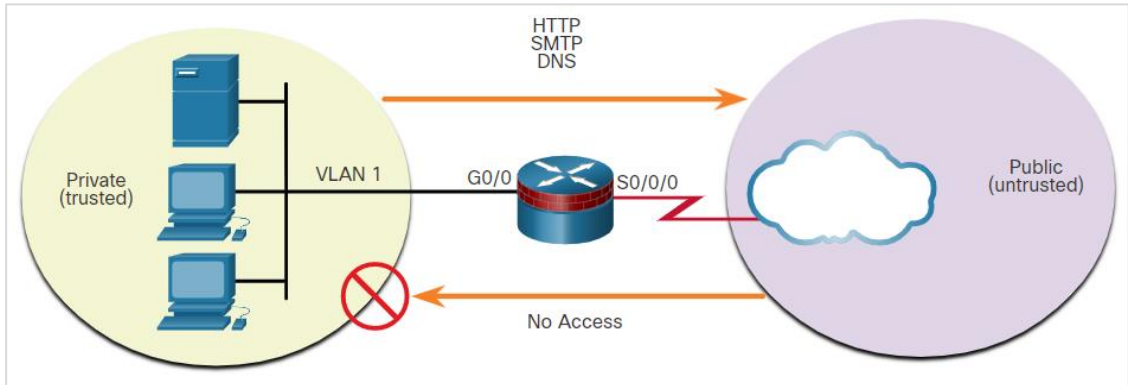


Рисунок 2 – Захист приватної мережі

2) Демілітаризована зона (DMZ), в якій конструкція брандмауера передбачає таке.

- Внутрішній інтерфейс, підключений до приватної мережі.
- Зовнішній інтерфейс, підключений до загальнодоступної мережі.
- Інтерфейс DMZ (рис. 3).

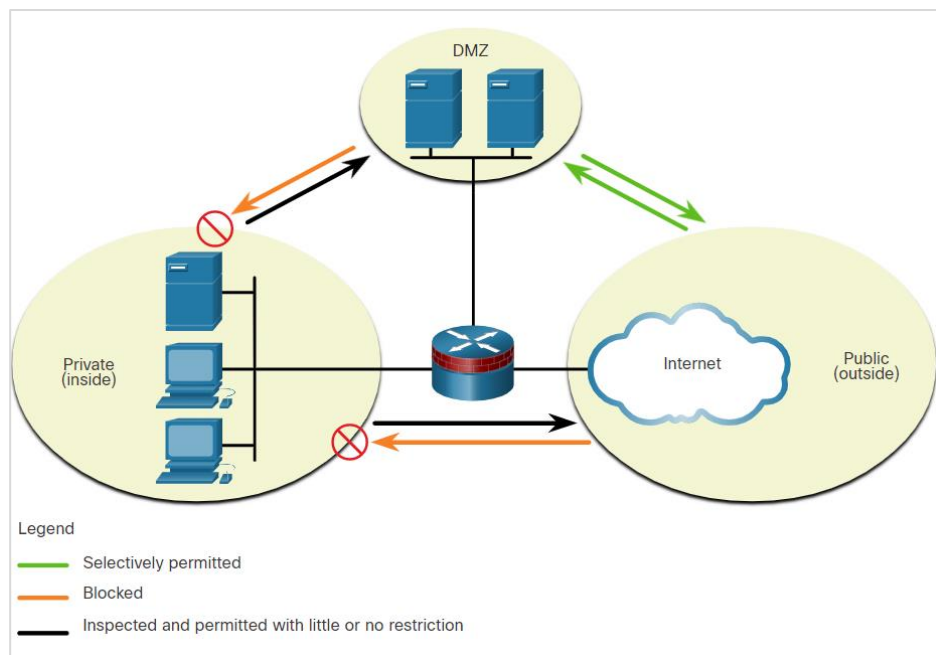


Рисунок 3 – Демілітаризована зона (DMZ)

3) Міжмережіві екрани на базі зональних політик. ZPF використовують концепцію зон, щоб забезпечити додаткову гнучкість. Зона – це група з одного чи декількох інтерфейсів, які мають схожі функції або характеристики. Зони допомагають зазначити, де слід застосовувати правило чи політику міжмережевого екрану (рис. 4).

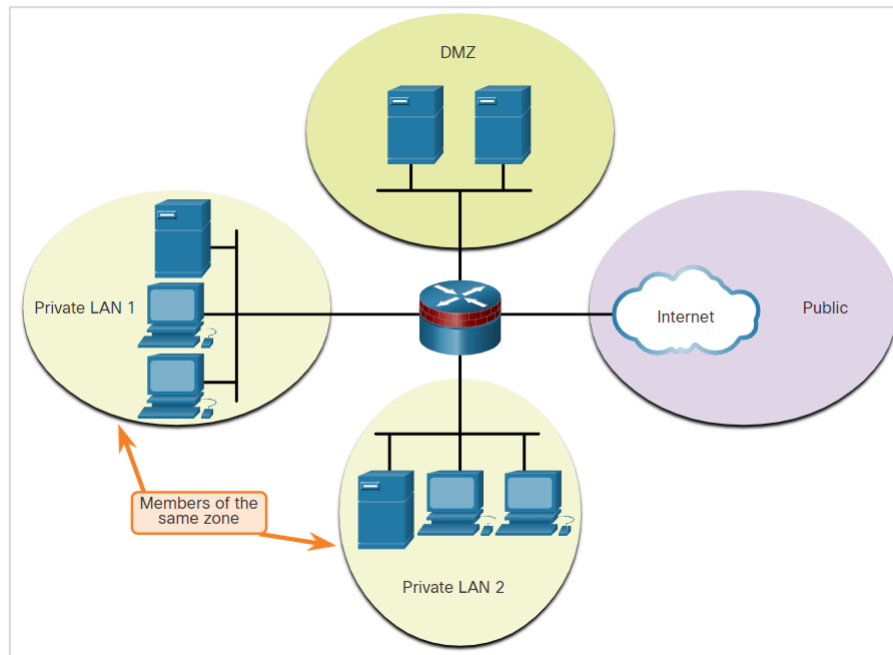


Рисунок 4 – Міжмережіві екрани на базі зональних політик

**Пристрої безпеки** Міжмережевий екран (Firewall) – це система або група систем, яка забезпечує реалізацію політики контролю доступу між мережами. Загальні характеристики міжмережевих екранів є наступні.

- Стійкість до атак на мережу.
- Забезпечення виконання політики контролю доступу.

Переваги та недоліки міжмережевих екранів представлено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки міжмережових екранів

Переваги міжмережового екрану	Недоліки міжмережового екрану
Запобігає зламу чутливих хостів, ресурсів і застосунків недовірливими користувачами.	Неправильно налаштований міжмережвий екран може мати серйозні наслідки для мережі, наприклад, стати єдиною точкою відмови.
Очищає потік протоколу, що запобігає використанню недоліків протоколу.	Дані з багатьох застосунків не можуть бути безпечно передані через міжмережві екрани.
Блокує шкідливі дані від серверів і клієнтів.	Користувачі можуть активно шукати способи обходу захисту міжмережового екрану для отримання матеріалу блокування, що відкриває мережу для потенційної атаки.
Знижує складність управління безпекою.	Продуктивність мережі може знижуватися.

Зміна парадигми мережевої архітектури вимагає захисту від швидкоплинних еволюціонуючих атак, що вимагає застосування економічно ефективних систем, такі як-от: системи виявлення вторгнень (IDS); системи запобігання вторгненням (IPS); архітектура мережі інтегрує ці рішення до вхідних та вихідних точок мережі. Технології IPS та IDS можуть доповнювати одна одну. Рішення щодо того, який варіант впроваджувати, приймають із врахуванням безпекових цілей організації та переваг і недоліків технологій IPS та IDS (табл. 2).

Таблиця 2 – Переваги та недоліки технологій IPS і IDS

Реалізація	Переваги	Недоліки
IDS	Відсутній вплив на мережу (затримка, джитер) Відсутній вплив на мережу при виході з ладу сенсора Немає впливу мережі, якщо є переважання сенсора	Дія у відповідь не може зупинити пересилання пакетів Необхідні правильні налаштування для дій у відповідь Вразливіші до технік обходу засобів мережевої безпеки

## Продовження Таблиці 2

Реалізація	Переваги	Недоліки
IPS	Зупиняє пересилання пакетів Можна застосовувати техніки нормалізації потоків трафіку	Проблеми з сенсором можуть вплинути на мережевий трафік Перевантаження сенсора впливає на мережу Наявний певний вплив на мережу (затримка, джитер)

Враховавши переваги та недоліки різних пристроїв і архітектур безпеки можна прийняти рішення щодо вдосконалення сегментів мережі LAN (рис.1) з використанням програмного середовища Cisco Packet Tracer, що дозволило не лише моделювати можливі загрози, а й протестувати різні конфігурації захисту в умовах, наближених до реальних. Отриманий сегмент мережі наведено на рис. 5.

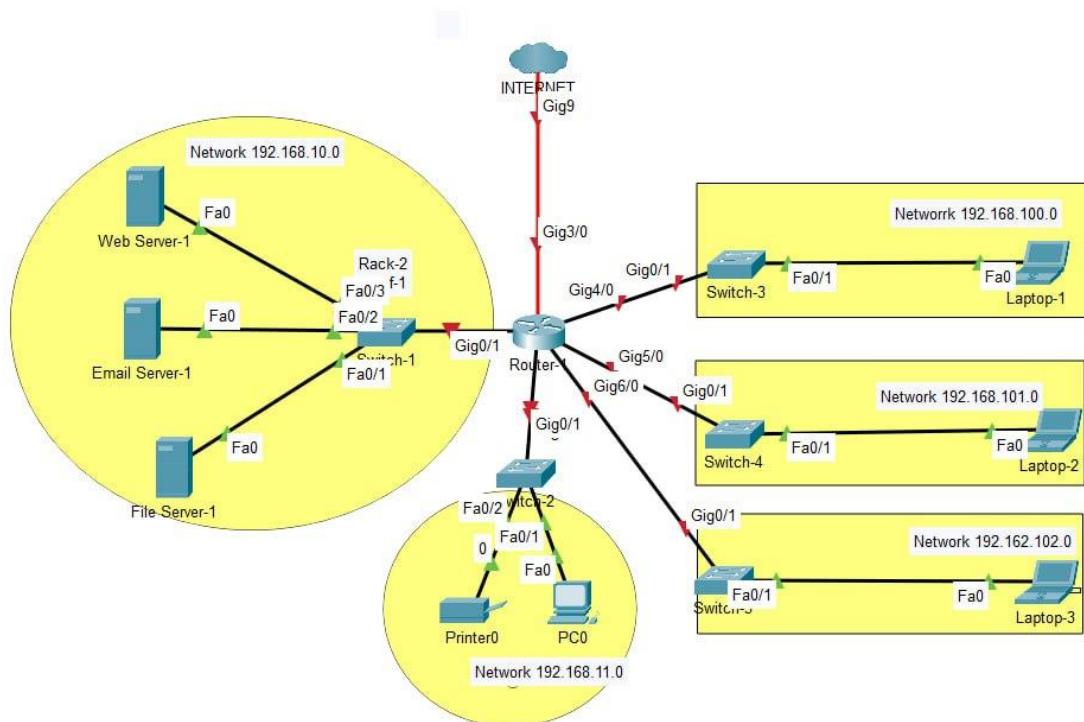


Рисунок 5 – Приклад удосконаленого сегмента мережі LAN, підключеної до мережі WAN



Cisco Packet Tracer як потужний інструмент для симуляції мережевих інфраструктур надав можливість побудувати та проаналізувати сегментацію мережі, впровадження міжмережевих екранів, систем IDS/IPS для виявлення та запобігання вторгненням, а також налаштування безпечних VPN-з'єднань. Було досліджено різні архітектурні підходи, зокрема сегментацію мережі та Zero Trust архітектуру, що забезпечує контроль доступу на основі постійної верифікації користувачів і пристроїв.

У процесі моделювання в Cisco Packet Tracer виявлено, що використання поєднання традиційних міжмережевих екранів із сучасними підходами до контролю доступу і моніторингу трафіку значно підвищує рівень захищеності мережі. Крім того, з урахуванням обмежених ресурсів, було протестовано варіанти з мінімально необхідними витратами, що забезпечують високий рівень захисту без значних фінансових вкладень.

Таким чином, удосконалений сегмент мережі в Cisco Packet Tracer дозволяє не тільки підвищити безпеку, але й адаптувати мережеву інфраструктуру до новітніх кіберзагроз, зберігаючи баланс між ефективністю та ресурсами.

**Висновок.** У процесі дослідження та вдосконалення сегмента мережі локальної мережі (LAN) було враховано сучасні виклики у сфері кібербезпеки та обмеження ресурсів, з якими стикаються організації. Важливо зазначити, що традиційні моделі безпеки комп'ютерних мереж втрачають актуальність, і для підвищення ефективності захисту інформаційних систем необхідно застосовувати нові підходи. Вивчаючи різні рішення, зосереджено увагу на впровадженні пристроїв безпеки та архітектур безпеки, що забезпечують захист від сучасних кіберзагроз.

Важливу роль у побудові безпечної мережі також відіграє вибір архітектури безпеки. Архітектура Zero Trust, яка передбачає постійну верифікацію користувачів і пристроїв незалежно від їхнього розташування в мережі, також була врахована для підвищення безпеки.

Зважаючи на переваги та недоліки різних рішень, було вирішено вдосконалити сегмент мережі LAN в програмному середовищі Cisco Packet Tracer, що дозволило моделювати можливі загрози та тестувати різні сценарії впровадження захисних заходів у безпечному віртуальному середовищі. Cisco Packet Tracer надав можливість інтегрувати і протестувати такі рішення, як міжмережеві екрани, системи IDS/IPS та VPN-з'єднання, а також застосувати архітектурні підходи, що включають сегментацію мережі та концепції Zero Trust.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ткаченко О.М., Сосновий В.О. (2022). Модель прогнозування безпеки мережі за допомогою нейронних мереж. *ITSynergy*, (2), pp. 43-54. <https://doi.org/10.53920/ITS-2022-2-4>
2. S. Anitha, S. Kavitha, and P. Kavitha, "Machine Learning for Operating Systems Security," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 13, no. 2, pp. 243-246, 2022.
3. Li, Sun, et al. (2019). Deep learning for network security intrusion detection: Reviews, challenges, and solutions. *IEEE Access*, 7, 10113-10165.
4. Приймак Є.О., Зайцев Є.О., Лемешко А.В., Антоненко А.В. Дослідження можливостей оптимізації процесу обробки даних в державних інформаційних системах із використанням штучного інтелекту. 2024, *ITSynergy*, (1), С. 6-15. DOI: <https://doi.org/10.53920/ITS-2024-1-1>.

Лондар С.Л., Босенко О.С.

Державна наукова установа «Інститут освітньої аналітики»  
[londar.sergiy@gmail.com](mailto:londar.sergiy@gmail.com), [bosenkooleksandr@gmail.com](mailto:bosenkooleksandr@gmail.com)

## ІНФОРМАЦІЙНІ ВИКЛИКИ ІНТЕГРАЦІЇ УКРАЇНСЬКИХ ШКОЛЯРІВ-БІЖЕНЦІВ В ОСВІТНЮ СИСТЕМУ НІМЕЧЧИНИ

**Анотація.** *Аналізується спектр інформаційних викликів, що виникають в інтеграційному процесі українських школярів-біженців в освітню систему Німеччини. Особлива увага звертається на отримання інформації про процес адаптації школярів до нових умов навчання, зокрема вплив мовних, культурних та інших соціально-економічних аспектів. Проводиться детальний аналіз динаміки зростання кількості українських школярів-біженців у німецьких школах протягом 2022-2024, наводяться висновки щодо основних регіонів перебування школярів-біженців станом на липень 2024 року. Розроблено схему дослідження, яка дає можливість виявити вплив соціально-економічних чинників на процес освітньої інтеграції українських школярів-біженців в Німеччині. Розглядається структура анкети, яка має містити достатню сукупність запитань для всебічного аналізу проблем зазначеної освітньої інтеграції, в тому числі враховуючи специфіку навчання дітей-біженців з особливими освітніми потребами та можливість підтримання зв'язків з освітнім середовищем України.*

**Ключові слова:** *школярі-біженці, освітній процес, анкетування, Німеччина, соціально- економічні виклики.*

**Abstract.** *The article analyzes the spectrum of informational challenges arising in the integration process of Ukrainian refugee schoolchildren into the German educational system. Particular attention is given to acquiring comprehensive information on the adaptation process of these schoolchildren to*

*new educational conditions, with a specific focus on the influence of linguistic, cultural, and various socio-economic factors. A detailed analysis is provided regarding the dynamics of the growth in the number of Ukrainian refugee schoolchildren in German schools between 2022 and 2024, along with conclusions concerning the main regions of residence for these schoolchildren as of July 2024. A research framework is developed, allowing for the identification of the impact of socio-economic factors on the educational integration of Ukrainian refugee schoolchildren in Germany. Furthermore, the article discusses the structure of a questionnaire that is designed to include a comprehensive set of questions aimed at a thorough analysis of the challenges associated with this educational integration, including the specific needs of refugee children with special educational requirements and the possibility of maintaining ties with the Ukrainian educational environment.*

**Keywords:** *refugees schoolchildren, educational process, questionnaire, Germany, socio-economic challenges.*

**Вступ.** Школярі-біженці загалом є особливо вразливою групою через їх вимушене переміщення. Їхні потреби не завжди ідентифікуються і задовольняються системами освіти, в які вони потрапляють, що перешкоджає реалізації їх людського потенціалу [1]. В умовах вимушених переміщень школярів зазвичай важко отримати доступ до якісної освіти та мати можливість їхнього навчання протягом усього життя [2], що є ключовою умовою для забезпечення сталого розвитку будь-якого суспільства [3].

Інформаційні та соціально-економічні виклики школярів-біженців досліджували вітчизняні науковці, зокрема С. Лондар, В. Рогова, Л. Лондар, В. Гапон, Н. Пронь, та зарубіжні Дж. Бел, Р. Гао, Х. Мерцдорф, А. Вайсман, С. Анвар, Е. Ферріс, М. Брюїн, І. Бенцало, Ю. Кім Ю., Ю. Лім, Н. Кагото, М. Янг, Л. Черна та інші.

**Основна частина.** Як стверджують науковці В. Рогова та С. Лондар [4], школярі-біженці здебільшого мають проблеми із інформаційною та соціально-економічною складовою, в тому числі ідентифікацією їх освітнього рівня, проблеми мовного бар'єру тощо.

За умови наявності достатньої інформації про школярів-біженців, використовуючи підхід *evidence based policymaking*, освітніми менеджерами Німеччини можуть бути сформовані більш дієві рішення для покращення інтеграції школярів у їхню освітню систему.

За даними ООН, на початку 2024 року кількість зареєстрованих українських біженців, які перебували у Німеччині з різним статусом захисту, становила близько 1,65 мільйона українців [5].

За даними Eurostat, станом на 30 червня 2024 року (рис. 1). спостерігається суттєва відмінність в кількості осіб, які отримали тимчасовий захист в різних країн Європейського союзу. Найбільше таких осіб прийняла саме Німеччина.

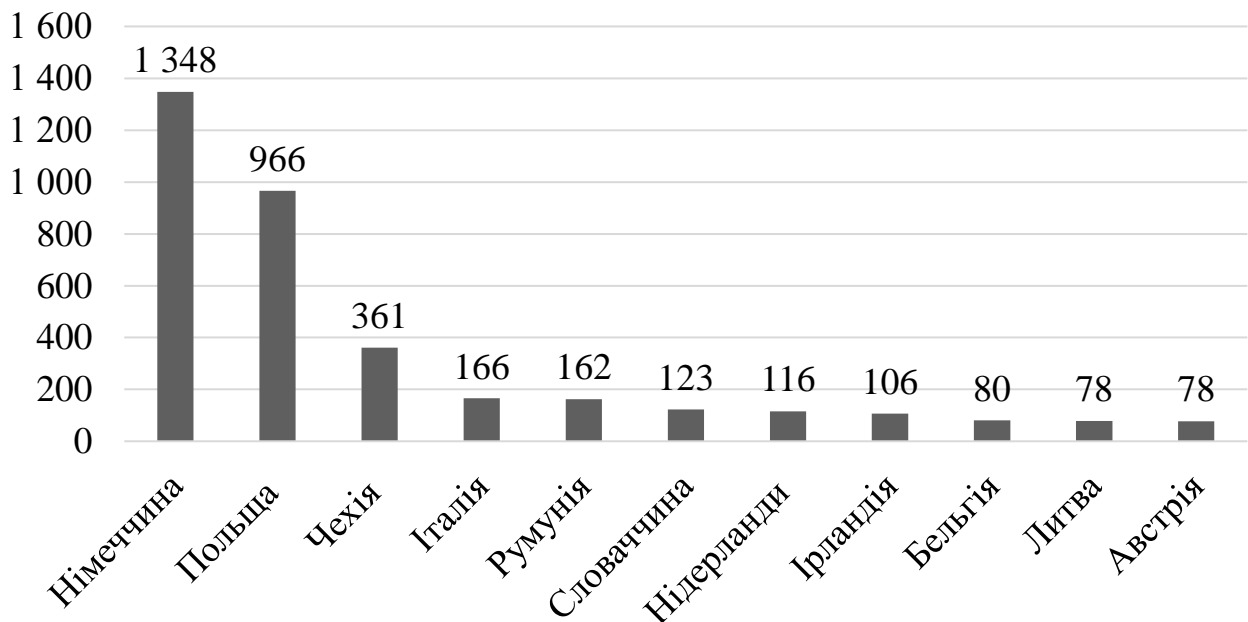


Рисунок 1 – Кількість осіб з тимчасовим захистом в Європейських країнах станом на 30.06.2024 року, тис. осіб

*Джерело:* складено авторами на основі [6]

За даними Statista [7], станом на липень 2024 року у Німеччині перебувало близько 195 тисяч українських школярів-біженців [7].

На рис. 2 подано динаміку зростання кількості українських школярів-біженців у німецьких школах в період 2022-2024 років. У Гамбурзі кількість учнів збільшилась більш ніж удвічі – з 2 798 до 7 358, при цьому зростання зафіксовано і у Баден-Вюртемберзі, Берліні та інших землях. Однак в деяких регіонах, як-от у Північному Рейні, Бранденбурзі та Саксонії, кількість українських учнів зменшилась станом на липень 2024 року.

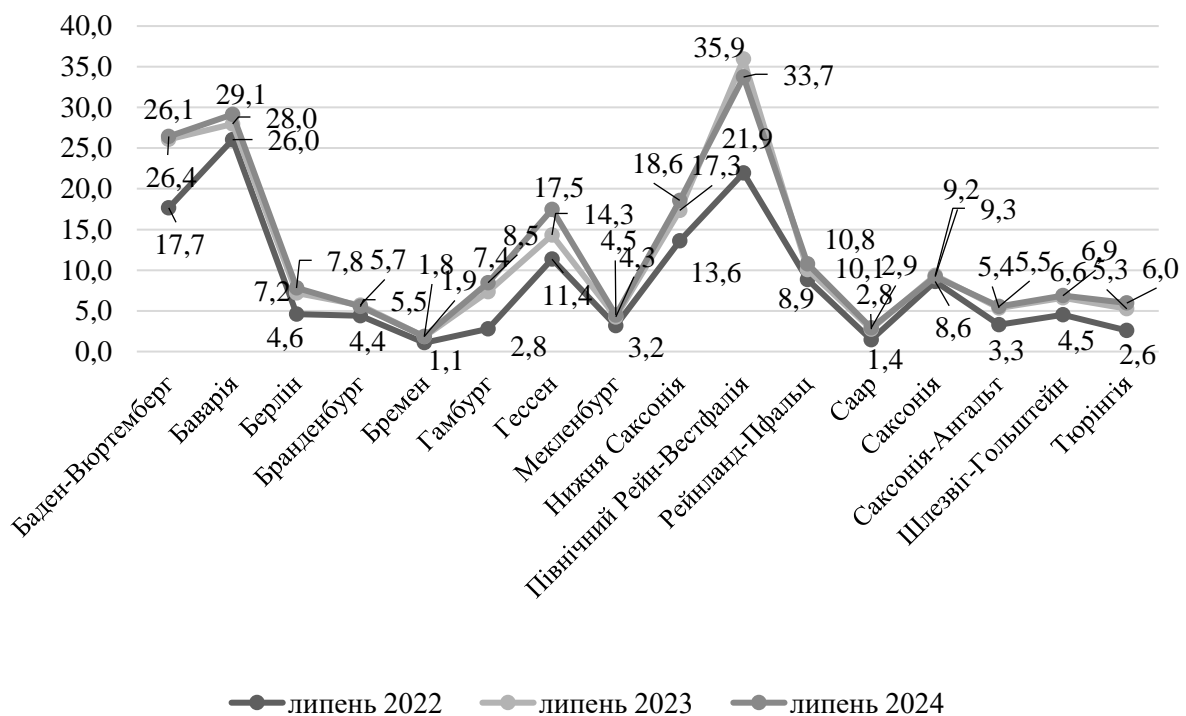


Рисунок 2 – Динаміка зміни кількості учнів у період 2022-2024 рр., тис. осіб

*Джерело:* складено авторами на основі [7]

Згідно з проведеним аналізом зрозуміло, що в Німеччині перебуває значна кількість українських школярів. З огляду на це, для дослідження варто використовувати стратифіковану вибірку відповідно до рекомендацій ЮНЕСКО, ЮНІСЕФ і УВКБ ООН. Вибірка може базуватися на основі даних з Автоматизованого інформаційного комплексу освітнього менеджменту (ПАК АІКОМ), який є національною EMIS. ПАК АІКОМ містить стандартизовані дані про школярів, зокрема їх особисті дані, дані

про свідоцтво, дані про форму навчання, контактні дані, та інше. Є також інформація про школярів-біженців, які опинилися в Німеччині [8].

На жаль, вказаних даних в АІКОМ недостатньо, щоб реально оцінити всі виклики, з якими стикаються школярі-біженці.

На рис. 3 приводиться структура дослідження, яке передбачає глибше вивчення впливу таких інформаційних викликів, включаючи інформацію про вплив соціально-економічних чинників на процес освітньої інтеграції українських школярів-біженців в Німеччині.



Рисунок 3 – Структура запропонованого дослідження особливостей інтеграції українських освітніх біженців в освіту Німеччини

*Джерело:* складено автором на основі [8]

Для формування повної та достовірної освітньої інформації про особливості інтеграції українських освітніх біженців в освіту Німеччини, будуть отримані необхідні дані із баз даних ПАК АІКОМ про школярів в цій країні, а також додаткові дані (соціально-економічні питання), отримані методом опитування за допомогою анкетування.

Соціально-економічні аспекти передбачають дослідження економічного статусу та особливості побутових реалій життя сімей школярів-біженців в Німеччині. Економічний чинник є важливим фактором,

він впливає на можливості сімей біженців та їхні рішення. Розуміння соціальних та економічних мотивів може допомогти у визначенні причинно-наслідкових зв'язків щодо місць локалізації школярів-біженців в Німеччині та необхідних освітніх ресурсів для їх підтримки.

В анкетах передбачатимуться такі основні напрямки опитувань:

- 1) інформаційні аспекти (нормативно-правове середовище, інформацію потрібну освітнім менеджерам, доступ школярів-біженців до інформації);
- 2) економічні аспекти (опитування учнів, батьків і вчителів про вплив економічних чинників на освітні потреби);
- 3) соціальні аспекти (емоційні, психологічні потреби учнів, їх соціальне середовище в освіті Німеччини).

Анкета також буде містити питання про освітні проблеми для школярів-біженців, враховуючи їх особливі потреби, та пропонувані шляхи задоволення цих потреб. Увага буде приділена питанню гендерної рівності на всіх етапах дослідження, а вибірка включатиме порівну представників обох статей. Опитування також допоможе виявити гендерні виклики школярів-біженців.

**Висновок.** У процесі описаного дослідження буде сформовано матрицю інформаційних викликів школярів-біженців, які перебувають в Німеччині, здійснено опитування їхніх батьків, педагогів та адміністративного персоналу німецьких шкіл, використовуючи методи опитування та анкетування. Ця інформація сприятиме прийняттю освітніми менеджерами рішень на основі даних (evidence based policymaking) і покращенню процесу їхнього інтегрування в соціальне середовище Німеччини. Будуть надані також рекомендації українським освітнім управлінцям щодо посилення зв'язків із такими школярами.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Cerna L. Refugee education: Integration models and practices in OECD countries. OECD Education Working Papers. OECD Publishing, Paris. 2019. № 203. 73 p.
2. Dryden-Peterson S., Adelman E., Bellino M. J., Chopra V. The purposes of refugee education: Policy and practice of including refugees in national education systems. *Sociology of Education*. 2019. № 92(4). P. 346-366.
3. Goal 4: Ensure inclusive and equitable quality education and promote lifelong learning opportunities for all. United Nations : веб-сайт. URL: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2017/goal-04/> (дата звернення: 10.08.2024).
4. Рогова В. Б., Лондар С. Л. Управлінський інформаційно-аналітичний інструментарій забезпечення освітньої безпеки. Освіта України в умовах воєнного стану: управління, цифровізація, євроінтеграційні аспекти : зб. тез доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції, 25 жовт. 2022 р. Київ : ДНУ «Інститут освітньої аналітики», 2022. С 13-17.
5. Ukraine situation. United Nations High Commissioner for Refugees : веб-сайт. URL: <https://data.unhcr.org/en/situations/ukraine> (дата звернення: 10.08.2024).
6. Temporary protection for persons fleeing Ukraine - monthly statistics. Eurostat: веб-сайт. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Temporary\\_protection\\_for\\_persons\\_fleeing\\_Ukraine\\_-\\_monthly\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Temporary_protection_for_persons_fleeing_Ukraine_-_monthly_statistics) (дата звернення: 10.08.2024).
7. Gesamtzahl der an allgemeinbildenden und berufsbildenden Schulen in Deutschland aufgenommenen geflüchteten Kinder und Jugendlichen aus der Ukraine. *Statista*: веб-сайт. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1308090/umfrage/gefluechtete-kinder-und-jugendliche-aus-der-ukraine-an-deutschen-schulen/#statisticContainer> (дата звернення: 10.08.2024).
8. Міністерство освіти і науки України. Автоматизований інформаційний комплекс освітнього менеджменту (АІКОМ). URL: <https://aikom.iea.gov.ua/>

**Матвіїв А., Краснощок В.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
[nastyamtv32@gmail.com](mailto:nastyamtv32@gmail.com), [kivinme@ukr.net](mailto:kivinme@ukr.net)*

## **МОДЕЛЬ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ПНЕВМОНІЇ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЛЕГЕНІВ**

**Анотація.** *Стаття присвячена розробці точної моделі для визначення хворих легень людини. Описуються особливості захворювань на пневмонію та аналіз фото хворих легень. В статті приводиться алгоритм побудови моделі діагностики на пневмонію з використанням нейронної мережі.*

**Ключові слова:** *нейронна мережа, згорткова нейронна мережа, моделювання.*

**Abstract.** *The article is devoted to the development of an accurate model for determining diseased human lungs. Features of pneumonia and photo analysis of diseased lungs are described. The article presents an algorithm for building a pneumonia diagnosis model using a neural network.*

**Keywords:** *neural network, convolutional neural network, modeling.*

**Вступ.** Пневмонія є одним з найпоширеніших інфекційних захворювань легень, які можуть бути викликані бактеріями, вірусами або грибами. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), пневмонія є однією з основних причин смерті у світі, особливо серед дітей, людей похилого віку та тих, хто має ослаблений імунітет. Фактори ризику включають муковісцидоз, хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ), астму, діабет, серцеву недостатність, анамнез куріння, погана здатність кашляти, наприклад після інсульту, і слабка імунна система. Рентген грудної клітки, аналізи крові та посів мокротиння можуть допомогти підтвердити діагноз. Хворобу можна класифікувати за місцем її

зараження, наприклад, госпітальну або госпітальну пневмонію або пневмонію, пов'язану з наданням медичної допомоги. Традиційні методи діагностики пневмонії, такі як клінічні обстеження, рентгенографія грудної клітки та лабораторні тести, можуть бути неточними або невизначеними, що може призвести до помилок у діагностиці та затримок у лікуванні. В останні роки спостерігається швидкий розвиток технологій штучного інтелекту та машинного навчання, які можуть бути використані для покращення діагностики та лікування різного виду хвороб.

Різні дослідження показали, що рання діагностика та лікування пневмонії можуть значно покращити результати лікування та зменшити ризик ускладнень. Однак, навчання моделі діагностики пневмонії залишається складною задачею, через необхідність великої кількості якісних рентгенівських знімків, різноманітність проявів захворювання та можлива наявність зайвих елементів на зображеннях, які можуть вплинути на точність класифікації. Крім того потрібно знайти баланс даних, щоб уникнути перенавчання моделі.

**Актуальність розробки** моделі діагностики пневмонії є доволі актуальною, оскільки використання такої моделі покращить якість діагностики та лікування хворих на пневмонію. Крім того, така модель може бути корисною для лікарів, медичних працівників та самих пацієнтів, які потребують швидкої та точної діагностики.

Предметна область застосування моделі:

- діагностика пневмонії на основі зображень легень;
- застосування моделей машинного навчання в медичній області;
- детальний аналіз зображень легень для виявлення ознак захворювань;
- оцінка продуктивності моделей глибокого навчання в діагностиці пневмонії, а саме точність моделі.

## **Основна частина. Проектування моделі діагностики на пневмонію з використанням нейронної мережі.**

Основними клінічними симптомами пневмонії є кашель, часто супроводжуваний виділенням гнійного мокротиння, гарячка, озноб, загальна слабкість, пітливість та біль у грудній клітці (зазвичай у бокових відділах, що посилюється при глибокому диханні або кашлі). Деякі пацієнти можуть також відчувати нестачу повітря. Кількість захворювань на пневмонію в Європі оцінюється приблизно в 5–12 випадків на 1000 осіб. Серед людей похилого віку (віком >75-ти років) цей показник вище і становить понад 30 випадків на 1000 осіб.

Здебільшого, головним методом діагностики пневмонії, визначення її тяжкості та виявлення можливих ускладнень є рентгенографія грудної клітки. У типових випадках рентгенівський знімок показує інфільтративні зміни – суцільне затемнення (оскільки рентгенограма є негативом, затемнення виглядає як світла область), яке зазвичай обмежується однією часткою легені. У деяких випадках зміни можуть бути двосторонніми, і якщо вони охоплюють великі ділянки обох легень, це може бути підставою для госпіталізації. Також на рентгенівському знімку іноді можна побачити рідину в плевральній порожнині або легеневі абсцеси, що свідчать про важкий перебіг захворювання й потребують негайної госпіталізації.

Рентгенографія грудної клітки також використовується для контрольних обстежень. Лікар приймає рішення про необхідність повторних знімків, оскільки рентгенологічні зміни можуть зберігатися ще кілька тижнів після лікування. Комп'ютерна томографія застосовується рідше, переважно у госпіталізованих пацієнтів, і не є основним методом діагностики пневмонії. Вона використовується для уточнення діагнозу в складних випадках.

Антибіотики – основний засіб лікування від пневмонії і який саме антибіотик назначити визначає лікар. Якщо у людини алергія на компоненти

антибіотика – про це необхідно повідомити лікарю. В домашніх умовах, крім виняткових випадків, антибіотики приймають переважно перорально. При лікуванні в медичному закладі антибіотики призначають перорально (внутрішньо) або внутрішньовенно (іноді внутрішньом'язово). Переважний термін застосування антибіотика становить 7 днів. У разі ускладнення або підозри на зараження атиповими мікроорганізмами лікування може бути продовжено. Термін лікування тоді становить, як правило, до 14–21 дня.

Антибіотик заборонено вживати самостійно. Обов'язково необхідна консультація лікаря. Антибіотики треба приймати через фіксований час, тобто приймати їх кожен день в один і той же час. Інформацію, стосовно взаємодії антибіотиків з їжею (приймати до чи після їжі, натще тощо) необхідно перевіряти в інструкції про застосування і, в разі необхідності, консультуватись з лікарем. Основна загроза антибіотиків організму людини – це руйнівна дія на флору кишечника, при їх застосуванні варто приймати ліки, що містять бактерії, які доповнюють природну кишкову флору.

Прийом антибіотиків найчастіше викликає порушення роботи шлунково-кишкового тракту, може з'явитися діарея чи біль у животі, нудота чи блювання. Ці симптоми виникають у значної кількості пацієнтів, які приймають антибіотики. Також можливі алергічні реакції, найчастіше у вигляді висипу. У разі появи побічних ефектів необхідно звернутися до лікаря для оцінки їхньої серйозності та можливості припинення лікування або зміни препарату. Під час прийому антибіотиків можуть виникнути раптова задишка, втрата свідомості, обширні шкірні висипання, слабкість, запаморочення або утруднене дихання. В такому випадку слід негайно викликати швидку допомогу. Такі симптоми можуть бути симптоми небезпечної для життя алергічної реакції.

На рисунку 1 зображено, як виглядають здорові легені (справа) та хворі легені (зліва), в яких можна помітити почервоніння, закупорливі бронхіоли та альвеоли з рідиною, що є основними признаками пневмонії.

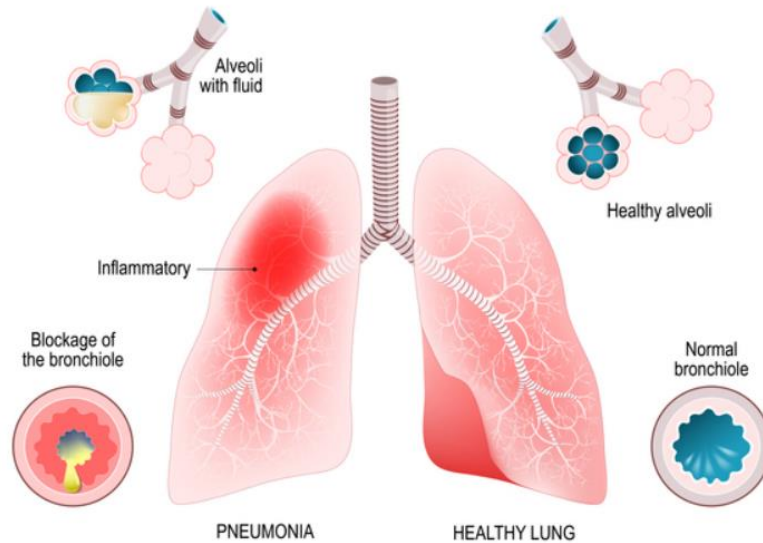


Рисунок 1 – Здорові (справа) та хворі (зліва) легені людини

Бронхіоли – це дуже маленькі розгалуження всередині наших легень, які йдуть після бронхів. Вони схожі на тонкі трубочки, по яких повітря потрапляє глибше в легені. Від бронхіол повітря передається до найменших структур – альвеол.

Альвеоли – це маленькі повітряні "міхурці" на кінцях бронхіол. Вони нагадують виноградні грона і є місцем, де відбувається обмін між повітрям і кров'ю киснем і вуглекислим газом. Альвеоли дозволяють кисню з повітря потрапляти в кров, а вуглекислий газ з крові – виходити з тіла під час видиху.

Початкові дані, які використовувалися для тренування моделі, були взяті з інтернет-джерел у безкоштовному доступі. Ці бази даних містять тисячі зображень, розділених на дві підгрупи – здорові легені і легені з пневмонією. Також всі дані були поділені на 3 частини: дані для навчання, для тестування і для валідації моделі. Валідаційні дані використовуються для оцінки якості моделі під час тренування, щоб уникнути перенавчання або недонавчання моделі. Якщо зображення є в одній групі, то в іншій вона не може бути.

Інколи даних для навчання моделі може не вистачати і тоді використовують спосіб «доповнення даних», який штучно створює початкову вибірку для навчання. Це відбувається шляхом створення нових зображень на основі існуючих, шляхом застосування різних трансформацій, таких як обертання, масштабування, зсув, збільшення або зменшення яскравості, відбиття та інші. Це допомагає покращити узагальнюваність моделі, оскільки вона навчається на більш різноманітних даних.

У самій моделі були використані такі методи розширення даних:

- повертання деяких навчальних зображень на 30 градусів;
- збільшення на 20% деяких навчальних зображень;
- довільний зсув зображення по горизонталі на 10% ширини;
- випадковий зсув зображення по вертикалі на 10% висоти;
- випадкове гортання зображень по горизонталі.

Після завершення підготовки моделі починається підбір навчального набору даних.

Розглянемо метод згорткової нейронної мережі – Convolutional Neural Network (CNN). Метод є спеціалізованим класом нейронних мереж, призначених для ефективного обробки сіткових даних, наприклад зображень. Модель працює наступним чином: комп'ютер розділяє зображення на маленькі частини, шукає особливі риси в кожній з них, збирає всі ці риси разом, щоб зрозуміти, що це за зображення, і порівнює отримані результати з уже відомими зображеннями. Порівняння досягається за допомогою спеціальних алгоритмів, які використовують математичні операції, такі як згортка та пулірування. Згортка дозволяє комп'ютеру шукати особливі риси в зображенні, а пулірування зменшує розмірність вихідного сигналу, щоб зменшити кількість параметрів та кількість обчислень. Крім того, CNN може бути налаштована для різних задач, таких як розпізнавання обличчя, класифікація зображень, обробка відео та багато іншого. CNN може бути

реалізована за допомогою таких бібліотек, як TensorFlow або PyTorch, які надають готові інструменти для створення та тренування нейронних мереж.

Наступним кроком є навчання моделі, яка зазвичай складається з наступних полів: епоха (кількість ітерацій, які модель проходить через весь тренувальний набір даних), кількість файлів даних, швидкість, втрата моделі, точність, втрат моделі на валідаційному наборі даних, точність моделі на валідаційному наборі даних. Нижче наведено приклад навчання моделі (рис. 2).

```
Epoch 1/12
163/163 [=====] - 13s 83ms/step - loss: 0.5957 - accuracy: 0.8357 - val_loss: 38.5047 - val_accuracy: 0.5000
Epoch 2/12
163/163 [=====] - 12s 72ms/step - loss: 0.2812 - accuracy: 0.8982 - val_loss: 30.2517 - val_accuracy: 0.5000
Epoch 3/12
163/163 [=====] - 12s 72ms/step - loss: 0.2294 - accuracy: 0.9135 - val_loss: 19.2671 - val_accuracy: 0.5625
Epoch 4/12
163/163 [=====] - 11s 70ms/step - loss: 0.2118 - accuracy: 0.9296 - val_loss: 28.6478 - val_accuracy: 0.5000
Epoch 5/12
163/163 [=====] - 12s 74ms/step - loss: 0.1951 - accuracy: 0.9310 - val_loss: 1.6000 - val_accuracy: 0.5000

Epoch 00005: ReduceLROnPlateau reducing learning rate to 0.0003000000142492354.
Epoch 6/12
163/163 [=====] - 12s 72ms/step - loss: 0.1388 - accuracy: 0.9513 - val_loss: 2.5989 - val_accuracy: 0.5625
Epoch 7/12
163/163 [=====] - 12s 72ms/step - loss: 0.1344 - accuracy: 0.9538 - val_loss: 23.3912 - val_accuracy: 0.5000

Epoch 00007: ReduceLROnPlateau reducing learning rate to 9.000000427477062e-05.
Epoch 8/12
163/163 [=====] - 12s 71ms/step - loss: 0.1109 - accuracy: 0.9641 - val_loss: 0.8426 - val_accuracy: 0.6875
Epoch 9/12
163/163 [=====] - 12s 71ms/step - loss: 0.1078 - accuracy: 0.9630 - val_loss: 1.3816 - val_accuracy: 0.5000
Epoch 10/12
163/163 [=====] - 12s 77ms/step - loss: 0.1220 - accuracy: 0.9622 - val_loss: 5.0193 - val_accuracy: 0.5000
```

## Рисунок 2 – Приклад навчання моделі

Для перевірки працездатності моделі на етапі тренування необхідно звернути увагу на втрати і точність моделі. З кожною епохою втрати мають зменшуватись, а точність збільшуватись. Залежно від кількості вхідних даних для тренування моделі може сильно відрізнятись затрачений час на виконання навчання. Це може тривати як від кількох хвилин так і до кількох годин.

Точність тренування та валідації моделі для кожної епохи зображено на графіку на рисунку 3, втрати тренування та валідації моделі для кожної епохи зображено на графіку (рис. 4).



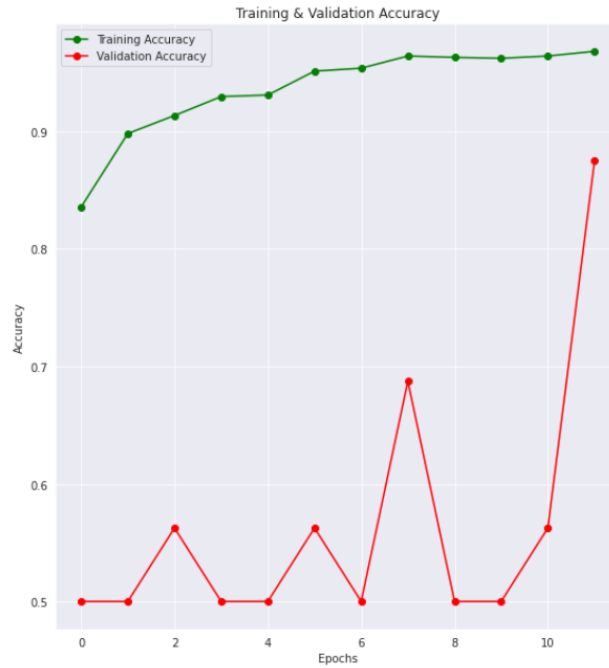


Рисунок 3 – Точність тренування та валідації моделі для кожної епохи

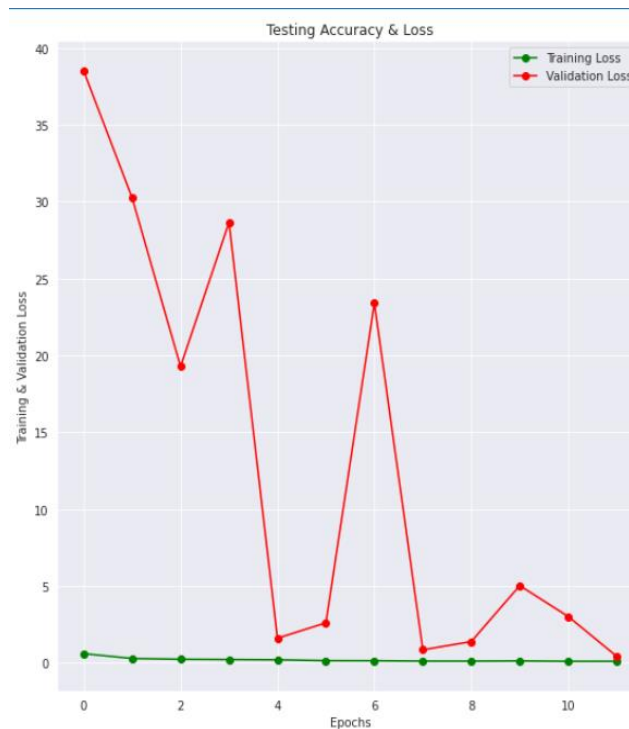


Рисунок 4 – Втрати тренування та валідації моделі для кожної епохи

Отримані в моделі результати формуються в таблицю, яка наведена на рисунку 5.

	precision	recall	f1-score	support
Pneumonia (Class 0)	0.93	0.96	0.94	390
Normal (Class 1)	0.92	0.88	0.90	234
accuracy			0.93	624
macro avg	0.93	0.92	0.92	624
weighted avg	0.93	0.93	0.93	624

Рисунок 5 – Зведені результати моделювання

По результатам моделювання готується звіт, який використовується для оцінки продуктивності моделі машинного навчання на тестовому наборі даних (рис. 6). Звіт містить такі метрики: точність (precision), повнота (recall), F1-міра (f1-score) та підтримка (support) для кожного класу, а також загальну точність (accuracy).

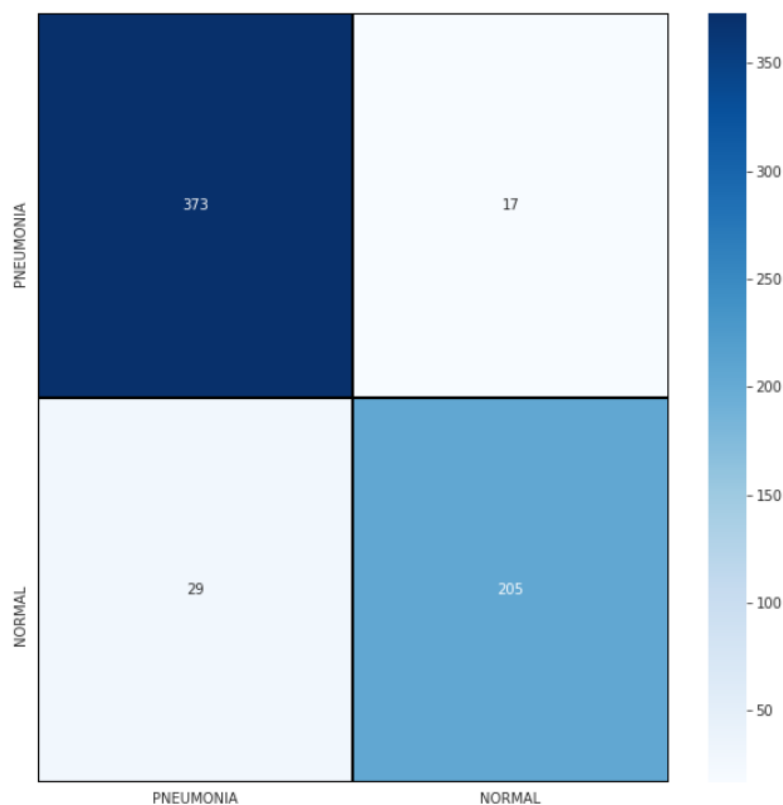


Рисунок 6 – Звіт оцінки продуктивності моделі машинного навчання

Оцінка показників звіту вказує, що модель машинного навчання гарно класифікує зображення на пневмонію та нормальні легені. Разом з тим модель інколи видає неточні результати.

**Висновок.** У статті продемонстрований алгоритм побудови моделі діагностики на пневмонію з використанням нейронної мережі. Результат класифікації показує, що модель досягла точності 0,93, що означає, що вона правильно визначила 93% тестових даних. Показники точності, повноти та F1-міри для обох класів (пневмонія та норма) також є високими, що свідчить про те, що модель добре справляється з розпізнаванням як позитивних, так і негативних випадків. Загалом, модель демонструє високу ефективність у класифікації рентгенівських знімків на предмет пневмонії.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Chest X-Ray Images: веб-сайт. URL: <https://www.kaggle.com/search?q=Chest+X-Ray+Images>
2. CheXpert URL: веб-сайт. <https://paperswithcode.com/dataset/chexpert>
3. «Convolutional Neural Network (CNN) in Machine Learning» : веб-сайт. URL: <https://www.geeksforgeeks.org/convolutional-neural-network-cnn-in-machine-learning/>Пневмонія: веб-сайт. URL: <https://empendium.com/ua/chapter/B27.1368.16>
4. Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by Image-Based Deep Learning: веб-сайт. URL: [https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674\(18\)30154-5](https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674(18)30154-5)
5. Альвеоли: веб-сайт. URL: <https://vue.gov.ua/Альвеоли>

Орехова Н.А., Лук'янов І.О.

*Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна  
[naorexova@gmail.com](mailto:naorexova@gmail.com), [ihorlukianov@gmail.com](mailto:ihorlukianov@gmail.com)*

## АЛГОРИТМ ЗНАХОДЖЕННЯ ЗНАЧУЩИХ ФАКТОРІВ КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ МЕТОДАМИ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ

**Анотація.** У статті запропоновано алгоритм на основі невеликої нейронної мережі для відбору ознак для наборів даних, у яких кількість навчальних вибірок трохи перевищує кількість атрибутів.

**Ключові слова:** *Моделювання, вибір ознак, нейронна мережа, щільний рівень, функція активації, кількість epoch, вибірка даних, навчання, прогноз, значущість атрибутів.*

**Abstract.** *The article proposes an algorithm based on a small neural network for feature selection for data sets in which the number of training samples slightly exceeds the number of attributes.*

**Keywords:** *Modeling, feature selection, neural network, dense level, activation function, number of epochs, data sample, training, prediction, attribute significance.*

**Вступ.** Сучасні засоби комп'ютерної техніки надають можливість розробляти моделі високої складності. Це підштовхує розробників комп'ютерних моделей складних систем до більшої деталізації. Але сама по собі комп'ютерна модель має відносну цінність. Оскільки комп'ютерне моделювання як потужний інструмент системного аналізу завжди здійснюється з метою вирішення конкретної проблеми, комп'ютерна модель набуває своєї повної цінності тільки разом з можливістю здійснювати на її основі комп'ютерні експерименти, а ефективність комп'ютерного моделювання залежить від ефективності планування експерименту.

**Основна частина.** Згідно уніфікованої схеми комп'ютерного моделювання [1] можна виділити наступні три життєвих цикли розробки і застосування моделі: Modeling, Simulation та Replication. На життєвому циклі Modeling здійснюється розробка моделі, на життєвому циклі Simulation відбуваються основні комп'ютерні експерименти на основі розробленої моделі, а на життєвому циклі Replication в разі стохастичної моделі визначається найкраща альтернатива серед обраних на попередньому циклі претендентів.

Основною метою здійснення експериментів на життєвому циклі Modeling є обґрунтування адекватності розробленої моделі. Але не менш важливим для подальшого модельного дослідження, а особливо оптимізації складної системи, є визначення значущості факторів, які впливають на її функціонування. На початковому етапі розробки моделі кількість малозначущих факторів може досягати 80%. Таке збільшення розмірності значно ускладнює здійснення комп'ютерних експериментів, а також розуміння взаємодії важливих факторів, що визначають основу функціонування складної системи. Якщо в наявності є всього кілька зразків даних, інформаційна цінність їхніх ознак набуває вирішального значення. Тому бажано якомога раніше виявити значущі та малозначущі фактори.

Для вирішення цієї проблеми запропоновано алгоритм на основі простої нейромережі, створеної за допомогою бібліотеки глибокого машинного навчання Keras [2].

Keras – відкрита нейромережна бібліотека, написана мовою Python, здатна працювати поверх TensorFlow, Microsoft Cognitive Toolkit, R, Theano. Вона призначена для проведення експериментів з мережами глибокого навчання, її основним автором та підтримувачем є Франсуа Шолле (*François Chollet*).

Запропонована нейромережа реалізує регресію і складається з декількох послідовних повнозв'язних шарів з функцією активації **relu**, як це

описано у [3]. Оптимальна кількість шарів та кількість нейронів у шарі, а також необхідна кількість епох навчання визначалися за допомогою експериментів. В результаті було обрано архітектуру нейромережі, що складається з двох проміжних повнозв'язних шарів, кожен з яких містить 64 приховані нейрони, та закінчується одномірним шаром, який не має функції активації.

Для проведення експериментів використовувалися штучно створені набори даних. Зразок даних є масивом, що складається зі значень атрибутів  $X_i$  і відповідного їм значення цільової функції  $Y$ . Змінні  $X_i$  приймають випадкові значення, рівномірно розподілені в діапазоні  $[0; 1]$  з кроком  $1/30$ . Значення цільової функції  $Y$  обчислюється як сума значень змінних (атрибутів) з певними коефіцієнтами.

Завдання полягало в тому, щоб за наявними даними за допомогою нейромережі визначити значущість змінних, тобто, коефіцієнти, з якими вони входять до цільової функції.

Побудована нейромережа навчалася на наявному наборі даних, щоб можна було передбачати значення цільової функції для довільних значень змінних з вказаного діапазону. Перебіг процесу навчання для визначення необхідної кількості епох відстежувався за допомогою порівняння передбачених за допомогою частково навченої нейромережі значень цільової функції з реальними її значеннями на тестовому наборі даних перед початком кожної наступної епохи навчання.

Для візуалізації процесу навчання створювалися діаграми залежності середньої абсолютної помилки (**mse**) від кількості епох. Зразок діаграми наведено на рис.1.

Навчання відбувалося тим швидше, чим більшою була кількість зразків у навчальному наборі. Було визначено, що 15 - 20 епох цілком достатньо для отримання задовільних прогнозів.

Фіксувався також час навчання мережі. Він суттєво залежить від кількості атрибутів, кількості зразків даних в наборі, а також кількості епох навчання і варіювався від кількох секунд до двох десятків секунд.

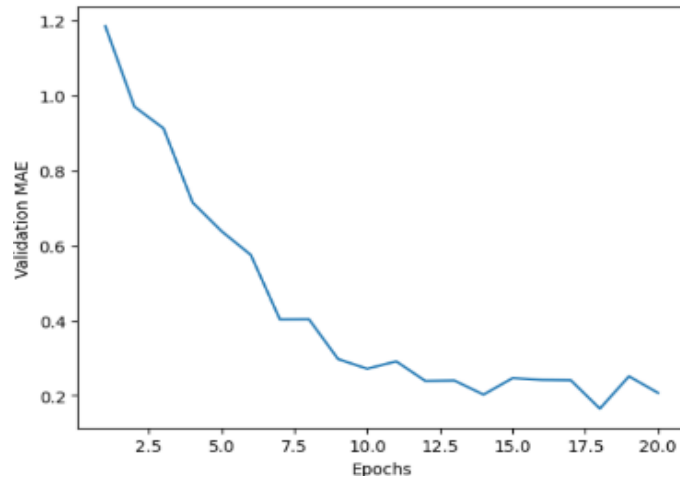


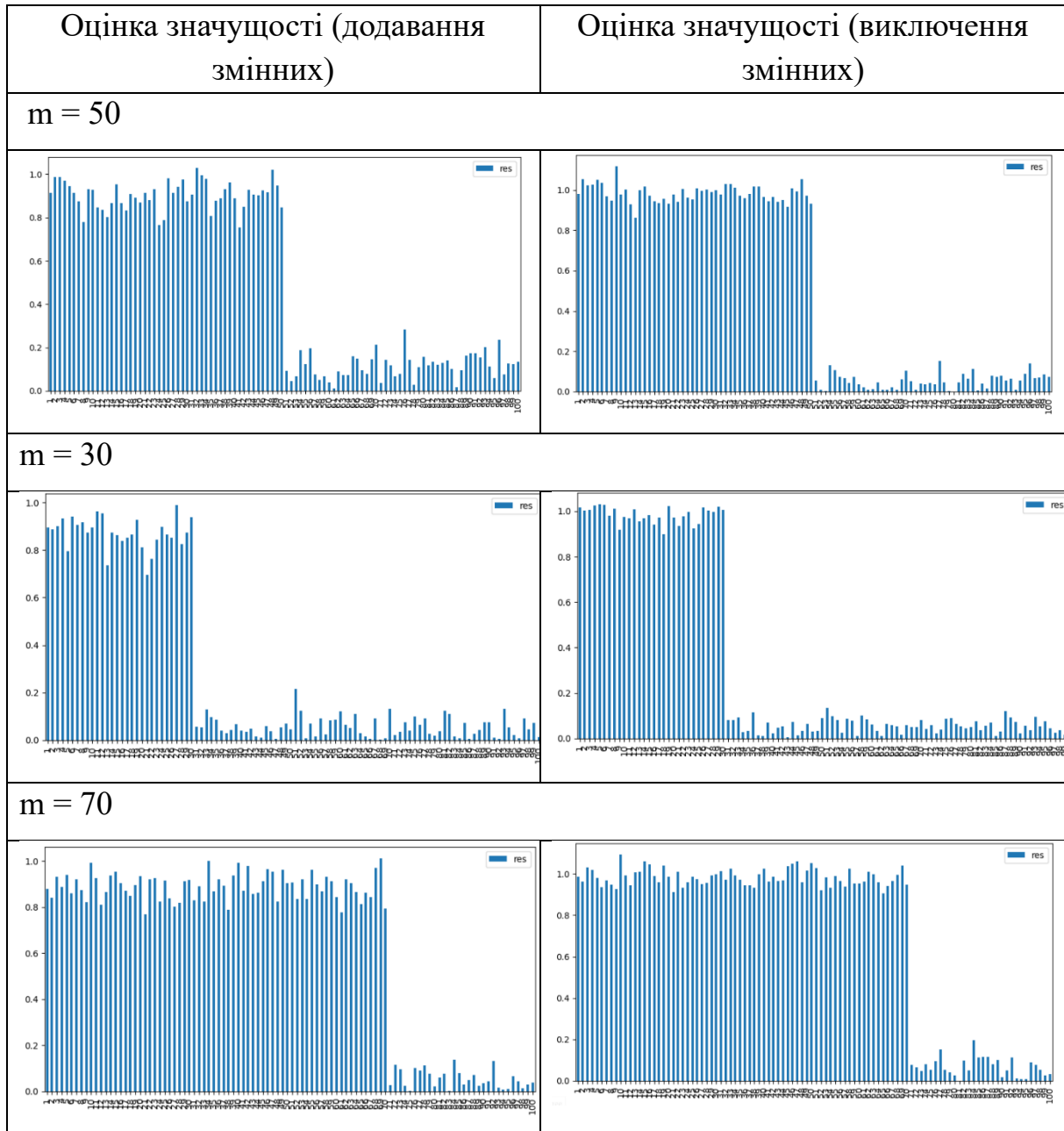
Рисунок 1 – Приклад діаграми залежності середньої абсолютної помилки (mse) від кількості епох навчання

Після закінчення навчання за допомогою навченої мережі оцінювався внесок до цільової функції кожної змінної двома способами, а саме: оцінювалося, як зміниться значення цільової функції при додаванні певної змінної до пуского набору, а також при виключенні цієї змінної з максимального набору. Отримані значення вважалися оцінками значущості змінної.

Експерименти проводилися для різної кількості атрибутів у зразку даних, різної кількості зразків даних у наборі, різних співвідношень значущих та малозначущих атрибутів. Результати експериментів подавалися у вигляді діаграм.

Приклади діаграм при різних співвідношеннях значущих та малозначущих змінних для наборів, що складаються з 300 зразків, кожен з яких містить 100 атрибутів, при цьому перші  $m$  атрибутів входять до цільової функції з коефіцієнтами 1, інші – з коефіцієнтами 0.05, наведено в у табл. 1. Алгоритм дозволяє впевнено виділити значущі фактори за наявності досить обмеженої кількості зразків даних у наборі.

Таблиця 1 – Оцінка значущості при різних співвідношеннях значущих та малозначущих атрибутів



**Висновок.** Слід зазначити, що оцінки на різних прогонах для одного й того ж набору дещо відрізнялися, оскільки початкові значення ваг нейромережі обираються випадковим чином. Тому в більш складних випадках для більшої достовірності результатів рекомендується робити декілька прогонів.



## ЛІТЕРАТУРА

1. Бігдан В.Б., Пепеляєв В.А., Чорний Ю.М. Уніфікована схема реалізації оптимізаційно–імітаційних експериментів. *Проблеми програмування*. Київ. 2006. № 2-3. С. 728-733.
2. keras: веб-сайт. URL: <https://keras.io/about/>
3. Chollet F. Deep learning with Python. Simon and Schuster; 2021.

Плескач В.Л.<sup>1</sup>, Криволапов Я.В.<sup>1</sup>, Криволапов Г.Я.<sup>2</sup>, Нагорний В.О.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>2</sup>Київський столичний університет імені Бориса Грінченка, Київ, Україна  
valentyana.pleskach@knu.ua, y.kryvolapov@knu.ua, glebyk04@gmail.com,  
vladnagornyy2030@gmail.com

## РОЛЬ ВЕБ-ТЕХНОЛОГІЙ У ДОВГОСТРОКОВІЙ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ БІЗНЕСУ

**Анотація.** У роботі досліджено роль сучасних веб-технологій у довгостроковій оптимізації бізнесу та розвитку стратегій. Веб-застосунки, зокрема ті, що розроблені на фреймворках Angular, React та Vue, забезпечують швидку та ефективну взаємодію для внутрішніх і зовнішніх користувачів. Інтеграція API забезпечує безперервне оброблення даних у режимі реального часу, що оптимізує та автоматизує різні базові бізнес-процеси, зокрема, виконання замовлень, управління запасами та взаємодії з клієнтами. Вказані веб-технології сприяють стратегічному розвитку, дозволяючи компаніям зосередитися на стратегічних цілях і адаптуватися до змін на ринку.

**Ключові слова:** веб-технології, оптимізація робочих бізнес-процесів, Angular, React, Vue, інтеграція API, масштабованість, цифрова трансформація.

**Abstract.** The paper explores the role of modern web technologies in the long-term business optimization and strategy development. Web applications, in particular those developed on the Angular, React, and Vue frameworks, provide fast and efficient interaction for internal and external users. API integration ensures continuous real-time data processing, which optimizes and automates various core business processes, including order fulfilment, inventory management and customer interaction. These web technologies contribute to

*strategic development, allowing companies to focus on strategic goals and adapt to changes in the market.*

**Keywords:** *web technologies, optimization of business processes, Angular, React, Vue, API integration, scalability, digital transformation.*

**Вступ.** У сучасних умовах глобальної цифрової трансформації оптимізація бізнес-процесів стала невід'ємною складовою успішного розвитку компаній у різних галузях. Конкурентний тиск змушує організації швидко адаптуватися до змін, оптимізуючи операційну діяльність і скорочуючи витрати. Водночас стрімкий розвиток веб-технологій забезпечує нові можливості для оптимізації рутинних процесів, що дозволяє компаніям покращувати ефективність, масштабованість та гнучкість своїх рішень.

Веб-застосунки відіграють визначальну роль у цифровій трансформації, надаючи швидкий і зручний доступ до інформації, як для внутрішніх користувачів, так і для зовнішніх партнерів. Інтеграція сучасних технологій, як-от: односторінкові застосунки (Single-page Application, SPA), і популярні фреймворки Angular, React, Vue, значно підвищує швидкість і зручність взаємодій із прикладними застосунками, водночас забезпечуючи високу продуктивність і мінімізацію навантаження на сервери.

Однією з основних переваг оптимізованих веб-рішень є їх здатність обробляти великі обсяги даних і виконувати завдання у режимі реального часу, що особливо важливо для бізнесу з високими вимогами до ефективності та швидкості реагування. Використання API для інтеграції з зовнішніми сервісами дозволяє оптимізувати такі процеси, як оброблення замовлень, управління запасами та взаємодії з клієнтами, що суттєво прискорює бізнес-процеси.

**Основна частина.** У сучасному світі є багато веб-технологій, що дозволяють оптимізувати бізнес процеси як-от: PWA(progressive web

application), хмарні сервіси, штучний інтелект у веб-застосунках. PWA функціонують на основі поєднання базових технологій, які дозволяють їм забезпечувати користувачам досвід, близький до нативних застосунків, безпосередньо в браузері. Service Workers є основою PWA, виконуючи роль фонових скриптів, які кешують контент, обробляють запити на мережу, забезпечують офлайн-доступ та надсилають push-повідомлення. Web App Manifest надає браузеру необхідну інформацію для представлення PWA як самостійного застосунка, дозволяючи користувачам додавати його на головний екран та запускати як звичайний застосунок. HTTPS забезпечує безпечне з'єднання, що є критичним для багатьох функцій PWA, таких як push-повідомлення та доступ до деяких API пристрою. Також існує можливість майже кожен веб-застосунок перетворити в PWA, наприклад Angular має цю можливість з коробки. Нижче у таблиці порівнюються можливості PWA, нативних застосунків і веб-сайтів (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняння PWA, нативних застосунків та веб-сайтів

Критерій	PWA	Нативний застосунок	Веб-сайт
<b>Встановлення</b>	Не вимагається, працює безпосередньо в браузері	Вимагає завантаження та встановлення з магазину застосунків (App Store, Google Play)	Не вимагається, працює в браузері
<b>Доступність</b>	Доступний на будь-якому пристрої з сучасним браузером, незалежно від операційної системи	Доступний лише на платформі, для якої розроблено (iOS або Android)	Доступний на будь-якому пристрої з браузером
<b>Оновлення</b>	Оновлюється автоматично при кожному запуску, забезпечуючи користувачам завжди останню версію	Оновлення здійснюється через магазин застосунків, що може вимагати дій від користувача	Оновлення залежить від налаштувань кешування браузера та сервера

## Продовження Таблиці 1

<b>Офлайн-доступ</b>	Забезпечує офлайн-доступ до контенту та функціональності завдяки Service Workers, що кешують дані	Офлайн-доступ можливий, але залежить від реалізації в конкретному застосунку	Зазвичай не працює без підключення до інтернету
<b>Push-повідомлення</b>	Підтримує push-повідомлення через Service Workers, дозволяючи взаємодіяти з користувачами навіть коли застосунок закритий	Підтримує push-повідомлення, забезпечуючи ефективну комунікацію	Не підтримує push-повідомлення без спеціальних рішень
<b>Доступ до апаратного забезпечення</b>	Має обмежений доступ до апаратного забезпечення, але можливості розширюються з розвитком веб-технологій	Має повний доступ до апаратного забезпечення пристрою	Має обмежений доступ до апаратного забезпечення
<b>Швидкість роботи</b>	Забезпечує високу швидкість роботи завдяки кешуванню, оптимізаціям та можливості попереднього завантаження контенту	Забезпечує найвищу швидкість роботи, оскільки виконується безпосередньо на пристрої	Швидкість роботи залежить від якості коду, оптимізацій та швидкості інтернет-з'єднання
<b>Розробка</b>	Вимагає однієї кодової бази для всіх платформ, що спрощує та здешевлює розробку	Вимагає окремої розробки для кожної платформи (iOS, Android), що збільшує витрати та час розробки	Вимагає однієї кодової бази, але може потребувати адаптації під різні пристрої та розміри екранів
<b>Вартість розробки</b>	Зазвичай нижча, ніж вартість розробки нативних застосунків, оскільки використовується одна кодова база	Зазвичай вища, оскільки вимагає окремої розробки для кожної платформи	Вартість розробки залежить від складності та функціональності сайту

PWA є потужною та перспективною технологією, що дозволяє створювати швидкі, надійні та зручні веб-застосунки з досвідом користувача, близьким до нативних застосунків. В даному випадку поєднують переваги веб-сайтів та нативних застосунків, пропонуючи при цьому економічну ефективність розробки та покращену наочність в інтернеті.

Сьогодні все більше компаній відмовляються від купівлі власного дорогого обладнання і переходять на хмарні сервіси. Це зручно, оскільки користувачам надається доступ до обчислювальних ресурсів через Інтернет, що дозволяє уникнути витрат на підтримку власної інфраструктури. Постачальники хмарних послуг укладають контракти з клієнтами, надаючи їм потужні інструменти для роботи без необхідності купівлі та обслуговування обладнання. Проаналізуємо застосування хмарних сервісів на локальних серверах (табл. 2).

Таблиця 2 – Порівняння хмарних сервісів і локальних серверів

Критерій	Хмарні сервіси	Локальні сервери
<b>Вартість</b>	Оплата за використання (модель pay-as-you-go), зазвичай нижчі початкові витрати	Високі початкові витрати на обладнання, ліцензії, встановлення та налаштування
<b>Масштабованість</b>	Легко масштабувати ресурси вгору або вниз залежно від потреб	Складніше та дорожче масштабування, вимагає придбання та встановлення додаткового обладнання
<b>Доступність</b>	Доступ до даних та застосунків з будь-якого місця з підключенням до Інтернету	Доступ обмежений фізичним розташуванням сервера
<b>Обслуговування</b>	Провайдер хмарних послуг відповідає за обслуговування, оновлення та безпеку	Потрібна власна ІТ-команда для обслуговування, оновлень та забезпечення безпеки
<b>Безпека</b>	Провайдери хмарних послуг інвестують значні кошти в безпеку, але дані зберігаються на зовнішніх серверах	Більший контроль над безпекою, але вимагає експертизи та ресурсів для захисту від загроз
<b>Надійність</b>	Висока надійність завдяки резервному копіюванню та відновленню даних	Надійність залежить від якості обладнання та резервного копіювання

Вибір між хмарними сервісами та локальними серверами залежить від конкретних потреб та вимог компанії. Важливо ретельно оцінити всі аспекти та обрати оптимальне рішення, яке забезпечить найкраще співвідношення ціни та якості.

У сучасних умовах кіберзагроз бізнеси впроваджують інноваційні методи захисту інформаційних систем і даних для забезпечення їхньої безпеки та стабільності. Штучний інтелект і машинне навчання (AI/ML) використовуються для виявлення аномалій, прогнозування загроз у режимі реального часу, автоматизації реагування на інциденти та адаптації до нових атак. Блокчейн забезпечує децентралізоване зберігання даних, підвищуючи прозорість транзакцій і захист цілісності даних. Принцип Zero Trust передбачає постійний контроль доступу через мікросегментацію мережі, що мінімізує ризики латерального руху зловмисників. Безпека як код (SecaaS) інтегрує засоби захисту у всі етапи розробки програмного забезпечення, що дозволяє швидше виявляти вразливості та впроваджувати оновлення безпеки. Важливу роль у гарантії безпеки відіграє багатофакторна аутентифікація (MFA), яка вимагає від користувачів надання двох або більше форм ідентифікації, таких як “щось, що ти знаєш” (пароль), “щось, що ти маєш” (мобільний пристрій або апаратний токен) і “щось, що ти є” (біометричні дані). Це значно знижує ризик компрометації облікових записів: за даними досліджень, MFA може знизити ймовірність успішного зламу на 99,9% [1]. Розглянуті підходи наведені у таблиці нижче (табл. 3).

Таблиця 3 – Порівняння методів захисту інформаційних систем

Підхід	Переваги	Недоліки	Вплив на бізнес
AI/ML	Швидке виявлення та реагування на загрози, адаптивність	Потреба у великих обсягах даних для навчання, можливість хибнопозитивних спрацьовувань	Підвищення ефективності безпеки, зниження ризиків та витрат, покращення репутації

## Продовження Таблиці 3

<b>Блокчейн</b>	Децентралізація, прозорість, незмінність даних	Висока вартість впровадження та підтримки, обмежена масштабованість	Підвищення довіри клієнтів, оптимізація бізнес-процесів, нові можливості для монетизації
<b>Zero Trust</b>	Зниження ризику внутрішніх та зовнішніх атак, контроль доступу	Складність впровадження та управління, можливість впливу на продуктивність користувачів	Підвищення рівня безпеки, захист від витоків даних, відповідність регуляторним вимогам
<b>SecaaS (Security as a service)</b>	Інтеграція безпеки у життєвий цикл розробки, автоматизація	Потреба у зміні культури розробки, можливість уповільнення процесу розробки	Прискорення випуску продуктів, зниження кількості вразливостей, підвищення якості коду
<b>MFA</b>	Значне ускладнення несанкціонованого доступу, навіть при компрометації пароля	Можливість незручностей для користувачів, необхідність додаткових ресурсів для підтримки	Підвищення рівня захисту облікових записів, зниження ризику витоків даних, підвищення довіри клієнтів

Вказані технології не тільки **оптимізують** внутрішні операції, але й покращують взаємодії з клієнтами завдяки персоналізованому підходу, забезпечуючи швидкий доступ до необхідної інформації та спрощуючи виконання складних завдань. Таким чином, **оптимізація** через веб-технології є одним із головних драйверів ефективності сучасного бізнесу, надаючи можливість зосередитися на стратегічних цілях, а не на рутинних операціях.

**Сучасні веб-технології для оптимізації бізнесу.** Оптимізація бізнес-процесів за допомогою сучасних веб-технологій стала фундаментальною складовою для досягнення високої ефективності в умовах динамічного ринку. Однією з основних технологій є односторінкові застосунки (Single-page Applications, SPA), які забезпечують швидкість, безперервність і



динамічну взаємодію з користувачем. SPA-застосунки, побудовані на таких фреймворках, як Angular, React і Vue, дозволяють завантажувати контент асинхронно, уникаючи постійного перезавантаження сторінки, що створює інтерактивний інтерфейс, що значно підвищує продуктивність роботи з системою.

Angular як фреймворк для створення SPA забезпечує компонентну архітектуру, яка дозволяє розробляти масштабовані та модульні системи, що особливо важливо для бізнесу, який потребує гнучких рішень для швидкої реакції на зміни ринку. Завдяки повторному використанню компонентів розробники можуть швидко інтегрувати нові функції або вносити зміни в наявні без значного впливу на загальну архітектуру застосунку. Angular надає потужні інструменти для інтеграції API, що дозволяє реалізовувати складні взаємодії з сервісами у режимі реального часу, оптимізуючи оброблення великих обсягів даних.

React, у свою чергу, є вибором для застосунків з високими вимогами до продуктивності інтерфейсу користувача. Його підхід до віртуального DOM (Document Object Model) дозволяє швидко оновлювати лише ті частини сторінки, які змінилися, що мінімізує навантаження на браузер і забезпечує високу швидкість роботи застосунку навіть при значних обсягах даних, що дійсно робить React рішенням для застосунків, які потребують високої інтерактивності, таких як CRM-системи, платформи для управління замовленнями або маркетингові інструменти, де важлива миттєва реакція на дії користувача.

Vue як гнучкий фреймворк поєднує переваги Angular і React, дозволяючи розробникам створювати масштабовані рішення з більшою швидкістю опанування знань. Vue надає можливість невпинного впровадження оптимізованих рішень без значних витрат на розроблення, що робить його доступним серед малих і середніх підприємств, які прагнуть інтегрувати оптимізацію бізнес-процесів із мінімальними витратами часу та

ресурсів. У нижченаведеній таблиці подано порівняльну характеристику Angular, React та Vue (табл. 4).

Таблиця 4 – Порівняльна характеристика Angular, React та Vue

Критерій	Angular	React	Vue
<b>Архітектура</b>	Повна, компонентно-орієнтована архітектура з вбудованими інструментами для масштабування та модульності	Бібліотека для UI, потребує додаткових бібліотек для повного стеку	Гнучка, мінімалістична, легка для інтеграції, але вимагає додаткових модулів
<b>Масштабованість</b>	Висока масштабованість завдяки строгій структурі та модульності	Масштабування можливе, але залежить від вибору сторонніх бібліотек	Підтримує середні проекти, складніше масштабувати великі системи
<b>Інструменти для автоматизації</b>	Вбудовані інструменти для автоматизації тестування, інтеграції API та підтримки високого навантаження	Потребує інтеграції сторонніх інструментів для автоматизації та тестування	Мінімальна підтримка вбудованих рішень для автоматизації, потребує додаткових модулів
<b>Підтримка великих проектів</b>	Ідеально підходить для корпоративних і масштабних систем з великим обсягом коду	Підходить для середніх та великих проектів, але структура менш визначена	Більш підходить для малих і середніх проектів, не ідеально для великих систем
<b>Навчальна крива</b>	Відносно висока, але виправдана для великих проектів завдяки повноцінній архітектурі	Середня крива, легший старт для UI-розробників, але складніша інтеграція додаткових рішень	Низька крива навчання, але обмежені можливості для великих систем
<b>Підтримка спільнота та</b>	Підтримується Google, активна спільнота, регулярні оновлення та довгострокова підтримка	Підтримується Meta (Facebook), велика спільнота, активні оновлення	Відкрите джерело з активною, але меншою спільнотою

## Продовження Таблиці 4

<b>Продуктивність</b>	Оптимізована для масштабних систем, добре працює з великим обсягом даних і взаємодій у режимі реального часу	Висока продуктивність для UI, але можливі проблеми з продуктивністю при обробці великих даних	Легка і швидка, але може знизити продуктивність у великих проектах
<b>Безпека</b>	Високий рівень безпеки, включаючи вбудовані засоби захисту, такі як шифрування та захист від XSS-атак	Потребує додаткових бібліотек для реалізації повної безпеки	Потребує додаткових налаштувань для підвищення безпеки

Окрім фреймворків, важливим аспектом сучасної веб-оптимізації є інтеграція API для роботи з зовнішніми сервісами та обробленням даних у режимі реального часу. RESTful API та GraphQL забезпечують можливість передачі даних між системами з високою продуктивністю та мінімальною затримкою. Використання API дозволяє веб-застосункам оптимізувати основні бізнес-процеси, такі як оброблення платежів, управління запасами або взаємодії з клієнтами через CRM-системи. Наприклад, інтеграція платіжних шлюзів через API дозволяє оптимізувати процеси транзакцій, що мінімізує людський фактор і знижує ризики помилок.

Технології для оброблення запитів у режимі реального часу, такі як WebSockets і протоколи на базі HTTP/2, дозволяють розробляти застосунки з миттєвою передачею даних, що особливо важливо для систем моніторингу, електронної комерції та фінансових застосунків. Вказані технології також дозволяють створювати інтерактивні інтерфейси, які реагують на дії користувачів у режимі реального часу, підвищуючи загальний рівень.

Таким чином, сучасні веб-технології дозволяють не лише підвищити продуктивність, але й створювати гнучкі рішення для оптимізації бізнесу.

Нижче представлено порівняння різних підходів до створення веб-застосунків (табл. 5).

Таблиця 5 – Порівняння різних підходів до створення веб-застосунків

Критерії	Односторінкові застосунки (SPA)	Багатосторінкові застосунки (MPA)
<b>Швидкість завантаження</b>	Завантаження лише одного разу, динамічне оновлення даних	Кожна сторінка завантажується окремо
<b>Інтерактивність</b>	Висока, плавний користувацький досвід	Можлива затримка під час переходу між сторінками
<b>Навантага на сервер</b>	Мінімізована завдяки асинхронним запитам	Висока через необхідність завантаження сторінок
<b>SEO</b>	Складнощі через відсутність окремих URL для сторінок	Легше оптимізується завдяки унікальним сторінкам
<b>Масштабованість</b>	Легко масштабуються завдяки компонентній архітектурі	Вимагає оновлення кожної сторінки окремо
<b>Реалізація та підтримка</b>	Вимагає більше навичок розробки, складніша підтримка	Простіша реалізація, легше підтримувати

**Висновок.** Впровадження сучасних веб-рішень для оптимізації бізнес-процесів стає визначальним елементом успішної стратегії розвитку компаній. Використання прогресивних веб-застосунків (PWA), хмарних сервісів, штучного інтелекту у веб-застосунках суттєво впливає на швидкість і якість адаптації бізнесу до змін у ринку. Розумний вибір фреймворків, інтеграція API для роботи з зовнішніми сервісами, сучасні технології для оброблення запитів у режимі реального часу дозволяють створювати гнучкі рішення для оптимізації найрізноманітніших бізнес-процесів. У довгостроковій перспективі впровадження таких рішень дозволяє компаніям залишатися конкурентоспроможними та готовими до нових викликів, закладаючи основу для стабільного розвитку в умовах швидких технологічних змін.

Веб-технології є важливим інструментом для довгострокової оптимізації та стратегії розвитку бізнесу, оскільки це глобальна доступність і розширення цифрових ринків, забезпечення аналізу великих даних та персоналізація, автоматизації бізнес-процесів, поширення е-комерції та інтеграції сучасних електронних платіжних систем, гнучкість і масштабованість, та , головне, конкурентна перевага та залучення інновацій і нових рішень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Lucas Augusto Meyer, Sergio Romero, Gabriele Bertoli, Tom Burt, Alex Weinert, Juan Lavista Ferres. How effective is multifactor authentication at deterring cyberattacks? URL: <https://query.prod.cms.rt.microsoft.com/cms/api/am/binary/RW1661D?culture=en-us&country=us> (дата звернення: 27.09.2024).
2. Akhter F., Trivedi P., Khan A. The Role of Technology in Enhancing Business Processes. ResearchGate. URL: [https://www.researchgate.net/publication/378734715\\_The\\_Role\\_of\\_Technology\\_in\\_Enhancing\\_Business\\_Processes](https://www.researchgate.net/publication/378734715_The_Role_of_Technology_in_Enhancing_Business_Processes) (дата звернення: 27.09.2024).
3. Angular Developers Team. Angular Documentation. URL: <https://angular.dev/> (дата звернення: 27.09.2024).
4. Grant D. The Role of Technology in Driving Business Process Optimization. Forrest Advisors. URL: <https://www.forrestadvisors.com/insights/business-process-improvement/role-technology-driving-business-process-optimization/> (дата звернення: 27.09.2024).
5. Kleppmann M. Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems. O'Reilly Media, Incorporated, 2017. 616 p.

6. Mohit J. Angular vs React vs Vue: Core Differences | BrowserStack. BrowserStack. URL: <https://www.browserstack.com/guide/angular-vs-react-vs-vue> (дата звернення: 27.09.2024).
7. Patel B. SPA vs MPA: 8 Key Comparisons for Your Web Development. Space-O Technologies. URL: <https://www.spaceotechnologies.com/blog/single-page-application-vs-multi-page-application/> (дата звернення: 27.09.2024).

**Пройдаков О.М.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
oleh.proidakov@gmail.com*

## **АНАЛІЗ ТА ВИБІР ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВЕБСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЦИФРОВОЮ БІБЛІОТЕКОЮ**

**Анотація.** У статті розглядається вибір технологій для розробки веб-орієнтованої системи управління цифровою бібліотекою з використанням сучасних технологій, таких як *React*, *Nest.js*, *PostgreSQL*, *wagmi* та *viem*. Система призначена для полегшення запитів на оновлення даних про книги та дозволяє здійснювати платні публікації книг.

У статті детально описується архітектура та функціональність платформи. Також висвітлюються деякі можливості платформи, зокрема інтеграція з технологією блокчейн для полегшення транзакцій.

**Ключові слова:** цифрова бібліотека, *web3*, криптовалюти, платежі, *React*, *Nest.js*, *PostgreSQL*, *wagmi*, *viem*.

**Abstract.** This article explores selecting technologies for the development of a web-based digital library management system using modern technologies such as *React*, *Nest.js*, *PostgreSQL*, *wagmi*, and *viem*. The system is designed to facilitate book data update requests and enable paid book publications.

It details the architecture and functionality of the platform. It outlines some of capabilities of the platform, highlighting the integration with blockchain technology for facilitating transactions.

**Keywords:** digital library, *web3*, cryptocurrency payments, *React*, *Nest.js*, *PostgreSQL*, *wagmi*, *viem*.

**Вступ.** Сучасні цифрові бібліотеки набули великого поширення як інструменти збереження, управління та розповсюдження знань у цифрову епоху. Основна мета таких систем полягає в тому, щоб зробити доступ до інформації більш зручним та ефективнішим, при цьому надаючи високий рівень безпеки даних та можливість інтерактивної взаємодії з користувачами. Сьогодні важливим є питання підтримки актуальності даних у бібліотеці, а також впровадження новітніх фінансових технологій, зокрема криптовалют, для реалізації економічних взаємодій між користувачами та авторами.

Особливістю даної системи буде можливість подання заявок на оновлення даних про книги безпосередньо користувачами. Це дозволить частково децентралізувати процес оновлення та покращення бібліографічної інформації. Такий підхід не лише спростить адміністрування системи, але й буде стимулювати активну участь користувачів у підтримці бібліотеки.

**Основна частина.** Для розробки системи, яка одночасно має легко масштабуватись та витримувати навантаження, вважаю доцільним обрати мову TypeScript. Це також обґрунтовно тим, що сучасні браузері підтримують не так багато мов і використання однієї мови і для серверної, і для клієнтської частини пришвидшить розробку. Використання фреймворку NestJS в свою чергу забезпечить високу модульність та масштабованість, що дозволить легко інтегрувати механізми для оновлення та покращення бібліографічної інформації. Завдяки тому, що NestJS підтримує MVC архітектуру, можна ефективно організувати серверну частину, розділивши її на окремі сервіси для обробки запитів, автентифікації користувачів та роботи з даними. Це спростить адміністрування системи та підтримку стабільності роботи.

MongoDB і PostgreSQL є популярними базами даних. Було б доцільно порівняти їх щоб визначити, яка БД краще задовольнить потреби



вебсистеми цифрової бібліотеки. Для цього я провів збір даних та навів результати у табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння MongoDB та PostgreSQL

Критерій	MongoDB	PostgreSQL
Модель зберігання даних	Документоорієнтована, зберігає дані у вигляді JSON-подібних документів (BSON)	Реляційна, зберігає дані у вигляді таблиць з чіткими зв'язками між даними (таблиці, реляції)
Тип бази даних	NoSQL (нереляційна база даних)	SQL (реляційна база даних)
Строгість схеми	Безсхемна (гнучка структура даних, можна легко змінювати модель даних без необхідності міграцій)	Схемна (вимагає чіткої визначеної структури для збереження даних, необхідні міграції при змінах схеми)
Підтримка горизонтального масштабування	Так	Так
Цілісність даних та надійність	Менш сувора цілісність даних, дозволяє «гнучкі» відносини між об'єктами	Висока цілісність даних та підтримка референційної цілісності через реляційні обмеження (FOREIGN KEYS)
Швидкість вставки*	~25,340 оп/сек	~12,460 оп/сек
Розширені можливості індексації	Підтримує індексацію JSON-документів, геопросторову індексацію	Підтримка складних типів індексів (B-Tree, GiST, GIN, BRIN), а також JSONB для швидкого пошуку

\* Швидкість вставки була виміряна у віртуальному середовищі з 2 vCPU на контейнер

Отже, PostgreSQL має кілька переваг, які роблять його кращим вибором для системи управління цифровою бібліотекою. MongoDB – це NoSQL база даних, відома своєю гнучкістю у зберіганні неструктурованих даних та простотою горизонтального масштабування. Однак така структура не завжди підходить для складних запитів та забезпечення цілісності даних. MongoDB може бути корисним для роботи з документами або даними без

чіткої структури, але PostgreSQL надає кращу стабільність, продуктивність і надійність для критично важливих застосунків, особливо коли потрібна строгість та точність у роботі з даними.

PostgreSQL, як реляційна база даних, пропонує вищу надійність та відповідність стандарту ACID. Це дозволяє ефективно працювати зі складними транзакціями, підтримувати зв'язки між таблицями, а також виконувати складні аналітичні запити. Завдяки своїй підтримці складних типів даних та розширених індексацій, PostgreSQL забезпечує високу продуктивність при обробці великих обсягів інформації. Крім того, PostgreSQL має гнучкі можливості масштабування, що дозволяє ефективно використовувати його як для невеликих проєктів, так і для великих корпоративних систем.

React разом із Vite забезпечать швидку і зручну розробку клієнтської частини вебзастосунку. React – потужна бібліотека для створення динамічного інтерфейсу користувача з можливістю створення компонентів, що спрощує підтримку та масштабування застосунку. Vite, у свою чергу, забезпечує миттєве перезавантаження під час розробки та швидку збірку проєкту завдяки сучасній архітектурі. Це значно пришвидшує процес розробки, оскільки Vite компілює лише необхідні частини коду під час змін, що робить його ідеальним для великих та складних проєктів. Разом ці технології забезпечують продуктивну роботу як під час розробки, так і при запуску застосунку в загальний доступ.

Однією з ключових особливостей системи буде можливість публікації книг авторів за криптовалюту. Для інтеграції блокчейн-технологій доцільно використати дві популярні бібліотеки — wagmi та viem, які дозволяють ефективно взаємодіяти з EVM-сумісними мережами. Це дасть авторам змогу публікувати свої роботи без посередників. Така інтеграція створить глобальну платформу, незалежну від традиційних фінансових систем, що робить публікацію контенту доступнішою і ефективнішою. Це забезпечить

не лише зручність для авторів, але й стимулюватиме розвиток інновацій у сфері децентралізованих фінансів та контенту.

Сучасна розробка вебзастосунків значною мірою зосереджується на створенні ефективних, динамічних та естетично привабливих інтерфейсів. З розвитком технологій з'являються нові підходи до розробки, які дозволяють прискорити роботу над зовнішнім виглядом застосунків та спростити підтримку їх гнучкості й адаптивності. Різні інструменти та бібліотеки стають невід'ємною частиною роботи над клієнтською частиною, де особливу увагу приділяють дизайну, анімації та взаємодії користувача з системою. Для створення комплексних інтерфейсів і зручних форм сьогодні існує чимало інструментів, таких як TailwindCSS, NextUI, framer-motion.

Ще однією важливою частиною сучасного вебзастосунку є форми, і для їх обробки в React найчастіше використовують бібліотеку react-hook-form. Цей інструмент дозволяє легко створювати та керувати складними формами з валідацією, зводячи до мінімуму кількість коду, необхідного для їх реалізації.

Завдяки оптимізованій роботі, react-hook-form зменшує кількість повторних провантажень, що позитивно впливає на продуктивність і робить взаємодію з формами плавною та зручною для користувача. Порівняно з Formik, який вимагає відносно більше коду і часто призводить до надлишкових рендерів при оновленні полів, react-hook-form є значно більш ефективним рішенням.

Використання бібліотеки axios є важливим аспектом при розробці сучасних вебзастосунків, оскільки вона значно спрощує управління HTTP-запитами. Axios забезпечує зручний API для виконання асинхронних запитів, підтримує автоматичну обробку JSON та дозволяє легко налаштувати заголовки та обробники помилок. Це дозволяє розробникам швидше реалізувати функціонал, зосередившись на функціоналі застосунка, а не на детальній обробці запитів.

Спільно з іншими бібліотеками, такими як SWR, axios може використовуватися для оптимізації процесу отримання даних. SWR автоматично кешує результати запитів та оновлює їх у фоновому режимі, що забезпечує швидкий доступ до інформації, зменшуючи час завантаження та покращуючи досвід користувачів. Комбінування цих інструментів дозволяє створити більш оптимізовану вебсистему, здатну швидко реагувати на зміни даних і забезпечувати високу продуктивність, що є критично важливим для успішних вебзастосунків у сучасному середовищі.

**Висновок.** Під час проведеного дослідження було детально проаналізовано широкий спектр сучасних технологій, що можуть бути використані для розробки вебсистеми управління цифровою бібліотекою. Особливу увагу було приділено вибору інструментів, які забезпечують інтеграцію блокчейн-технологій, що дозволяє підвищити безпеку та прозорість обробки даних. Крім того, було обрано бібліотеки, які сприяють поліпшенню досвіду користувачів при роботі з формами та виконанні HTTP-запитів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. G. Chowdhury, Schubert Foo. Digital Libraries and Information Access: Research Perspectives. Лондон: Facet Publishing, 2012. – 256 с.
2. Lesk M. Understanding Digital Libraries. Сан-Франциско: Morgan Kaufmann Publishers, 2005. – 424 с.
3. Marchionini, G. Information Seeking in Electronic Environments. Кембридж: Cambridge University Press, 1997. – 232 с.
4. Research and Advanced Technology for Digital Libraries / Norbert Fuhr, László Kovács, Thomas Risse, Wolfgang Nejdl. Чам: Springer, 2016. – 493 с.
5. Документація до фреймворку NestJS: веб-сайт. URL: <https://nestjs.com/> (дата звернення: 27.09.2024).

6. Документація для MongoDB: веб-сайт. URL: <https://www.mongodb.com/docs/atlas> (дата звернення: 27.09.2024).
7. Документація для PostgreSQL: веб-сайт. URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата звернення: 27.09.2024).
8. Документація для React: веб-сайт. URL: <https://react.dev/> (дата звернення: 27.09.2024).
9. Документація для react-hook-form: веб-сайт. URL: <https://react-hook-form.com/> (дата звернення: 27.09.2024).
10. Документація для Formik: веб-сайт. URL: <https://formik.org/> (дата звернення: 27.09.2024).
11. Документація для Wagmi: веб-сайт. URL: <https://wagmi.sh/> (дата звернення: 27.09.2024).
12. Документація для Viem: веб-сайт. URL: <https://viem.sh/> (дата звернення: 27.09.2024).
13. Документація для Axios: веб-сайт. URL: <https://axios-http.com/docs/intro> (дата звернення: 27.09.2024).
14. Документація для SWR: веб-сайт. URL: <https://swr.vercel.app/> (дата звернення: 27.09.2024).

Прокопчук Ю.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
youht432@gmail.com

## ВИКОРИСТАННЯ БІБЛІОТЕКИ REACT ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ: ПЕРЕВАГИ ТА ВИКЛИКИ

**Анотація.** У цій статті надається огляд основних характеристик та функціональних можливостей бібліотеки React. Виділяються сильні та слабкі сторони React, а також демонструється доцільність її використання у сучасній фронт-енд розробці веб-додатків у порівнянні з її основними конкурентами.

**Ключові слова:** веб-розробка, веб-додаток, фронт-енд бібліотека, фронт-енд фреймворк, бібліотека React.

**Abstract.** In this article, an overview of the React library's main characteristics and functional capabilities is given. Strong and weak sides of React are highlighted and the expediency of its usage in modern front-end development of web applications in comparison with its main competitors is shown.

**Keywords:** web development, web application, front-end library, front-end framework, React library.

**Вступ.** Сьогодні є і активно застосовується велика кількість різноманітних інструментів, бібліотек та фреймворків для створення веб-застосунків. Найчастіше, за даними Statista, у 2024 році розробники використовують такі технології для розроблення front-end частин веб-застосунків: React (39,5%), Angular (17,1%), Vue.js (15,4%) [1]. Як можна побачити із наведеної статистики, React із великим відривом є більш популярним серед програмістів, тому цікавим питанням є дослідження

особливостей використання, позитивних та негативних сторін такої технології, яка здобула значного поширення серед розробників.

**Основна частина.** React позиціонується розробниками як бібліотека для мови програмування JavaScript для створення користувацьких інтерфейсів [4]. Однак, варто зазначити, що технологія може працювати також зі строго типізованою TypeScript і таке використання можна зустріти все частіше. Бібліотека React орієнтована на роботу з компонентами – невеликими блоками коду, які можна повторно використовувати [2]. Життєвий цикл кожного компонента складається з таких фаз: монтування (Mounting), оновлення (Updating) та демонтування (Unmounting). На першій фазі з перерахованих відбувається ініціалізація компонента, його стану, додавання в DOM (Document Object Model). Наступний етап виконується у разі оновлення стану компонента. Остання фаза відповідає за дії з очищення, відміни запитів, підписок при видаленні компонента з DOM. Робота з великою кількістю методів життєвого циклу була поширена при використанні класових компонентів. З появою хуків (hooks) з'явилась можливість працювати зі станом та багатьма іншими можливостями у функціональних компонентах, що значно спостило написання та зрозумілість коду [3].

Бібліотека React початково призначена для створення односторінкових веб-застосунків (Single Page Application) із рендерингом на стороні клієнта, що може негативно вплинути на індексування при роботі пошукових рушіїв. Якщо ця особливість є критичною, то можна розглянути фреймворки, які вирішують таку проблему, наприклад, Next.js, який, серед іншого, надає можливість рендерингу на стороні сервера та дозволяє створювати статичні сайти.

Однією з особливостей React є використання Virtual DOM. DOM – є інтерфейсом, що дозволяє динамічно отримувати доступ найчастіше до HTML (HyperText Markup Language) документів, які представляються як

набір об'єктів деревовидної структури, та мати можливість програмно керувати їхнім вмістом [7]. Маніпуляції з DOM є досить затратними, тому React використовує так званий віртуальний DOM (React DOM), що є полегшеним представленням DOM. Таким чином, Virtual DOM порівнює зміни із справжнім представленням і вносить їх лише там, де це потрібно, за рахунок чого збільшується продуктивність. Vue також використовує таку концепцію. Angular, однак, взаємодіє із реальним DOM.

Іншою особливістю вартою уваги є використання JSX – синтаксичного розширення, що дозволяє поєднувати код JavaScript із HTML [4]. Такий підхід у поєднанні з функціональними компонентами дозволяє скоротити час написання коду та може бути простішим для розуміння початківцям. Варто зазначити, що використання JSX є рекомендованим, хоча й необов'язковим. Vue також допускає використання такого синтаксичного розширення, хоча це не є стандартним підходом.

Активна спільнота, велика кількість навчальних матеріалів, форумів присвячених вирішенню проблем та обговоренню перспектив розвитку є важливими елементами для освоєння та ефективного використання технології. React був розроблений компанією Facebook (Meta) та активно нею підтримується. Також можна з легкістю знайти велику кількість матеріалів для вивчення та пошуку відповідей на поширені запитання.

Оскільки React вважають бібліотекою, це з одного боку є перевагою, а з іншого – недоліком. Фреймворки зобов'язують розробників при створенні застосунків слідувати певним встановленим правилам, бібліотеки ж є більш вільними у виборі використання, надаючи просто набір інструментів для реалізації певної задачі [6]. Фреймворки зазвичай надають основні необхідні інструменти для створення застосунків разом із чіткою структурою розроблення. React, як бібліотека є більш гнучкою у виборі підходів до програмування та підбору інструментів, однак це неминуче призводить до того, що часто не вистачає власних можливостей, зокрема для



маршрутизації, роботи із мережею. Ця проблема частково вирішується великою кількістю додаткових якісних бібліотек, наприклад, React Router. Управління станом також є одним з викликів при створенні веб-застосунків із використанням цієї технології. Якщо при роботі зі станом всередині компонента та із батьківськими компонентами можна скористатись базовими інструментами (hooks, Context API), то для взаємодії зі глобальним станом необхідно залучати сторонні бібліотеки, одними з найпопулярніших серед яких є Redux та MobX. Перша використовує деревовидний підхід та єдине сховище. У той час як друга використовує реактивну концепцію, що відстежує залежності. Такий вільний та широкий вибір часто призводить до невизначеності у підборі конкретної технології для вирішення проблеми і при зміні команди часто доводиться ознайомлюватись із новим набором інструментів із схожим призначенням або новим стилем програмування та витратити час на додаткове навчання.

Важливо зазначити, що React використовує одностороннє зв'язування між постачальником та споживачем даних, тобто дані рухаються в одному напрямку від моделі до інтерфейсу, хоча при написанні додаткової логіки чи використанні додаткових інструментів можна досягти двостороннього. Для Angular стандартним є двостороннє зв'язування, але за потреби можна зробити і одностороннє. Вважається, останнє більш прозоре та передбачуване, його легше контролювати, однак часто зустрічаються ситуації, коли необхідно скористатись першим.

Якщо звернутись до тестів швидкодії, наведених у джерелі [5], то можна побачити, що Vue виявляється швидшим за всіх конкурентів майже у всіх тестах. Angular та React показують сумірні результати. Перший показує кращі результати при частковому оновленні, виборі та видаленні рядка, створенні великої кількості рядків, у той час як другий кращий при створенні рядка, заміні всіх рядків, перестановці та очищенні деякої їхньої кількості, приєднанні рядка до таблиці. При тестуванні обсягів

використання пам'яті, знову найкращий результат показує Vue, далі з помітним відривом йде React і найгірший результат демонструє Angular. Варто зазначити, що за винятком декількох тестів, результати здебільшого відрізняються не надто сильно.

**Висновок.** Загалом, React є конкурентоспроможною технологією, яка попри деякі труднощі у роботі, при детальному вивченні особливостей використання, має велику кількість беззаперечних переваг, що вирізняє її серед інших, та робить цікавим інструментом для створення front-end частин веб-застосунків.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Most used web frameworks among developers 2024 | Statista. Statista. URL: <https://www.statista.com/statistics/1124699/worldwide-developer-survey-most-used-frameworks-web/> (дата звернення: 21.09.2024).
2. Hutsulyak O. Why Use React for Web Development: 10 Reasons To Apply. Blog | TechMagic. URL: <https://www.techmagic.co/blog/why-we-use-react-js-in-the-development/> (дата звернення: 21.09.2024).
3. The React lifecycle: methods and hooks explained | Retool Blog | Cache. Retool | A better way to build custom software. URL: <https://retool.com/blog/the-react-lifecycle-methods-and-hooks-explained> (date of access: 22.09.2024).
4. React. React. URL: <https://react.dev/> (дата звернення: 23.09.2024).
5. Official results for js web frameworks benchmark. GitHub Pages. URL: <https://krausest.github.io/js-framework-benchmark/> (дата звернення: 24.09.2024).
6. Levlin M. DOM benchmark comparison of the front-end JavaScript frameworks React, Angular, Vue, and Svelte : Master's Thesis in Computer Science. Åbo, 2020. 95 с. URL: <https://www.doria.fi/handle/10024/177433> (дата звернення: 25.09.2024).

7. Fariz Syah Lazuardy M., Anggraini D. Modern Front End Web Architectures with React.Js and Next.Js. International Research Journal of Advanced Engineering and Science. 2022. Vol. 7, no. 1. P. 132–141. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Modern-Front-End-Web-Architectures-with-React.Js-Fariz-Lazuardy/9df33541508d8ee667593bb630532f4fc9a52af6> (дата звернення 26.09.2024).

Пурський О.І., Філімонова Т.О., Селіванова А.В., Нечепуренко А.І.,  
Дубовик Т.В.

Державний торговельно-економічний університет, Київ, Україна  
pursky\_o@ukr.net, t.filimonova@knu.edu.ua, a.selivanova@knu.edu.ua

## ПРОГНОЗУВАННЯ ВАРТОСТІ ТОВАРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РЕГРЕСІЙНОЇ МОДЕЛІ НА ОСНОВІ ФРЕЙМВОРКУ PYTORCH

**Анотація.** У даній роботі розроблено регресійну модель для прогнозування вартості товарів з використанням фреймворку PyTorch. Додатково побудовані дві класичні регресійні моделі машинного навчання - *RandomForestRegressor* та *GradientBoostingRegressor*. Реалізовано порівняння моделей. Визначено найкращу.

**Ключові слова:** регресійні моделі, PyTorch, гіперпараметри, машинне навчання, MAE, MSE.

**Abstract.** In this work, a regression model for predicting the cost of goods using the PyTorch framework has been developed. Additionally, two classical machine learning regression models – *RandomForestRegressor* and *GradientBoostingRegressor* – were constructed. A comparison of the models was carried out, and the best one was identified.

**Keywords:** Regression models, PyTorch, hyperparameters, machine learning, MAE, MSE.

**Вступ.** Метою даного дослідження є побудова та порівняння моделей для прогнозування вартості ноутбуків у контексті онлайн-продажів. Для цього застосовано нейронну мережу на базі фреймворку **PyTorch** [1] як одну з методик для розв'язання задачі регресії. Крім того, розглянуті інші методи машинного навчання, зокрема **випадковий ліс** (*Random Forest Regressor*)

[2] та **градієнтний бустинг** (Gradient Boosting Regressor) [3], для порівняння результатів за ключовими метриками.

**Основна частина.** Задача прогнозування ціни ноутбуків сформульована наступним чином: є множина вхідних характеристик ноутбука (незалежні змінні), необхідно передбачити цільову змінну – **ціну ноутбука**. Таким чином, проблема зводиться до багатовимірної регресії, де кожна характеристика виступає як предиктор, а ціна ноутбука - як значення, що прогнозується.

Для аналізу та побудови моделі регресії було використано датасет ноутбуків, отриманий із платформи Kaggle [4]. Датасет містить основні технічні характеристики пристроїв.

Після підготовки наборів даних, для їх організації у процесі навчання та тестування було використано клас `DataLoader`. Цей клас надає інструменти для ітерації по даних з можливістю їх розбивки на пакети і підвищує ефективність обробки за рахунок багатопоточності.

Дал розроблено модель `NNModel` на базі `PyTorch`. Архітектура моделі наведена на Рис. 1.

Layer (type)	Output Shape	Param #
Linear-1	[-1, 256]	5,888
ReLU-2	[-1, 256]	0
Dropout-3	[-1, 256]	0
Linear-4	[-1, 128]	32,896
ReLU-5	[-1, 128]	0
Dropout-6	[-1, 128]	0
Linear-7	[-1, 64]	8,256
ReLU-8	[-1, 64]	0
Dropout-9	[-1, 64]	0
Linear-10	[-1, 1]	65

Total params: 47,105  
 Trainable params: 47,105  
 Non-trainable params: 0

Input size (MB): 0.00  
 Forward/backward pass size (MB): 0.01  
 Params size (MB): 0.18  
 Estimated Total Size (MB): 0.19

Рисунок 1 – Архітектура моделі

Загальна кількість епох навчання складає 500. Для уникнення перенавчання застосовується механізм дострокової зупинки (early stopping) з параметром 20 епох. Для оцінки результатів побудовані графіки кривих навчання (рис. 2-3).

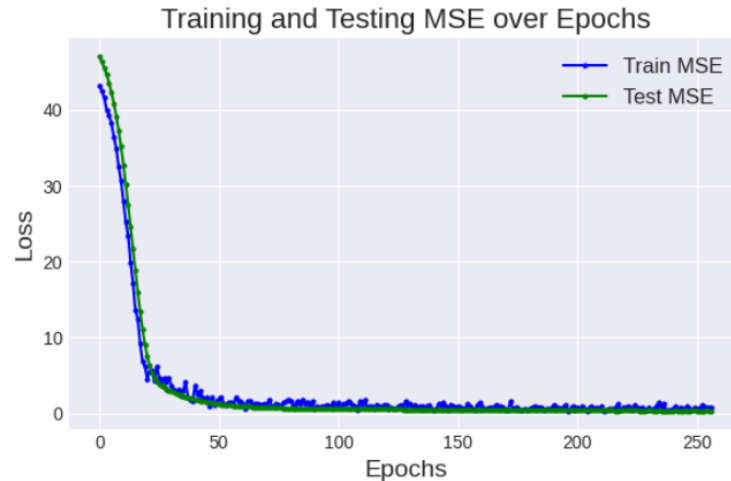


Рисунок 2 – Mean Squared Error (MSE)

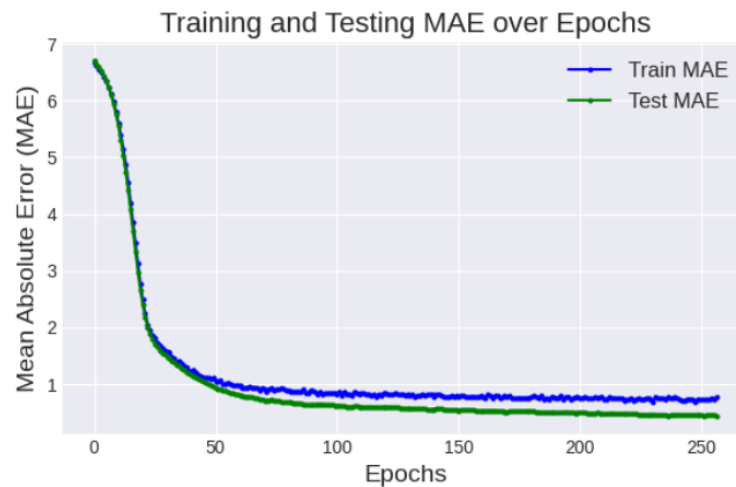


Рисунок 3 – Mean Absolute Error (MAE)

У процесі навчання моделі спостерігалось значне зниження тренувальних і тестових значень для MSE [7], середня абсолютна помилка (MAE) [8] зменшилася з 5.8011 до 0.7247 на тренувальних даних і з 5.7509 до 0.4555 на тестових. Загалом, модель демонструє високий рівень адаптації до даних, що підтверджує її потенціал для практичного застосування.

Далі побудовані з метою порівняння результатів побудовані дві регресійні моделі `RandomForestRegressor`, `GradientBoostingRegressor`.

Було проведено оптимізацію параметрів двох алгоритмів машинного навчання – `RandomForestRegressor` [2] та `GradientBoostingRegressor` [3] - з використанням методу пошуку `RandomizedSearchCV` [7].

Із таблиці 2 видно, що `RandomForestRegressor` демонструє кращі результати на навчальних та тестових наборах даних у порівнянні з `GradientBoostingRegressor`. Класичні моделі машинного навчання показують значно кращі результати в порівнянні з нейронною мережею на даних метриках.

Реалізовано крос-валідацію для моделей `RandomForestRegressor` та `GradientBoostingRegressor` з використанням 5-кратної валідації для покращення узагальнення моделей.

Результати крос-валідації свідчать, що обидві моделі демонструють подібну ефективність за метриками MSE, яка для обох моделей становить 0.019. Однак, `RandomForestRegressor` дещо перевершує `GradientBoostingRegressor` за показником MAE, що свідчить про її точніше передбачення середніх значень. Обидві моделі мають однакове значення  $R^2 = 0.951$  [10].

Побудуємо графіки для справжніх і прогнозованих значень для даних моделей (рис. 4).

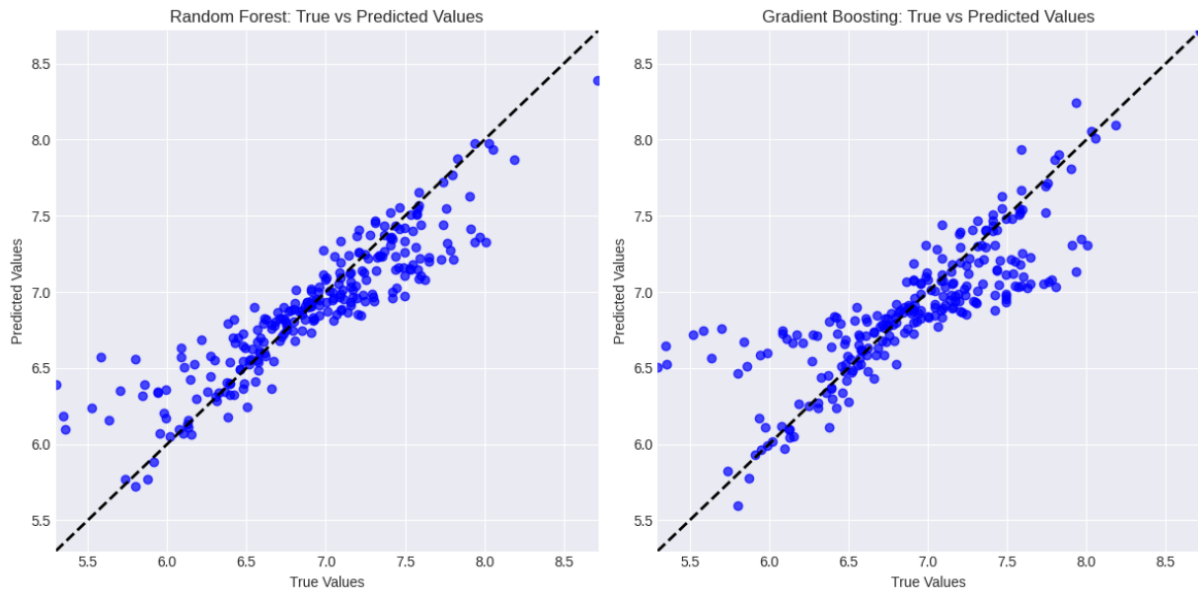


Рисунок 4 – Графіки справжніх і прогнозованих значень для моделей

Можна зробити висновок, що обидві моделі показали відносно високі результати, але найкращою є модель `RandomForestRegressor`.

**Висновок.** У даній роботі побудовані моделі для прогнозування вартості товарів у контексті онлайн-продажів. Для цього розроблено нейронну мережу на базі фреймворку PyTorch. Також побудовані регресійні моделі `Random Forest` і `Gradient Boosting`, для порівняння результатів за ключовими метриками.

Загалом, результати вказують на те, що моделі класичного машинного навчання є більш придатними для вирішення даної задачі регресії, демонструючи кращі узагальнюючі властивості та точність прогнозів. Нейронні мережі потребують більш ретельного налаштування і оптимізації для досягнення подібної ефективності.

## ЛІТЕРАТУРА

1. PyTorch. *Офіційний сайт*. URL: <https://pytorch.org/> (дата звернення: [26.09.24]).
2. `RandomForestRegressor`. Документація `scikit-learn`. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.RandomForestRegressor.html> (дата звернення: [26.09.24]).



3. GradientBoostingRegressor. Документація scikit-learn. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.ensemble.GradientBoostingRegressor.html> (дата звернення: [26.09.24]).
4. Laptop Prices. Kaggle. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/owm4096/laptop-prices> (дата звернення: [26.09.24]).
5. Mean Squared Error. Документація scikit-learn. URL: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.mean\\_squared\\_error.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.mean_squared_error.html) (дата звернення: [26.09.24]).
6. Mean Absolute Error. Документація scikit-learn. URL: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.mean\\_absolute\\_error.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.mean_absolute_error.html) (дата звернення: [26.09.24]).
7. Randomized Search CV. Документація scikit-learn. URL: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.model\\_selection.RandomizedSearchCV.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.model_selection.RandomizedSearchCV.html) (дата звернення: [27.09.2024]).
8. R<sup>2</sup> Score. Документація scikit-learn. URL: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.r2\\_score.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.metrics.r2_score.html) (дата звернення: [26.09.24]).

Ретюнських А.Р., Жихарєва Ю.І.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
arretiunskykh@gmail.com, y.zhykharieva@knu.ua

## МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ПОШУКУ ДОМАШНІХ ТВАРИН

**Анотація.** Робота присвячена спрощенню та оптимізації процесу пошуку домашніх тварин за допомогою створення мобільного застосунку. Досліджено ринок застосунків для пошуку домашніх тварин та основні потреби, що вирішують застосунки такого типу. Здійснено аналіз можливих технологій для створення застосунку. Спроектовано архітектуру, створено кросплатформний застосунок для пошуку домашніх тварин з урахуванням вимог та сучасних підходів.

**Ключові слова:** Dart, Flutter, Firebase, мобільний застосунок, пошук домашніх тварин.

**Abstract.** The work is dedicated to simplifying and optimizing the process of finding pets through the development of a mobile application. The market of pet search applications and the main needs addressed by such applications have been researched. An analysis of potential technologies for creating the application was conducted. The architecture was designed, and a cross-platform application for pet search was developed, considering the requirements and modern approaches.

**Keywords:** Dart, Flutter, Firebase, mobile app, pet search.

**Вступ.** Поточна ситуація в країні, на жаль, диктує невтішні сценарії виникнення ситуацій при яких тварини, що мали домівки, втрачають їх. В умовах технологічного прогресу актуальним є питання підтримувати процес пошуку та усиновлення тварин за допомогою інформаційних технологій. З огляду на те, що мобільні пристрої є невід'ємною частиною

повсякденного життя, доцільним є створення спеціалізованого мобільного застосунку для пошуку домашніх тварин. Такий застосунок не лише оптимізує процес пошуку для потенційних власників, але й може відіграти вирішальну роль у збереженні життя тварин, для яких у притулках не вистачає ресурсів.

Подібні мобільні застосунки для пошуку домашніх тварин настільки непопулярні, що важко знайти необхідний застосунок, не знаючи про нього. Тому створення застосунку для пошуку тварин, спростить процеси пошуку домашніх тварин для людей, що цього прагнуть, і також позитивно вплине на кількість тварин, що не мають власників.

**Основна частина.** У сучасних технологіях існує багато архітектурних рішень при виборі програмних засобів для реалізації кросплатформних застосунків. При розробці даного проаналізовано декілька з них.

React Native – це стек технологій для кросплатформної розробки iOS і Android, створений командою інженерів Facebook, які раніше розробляли ReactJS. Він поєднує нативну розробку з розробкою інтерфейсу JS. Серед плюсів React Native можна виділити можливість повторного використання компонентів, що економить багато часу. Віртуальний DOM покращує взаємодію з користувачем. DOM – це структура документа в XML у формі дерева. Основна проблема традиційного DOM полягає в тому, що навіть для невеликих змін потрібно оновити все дерево, що не є ергономічно ефективним. Серед мінусів можна виділити застарілі бібліотеки, проблеми сумісності, зокрема системні збої, з якими розробник може зіткнутися під час роботи.

Ionic – це фреймворк для розробки кросплатформних мобільних застосунків, що базується на веб-технологіях, таких як HTML, CSS та JavaScript. Він використовується для створення мобільних застосунків, які можуть працювати як на платформі Android, так і на iOS. Основні переваги Ionic включають простоту використання та широкі можливості для

розробки кроссплатформних застосунків та надає широкий набір компонентів і інструментів, що допомагають в розробці застосунків з красивим інтерфейсом користувача. Ще однією перевагою Ionic є його активна спільнота розробників, що дозволяє швидко знаходити рішення на форумах та знаходити корисні бібліотеки. Серед мінусів можна виділити обмежені можливості доступу до апаратного забезпечення пристрою порівняно з іншими фреймворками, що може призвести до того, що деякі складні функції, такі як робота з датчиками або геолокація, можуть бути менш ефективними або не доступними. Також Ionic застосунки використовують веб-запити для отримання даних, які можуть бути більш чутливими до якості та швидкості мережі, що призводить до повільної або нестабільної роботи застосунку в умовах обмеженого інтернет-з'єднання.

Xamarin – це платформа з відкритим вихідним кодом, призначена для побудови сучасних продуктивних програм для iOS, Android та Windows з .NET. Вважається одним із найкращих фреймворків для служб розробки гібридних програм. Серед переваг можна виділити те, що Xamarin пропонує високу можливість повторного використання коду – до 90%, а також високу можливість налаштування. Серед мінусів виділяють затримки в оновленнях і можливу несумісність з останніми версіями iOS і Android, незважаючи на досить велику команду розробників, а це є досить суттєвим.

Flutter – це відкритий фреймворк розробки користувацького інтерфейсу (UI) від компанії Google. Він дозволяє створювати красиві та високоефективні кросс-платформні застосунки для мобільних, веб- та настільних платформ з використанням однієї кодової бази [1]. Плюси Flutter включають однакову візуалізацію на всіх платформах. На відміну від React Native або Xamarin, які мають властивості, підтримувані лише деякими платформами, Flutter відтворює програму однаково незалежно від того, чи вона запущена на Android чи iOS [2]. Функція Hot Reload дозволяє розробникам не чекати довго на перезавантаження програми, як у React

Native і Xamarin Forms, але з тією різницею, що більшість змін інтерфейсу користувача застосовуються в режимі реального часу під час роботи над кодом. Вбудована підтримка тем полегшує створення та перегляд інтерфейсу користувача. Створення тем у Flutter набагато простіше порівняно з нативною розробкою для Android, завдяки чому розробники можуть швидше та легше розробляти всі аспекти інтерфейсу користувача. Серед недоліків можна зазначити використання власної мови програмування Dart, розробленої Google.

**Технології для оптимізації пошуку у мобільному застосунку.** Для швидкої побудови інтерфейсу було обрано веб-сервіс Figma, що дозволяє працювати із графічними зображеннями та спеціалізується на створенні інтерфейсів. Figma має зручний інтерфейс, зображений на рис. 1, що покращує досвід користувачів.

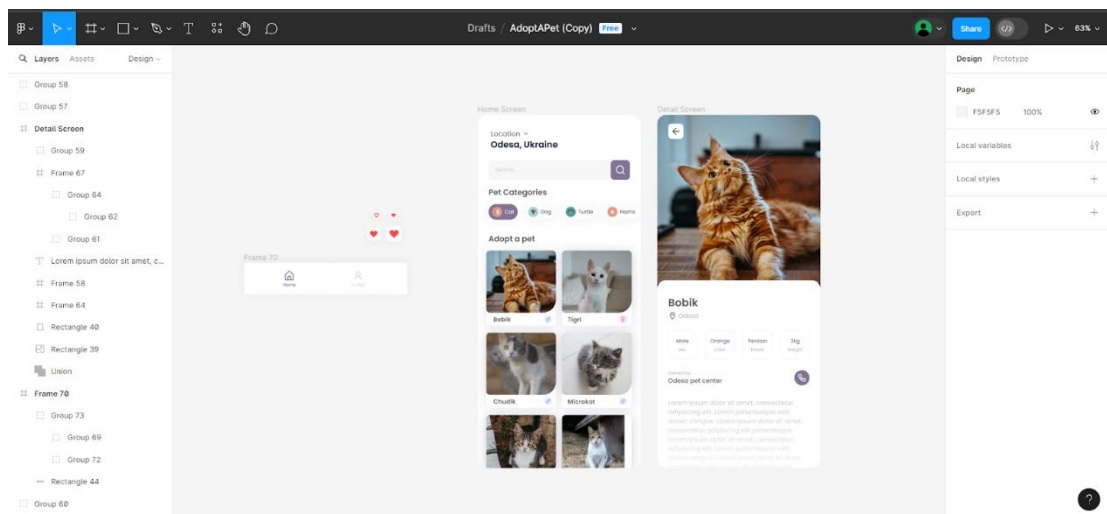


Рисунок 1 – Інтерфейс сервісу Figma

Застосунок складається з 5 основних екранів та нижньої панелі навігації. Дизайн розроблявся відповідно до сучасних трендів, а також рекомендацій від Apple для побудови інтерфейсів.

Під час розробки архітектури було важливо дотримуватись основних принципів SOLID, що допомагає забезпечити гнучкість, розширюваність та підтримку коду.

Для реалізації застосунку для пошуку було обрано чисту архітектуру, оскільки вона підтримує тестування і забезпечує гнучкість при розвитку проекту, чого не можна сказати про інші архітектури. Кодова база була поділена на чотири частини: домен, дані, презентацію та інтерфейс користувача. Домен взаємодіє із сервером і містить бізнес-логіку, дані відповідають за типи та поведінку моделей усередині застосунку, презентація керує взаємодією з моделями верхнього рівня, а інтерфейс користувача відображає моделі, отримані від презентації.

Для дотримання принципів SOLID, кожен рівень системи знає лише про абстракцію рівня вище, але не про його конкретну реалізацію. Це забезпечує незалежність компонентів і спрощує їх тестування. Для взаємодії із API використано сервіси та об'єкти Data Transfer Object (DTO), які отримано з мережі. Для кожного сервісу створено абстрактний клас, який викликається на нижчому рівні, що дозволяє легко змінювати джерела даних або бібліотеки запитів у майбутньому.

На рівні презентації важливо обрати бібліотеку, що буде керувати станом усього застосунку. Для проекту великого масштабу документація Flutter радить використовувати Riverpod або Bloc. Загалом, обидві бібліотеки є чудовим вибором для проекту та надають велику кількість інструментів, але кращою практикою для чистої архітектури є використання саме Bloc, який розроблявся саме для цього. Bloc працює за алгоритмом, що вказаний на рис. 2 [14].

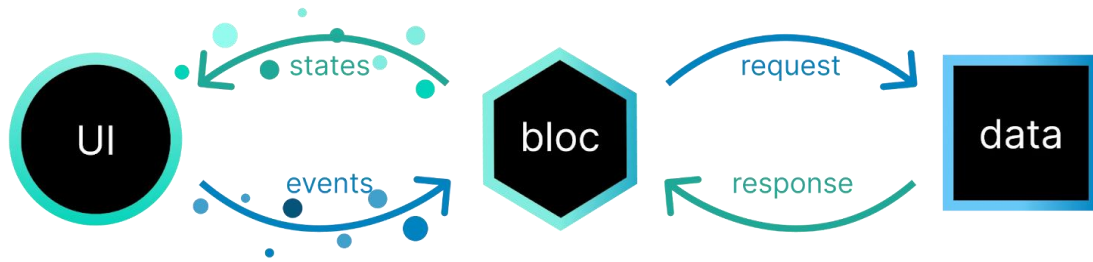


Рисунок 2 – Схема, що зображує принцип роботи BLoC

Як бачимо на рисунку бібліотека покращує зв'язок між рівнем даних та рівнем інтерфейсу.

Для створення застосунку було використано одночасно дві API: власне та загальнодоступне. Для доступу до всесвітньої бази тварин, які потребують господарів обрано Petfinder API. Вибір базується на загальнодоступності системи та її популярності. За допомогою цього API можна додавати тварин чи знаходити їх у будь-якому куточку світу. При використанні власного API база тварин була б досить невеликою на початку, що могло б негативно позначитися на ефективності пошуку.

Для авторизації було використано інструмент Authentication, який дозволяє входити за допомогою електронної пошти та пароля, а також реєструватися через пошту Google. Після реєстрації кожен користувач отримує унікальний ідентифікатор в базі даних Firebase, за яким подальші дані про тварини будуть зберігатися. Цей ідентифікатор записується у локальне сховище SharedPreferences. При кожному вході до застосунку виконується перевірка цього ідентифікатора, і користувач автоматично переходить на потрібну сторінку в залежності від результату цієї перевірки.

Для збереження даних використано наступні методи:

```
final users = FirebaseFirestore.instance.collection('users');
```

```
final userDoc = await users.doc(uid).get();
```

Загалом, база даних має досить просту структуру, адже зберігає лише збережені тварини кожного користувача, як вказано на рис. 3.

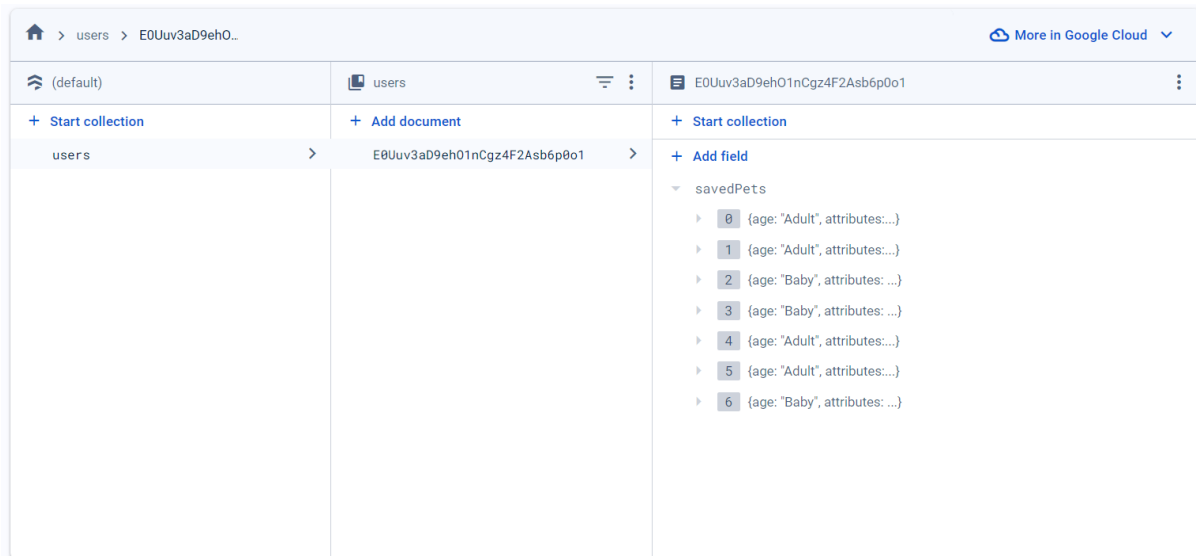


Рисунок 3 – Структура бази даних

**Висновок.** У ході дослідження для створення кросплатформного застосунку застосовано фреймворк Flutter з його можливостями та деревом віджетів. Для створення інтерфейсу використано засоби Figma, за допомогою яких було розроблено макет із деталями, що легко конвертується у код. При побудові інтерфейсу системами дизайну Material Design та Cupertino зручно керуватися для створення застосунку. Дотримання принципів SOLID та ООП для написання коду, дозволяє легко розвивати та підтримувати застосунок. Для серверної частини було обрано відкрите API та Firebase, за допомогою якого реалізується авторизація та збереження улюблених тварин.

Впровадження сучасних веб-рішень для оптимізації бізнес-процесів стає визначальним елементом успішної стратегії розвитку компаній. Використання прогресивних веб-застосунків (PWA), хмарних сервісів, штучного інтелекту у веб-застосунках суттєво впливає на швидкість і якість адаптації бізнесу до змін у ринку. Розумний вибір фреймворків, інтеграція



API для роботи з зовнішніми сервісами, сучасні технології для оброблення запитів у режимі реального часу дозволяють створювати неймовірно гнучкі рішення для оптимізації найрізноманітніших бізнес-процесів. У довгостроковій перспективі впровадження таких рішень дозволяє компаніям залишатися конкурентоспроможними та готовими до нових викликів, закладаючи основу для стабільного розвитку в умовах швидких технологічних змін.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Armstrong B. Flutter Institute. Flutter Institute. URL:<https://flutter.institute/> (дата звернення: 11.09.2024).
2. A Searchable List of Flutter Resources. A Searchable List of Flutter Resources. URL: <https://flutterx.com/>.(дата звернення: 11.09.2024).
3. Flutter and Dart DevTools. Flutter - Build apps for any screen. URL: <https://flutter.dev/docs/development/tools/devtools> (дата звернення: 11.09.2024).
4. Bevor Sie zu YouTube weitergehen. URL: <https://www.youtube.com/c/flutterdev> (дата звернення: 11.09.2024).
5. Google Assistant, your own personal Google. Assistant. URL: <https://assistant.google.com> (дата звернення: 11.09.2024).
6. Community. Flutter - Build apps for any screen. URL: <https://flutter.dev/community> (дата звернення: 12.09.2024).
7. Cookbook. Flutter - Build apps for any screen. URL: <https://flutter.dev/docs/cookbook> (дата звернення: 12.09.2024).
8. Flutter Community. Flutter Community. URL: <https://fluttercommunity.dev/> (дата звернення: 12.09.2024).
9. flutter/dev/docs at master · flutter/flutter. GitHub. URL: <https://github.com/flutter/flutter/tree/master/dev/docs> (дата звернення: 12.09.2024).

10. Flutter documentation. Docs | Flutter. URL: <https://docs.flutter.dev/> (дата звернення: 12.09.2024).
11. Flutter Europe Conference. Flutter Europe Conference. URL: <https://fluttereurope.dev/> (дата звернення: 12.09.2024).
12. FlutterFire. URL: <https://firebase.flutter.dev/> (дата звернення: 13.09.2024).
13. Flutter Gems - A Curated List of Top Dart and Flutter packages. Flutter Gems - A Curated List of Top Dart and Flutter packages. URL: <https://fluttergems.dev/> (дата звернення: 13.09.2024).
14. Flutter Reddit. Flutter Reddit. URL: <https://www.reddit.com/r/FlutterDev/> (дата звернення: 13.09.2024).

Рогушина Ю.В.<sup>1</sup>, Гладун А.Я.<sup>2</sup>, Аніщенко О.В.<sup>3</sup>, Прийма С.М.<sup>4</sup>,  
Ісмаїлова Л.Л.<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Інститут програмних систем НАН України, Київ, Україна

<sup>2</sup>Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, Київ, Україна

<sup>3</sup>Інститут педагогічної освіти і освіти дорослих імені Івана Зязюна НАПН України, Київ, Україна

<sup>4</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного, Запоріжжя, Україна

<sup>5</sup>Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, Київ, Україна  
ladamandraka2010@gmail.com, glanat@yahoo.com,  
anishchenko.olena@gmail.com, pryima.serhii@tsatu.edu.ua,  
tavshan2018@gmail.com

## ОНТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ЕКОСИСТЕМИ НАВЧАННЯ ДОРΟΣЛИХ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕГРАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕРВІСІВ АНДРАГОГА

**Анотація.** Розглянуто використання парадигми екосистем для моделювання процесу навчання з урахуванням специфіки дорослих студентів та проаналізовано сервіс-орієнтований підхід до представлення діяльності андрагога. Дослідивши приклади існуючих екосистем, що створені для моделювання розробки програмного забезпечення та процесу навчання, ми виокремили їх компоненти, які доцільно використовувати в моделюванні навчання дорослих. Запропоновано застосування онтологічного аналізу для створення формальної моделі екосистеми навчання дорослих. Онтологія цієї екосистеми однозначно визначає семантику відношень між її біотичними і абіотичними компонентами і

забезпечує основу для опису інтелектуальних сервісів, що використовуються для підтримки професійної діяльності андрагога.

**Ключові слова:** екосистема навчання дорослих, онтологія, інтелектуальний сервіс.

**Abstract.** *We consider analyse the use of ecosystems paradigm for modeling the learning process that takes into account the specifics of adult students and analyse service-oriented approach for representation of andragogue activities. We research existing ecosystems developed for modelling of software design and learning process and select their components that can be used into adult learning. We propose to use ontological analysis to create a formal model of the adult ecosystem. Ontology of this ecosystem defines explicitly relations of its biotic and abiotic components and provides the basis for descriptions of the semantics of intelligent services used for support services of andragogue professional activities.*

**Keywords:** *adult learning ecosystem, ontology, intelligent service.*

**Вступ.** У сучасному науковому дискурсі термін «екосистема» досить широко використовується не лише в прямому значенні – як опис спільного проживання певної сукупності живих організмів (екологічних об'єктів) у спільному середовищі, але й як метафора для моделювання різних типів систем, які характеризуються фіксованим набором суб'єктів, об'єктів і видів взаємодії між ними під час спільної праці (наприклад, освітній процес, програмне забезпечення тощо) [1].

Кожен суб'єкт екосистеми має власний набір інтересів і цілей, реалізація яких пов'язана з діяльністю інших суб'єктів (учасників) та з екосистемою в цілому (рис. 1).

## Основна частина.

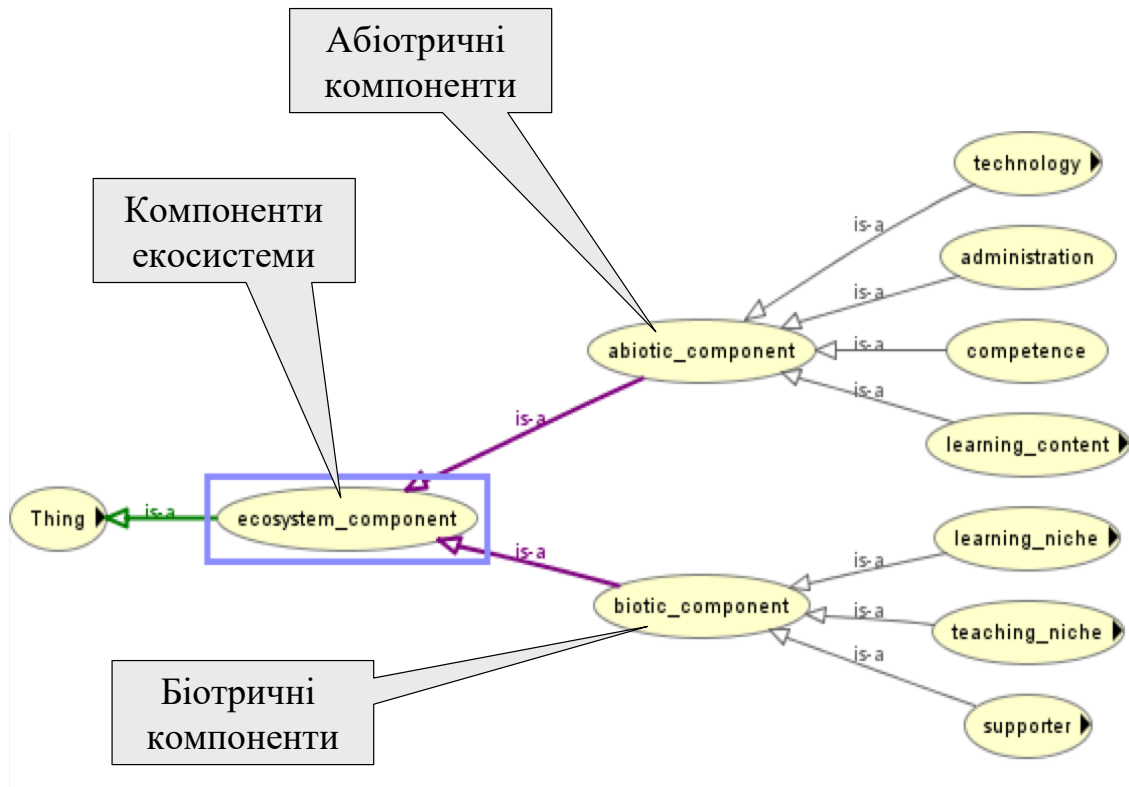


Рисунок 1 – Екосистеми та їх компоненти (верхній рівень)

Зазначимо, що провідну роль в екосистемі відіграє діяльність її суб'єктів, що визначає їх функції та сервіси, які вони можуть надавати один одному. У цьому контексті можна виокремити біотичні та абіотичні компоненти системи, що визначаються залежно від її специфіки (рис. 1). Таке моделювання, на відміну від системного аналізу, уможлиблює посилення уваги до спільних ресурсів, циклічності їх використання й утворення, а також взаємодії між відносно незалежними суб'єктами системи у процесі використання цих ресурсів, що в цілому відображає обмін інформацією, яка має певну цінність для обох сторін. У нашому дослідженні запропоновано висвітлення специфіки екосистеми навчання дорослих як основи інтеграції семантичних технологій для підтримки діяльності андрагога з використанням окремих компонентів існуючих екосистем програмного забезпечення і цифрового навчання.

**Екосистеми програмного забезпечення.** Екосистеми програмного забезпечення (*Software Ecosystems – SECO*) призначені для моделювання процесу розробки великих програмних систем з компонентів, розроблених як внутрішніми, так і зовнішніми учасниками. Вони дозволяють описувати діяльність розробників і користувачів програм та відображати результати такої діяльності [2].

Історично першим визначення SECO наведено у [3], яке описує екосистему програмного забезпечення як набір програмних продуктів, що розробляються та розвиваються разом в одному середовищі. Деякі автори додають до цього визначення набір компаній-розробників, які взаємодіють із спільним ринком програмного забезпечення та сервісів разом на основі спільної технологічної платформи і обмінюються інформацією, ресурсами та артефактами [4]. Більшість визначень SECO стосується програмного забезпечення (програмних систем, продуктів, сервісів, програмної платформи тощо) та різних аспектів його відношень з людьми (розробниками та користувачами) як технічних, так і соціальних, економічних.

Таким чином, екосистема програмного забезпечення уособлює взаємодію непорожньої множини учасників на спільній технологічній платформі, результатом якої є набір програмних рішень або сервісів. В екосистемі навчання дорослих компоненти SECO описують особливості інформаційних технологій, програмних платформ та сервісів, які створюються для підтримки роботи андрагога. Використання компонентів SECO дозволяє визначити відношення андрагогів і студентів із розробниками програмного забезпечення, що підтримує навчальний процес, та формалізувати вимоги до інформаційних технологій і моделей аналізу знань, які ці технології забезпечують.

**Екосистеми цифрового навчання.** Цифрова екосистема навчання (*Digital Learning Ecosystem – DLE*) застосовується для моделювання

освітнього процесу та його середовища, як правило, з використанням різних типів цифрових навчальних ресурсів та інтелектуалізованих засобів навчання [5, 6]. У DLE біотичні компоненти – це студенти, викладачі закладів освіти та інші фізичні та юридичні особи, що приймають участь в освітньому процесі та створюють, змінюють та спільно використовують такі його абіотичні компоненти, як навчальні ресурси, обладнання, технології та інструменти [7].

Деякі дослідники розширюють ці компоненти додатковими елементами, наприклад, додаючи до біотичного компоненту системних адміністраторів, постачальників контенту, дизайнерів, експертів, а до абіотичного – апаратне забезпечення, бази даних, відкриті освітні ресурси, навчальні середовища та інструменти навчання.

На нашу думку, в екосистемі навчання дорослих потрібні додаткові параметри для моделювання досвіду та компетенцій здобувачів освіти, а також особливості навчальних матеріалів, які враховують різні здатності до сприйняття нових знань та динаміку структури терміносистеми *предметної області* (ПрО) навчання. Крім того, суб'єктам (учасникам) екосистеми навчання необхідно обмінюватися, ділитися та поширювати знання, і це актуалізує потребу виокремлювати елементи екосистеми, що забезпечують подання та аналіз знань – онтології, бази знань, аналітичні сервіси тощо [8]. Для навчання дорослих важливо мати також можливість відображати знання щодо наявного досвіду здобувачів освіти, який стосується ПрО навчання.

**Онтологічна модель екосистеми освіти дорослих.** Екосистема навчання дорослих (*Adult Learning Ecosystem – ALE*) може розглядатися як особливий випадок DLE, що доповнюється елементами екосистеми програмного забезпечення, яке розробляється та використовується для підтримки професійної діяльності андрагога. Особлива увага в цьому аналізі приділяється елементам, що забезпечують спільне використання та створення нових знань на основі семантичних технологій обробки

інформації. Для ALE характерна більша кількість параметрів для опису біотичних компонентів, які дозволяють описати специфіку знань і компетенцій людей з гетерогенним досвідом роботи та навчання, а також трансформувати деякі елементи навчального процесу відповідно до мотивації та особливостей сприйняття знань людьми різного віку. Структура ALE дозволяє виокремити основні види діяльності андрагога та визначити головні задачі, для інформаційної підтримки яких доцільно застосовувати семантичні технології. Приклади таких задач: організація репозиторію документів і довідкових матеріалів, що безпосередньо стосуються професіоналізації андрагогів; побудова тезаурусу навчального курсу; визначення набору компетенцій, які здобувач має отримати в результаті вивчення курсу; ідентифікація набору компетенцій, які має здобувач освіти до початку навчання; побудова індивідуальної освітньої траєкторії здобувача й вибір персонального набору навчальних об'єктів для здобувача. Цей набір задач може поповнюватися, а окремі задачі – розбиватися на підзадачі.

Для того, щоб ці задачі були підтримані семантичними технологіями, необхідно чітко та однозначно визначити елементи екосистеми дорослих і відношення між ними шляхом переходу від природномовних описів предметної області до формальних моделей.

**Постановка задачі.** Ми пропонуємо використовувати онтологічний аналіз для створення формальної моделі екосистеми дорослих, тому що на сьогодні онтологічні описи ПрО стали найбільш поширеним видом інтегрованого подання знань для різноманітних розподілених застосунків Web, а наявні стандарти та програмні засоби забезпечують їх розробку та повторне використання в інших інтелектуальних застосунках. Класи такої онтології відповідають основним суб'єктам (андрагог, здобувач освіти, експерт) та об'єктам (навчальні матеріали, навчальна траєкторія, компетенція, навчальний курс тощо) процесу навчання (рис. 2).



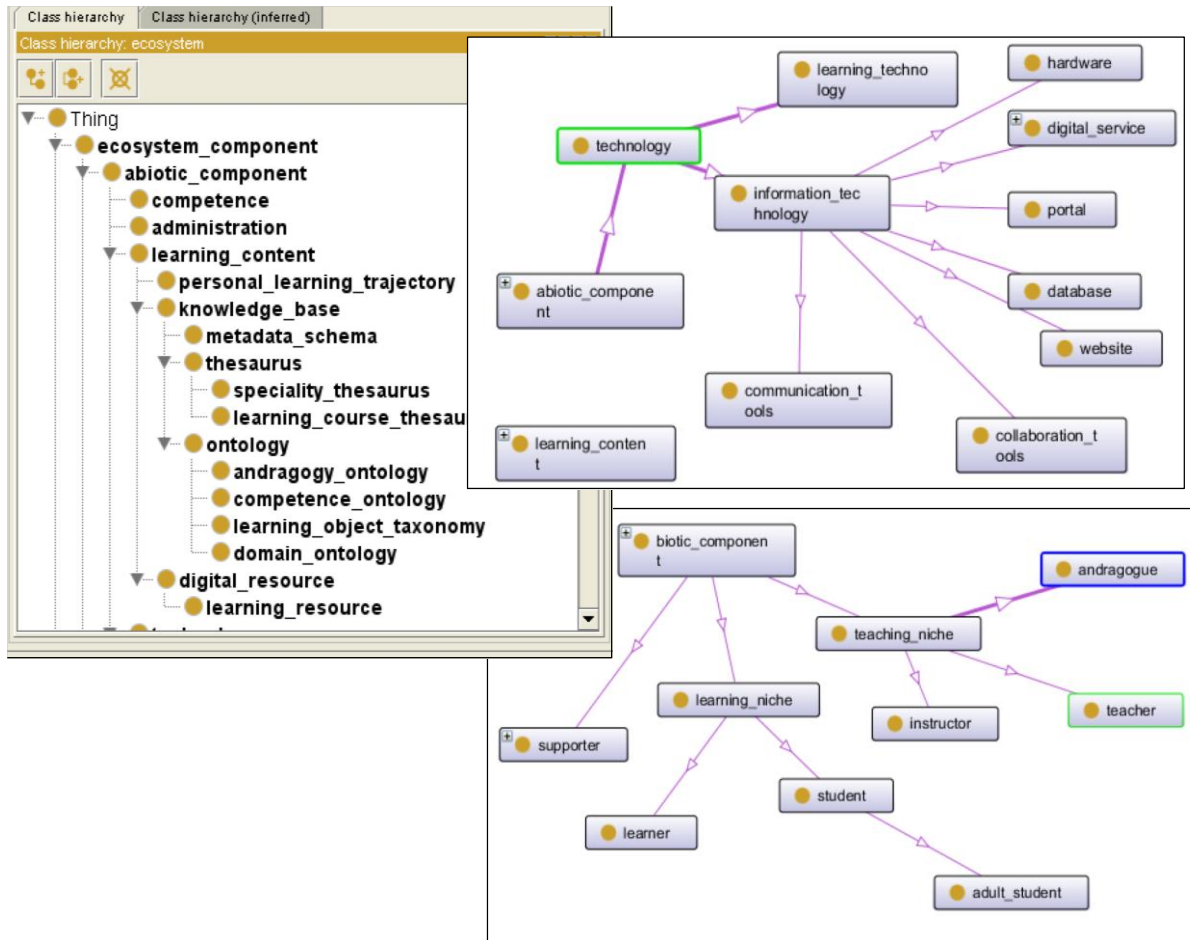


Рисунок 2 – Ієрархія класів в онтологічній моделі ALE

Концепція екосистем дозволяє виокремлювати біотичні та абіотичні компоненти навчального процесу в цілому та технологічних елементів його підтримки. Специфіка запропонованого у роботі підходу полягає у доповненні моделі екосистеми компонентами, які характеризують інформаційні технології, що використовуються для підтримки різних типів діяльності андрагога, та засоби подання й аналізу цих знань. Андрагог перетворює такі знання в результаті своєї професійної діяльності та обмінюється ними як зі здобувачами освіти, так і з іншими суб'єктами екосистеми, а саме з розробниками відповідного програмного забезпечення та цифрових навчальних ресурсів.

Наукова новизна запропонованого підходу полягає у формальному визначенні компонентів екосистеми навчання дорослих, яке враховує існуючі розробки в цій області та спрямоване на створення

інтероперабельних описів семантики діяльності компонентів екосистеми у парадигмі сервіс-орієнтованого програмування.

Онтологія ALE відображає базові зв'язки та відношення між її компонентами, а також описує діяльність біотичних елементів з перетворення абіотичних. Діяльність суб'єктів ALE відображається через об'єктні відношення онтологічної моделі (рис. 3). Щоб формалізувати семантику цих перетворень, доцільно використовувати концепцію інтелектуальних веб-сервісів: кожна діяльність може бути описана як сервіс через набір вхідних та вихідних даних та зміст (семантика) цього перетворення.

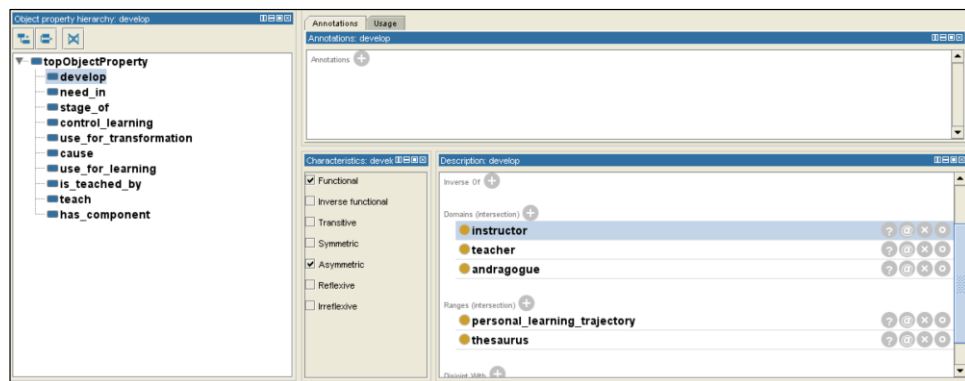
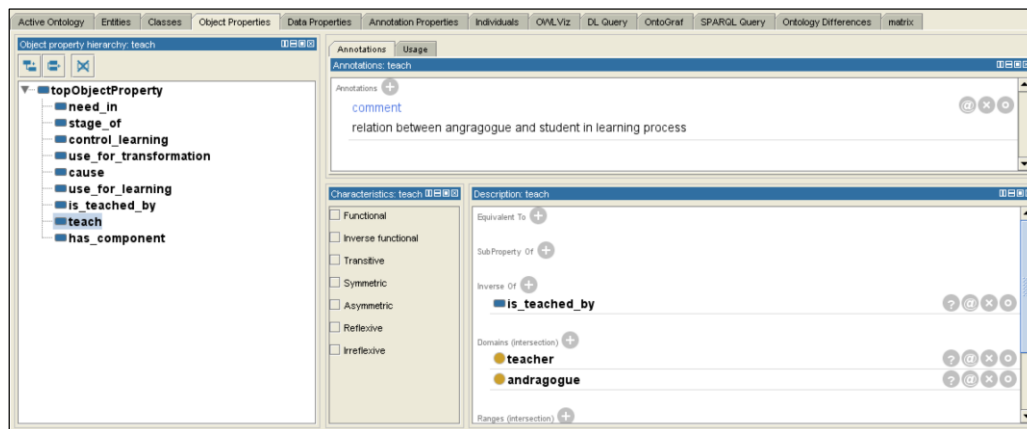


Рисунок 3 – Відображення діяльності суб'єктів ALE в онтологічній моделі

**Інтелектуальні веб-сервіси.** *Сервіс-орієнтована архітектура (COA)* – це концепція проектування, розробки й керування сервісів – функціональних модулів, які доступні через мережу (Web, корпоративні та локальні мережі тощо) і здатні виконувати певні дії [9]. Для ALE елементи

COA інтерпретуються наступним чином:

- постачальник сервісу – розробники засобів інформаційної підтримки навчання;
- споживачі сервісу – андрагоги, студенти та інші учасники навчального процесу;
- реєстр сервісів – опис сервісів, які використовуються для забезпечення процесу навчання та обробляють інформацію щодо компонентів ALE.

Вебсервіси – це однозначно ідентифіковані за адресою URI програмні системи зі стандартизованим описом інтерфейсу та функцій. Їх використання базується на трьох стандартах: SOAP – протокол обміну повідомленнями; WSDL – мова для опису функцій, які надає конкретний вебсервіс, та його програмних інтерфейсів Web-сервісів; UDDI – класифікатор вебсервісів.

*Інтелектуальні* вебсервіси мають додатково однозначний опис семантики, який забезпечує автоматизацію їх знаходження у репозиторіях, співставлення з потребами користувача, композиції з іншими сервісами та виконання. Для цього вони потребують онтологічного подання знань про свої функціональні можливості та щодо області використання. Для того, щоб визначити, які перетворення інформації виконує цей сервіс та як отримати до нього доступ, семантичні описи використовують мову OWL-S (*Web Ontology Language for Services*) [10] та містять профіль сервісу, його модель та обґрунтування. Онтологічна модель ELO забезпечує уніфікований словник для опису вхідних та вихідних даних сервісів, які підтримують діяльність андрагога, та може бути доповнена онтологіями сфери навчання.

Сервіси підтримки професійної діяльності андрагога

Наразі існує велика кількість вебсервісів для навчання, значна частина яких може безпосередньо або з певними уточненнями використовуватися для підтримки професійної діяльності андрагога [11, 12], та специфічні

сервіси підтримки діяльності андрагога [13]. Деякі з них описані на семантичному рівні з використанням OWL-S та інших релевантних онтологій, але більшість з них не мають таких описів та реалізовані у складі гетерогенних систем, що ускладнює їх пошук і доступ користувачів до їх функціоналу. Тому доцільно створювати формальні описи окремих функцій таких систем із використанням термінів і відношень з онтологічної моделі ELO, що описана у попередньому розділі.

Зазначимо, що у парадигмі ELO сервіси визначаються як діяльність біотичних компонентів цієї екосистеми, що спрямована на трансформацію як біотичних, так і не біотичних компонентів. В онтологічній моделі екосистеми вони відповідають об'єктивним властивостям біотичних компонентів, які є споживачами цього сервісу. Запропонований підхід уможливорює створення більш уніфікованих описів семантики сервісів, що дозволяє запобігти створенню подібних сервісів.

Розглянемо це на прикладі двох сервісів співставлення поточних компетенцій особи з набором вимог. Перший сервіс – *співставлення компетенцій потенційного працівника з набором вимог у вакансії* – реалізовано у дорадчій системі AdvisOnt [14], яка дозволяє здійснювати валідацію результатів неформальної та інформальної освіти та добирати релевантні варіанти додаткових курсів для здобуття наявних вакансій. Другий сервіс – *співставлення компетенцій здобувача освіти з набором компетенцій навчального курсу* – реалізовано у системі семантичної підтримки роботи андрагога AndraMedia, яка спрямована на автоматизацію побудови персоніфікованих освітніх траєкторій. Обидва сервіси співставляють набори компетенцій, при чому обмежують співставлення й пошук семантично подібних елементів тільки елементами зі зразку.

Сервіс 1. Сервіс співставлення компетенцій потенційного працівника з набором вимог у вакансії:

- *постачальник сервісу* – дорадча система AdvisOnt;

- споживачі сервісу – здобувачі вакансій та консультанти-дорадники, які допомагають здобувачам;

- *вхідні дані*: набір компетенцій здобувача вакансії; набір компетенцій, що потребує вакансія; онтологія ПрО, до якої належать компетенції;

- *вихідні дані* – набір компетенцій, які присутні у вакансії та відсутні у здобувача (у випадку, якщо ця множина порожня, можна вважати, що здобувач задовільняє вакансії).

Семантика цього сервісу – набір компетенцій вакансії співставляється з набором компетенцій здобувача вакансії з використанням онтології, яка описує зміст відношень між окремими компетенціями.

Сервіс 2. Сервіс співставлення компетенцій здобувача освіти з набором компетенцій навчального курсу:

- *постачальник сервісу* – дорадча система AndraMedia;

- *споживачі сервісу* – дорослі здобувачі освіти та андрагоги, що проєктують індивідуальні освітні траєкторії;

- *вхідні дані*: набір компетенцій здобувача освіти; набір компетенцій, які є результатом вивчення курсу; онтологія ПрО курсу.

- *вихідні дані* – набір компетенцій, які присутні у результатах вивчення курсу та відсутні у здобувача освіти (у випадку, якщо ця множина порожня, можна вважати, що здобувач вже повністю засвоїв відповідний курс).

Семантика сервісу – набір компетенцій, які надає навчальний курс, співставляється з набором компетенцій здобувача освіти з використанням онтології, яка описує зміст відношень між окремими компетенціями.

Аналіз семантики перетворень, що здійснюють ці сервіси, та їх вхідних і вихідних даних на основі ієрархії класів ELO дозволяє замінити ці два сервіси на один більш універсальний сервіс співставлення компетенцій біотичного компонента зі зразком – набором компетенцій абіотичного

компонента.

Сервіс 3 (універсальний). Сервіс співставлення компетенцій біотичного компонента зі зразком абіотичного компонента:

- *постачальник сервісу* – екосистема навчання дорослих;
- *споживачі сервісу* – користувачі системи;
- *вхідні дані*: набір компетенцій біотичного компонента; набір компетенцій абіотичного зразка; онтологія ПроО компетенцій.
- *вихідні дані* – набір компетенцій зразка, які відсутні у біотичного компонента.

Слід зазначити, що цей універсальний сервіс може бути застосований в екосистемі для підтримки й інших видів діяльності. Наприклад, визначення компетентності андрагога для викладання певного навчального курсу або для вибору експерта з метою оцінки навчальних матеріалів.

**Висновок.** Використання сучасних семантичних технологій та засобів обробки знань для підтримки професійної діяльності андрагога потребує створення формальної моделі цієї предметної області та визначення структури і взаємовідношень її базових елементів.

Розробка онтологічної моделі екосистеми навчання дорослих, яка поєднує елементи існуючих екосистем цифрового навчання і програмної інженерії та доповнює їх компонентами, специфічними для професійної діяльності андрагога, дозволяє визначити основні типи діяльності її суб'єктів, для яких доцільно розробляти семантичні вебсервіси або перетворювати наявні сервіси з метою їх універсалізації та повторного використання. Важливим елементом запропонованої моделі є формалізація визначення відношень між професійними задачами андрагога та тими семантичними технологіями, які дозволяють здійснювати відповідні перетворення знань.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Geary, W., et al. (2020). A guide to ecosystem models and their environmental applications. *Nature Ecology & Evolution*, 4.11: 1459-1471.
2. Manikas, K., & Hansen, K. M. (2013). Software ecosystems. *Journal of Systems and Software*, 86(5), pp. 1294-1306.
3. Messerschmitt, D. G., & Szyperski, C. (2003). *Software ecosystem: understanding an indispensable technology and industry*. MIT press.
4. Jansen, S., Finkelstein, A., & Brinkkemper, S. (2009, May). A sense of community: A research agenda for software ecosystems. In *2009 31st International Conference on Software Engineering-Companion Volume* (pp. 187-190). IEEE.
5. Nguyen, L. T., & Tuamsuk, K. (2022). Digital learning ecosystem at educational institutions: A content analysis of scholarly discourse. *Cogent Education*, 9(1), 2111033.
6. Reyna, J. (2011). Digital teaching and learning ecosystem (DTLE): A theoretical approach for online learning environments. *Changing demands, changing directions. Proceedings ascilite Hobart, 2011*, pp. 1083-1088.
7. Hecht, M., & Crowley, K. (2020). Unpacking the learning ecosystems framework: Lessons from the adaptive management of biological ecosystems. *Journal of the Learning Sciences*, 29(2), pp. 264-284. <https://doi.org/10.1080/10508406.2019.1693381>.
8. Muñoz García, A., Lamolle, M., Martínez-Béjar, R., & Espinal Santana, A. (2019). Learning ecosystem ontology with knowledge management as a service. In *International Conference on Computational Collective Intelligence* (pp. 555-567). Cham: Springer International Publishing.
9. Papazoglou, M. P., & Van Den Heuvel, W. J. (2007). Service oriented architectures: approaches, technologies and research issues. *The VLDB journal*, 16, pp. 389-415. URL: [link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00778-007-0044-3.pdf](http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00778-007-0044-3.pdf).

10. Martin, D., Burstein, M., McDermott, D., McIlraith, S., Paolucci, M., Sycara, K., ... & Srinivasan, N. (2007). Bringing semantics to web services with OWL-S. *World Wide Web*, 10, pp. 243-277.
11. Atif, Y., Badr, Y., & Maamar, Z. (2010, April). Towards a new-digital learning ecosystem based on autonomic Web services. In *4th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies* (pp. 180-185). IEEE.
12. Pattnayak, J., & Pattnaik, S. (2016). Integration of web services with e-learning for knowledge society. *Procedia Computer Science*, 92, pp. 155-160.
13. Rogushina, J.V., Gladun, A. Y., Anishchenko, O.V., Pryima, S.M. (2024). Semantic Analysis of Learning Objects: Thesaurus Approach for Digital Transformation of Educational Resources. *DigiTransfEd 2024: 3rd Workshop on Digital Transformation of Education (ICTERI 2024, September 23-27, 2024)*. EasyChair Preprint 15117, EasyChair, 2024. 21 p.
14. Rogushina, J., Priyma, S. (2017). Use of competence ontological model for matching of qualifications. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*, 26 (2), pp. 216–228. <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/3181/1/2.pdf>. (дата звернення: 27.09.2024).



**Сайко В.Г., Фомін М.М., Комаров В.О.**

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв  
Крут, Київ, Україна*

*vgsaiko@gmail.com, mfomin@ukr.net, Ladimir@komarov.in.ua*

## **АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС СПЕЦІАЛЬНОГО РАДІОМОНІТОРИНГУ ЗА РАДІОЕЛЕКТРОННИМИ ЗАСОБАМИ**

**Анотація.** У контексті бойових дій за незалежність України традиційні наземні багатопозиційні системи визначення місця стають майже непридатними. Це пов'язано з тим, що противник використовує спрямовані антени та обмежує час випромінювання радіосигналів наземними джерелами. Як результат, ймовірність одночасної електромагнітної доступності цих джерел для приймальних пунктів багатопозиційних систем значно знижується. Авторами запропоновано технічне рішення панорамного детектора випромінювання спектру радіочастот 0,1-6000 МГц призначеного для вимірювання параметрів випромінювання радіоелектронних засобів (РЕЗ), інструментальної оцінки сигналів випромінювання РЕЗ БПЛА та наземних засобів радіозв'язку, визначення просторових характеристик частотно-територіального розподілу (ЧТР) радіопокриття РЕЗ. Дане рішення має можливість масштабування на рівні оперативного управління РЕР, до існуючої тактичної апаратури, може бути швидко розгорнуте в місцях, недоступних або важкодоступних для транспортних засобів - в горах і умовах бездоріжжя.

**Ключові слова:** БПЛА, радіоелектронні засоби, радіоелектронна боротьба.

**Abstract:** In the context of combat operations for Ukraine's independence, traditional ground-based multi-position location systems are becoming nearly

*unusable. This is due to the fact that the enemy uses directional antennas and limits the time of radio signal emissions from ground-based sources. As a result, the likelihood of simultaneous electromagnetic availability of these sources to the receiving points of multi-position location systems is significantly reduced.*

*The authors proposed a technical solution for a panoramic radiation detector of the radio frequency spectrum of 0.1-6000 MHz intended for measuring the parameters of the radiation of radio electronic devices (REZ), instrumental evaluation of the signals of the REZ radiation of UAVs and ground radio communication devices, determining the spatial characteristics of the frequency-territorial distribution (FRD) of radio coverage RES. This solution has the possibility of scaling at the level of operational control of the PEP, to the existing tactical equipment, it can be quickly deployed in places inaccessible or difficult to reach for vehicles - in mountains and off-road conditions.*

**Keywords:** *UAV, radio electronic means, radio electronic warfare.*

**Вступ.** Розгортання радіозв'язку в угрупованнях військ зазвичай здійснюється з максимальним урахуванням паралельного прокладання маршрутів сигналу, створення додаткових та альтернативних шляхів передачі даних. Однак у сучасному бою, де час роботи радіозасобів обмежений, можуть виникнути ситуації, коли доступні лише обмежені радіоканали для передачі даних. В таких умовах вони повинні забезпечити передачу значно більшого обсягу даних. Таким чином, у бойових умовах необхідно мати засоби зв'язку, які здатні забезпечити великий резерв пропускної здатності порівняно з мирним часом. Створення високошвидкісних радіоканалів ускладнюється тим, що повна їхня пропускна здатність може бути потрібна лише на короткий час, а більшу частину часу вона буде непотрібною. Потреба у високій швидкості передачі даних також обумовлена необхідністю скорочення часу, протягом якого радіозасоби перебувають в ефірі, що зменшить їхню вразливість перед

ворогом. Це також зменшить ймовірність їх ураження та перешкоджання. Крім того, скорочення часу на вирішення зв'язкових завдань може дозволити використовувати засоби зв'язку для різних функцій, таких як радіотехнічна розвідка, пасивна радіолокація повітряних цілей та інші.

Для вирішення цих завдань розроблена концепція мобільних радіомереж для тактичного управління. Детальніші концепції створення мобільних радіомереж розглядаються у проектах MANET (mobile ad-hoc networks), де наголошується, що такі мережі – це динамічні архітектури з випадковою топологією, які самоорганізуються та не мають фіксованих маршрутів. Усі елементи таких мереж можуть бути мобільними, і принцип управління децентралізований, а будь-який підключений термінал може виконувати роль мережного вузла.

Згідно з [1-4], визначальні особливості сучасних тактичних мереж зв'язку включають:

- динамічну топологію, де мережеві вузли є мобільними та можуть бути пошкоджені або відмовляти через вплив ворожих дій, а канали радіозв'язку нестабільні і мають змінні характеристики через активну радіоелектронну протидію противника та інші чинники;
- обмежений час виходу в ефір та потужність сигналів радіотерміналів, які працюють на акумуляторних батареях, що вимагає скорочення часу передачі даних та підвищення швидкості трафіку;
- значна розмірність мереж, де сотні або тисячі елементів потребують одночасного доступу до каналів зв'язку.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Невідкладна потреба у використанні все більшої кількості роботизованих бойових засобів, зокрема безпілотних розвідувальних та ударних літальних апаратів, створює серйозні виклики для безпомилкової передачі великих обсягів інформації. З іншого боку, висока динамічність бойових дій призводить до швидкого застаріння накопиченої інформації, що вимагає швидкої доставки

інформаційних даних для подолання ефекту "ножиць". З цієї причини зарубіжні фахівці активно розробляють нові методи організації тактичних мереж телекомунікацій.

У таких умовах ключову роль у вдосконаленні системи управління радіочастотним ресурсом відіграє спеціальний радіомоніторинг радіочастотного спектра. Він дозволяє виявляти джерела електромагнітних випромінювань як наземного, так і повітряного походження.

Незважаючи на те, що в останні роки з'явилася велика кількість наукових статей, монографій та підручників з даної тематики [1-4], але до цього часу практично відсутній простий на інженерному рівні виклад технічних рішень комплексів спеціального моніторингу за РЕЗ для силових структур в умовах апріорної невизначеності з урахування специфіки бойових дій та динаміки змін ЕМС діючих наземних РЕЗ і повітряних РЕЗ БПЛА та які швидко розгортаються на полі бою.

Для вирішення даних задач авторами розроблено автоматизовану систему спеціального радіоконтролю, яка має набір універсальних функцій для вирішення завдань контролю за використанням спектра. До таких універсальних функцій насамперед відносяться:

- панорамний спектральний аналіз у реальному часі з максимальною швидкістю та роздільною здатністю;
- швидкий пошук «нових» випромінювань, вимір їх параметрів, ідентифікація їх джерел;
- контроль радіоканалів, запис радіосигналів, їх технічний аналіз;
- пеленгування та визначення розташування джерел радіовипромінювання.

Запропоноване технічне рішення панорамного детектора випромінювання спектру радіочастот 0,1-6000 МГц призначеного для вимірювання параметрів випромінювання радіоелектронних засобів, інструментальну оцінку сигналів випромінювання РЕЗ БПЛА та наземних

засобів радіозв'язку, визначення просторових характеристик частотно-територіального розподілу радіопокриття РЕЗ.

**Висновок.** У ході проведеного дослідження:

1. Представлено розроблену автоматизовану систему спеціального радіоконтролю, яка має набір універсальних функцій для вирішення завдань контролю за використанням спектра радіочастот 0,1-6000 МГц.

2. Наведена авторська розробка має можливість масштабування на рівні оперативного управління РЕР, до існуючої тактичної апаратури, може бути швидко розгорнуте в місцях, недоступних або важкодоступних для транспортних засобів - в горах і умовах бездоріжжя.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Слободянюк П.В., Наритник Т.М., Благодарний В.Г., Сайко В.Г., Булгач В.Л. Теорія і практика управління використанням радіочастотного ресурсу. Навч. посібн. За ред. Кривуци В.Г. Київ: ДУІКТ, 2012. 596 с.
2. Конахович Г.Ф., Бабак В.П., Фисенко В.М. Спеціальний радіомоніторинг. Київ: «МК-Пресс». 384 с.
3. Слободянюк П.В., Благодарний В.Г. Радиомоніторинг: вчора, сьогодні, завтра (Теорія и практика побудови системи радіомоніторинга) Прилуки: ООО «Аір-Поліграф», 2010. 296 с.
4. Слободянюк П.В., Благодарний В.Г., Ступак В.С. Довідник з радіомоніторингу. Під заг. ред. П.В. Слободянюка. Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2008. 588 с.

Самойленко А.П.

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ,  
Україна

*a.samoilenko95@gmail.com*

## ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ СВUA БЕЗ НАЯВНОСТІ НЕПОКРИТИХ МУТАНТІВ

**Анотація.** Мутаційне тестування є ефективним інструментом для оцінки якості тестів, але вимагає значних обчислювальних ресурсів. Оскільки існує дефіцит фреймворків, здатних одночасно підтримувати мутаційний аналіз і фаззінг, це обмежує дослідження в даному напрямку. Метод прогнозування результатів мутаційного тестування СВUA, що використовує метрику складності Холстеда, дозволяє покращити точність прогнозів, особливо в умовах, коли всі мутанти є покритими тестами.

**Ключові слова:** мутаційне тестування, прогнозоване мутаційне тестування.

**Abstract.** Mutation testing is an effective tool for evaluating test quality, but it requires significant computational resources. Since there is a lack of frameworks capable of supporting both mutation analysis and fuzzing simultaneously, this limits research in this area. The CBUA mutation testing prediction method, which utilizes the Halstead complexity metric, improves prediction accuracy, especially in cases where all mutants are covered by tests.

**Keywords:** mutation testing, predictive mutation testing.

**Вступ.** Фаззінг – це техніка тестування програмного забезпечення, що полягає у генерації та подачі на вхід програми випадкових або спеціально спотворених даних для виявлення потенційних помилок, вразливостей або

аномальної поведінки. Використання мутаційного тестування для оцінки якості таких тестових послідовностей дає можливість виявляти більше помилок, ніж при використанні лише даних про покриття коду [1]. Однак, однією з умов, що стримують дослідження цього напрямку є відсутність фреймворків, що дозволяють здійснювати, як і мутаційне тестування, так і фаззінг [2]. Одним з таких фреймворків є Mu2 [1].

**Постановка задачі.** Задачею дослідження є оцінка ефективності моделі СВUA [3] з використанням попередньої оцінки прогнозування результатів мутаційного тестування за допомогою метрики складності Холстеда.

**Об'єкт дослідження.** Процес мутаційного тестування з фаззінгом.

**Предмет дослідження.** Модель прогнозування СВUA для мутаційного тестування за умов покриття тестами всіх мутантів та її вдосконалення для підвищення точності прогнозів на основі метрики складності Холстеда.

**Актуальність теми.** Мутаційне тестування є важливим інструментом для підвищення якості програмного забезпечення. Але такий тип тестування, хоча і є дуже ефективним для оцінки якості тестів, може вимагати великої кількості обчислювальних ресурсів. Методи прогнозування результатів мутаційного тестування, зокрема СВUA, є перспективним напрямком для подолання цих обмежень. Вони дозволяють знизити ресурсоємність процесу шляхом прогнозування результатів без виконання мутантів. Проте, при повному покритті тестами всіх мутантів точність методу СВUA суттєво знижується, що вимагає подальшого удосконалення існуючого підходу.

**Поставлені завдання.**

1. Розробити новий підхід до розрахунку прогнозованого значення вірогідності невиявлених мутантів на основі метрики складності Холстеда

2. Провести порівняння запропонованого підходу з оригінальною моделлю СВUA за показниками точності, влучності, повноти та міри F1

**Основна частина.** Мутант – це змінена версія оригінального коду програми, яка створюється шляхом внесення невеликих модифікацій або мутацій. Мутації можуть бути внесені, наприклад, шляхом зміни оператора (заміна '+' на '-'), видалення важливої інструкції або зміни логічних умов. В залежності від того, чи охоплює тестовий набір змінену частину коду, розрізняють покритих і непокритих мутантів. Покриті мутанти – це мутанти, для яких існують тести, що виконуються на зміненому кодї, тобто хоча б один тестовий випадок взаємодїє з тією частиною коду, де було внесено мутацію. Виявлений мутант – це змінена версія вихідного коду програми, яка була виявлена тестовим набором. Іншими словами, якщо тестовий набір зміг викликати помилку або аномальну поведінку через мутацію, це означає, що мутант є виявленим.

СВUA – це метод прогнозування результатів мутаційного тестування, що використовує дані про покриття коду тестами. В порівнянні з іншими методами СВUA в якості класифікаційного алгоритму використовує аналітичну залежність на основі розподїлу Бернуллі, що дозволяє легше оцінювати вплив і кореляцію властивостей, які використовуються для прогнозування. Для отримання прогнозованого значення розраховується вірогідність того, що мутант є невиявленим тестами, за формулою:

$$p_{predicted} = p_{undetected}^{log_2(x_j+1)} \quad (1)$$

де  $x_j$  - значення властивості для j-го мутанта;

$p_{undetected}$  - вірогідність, що розраховується як відношення кількості мутантів, які не покриті тестами, до загальної кількості мутантів. Якщо значення  $p_{predicted}$  дорівнює або є вищим за 0.5 то такий мутант вважається виявленим тестовим набором.



Однак, за умови використання даного методу в Mu2, створюються набори даних в яких всі мутанти є покритими тестами, і як результат така оцінка не є ефективною, оскільки попередня оцінка виражена в  $p_{undetected}$  в такому разі буде дорівнювати нулю. Також в дослідженні [4] було показано, що такий тип мутантів впливає і на інший метод прогнозування результатів мутаційного тестування PMT, що знижує його ефективність з 0.83 до 0.51 AUC, що є близьким до значення моделі, що здійснює випадкові передбачення. Для збільшення точності прогнозування пропонується розраховувати  $p_{undetected}$  за формулою:

$$p_{undetected} = 1 - D / D_{max} \quad (2)$$

де  $D$  – значення складності Холстеда на рівні методу, а  $D_{max}$  – максимальне значення складності Холстеда в наборі даних. Вибір метрики Холстеда пояснюється високим значенням важливості властивості (яка є другою за важливістю характеристикою в дослідженні [4]), та відношенням до статичних метрик, які дозволяє формувати оцінку без виконання програми, що тестується, оскільки такі метрики є характеристиками, що отримуються виключно з вихідного коду.

**Результати.** В табл.1 представлено результати порівняння оригінального методу CBUA та запропонованого підходу. Методи, що порівнюються використовують динамічну властивість numExecuted, яка вказує, скільки разів мутовану інструкцію виконує весь набір тестів. Набір даних на якому проводилось порівняння має, як покритих так і мутантів, що не є покритими тестовим набором. Влучність розраховується за формулою:

$$Precision = TP / (TP + FP) \quad (3)$$

де TP – істинно позитивне значення, FP – хибно позитивне значення, тобто якщо значення  $p_{predicted}$  співпадає зі значенням фактичного результату в наборі даних і даний мутант є виявленим, то дане значення є істинно позитивним значенням, якщо значення  $p_{predicted}$  дорівнює одиниці,

але не співпадає з фактичним результатом, то такий результат є хибно позитивним. Повнота розраховується за формулою:

$$Recall = TP / (TP + FN) \quad (4)$$

де FN – хибно негативне значення. Точність розраховується за формулою:

$$Accuracy = (TP + TN) / (TP + FP + TN + FN) \quad (5)$$

де TN – істинно негативне значення. Міра F1 - являє собою гармонійне середнє між влучністю та повнотою.

Таблиця 1 – Результати порівняння оригінального методу СВUA та запропонованого підходу

	Влучність	F1	Повнота	Точність
(1) СВUA	0.15	0.24	0.57	0.13
(2) Запропонований підхід	0.14	0.22	0.51	0.15
(2) - (1)	-0.01	-0.02	-0.06	0.02

**Висновок.** Запропонований підхід до використання метрики складності Холстеда в рамках методу СВUA для прогнозування результатів мутаційного тестування дозволяє підвищити точність оцінки в умовах, коли всі мутанти покриті тестами. Це забезпечує можливість отримувати прогнозовані результати без необхідності виконання мутантів, що знижує обчислювальні витрати. Результати дослідження демонструють, що новий метод має потенціал для подальшого розвитку та може бути ефективно застосований у практичних умовах, особливо в контексті інтеграції мутаційного тестування з фаззінгом.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Vikram V. Guiding greybox fuzzing with mutation testing / V. Vikram, I. Laybourn, A. Li, [et al.]. Seattle WA USA : ACM, 2023.
2. Gopinath R. Mutation analysis: answering the fuzzing challenge / R. Gopinath, P. Görz, A. Groce. – arXiv, 2022.

3. Zhang P. CBUA: a probabilistic, predictive, and practical approach for evaluating test suite effectiveness / P. Zhang, Y. Li, W. Ma, [et al.] // IEEE Transactions on Software Engineering. 2020. P. 1–1.
4. Aghamohammadi A. The threat to the validity of predictive mutation testing: the impact of uncovered mutants / A. Aghamohammadi, S.-H. Mirian-Hosseiniabadi. – arXiv, 2020.

Суровцев І.В.<sup>1</sup>, Степашко В.С.<sup>1</sup>, Єфіменко С.М.<sup>1</sup>, Савченко-Синякова Є.А.<sup>1</sup>, Мороз О.Г.<sup>1</sup>, Галімова В.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України, Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів та природокористування України, Київ, Україна

dep115@irtc.org.ua, dep195@irtc.org.ua, galimova2201@gmail.com

## ЗАДАЧА РОЗРОБЛЕННЯ ПРИКЛАДНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ТОКСИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ

**Анотація.** Розроблено проект прикладної інформаційної технології для вирішення проблеми визначення концентрації токсичних елементів у питній воді та водоймах. Ця технологія дозволяє визначати вміст свинцю, міді, кадмію та цинку у воді з досить високою точністю. Дана технологія складе основу портативного пристрою для визначення концентрації токсичних елементів у воді.

**Ключові слова:** інформаційні технології, концентрація токсичних елементів, інтенсивність сигналу, методи зворотної хронопотенціометрії.

**Abstract.** A project of applied information technology has been developed to solve the problem of determining the concentration of toxic elements in drinking water and reservoirs. This technology allows determining the content of lead, copper, cadmium, and zinc in water with fairly high accuracy. This technology will form the basis of a portable device for determining the concentration of toxic elements in water.

**Keywords:** information technology, concentration of toxic elements, intensity signal, methods of inverse chronopotentiometry.

**Вступ.** Чистота навколишнього середовища, а особливо питної води сьогодні стає однією з головних проблем сучасності. Для контролю за показниками води важливо проводити їх моніторинг з метою визначати перевищення припустимих концентрацій важких металів у воді.

В останні роки велику увагу у світі приділяють застосуванню методів інверсійної хронопотенціометрії в практичних екологічних задачах. В огляді [1] наведено перспективи розвитку електрохімічних методів дослідження, в [2] відзначається висока чутливість та вибірковість проведення аналізів у цій галузі. В [3] підкреслюється важливість застосування електрохімічних та оптичних сенсорів у електрохімічних дослідженнях. Багато фірм почали випускати портативні аналізатори вимірювання токсичних елементів у воді: вольтамперометричний аналізатор 946 Portable VA Analyzer (Швейцарія) [4], багатофункціональний портативний аналізатор важких металів DW-NM-5000 (Об'єднані Арабські Емірати) [5], портативний аналізатор важких металів для якості води навколишнього середовища TPS-NM5000P (Китай) [6] та ін. Але попри велику увагу до визначення ступеня забруднення води, на сьогодні не розроблено зручних і недорогих приладів для українських користувачів, які б з достатньою точністю дозволяли би визначати наявність у питній воді токсичних елементів.

*Метою дослідження є розроблення проєкту інформаційної технології визначення концентрації токсичних елементів у водних об'єктах навколишнього середовища методами ІХП для створення спеціалізованого автономного програмно-апаратного комплексу.*

**Задача розроблення переносних засобів визначення токсичних елементів у воді.** В Україні вперше було розв'язано завдання розроблення стаціонарних лабораторних приладів вимірювання концентрацій важких металів для визначення якості питної води, продуктів харчування та об'єктів довкілля методами інверсійної хронопотенціометрії [7-9]. Але сучасні вимоги

потребують зручного у використанні переносного приладу для вимірювання концентрації важких металів у воді, доступного за ціною для українського користувача.

Тому, з урахуванням досвіду розробки таких приладів, поставлено задачу розробити новий переносний прилад для визначення концентрацій низки токсичних елементів у воді. Розробці інформаційної технології та методів, на основі яких вона буде побудована, присвячена дана робота.

**Методи розв'язання задачі визначення концентрацій.** В основу інформаційної технології, що розробляється, покладено метод ІХП [7]. Принцип роботи методів ІХП полягає в електрохімічному концентруванні на індикаторному електроді іонів хімічних елементів з розчину проби та подальшому вимірюванні у часі потенціалів зворотного електролітичного виходу іонів у розчин у вигляді сигналу  $e(t)$ . Аналітичною характеристикою методу є час інверсії елемента, який за стандартизованих умов концентрування та інверсії прямо пропорційний концентрації іонів у розчині.

Вимірюваний монотонно зростаючий сигнал  $e(t)$  за методом ІХП є інтегральною сумою вимірювань інверсій окремих хімічних елементів. Процес інверсії кожного елемента виконується послідовно у власному діапазоні потенціалів відповідно до збільшення значення стандартного електродного потенціалу в ряді активності металів. Найбільш ефективним підходом до аналізу таких даних є застосування диференційного сигналу або сигналу інтенсивності вимірювань у координатах  $(e, dt/de)$ , що дозволяє розглядати інтегральний аналітичний сигнал у вигляді суми компонентів, які відповідають інверсії окремих хімічних елементів.

Застосовується така послідовність методів [10, 11]:

- зміни системи координат сигналу інверсії;
- побудови сигналу інтенсивності – диференційного перетвореного сигналу інверсії;

- моделювання базової лінії фонового розряду електродів;
- формування спектру компонентів інверсії елементів;
- моделювання сигналів компонентів;
- визначення часу інверсії для розрахунку концентрацій за способом добавки стандартних зразків іонів.

**Розроблення інформаційної технології визначення концентрацій токсичних елементів у воді.** Технологія, що розробляється, має реалізувати процес швидкого вимірювання концентрацій хімічних елементів в об'єктах довкілля. Вона містить такі основні компоненти, реалізовані в алгоритмах та програмних засобах на платформі ноутбука:

- математична модель багатокomпонентного аналітичного сигналу електрохімічного вимірювання концентрацій хімічних елементів на основі застосування методів індуктивного моделювання;
- математична модель визначення маси добавки та метод порівняння сигналів на основі застосування технології суміщення еталонних сигналів, наявних у базі даних, з поточними аналітичними сигналами вимірювання для швидкого визначення концентрацій токсичних елементів у польових умовах;
- комплекс програмних засобів інформаційної технології швидкого вимірювання концентрацій хімічних елементів, визначення показників безпеки та якості питної води.

**Вимоги до програмно-апаратного комплексу.** Прилад, що його буде розроблено, має складатися з апаратних компонентів та програмних засобів, що реалізують комплексний процес вимірювання концентрацій хімічних елементів у об'єктах довкілля електрохімічними методами ІХП.

Апаратні компоненти програмно-апаратного комплексу мають таке призначення:

- ноутбук з завантаженими програмними засобами інформаційної технології, базою даних еталонів електрохімічних параметрів визначення

концентрацій для різних хімічних елементів, сенсорів, імпульсних методів ІХП та режимів вимірювання, базою даних значень гранично допустимих концентрацій токсичних елементів в об'єктах довкілля;

– блок вимірювання концентрацій з автономним електроживленням, реалізує у реальному часі взаємодію з ноутбуком через інтерфейс Wi-Fi, подає та зчитує потенціали з вимірювального сенсору з частотою 4 КГц та дискретністю 0,1 мВ, вмикає та вимикає роботу магнітної мішалки;

– магнітна мішалка з автономним електроживленням та інтерфейсом Wi-Fi, перемішує пробу води в режимі регенерації та концентрування, вимикається в режимі інверсії під час реєстрування потенціалів аналітичного сигналу;

– вимірювальні сенсори з благородних металів (золото, платина, срібло з амальгамою ртуті) забезпечують високочутливе вимірювання концентрацій різних елементів, хлорсрібний електрод порівняння забезпечує процес електрохімічного дослідження;

**Висновок.** Описано задачу побудови інформаційної технології визначення концентрацій токсичних елементів у воді. За результатами дослідження цю інформаційну технологію буде реалізовано в переносному пристрої для вимірювання токсичних елементів у воді в польових умовах. Використання такої інформаційної технології буде корисним як фахівцям у галузі екології, так і в повсякденному житті для самостійного вимірювання ступеня забрудненості води важкими металами.

**Фінансування.** Дослідження проведено за грантової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках реалізації проекту «Переносний програмно-апаратний комплекс швидкого визначення токсичних речовин у водних об'єктах, забруднених внаслідок воєнних дій» (реєстраційний номер 2023.04/0128) в рамках конкурсу «Наука для зміцнення обороноздатності України».



## ЛІТЕРАТУРА

1. Електрохімія сьогодення: здобутки, проблеми та перспективи: колективна монографія. Київ: МПБП «Гордон», 2021. 191 с.
2. Сучасні електрохімічні методи аналізу. Основні поняття електрохімії. Навчально-методичний посібник для студентів хімічного факультету. Н.І. Смик. Київ, 2020. 45 с.
3. Пехньо, В.І., Омельчук, А.О., Лінючева, О.В. Київська наукова електрохімічна школа. Український хімічний журнал, 2022. 88(6). С. 71-101.
4. 946 Portable VA Analyzer (SPE). URL: <https://www.metrohm.com/en/products/2/9460/29460020.html> (дата звернення: 27.09.2024).
5. Аналізатори металів та сплавів. URL: <https://elvatech.com> (дата звернення: 27.09.2024).
6. Shanghai Toposun Industries Co., Ltd. URL: <https://www.globalsources.com/shanghai-toposun> (дата звернення: 27.09.2024).
7. Surovtsev I.V., Galimov S.K., Tatarinov O.E. Information Technology for Determining the Concentration of Toxic Elements in Environmental Objects. Kibern. vyčisl. teh., 2018, Issue 1 (191), pp. 5-31.
8. Суровцев І.В., Бабак О.В., Волков Ю.М., Галімов С.К. Прилад інверсійної хронопотенціометрії для визначення концентрації важких металів та токсичних елементів у воді. Безпека життєдіяльності. 2013. № 12. С. 37-40.
9. Спосіб гістограмної цифрової фільтрації хронопотенціометричних даних: пат. 96367 Україна : МПК (2006) G01N 27/48 / І.В. Суровцев, В.М. Галімова, О.В. Бабак – заявл. 11.05.2010; опубл. 25.10.2011, Бюл. № 20.

10. Суровцев И.В. Преобразование структуры данных при определении концентрации методом инверсионной хронопотенциометрии / И.В. Суровцев // Кибернетика и вычисл. техника. 2015. № 180. С. 4-14.
11. Surovtsev I.V., Sieriebriakov A.K. Method of elements identification in the multicomponent signal. Control Systems and Computers. 2023. №. 2. С. 19-26.  
URL: <https://doi.org/10.15407/csc.2023.02.019>

Толюпа С.В.<sup>1</sup>, Штаненко С.С.<sup>2</sup>, Кулько А.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>2</sup>ВІТІ імені Героїв Крут, Київ, Україна

*serhii.toliupa@knu.ua, sh\_sergei@ukr.net, kulko452@gmail.com*

## ВИБІР СТРАТЕГІЇ ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ІГОР

**Анотація.** В умовах триваючої збройної агресії Російської Федерації проти України безпека особи, суспільства та держави суттєво залежить від надійного функціонування об'єктів критичної інфраструктури (ОКУ). Окрім фізичних атак на такі об'єкти із застосуванням летальної зброї, Російська Федерація разом зі своїми сателітами продовжує намагатися впливати на системи управління об'єктами критичної інфраструктури через кіберпростір та з кіберпростору за допомогою нелетальних засобів - кіберзброї. Ситуація ускладнюється тим, що об'єкти критичної інфраструктури, які функціонують в єдиному інформаційному просторі та підтримують широкий спектр сучасних інформаційних технологій, незважаючи на колосальні зусилля з протидії зовнішньому втручання з кіберпростору та через нього, залишаються вразливими до нових видів загроз, а тому постає питання оптимального вибору засобів захисту об'єкта, що охороняється.

**Ключові слова:** об'єкт, критична інфраструктура, захист, виживання, мобільний зв'язок, надійність, вразливість.

**Abstract.** In the context of the ongoing armed aggression of the Russian Federation against Ukraine, the security of individuals, society and the state significantly depends on the reliable functioning of critical infrastructure facilities (CIF). In addition to physical attacks on such facilities with lethal weapons, the Russian Federation, together with its satellites, continues to try to influence the control systems of critical infrastructure facilities through cyberspace and from cyberspace with non-lethal means - cyber weapons. The situation is complicated by the fact that critical infrastructure facilities operating in a single information space and supporting a wide range of modern information technologies, despite enormous efforts to counteract outside interference from and through cyberspace, remain vulnerable to new types of threats, and therefore the issue of optimal choice of means of protection for the protected object arises.

**Keywords:** object, critical infrastructure, protection, survivability, mobile communication, reliability, vulnerability.

**Вступ.** В умовах триваючої збройної агресії російської федерації проти України безпека людини, суспільства і держави суттєво залежать від надійного функціонування об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ). Окрім фізичних впливів на такі об'єкти летальною зброєю російська федерація не полишає спроб разом зі своїми сателітами впливати нелетальними засобами – кіберзброєю на системи управління об'єктів критичної інфраструктури через кіберпростір та з кіберпростору. Враховуючи транскордонність кіберпростору та високий рівень інформатизації об'єктів критичної інфраструктури як в Україні, так і у світі, систем управління військами та зброєю (Єдиної автоматизованої системи управління (ЄАСУ) Збройними Силами (ЗС) України та її складових) тощо, ризики масштабуються не тільки на національний безпековий вимір, а й становлять загрозу для людства на глобальному рівні на досягну перспективу. Ситуація ускладнюється тим, що об'єкти критичної інфраструктури які функціонують в єдиному інформаційному просторі й підтримують широкий спектр сучасних інформаційних технологій, всупереч на колосальні зусилля задля протидії стороннім втручанням з кіберпростору та через кіберпростір й надалі залишаються вразливими до загроз нового типу. Виникає питання оптимального вибору засобів захисту для об'єкта, що захищається [1].

Незважаючи на значні успіхи у сфері інформаційної безпеки, дотепер існують труднощі запобігання віддаленим атакам на ОКІ. Аналіз мережевих атак показує, що дії захисту найчастіше вживають після того, як уже є зниження продуктивності сервісу. Відбувається це внаслідок складності оцінювання майбутнього масштабу атаки та використання відповідного заходу захисту. Деякі дії (наприклад, DOS-атаки характеризується спонтанним характером, тобто вони можуть починатися і закінчуватися у

випадкові моменти часу, що, в свою чергу, також додає складності вироблення своєчасної реакції на атаку [2].

Для виявлення фактів неавторизованого доступу до системи, а також інших типів шкідливої активності, які можуть порушити безпеку інформаційної системи, використовуються системи виявлення вторгнень.

**Основна частина.** Для підвищення точності передбачення і виявлення атак система виявлення вторгнень повинна збирати різноманітну інформацію про роботу системи, що захищається, а також зберігати і обробляти великий обсяг даних. Використання системи фільтрації за відсутності атаки тягне за собою зниження продуктивності сервера і можливе помилкове спрацьовування фільтра. Досить часто створення ефективної системи захисту стикається з недостатньою обчислювальною потужністю. Таким чином, постає завдання оптимізації ресурсів, що витрачаються на підтримку працездатності системи захисту від мережевих атак на високому рівні [3].

Одним з варіантів вирішення зазначеної проблеми є мінімізація ресурсів, що витрачаються на підтримку інформаційної безпеки в ті моменти часу, коли активність атакуючої сторони незначна. З цією метою система виявлення вторгнень має використовувати динамічні методи, що дають змогу оперативно виявляти й запобігати порушенням безпеки, Тобто в системі захисту інформації має бути використана математична модель, що дає змогу в кожен момент часу вибрати необхідний набір засобів захисту, який забезпечує надійний захист і водночас потребує мінімальної кількості ресурсів.

У вітчизняних та зарубіжних роботах останніх років спостерігається тенденція розширення наявних математичних підходів до вибору параметрів системи захисту інформації. Так, наприклад, різні автори пропонують наступні математичні методи для аналізу та оптимізації системи захисту інформації: методи математичної статистики; методи, що ґрунтуються на

використанні мереж Петрі; математичний апарат теорії випадкових процесів; методи, що ґрунтуються на використанні теорії автоматів; методи на основі теорії нечітких множин; методи, що ґрунтуються на використанні нейронних мереж; методи експертних систем; математичний апарат теорії ігор [4-5].

Будь-яку систему обробки інформації, що складається з різних апаратних та програмних засобів, можна розглядати як унікальний комплекс зі своїми особливостями. Саме це є поясненням можливості пропуску специфічних для системи, що захищається, вторгнень тими системами виявлення, які використовують один і той же набір параметрів оцінки. Отже, кращим рішенням буде визначення необхідних параметрів моніторингу в процесі роботи системи. Складність ефективного динамічного формування параметрів спостереження полягає в тому, що розмір області пошуку експоненційно залежить від потужності початкової множини параметрів, які спостерігаються. Для формування безлічі параметрів, що спостерігаються, в системах виявлення вторгнень можуть використовуватися різні інтелектуальні методи [2].

Багато дослідників пропонують використовувати як математичну основу при побудові та аналізі систем захисту інформації апарат теорії ігор. Теорія ігор є формальним підходом, призначеним для аналізу взаємодії між декількома учасниками процесу, що мають різні інтереси та приймають рішення. У будь-якій системі захисту інформації маються на увазі дві сторони: сторона нападу та сторона захисту (система захисту інформації), що мають протилежні інтереси. У роботі [6] пропонується використовувати математичний апарат теорії ігор для вирішення завдання вибору засобів захисту від несанкціонованого доступу до інформації в автоматизованій системі. Там же виконана математична постановка завдання у вигляді завдання лінійного програмування з булевими змінними. У математичній постановці введено показник вартості засобів захисту. Обмеження завдання

враховують вимоги класів захищеності від несанкціонованого доступу в автоматизованих системах.

У [5] проводиться огляд теоретико-ігрових методів, що використовуються при вирішенні завдань інформаційної безпеки. У роботі розглядається підхід до проектування систем виявлення вторгнень з використанням математичного апарату матричних ігор для двох гравців. У запропонованій моделі враховується вартість системних ресурсів для організації захисту.

У деяких роботах розглядаються можливості використання багатокрокових ігор з неповною інформацією при побудові систем захисту від DoS атак. Пропонується подати завдання у вигляді гри двох сторін: та що обороняється ( $A$ ) і та що атакує ( $B$ ). Завданням сторони, що захищається, є мінімізація власних втрат внаслідок дій атакуючої сторони. Завданням сторони  $B$  - отримання максимального прибутку. У статті вказується, що головною особливістю такої гри є те, що як стратегії використовуються функції, що описують поведінку сторін у короткостроковій перспективі. Безліч функцій пропонується підбирати для кожного завдання індивідуально, виходячи зі статистичних даних, зовнішніх обмежень та здорового глузду [5].

При аналізі питань захисту від різних загроз безпеці доцільно розглядати дії двох сторін: сторони захисту (інформаційної системи) та сторони порушника. Як порушника можна розглядати всю сукупність загроз безпеки: дії окремих осіб, які мають різні цілі, великомасштабні сплановані атаки, а також випадкові впливи на систему. Подібні моделі, коли існують дві або більше протиборчих сторін, типові для теорії ігор. Якщо відомі варіанти дій (стратегії) кожної зі сторін, а також виграш (або програш) від кожного з варіантів дій, то є можливість сформулювати математичну модель ситуації у вигляді моделі безкоаліційної антагоністичної гри (наприклад, матричної). На основі сформульованого завдання можна отримати

оптимальні стратегії сторони нападу та сторони захисту, що вимагають мінімуму ресурсів [4].

Розглянемо взаємодію системи виявлення вторгнень та атакуючого як безкоаліційну кінцеву гру. Нехай сторона захисту  $A$  та порушник  $B$  мають кінцеву кількість стратегій  $n_B$  і  $n_A$ , що відповідає реальності, оскільки сторона захисту завжди має обмеження за кількістю можливих варіантів реагування, а сторона нападу за кількістю варіантів організації атаки. Наприклад, для захисту пропонується використовувати стратегії («ігнорувати підозрілу активність», «підсилити моніторинг»); а для боку нападу можна розглядати безліч стратегій («завершити атаку», «продовжити без паузи», «зробити паузу в атаці»). набір стратегій гравців  $s = (s_A, s_B)$ , де  $s_A \in S_A, s_B \in S_B$  набір ситуацій. Функції  $\omega_A$  і  $\omega_B$  вигоди гравців визначені на безлічі ситуацій  $S = S_A \times S_B$ .

Рішенням безкоаліційної гри є ситуації рівноваги, але не обов'язково у чистих стратегіях. Як відомо, кожна кінцева антагоністична гра має хоча б одну ситуацію рівноваги у змішаних стратегіях. Змішані стратегії при аналізі систем захисту інформації має сенс розглядати при припущенні, що робота системи триває значний час, тобто ітерації атаки і захисту повторюються багаторазово. При цьому стратегії використовуються сторонами з деякою недетермінованою закономірністю і витрати / доходи накопичуються з часом. Змішаною стратегією гравців  $A$  і  $B$  називатимемо повний набір ймовірностей застосування їх чистих стратегій:

$$P_A = \{p_{A_1}, p_{A_2}, \dots, p_{A_n}\}; P_B = \{p_{B_1}, p_{B_2}, \dots, p_{B_n}\}.$$

У безкоаліційній грі кожен гравець використовує свої чисті стратегії незалежно від іншого учасника процесу, тому у змішаній ситуації  $p = (P_A, P_B)$  ймовірність  $p(s)$  появи ситуації  $s = (s_A, s_B)$  дорівнює добутку ймовірностей використання обома гравцями своїх чистих стратегій, тобто  $p(s) = p(s_A, s_B)$ .



Знайдемо середній виграш (програш) гравців. У випадку математичне очікування виграшу гравця  $A$  у змішаній ситуації  $p = (P_A, P_B)$  визначається так:

$$W_A(p) = w_A(P_A, P_B) = \sum_{s \in S} w_A(s) p(s) = \sum_{s_1 \in S_A} \sum_{s_2 \in S_B} w_A(s_1, s_2) p_A(s_A) p_B(s_B)$$

де  $S_A, S_B$  – кількість можливих ситуацій гравців  $A$  і  $B$  відповідно;

$w_A$  – функція виграшу (а насправді – програшу або витрат) системи захисту інформації, якщо система захисту інформації обрала стратегію  $s_1$ , а порушник – стратегію  $s_2$ .

Виграш гравця (порушника системи захисту інформації) у загальному випадку визначається аналогічно.

Як можна визначити виграші гравців у цьому випадку? Система виявлення вторгнень  $S$  у кожний момент часу дає безліч параметрів  $M_S$  за допомогою сенсорів. Кожну атаку можна подати у вигляді послідовності ітерацій. Після кожного кроку система виявлення вторгнень намагається «передбачити» наступні кроки порушника. Кожен крок порушника породжує певний вид активності, який можна знайти датчиками системи. Якщо блок аналізу розпізнає активність як підозрілу, безліч базових параметрів, що спостерігаються,  $M_S$  має бути розширено. Нехай безліч додаткових параметрів спостереження буде  $M_{S_{\text{доп}}} = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ , а вартість додаткових ресурсів, що витрачаються з їхньої спостереження протягом часу  $t - C_A(t)$ . Припустимо, що витрати на спостереження прямо пропорційні до часу спостереження. Якщо моніторинг розширеної множини параметрів проводиться протягом часу  $t_m$ , то вартість додаткових витрат на спостереження буде визначатись як:

$$C_A(t) = \sum_{i=1}^n c_i t_m,$$

де  $n$  – кількість додаткових параметрів спостереження;

$c_i$  – витрати на моніторинг  $i$ -го параметра.

При прийнятті рішення ігнорувати можливу атаку система захисту інформації не несе витрат на додатковий моніторинг.

Оцінимо витрати порушника системи захисту інформації. У разі прийняття рішення про припинення атаки порушник не несе додаткових витрат, а у разі прийняття рішення про продовження атаки витрати атакуючої сторони залежать від кількості  $k$  генерованих запитів до системи, що захищається:  $C_B = gk$ , де  $g$  – вартість генерації одного запиту.

У разі успішної атаки система захисту інформації зазнає збитків  $c_A^*$ , а порушник отримує виграш  $c_B^*$ . Витрати системи захисту при реалізації кожної з можливих стратегій складаються з витрат на організацію захисту  $C_A(t) = \sum_{i=1}^n c_i t_m$  та збитків від можливих порушень безпеки  $c_A^*$ . Аналогічно виграш порушника складається із виграшу від порушення роботи системи захисту інформації  $c_B^*$  і через витрати на проведення атак  $C_B$ .

Для аналізованої системи виявлення вторгнень передбачається, що зі збільшенням додаткових параметрів спостереження зростає ймовірність визначення атаки. Однак визначення точної залежності успішного виявлення атаки від кількості та набору параметрів моніторингу, а також від часу спостереження вимагає експериментального дослідження для кожного типу систем захисту інформації.

Хотілося б відзначити деякі особливості використання даної методики стосовно систем захисту інформації. Перш за все, виграші гравців у змішаній ситуації були визначені рівними математичним очікуванням їх виграшів. По-друге, модель може використовувати ті чи інші дані в якості входних параметрів. При цьому можливості отримання різних даних можуть бути завданнями різного ступеня складності. Далі, відомо, що у виявленні мережевих вторгнень дуже велику роль грає безліч параметрів оцінки. Тому в виявленні аномалій однією з головних завдань є вибір оптимальної

множини параметрів оцінки, що неможливо виконати методами теорії ігор. Тому доцільно застосовувати різні математичні методи під час побудови систем захисту, зокрема, систем виявлення вторгнень.

**Висновок.** У цілому, математичний апарат теорії ігор дозволяє проводити аналіз завдань з антагоністичною природою, що повторюється, що є типовим для завдань захисту інформації. Пропоновані методи дають можливість вибрати на початковому етапі стратегії дій у процесі роботи системи виявлення вторгнень та знизити обчислювальні витрати на обробку даних у системі захисту інформації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Євсєєв С.П. Методологія синтезу моделей інтелектуальних систем управління та безпеки об'єктів критичної інфраструктури: Монографія. С.П. Євсєєв, О.Ю. Заковоротний, О.В. Мілов, Г.А. Кучук, О.А. Галуза, М.В. Коваль, О.В. Войтко, Р.В. Грищук. Харків: Вид. «Новий Світ-2000», 2024. 300 с.
2. Толюпа С.В. Системи виявлення вторгнень та функціональна стійкість розподілених інформаційних систем до кібернетичних загроз: Монографія. Н.В. Лукова-Чуйко, С.В. Толюпа, В.С. Наконечний, М.М. Браїловський. Київ: Формат, 2021. 407 с.
3. Даник Ю.Г. Основи захисту інформації: навч. пос. Ю.Г. Даник, С.Г. Вдовенко, В.І. Шестаков, О.О. Писарчук, Р.В. Грищук, М.В. Куликівський, В.М. Ходаківський. Житомир : ЖВІ ДУТ, 2015. 220 с.
4. Грищук Р.В. Теоретичні основи моделювання процесів нападу на інформацію методами теорій диференціальних ігор та диференціальних перетворень: монографія. Житомир: РУТА, 2010. 280 с.
5. Грищук Р.В. Диференціально-ігрова модель системи захисту інформації. *Інформаційна безпека*. Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2010. № 2 (4). С. 23-29.

6. Toliupa S., Nakonechnyi V., Uspenskyi O. Signature and statistical analyzers in the cyber attack detection system. Information technology and security. Ukrainian research papers collection. Vol. 7, Issue 1 (12). pp. 69-79.

Топольськов Є.О.<sup>1</sup>, Бердо Р.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний транспортний університет, Київ, Україна

*dreugent@gmail.com, rimma199320@gmail.com*

## ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ТРАЄКТОРІЇ НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ

**Анотація.** У роботі розглядається актуальна проблема підвищення якості навчання здобувачів освіти шляхом використання штучного інтелекту для створення індивідуальної траєкторії навчання та оцінювання академічної успішності. Метою роботи є визначення основних завдань, методів і технологій штучного інтелекту, які доцільно впровадити у навчальний процес ЗВО. Пропонуються використання оболонок експертних систем, методів машинного і глибокого навчання для підвищення якості освітнього процесу.

**Ключові слова:** індивідуальна траєкторія навчання, штучний інтелект, експертна система, машинне та глибоке навчання.

**Abstract.** This paper addresses the pressing issue of enhancing the quality of education for learners through the application of artificial intelligence to create individualized learning trajectories and assess academic achievement. The goal of this study is to identify the primary tasks, methods, and technologies of artificial intelligence that can be effectively implemented in higher education. The paper proposes the use of expert system shells, machine learning, and deep learning methods to improve the quality of the educational process.

**Keywords:** individualized learning trajectory, artificial intelligence, expert system, machine learning, deep learning.

**Вступ.** Спосіб нашого навчання та когнітивні здібності є такими ж унікальними, як відбитки наших пальців. Кожен здобувач освіти має свої власні сильні сторони та слабкості, а також свій власний стиль навчання, який може суттєво впливати на його академічну успішність.

Традиційно освітні установи покладалися на підхід "один розмір для всіх", де всі здобувачі освіти мали слідувати одному навчальному плану і темпу здобуття знань, навичок та умінь. Сучасна освіта часто стикається з труднощами при адаптації до різноманітних стилів навчання та можливостей учнів та студентів. Здобувачі освіти, які навчаються швидше чи повільніше ніж їхні сокурсники, можуть втрачати інтерес чи відчувати розчарування, що призводить до поганого академічного результату та зниження мотивації. Крім того, викладачам доводиться виконувати складне завдання із задоволення потреб багатьох здобувачів освіти з різним ступенем початкової підготовки і навчальними вимогами, що часто демотивує усіх учасників та знижує якість навчання.

Така ситуація характерна як для середньої школи, так і коледжів з університетами, де навчається більшість пересічного населення. Також у реаліях сучасного життя багатьом здобувачам вищої освіти доводиться паралельно із навчанням проходити стажування на виробництві або підробляти, що ускладнює виконання ними навчальних планів і вимагає додаткового часу на засвоєння матеріалу.

Як правило менторсько-репетиторський підхід до навчального процесу у значній мірі позбавлений недоліків традиційної освіти, проте невелика частина пересічних здобувачів може собі дозволити винаймати репетиторів та навчатись у зручний час.

**Постановка завдання.** Отже на сьогоднішній день існує необхідність реформування і удосконалення класичних підходів до організації навчального процесу шляхом впровадження інтелектуальних експертних систем та віртуальних консультантів, які дозволять здобувачам освіти перед

початком навчання проходити інтерактивне тестування з метою визначення їх початкового рівня підготовки та складання індивідуального навчального плану, а також забезпечать в процесі навчання об'єктивне оцінювання академічної успішності, обґрунтований підбір навчальних компонент і раціональний розподіл навантаження. Ці завдання можуть бути вирішені з використанням технологій та методів штучного інтелекту, а також сучасних засобів розробки інтелектуальних інформаційних систем.

**Аналіз сучасних досліджень.** Ряд вчених таких як: Немець Л.М., Сегіда К.Ю., Каньковський І.Є, Лапінський В.В., Гриценко В.Г. та інші досліджували питання, присвячені побудові індивідуальних траєкторій навчання для підвищення якості освіти [1-7]. У розглянутих роботах було обґрунтовано, що для реалізації індивідуального підходу та більш якісного навчання доцільно використовувати різноманітні програмні засоби та інтегровані інформаційні ресурси (SCORM-пакети). При цьому реалізація індивідуальної освітньої траєкторії у ЗВО має здійснюватися через комплекс веб-сервісів в межах системи електронного навчання, що використовує елементи штучного інтелекту.

На сьогоднішній день загальними прикладами успішного застосування штучного інтелекту в освіті є:

- Платформи для вивчення мов: Duolingo, Memrise;
- Системи для автоматичного оцінювання домашніх завдань: Gradescope;
- Інтерактивні навчальні платформи: Khan Academy, Coursera та edX;
- Роботи-тьютори: Jill Watson, розроблений в Georgia Tech.

Проте, незважаючи на різноманіття існуючих інформаційних технологій та початок створення електронних платформ зі штучним інтелектом для забезпечення освітньої діяльності, на сьогоднішній день бракує досліджень та розробок, що використовують штучний інтелект для визначення індивідуальної траєкторії навчання у ЗВО.

**Шляхи та методи вирішення проблеми.** Для досягнення поставленої мети мають бути використані теоретичні та емпіричні методи, зокрема аналіз наукової літератури та синтез методів штучного інтелекту для вирішення різних завдань з планування та корегування освітньої траєкторії студентів та оцінювання їх успішності протягом всього освітнього процесу.

З розвитком штучного інтелекту стає можливим адаптувати освітній процес до індивідуальних потреб кожного студента та налаштувати комфортний ритм навчання. Використовуючи машинне навчання та аналіз даних, штучний інтелект може допомогти ідентифікувати сильні сторони та слабкості кожного здобувача освіти та згенерувати для нього індивідуальний навчальний план, детальну траєкторію здобуття та закріплення знань. Такі навчальні плани і траєкторії можуть адаптовуватися до змін у результатах навчання, інтересах чи стилі навчання кожного здобувача освіти.

Для визначення індивідуальної траєкторії навчання штучний інтелект має аналізувати велику кількість даних, включаючи:

1. *Стиль навчання:* відповідність учнів до візуального, аудітивного чи кінестетичного навчання;
2. *Когнітивні здібності:* Сильні та слабкі сторони здобувача освіти, такі як пам'ять, увага та логічне мислення при розв'язуванні задач;
3. *Поведінкові дані:* Індекси залученості здобувачів освіти, такі як час, витрачений на виконання завдань, кліки й взаємодія з освітніми ресурсами;
4. *Академічні результати:* бали за проходження тестів та виконання завдань.

Для інтеграції штучного інтелекту у навчальний процес ЗВО необхідно виконати наступні кроки:

1. Зібрати і проаналізувати дані про навчальну поведінку здобувачів освіти, їх когнітивні здібності та академічні результати;
2. Розробити і впровадити моделі машинного навчання, які можуть аналізувати дані й створювати індивідуалізовані навчальні плани;



3. Забезпечити поєднання зі старими системами: адаптувати та інтегрувати інструменти штучного інтелекту з існуючими навчальними системами і програмним забезпеченням;

4. Навчити викладачів та студентів ефективно використовувати інструменти штучного інтелекту у навчальному процесі з обов'язковим дотриманням принципів академічної доброчесності та етики.

Для практичної реалізації технологій та методів штучного інтелекту в ЗВО доцільно використовувати так звані «оболонки» експертних систем такі як CLIPS, Jess, Drools і Protégé, а також мов програмування високого рівня на кшталт Visual Prolog.

Використання оболонок дозволить заощадити час на розробку експертних систем і забезпечить швидке створення та корегування освітніх програм (індивідуальних траєкторій навчання), розробку інтерактивних навчальних посібників та інструментів для перевірки знань студентів .

Відзначимо основні особливості найбільш популярних оболонок для експертних систем:

1. CLIPS (C Language Integrated Production System):

- Одна з найстаріших і найпоширеніших оболонок;
- Проста для опанування, має велику спільноту користувачів;
- Сумісна з мовою програмування C++;
- Ідеально підходить для створення невеликих і середніх за розміром експертних систем.

2. Jess (Java Expert System Shell):

- Java-версія CLIPS, яка об'єднує переваги CLIPS з можливостями Java;
- Широко використовується в академічних колах.

3. Drools:

- Потужна оболонка, яка використовується в промислових проєктах;
- Має розширені можливості для роботи з великими обсягами даних.

#### 4. Protégé:

- Орієнтована на створення онтологій і семантичних мереж;
- Відмінно підходить для розробки складних знань і концептуальних моделей;
- Може інтегруватися з іншими інструментами.

Для ефективного вирішення освітніх задач наряду з експертними системами доцільно застосовувати наступні методи машинного (ML) і глибокого (DL) навчання:

1. Рекомендаційні методи: *Колаборативна* або *змістова фільтрація*, а також гібридні варіанти;

#### 2. Класифікаційні методи:

- *Логістична регресія* – для складання індивідуальної траєкторії навчання, прогнозування успішності студентів, визначення рівня складності завдань тощо;

- *Дерева рішень* – для візуалізації процесу прийняття рішень і аналізу важливих факторів;

- *Службові мережі* – для складніших завдань класифікації, наприклад, визначення емоційного стану студента за текстом.

#### 3. Кластеризація:

- *K-means* – для групування студентів за схожими характеристиками (наприклад стилем навчання);

- *Ієрархічна кластеризація* – для створення ієрархічної структури груп студентів.

#### 4. Глибоке навчання:

- *Хвильові мережі (WaveNets)* – для аналізу голосу і часових рядів, наприклад, для виявлення змін у настрої та поведінці студента;

- *Рекурентні нейронні мережі (RNN)* – для обробки послідовних даних, таких як тексти, для задач генерації тексту, машинного перекладу тощо;

- *Конволюційні нейронні мережі (CNN)* – для аналізу зображень, наприклад, для автоматичної перевірки домашніх завдань, які містять графіки або діаграми.

В якості інструментів розробки та реалізації методів і алгоритмів машинного та глибокого навчання доцільно використовувати популярну мову Python або спеціалізовану мову статистичного аналізу даних R, а також TensorFlow, PyTorch і Scikit-learn – спеціалізовані фреймворки глибокого навчання з широкими можливостями.

Дуже перспективним напрямком для подальшого розвитку є інтеграція інтелектуальної навчальної системи ЗВО із сучасними платформами дистанційного навчання на кшталт EdX [8], що налічує тисячі навчальних курсів, використовує мову Python та має відкритий програмний код.

Використання штучного інтелекту у вищій освіті пропонує численні переваги, зокрема:

1. Поліпшення академічних результатів – студенти отримують більше можливостей розкрити свій когнітивний і творчий потенціал, якщо їхнє навчання адаптоване до їхніх потреб;
2. Підвищення залученості – індивідуалізовані навчальні програми збільшують мотивацію та задоволення учнів;
3. Ефективніше використання ресурсів – викладачі можуть зосередитися на підтримці тих студентів, яким потрібна додаткова увага, тоді як штучний інтелект виконує адміністративні завдання та підтримує загальний ритм навчального процесу;
4. Управління навчанням на основі даних – викладачі можуть приймати обґрунтовані рішення щодо розробки і удосконалення освітніх програм та раціонального розподілу ресурсів.

**Висновок.** Штучний інтелект відкриває нові можливості для освіти, але його впровадження пов'язане з низкою викликів. З одного боку, ШІ

дозволяє персоналізувати навчання, автоматизувати рутинні завдання та аналізувати великі обсяги даних. З іншого боку, виникають питання щодо захисту персональних даних, збереження людського фактору в освітньому процесі та забезпечення доступності технологій для всіх. Дослідженню цих аспектів має приділятися окрема увага.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Немець Л.М., Сегіда К.Ю., Логвинова М.О. Індивідуальні освітні траєкторії: роль у забезпеченні якості вищої освіти. Проблеми сучасної освіти. 2019, вип. 10, С. 51-60.
3. Каньковський І.Є. Індивідуальні освітні траєкторії як необхідність сучасного процесу професійної підготовки фахівця. Професійна освіта: проблеми і перспективи. 2013, вип. 4, С. 62-65.
4. Лапінський В.В. Електронні навчальні засоби: ретроспектива та перспективи. Інформатика. 2011, вип. 33, С. 3-9.
5. Гриценко В.Г. Організаційно-педагогічні принципи створення та впровадження веб-орієнтованої інформаційно-аналітичної системи управління університетом: Монографія. Черкаси: Національний університет ім. Богдана Хмельницького. 2016.
6. S. Sharov, D. Lubko, O. Lomeiko, and H. Chemerys, “Information system for the formation of students’ individual educational trajectory”, 1st International Conference on Education, Humanities, Health and Agriculture, 2021, doi: 10.4108/eai.3-6-2021.2311038.
7. A.V Morozov and T.A. Vakaliuk, “An electronic environment of higher education institution (on the example of Zhytomyr Polytechnic State University),” J. Phys. Conf. Ser., vol. 1840, no. 1, p. 012061, Mar. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1840/1/012061.
8. M. Vinnyk, M. Poltorackiy, Y. Spivakovska, T. Vinnyk, L. Bondarenko, and Y. Revenko, “Measuring the effectiveness of the implementation of individual

educational trajectories by university students,” in CEUR Workshop Proceedings, 2020, vol. 2732, pp. 1286-1297.

9. Платформа дистанційного навчання з відкритим програмним кодом EdX. URL: <http://edx.org>, <https://github.com/openedx/XBlock> (дата звернення: 27.09.2024).

Худолій К.А.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
kh\_katheryna@knu.ua

## ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЦИФРОВИХ ПОСЛУГ В УКРАЇНІ: АНАЛІЗ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

**Анотація.** У цій публікації аналізуються юридичні та економічні наслідки нового Закону України "Про цифровий контент та цифрові послуги". Досліджуються ключові положення закону, включаючи захист прав споживачів, ліцензування, захист даних та відповідальність провайдерів цифрових послуг. У роботі також визначаються виклики, пов'язані з реалізацією закону та його гармонізацією з нормами Європейського Союзу, підкреслюючи необхідність подальшого вдосконалення правових та технічних рамок.

**Ключові слова:** цифровий контент, цифрові послуги, права споживачів, захист даних, цифрова економіка, Україна, закон, інвестиційна привабливість, розвиток конкуренції, директиви ЄС.

**Abstract.** This thesis analyzes the legal and economic implications of the new Law of Ukraine "On Digital Content and Digital Services". The study examines key provisions of the law, including consumer rights protection, licensing, data privacy, and liability for digital service providers. The paper also identifies challenges related to the implementation of the law and its harmonization with European Union regulations, highlighting the need for further improvements in legal and technical frameworks.

**Keywords:** Digital content, digital services, consumer rights, data protection, digital economy, Ukraine, law, investment attractiveness, competition development, EU directives.

**Вступ.** У сучасному світі цифрові технології проникли майже в усі аспекти нашого життя: від комунікацій і розваг до освіти та бізнесу. Щороку обсяги споживання такого контенту та послуг зростають у геометричній прогресії. Україна, як частина світової спільноти, стикається з необхідністю регулювання відносин у цифровому середовищі, зокрема між споживачами та постачальниками, особливо в частині визначення відповідальності за якість продукту, можливостей компенсації збитків і способів вирішення конфліктів. Новий закон "Про цифровий контент та цифрові послуги", що набув чинності 2 березня 2024 року, має на меті гармонізувати українське законодавство з вимогами ЄС та сучасними міжнародними стандартами. Він сприяє впровадженню механізмів прозорості та захисту даних, що є важливими складовими цифрової економіки [1]. Водночас з позитивними аспектами, виявляє й деякі проблеми в його застосуванні, що потребують уваги з боку державних органів та бізнесу. Тому його реалізація несе в собі як значні можливості, так і певні виклики.

З огляду на це, ціль дослідження – проаналізувати українське законодавство у сфері цифрових послуг, порівняти його з європейськими стандартами та визначити шляхи для подальшого розвитку правової системи.

**Основна частина.** По-перше, закон вводить певні ключові терміни, що мають вирішальне значення для правового регулювання у сфері цифрових послуг. До них належать "цифровий контент" (дані, які створюються і передаються у цифровому форматі, включаючи програми, аудіо-, відеофайли, ігри, електронні книги), "цифрові послуги" (послуги, що надаються через інтернет або за допомогою цифрових технологій, такі як хмарні сервіси, соціальні мережі, стрімінгові платформи), "постачальник" (юридична або фізична особа, що надає цифрові послуги або постачає цифровий контент) та "споживач" (особа, яка користується або купує

цифрові послуги чи контент для власного використання). Вони встановлюють правові рамки для регулювання відносин між сторонами.

По-друге, він охоплює всі види цифрового контенту, що надаються на території України, незалежно від форми власності або місця реєстрації постачальника. Це означає, що закордонні компанії, які надають послуги українським споживачам, також підпадають під дію цього закону, якщо їхні послуги використовуються на території нашої держави.

По-третє, базується на таких принципах, як рівність сторін, доступність інформації, прозорість угод і захист прав споживачів. Останній має право вимагати компенсації, якщо цифровий контент або послуга не відповідають стандартам якості. Невідповідності можуть бути виправлені або компенсовані, а договір може бути розірваний споживачем через електронне повідомлення. Контроль за дотриманням цього закону здійснює Держспоживслужба. За порушення передбачено штрафи, які можуть досягати до десятикратної вартості цифрового контенту. Дозволяється використання персональних даних для надання цифрових послуг, якщо це передбачено договором, але не допускає їх використання для інших цілей без згоди споживача.

Важливим аспектом є прагнення адаптації українського законодавства до європейських стандартів, що дозволяє забезпечити ефективне правове середовище для розвитку цифрових послуг і контенту в Україні, а також знизити бар'єри для входу міжнародних постачальників на вітчизняний ринок.

Європейська Директива про цифрові послуги (Digital Services Act, скорочено DSA) є ключовим документом у регулюванні діяльності постачальників цифрових послуг у Європейському Союзі [2]. Головною метою DSA є гарантування безпеки онлайн-користувачів та відповідальності цифрових платформ, що надають послуги через інтернет.



Український закон "Про цифровий контент та цифрові послуги" має певну схожість з цією директивою у частині захисту прав споживачів та забезпечення якості послуг. Але наше законодавство менш детально врегульовує питання прозорості. Наприклад, DSA вимагає від великих платформ пояснень щодо функціонування алгоритмів, зокрема у випадку, коли вони впливають на формування контенту, реклами або рекомендацій для користувачів.

Крім того, європейці приділяють велику увагу швидкому реагуванню на незаконний контент, і за його несвоєчасне видалення платформи несуть відповідальність. В Україні також є положення щодо контролю якості контенту, але їх ще потрібно доопрацювати. Тому в майбутньому важливо врахувати досвід ЄС у співпраці державних органів і платформ для ефективного контролю та видалення незаконного контенту.

Директива про цифрові ринки (Digital Markets Act або DMA) спрямована на регулювання діяльності великих технологічних компаній, що мають домінуюче становище на ринку. Основна мета – запобігти зловживанням з боку цих компаній, забезпечити конкуренцію та захистити права менших учасників. Також вона визначає так званих "gatekeepers" – великі платформи, які мають значний вплив на цифрові ринки, і вводить спеціальні обмеження для них.

На відміну від DSA, який регулює всі цифрові платформи, DMA концентрується на найвпливовіших компаніях. Підприємства, які відповідають критеріям gatekeepers, мають дотримуватися суворіших правил, наприклад, надавати доступ до своїх платформ конкурентам, заборонити прив'язку одних послуг до інших.

Українське законодавство поки не містить аналогічних положень щодо регулювання великих цифрових платформ, але це може стати наступним кроком. Врахування цих недоліків сприяло б посиленню конкуренції на

цифровому ринку та зниженню ризиків для споживачів у відносинах із великими міжнародними корпораціями.

DSA та DMA є лише частиною ширшої стратегії ЄС, спрямованої на створення безпечного та конкурентного цифрового простору [3]. Однією з основних тенденцій є підвищення вимог до прозорості та впровадження механізмів для більш ефективного захисту персональних даних користувачів, а також боротьба з незаконним контентом і маніпулятивними практиками (dark patterns). В українському законодавстві також закладені подібні принципи, однак ще не враховуються деякі аспекти, які вже інтегровані у європейській правовій системі. Наприклад, у нас недостатньо розвинена законодавча база для контролю за діяльністю великих цифрових платформ на рівні з міжнародними стандартами, особливо у частині прозорості їхніх алгоритмів і впливу на споживачів, а також контролю за монополізацією.

**Висновок.** Отже, дослідження нового закону України "Про цифровий контент та цифрові послуги" показало, що він став важливим кроком у регулюванні відносин між споживачами та постачальниками цифрових послуг.

Цей документ вводить ключові терміни, визначає права та обов'язки обох сторін, проте потребує подальшого вдосконалення, особливо в частині адаптації до європейських норм. Порівняння з Директивою ЄС про цифрові послуги та Директивою про цифрові ринки показало, що наше законодавство поки що не охоплює всі аспекти, які є актуальними для захисту прав споживачів і забезпечення прозорості в наданні послуг. Очевидно, що існує потреба у впровадженні контролю за діяльністю постачальників, зокрема щодо боротьби з незаконним контентом.

Таким чином, для подальшого розвитку цифрової економіки в Україні важливо впроваджувати європейські стандарти та активно адаптувати національне законодавство до міжнародних норм, що в свою чергу

підвищить інвестиційну привабливість українського ринку і забезпечить кращу захищеність прав споживачів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Про цифровий контент та цифрові послуги. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3321-20#Text> (дата звернення: 27.09.2024).
2. Директива Європейського Парламенту і Ради (ЄС) 2019/790 від 17 квітня 2019 року про авторське право і суміжні права на Єдиному цифровому ринку та про внесення змін до директив 96/9/ЄС та 2001/29/ЄС. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984\\_022-19#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_022-19#Text) (дата звернення: 27.09.2024).
3. Штанько В., Дресвянніков А. Аналіз змін законодавства ЄС у сфері цифрових сервісів та платформ й їхній вплив на цифрову економіку України. ГО «Український центр Європейської політики», 2022. URL: [https://ucep.org.ua/wp-content/uploads/2022/10/new\\_digit\\_2\\_03.10.2022.pdf](https://ucep.org.ua/wp-content/uploads/2022/10/new_digit_2_03.10.2022.pdf) (дата звернення: 27.09.2024).

Шевченко А.М., Толюпа С.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна  
shevchenko@gmail.com, serhii.toliupa@knu.ua

## СЕЙСМОАКУСТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ОСНОВІ ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ- АНАЛІЗУ

**Анотація.** Сьогодні в нашій країні, враховуючи ситуацію воєнного стану, необхідно постійно проводити моніторинг об'єктів критичної інфраструктури на предмет можливості їх використання після впливу боєприпасів різної потужності, чим займається дуже велика кількість державних та приватних організацій, які виробляють найрізноманітнішу продукцію. Це пов'язано зі зростаючою потребою в захисті від недобросовісних конкурентів, терористів, а у випадку України - особливо в захисті від диверсійних атак і постійних обстрілів. Вперше запропоновано метод моніторингу об'єктів критичної інфраструктури на основі сейсмоакустичного аналізу, суть якого полягає у відображенні досліджуваного об'єкта у вектор інформативних параметрів (під терміном «інформативні параметри» розуміються фізичні параметри об'єкта, які характеризують його стан, а динаміка цих параметрів викликана змінами стану цього об'єкта), динаміка яких характеризує динаміку стану досліджуваного об'єкта.

**Ключові слова:** моніторинг, ударна хвиля, вейвлет-перетворення, сейсмічні сигнали, сейсмоакустичний моніторинг, вейвлет-аналіз.

**Abstract.** Today, in our country, given the martial law situation, it is necessary to constantly monitor critical infrastructure facilities for the possibility of their use after the impact of ammunition of various capacities, which is done by a very large number of public and private organizations that produce a wide

*variety of products. This is due to the growing need for protection from unscrupulous competitors, terrorists, and, in the case of Ukraine, especially protection from sabotage attacks and constant shelling. The paper first proposes a method for monitoring critical infrastructure facilities based on seismic and acoustic analysis, the essence of which is to map the object under study into a vector of informative parameters (the term “informative parameters” refers to the physical parameters of the object that characterize its state, and the dynamics of these parameters is caused by changes in the state of this object), the dynamics of which characterizes the dynamics of the state of the object under study.*

**Keywords:** *monitoring, shock wave, wavelet transform, seismic signals, seismoacoustic monitoring, wavelet analysis.*

**Вступ.** Загальноприйнято, що сучасний аналіз вейвлет-перетворення зародився на початку 1980-х. Він почався з вейвлет-перетворення Морле (Morlet), запропонованого для полегшення виявлення сейсмічних сигналів [1]. З огляду на це можна вважати, що сейсмологія є місцем народження сучасного вейвлет -перетворення. З тих пір, у різних областях геофізики для виявлення сигналів було запропоновано та використано безліч різних вейвлет-перетворень. Фактично, існує велика кількість доступних методів для вимірювання властивостей підповерхневого середовища, включаючи геофізичні методи. Це сейсмологія, сейсмоакустичний аналіз, гравіметрія, магнітні методи, електричні методи, радіоактивні методи та геофізичні дослідження при зостосуванні сейсмоакустичного моніторингу, зокрема впливу ударної хвилі на об’єкти критичної інфраструктури.

**Основна частина.** Роль вейвлет-аналізу обговорювався в огляді розробок з обробки сейсмічних даних, де запропоновано використовувати ортонормоване дискретне вейвлет-перетворення як інструмент, що характеризує сейсмічні часові ряди. У статті [2] автори аналізували

сейсмічні сигнали. Для фільтрації сейсмічних сигналів вони використовували специфічне Добеші (D20) вейвлет-перетворення [3], розглядаючи прості ілюстративні приклади вейвлет-аналізу [4], з метою придушення небажаних поверхневих хвиль, які присутні у записах. У [5] представлений метод, який включає специфічне Добеші вейвлет – перетворення, як перетворення для автоматичного визначення часу вступу Р і S хвиль у сейсмічних записах. Автори роботи [6] використовували синтезовану методику, засновану на вейвлет-аналізі для моделювання, фрактального акустичного каротажу. Вони порівняли отримані результати з класичним методом найменших квадратів, який застосовується до моделювання такого типу даних, і дійшли висновку, що методика, що використовує вейвлет -перетворення, значно скорочує артефакт пов'язаний з класичною методикою сейсмоакустичного аналізу. У пізнішій роботі [7] автори використовували моделі вейвлет-перетворення фрактальних процесів для моделювання та аналізу процесів з урахуванням геологічних та фізичних особливостей об'єкта. Для аналізу акустичних образів сейсмічних даних, отриманих на поверхні землі, автори використовували вейвлет-аналіз. Досліджуючи коефіцієнти вейвлет-перетворення сигналів з різними вагами, автори змогли виявити як впливає ударна хвиля різної потужності на різнотипні об'єкти.

У статті [8] автори запропонували метод вейвлет-аналізу підповерхневого середовища для дослідження підземних неприродних об'єктів. Вони запропонували використання цієї методології виділення корисного сигналу з акустичних даних розвідки на малій глибині. Для тривимірної сейсмічної топографічної моделі в [9] автори застосували тривимірне вейвлет-перетворення, використавши як базові функції імпульс Рікера, відомий як мексиканський капелюх (Mexican hat). У [10] автори використовували максимальні енергії вейвлет-перетворення і розглянули номери базисних вейвлет-функцій як довірчу кількість сейсмічних

швидкісних аномалій, що спостерігаються, і виявили, що розподіл кількості вейвлет-функцій дає інформацію, яка не очевидна для прямої візуальної експертизи сейсмічних та сейсмоакустичних нечітких об'єктів. У [11], використовуючи вейвлет-перетворення Морле, автори запропонували метод вимірювання дисперсії хвиль у підповерхневих середовищах. Ці вейвлет-перетворення виділяли сейсмічні хвилі, які поширювалися в приповерхневому середовищі землі і було помічено, що їх параметри (наприклад, дисперсія швидкості, частоти) та розподіл амплітуд сильно залежать від геометрії та фізичних властивостей стану об'єкту, що досліджується.

Для дослідження сейсмічних даних [12] автори порівняли коротке Фур'є-перетворення і безперервне вейвлет-перетворення Морле. Якщо порівняти ці види перетворень синтетичної сейсмограми, можна побачити, що розкладання при порівняльному пошуку найбільш вдале у площині частота-час. Автори досліджували відбиту сейсмограму сейсмічної хвилі для ідентифікування покладів долериту. Авторами були ідентифіковані чотири різні форми у відповідній площині частота-час. Перший тип еліптичної форми, подовжений у напрямі частоти, представляє події, які локалізовані в часі, але містять велику кількість частот. Вони пов'язані з відбитками. Другий тип, подовжений за часом, але вузький за частотою ідентифікований як поверхневі хвилі низької частоти. Третій – циклічний тип, що представляє події, які мають лише одну або дві частоти, на частотно-часовій осі в короткому проміжку часу. Четвертий тип - довга смуга у напрямі вздовж осі часу. Вона представляє окрему частоту шуму рівну 60 Гц, яка триває досить тривалий час. Всі відображені події можуть бути ідентифіковані у площині частота-час як еліптичні сплески в короткому проміжку часу та більш довгому частотному діапазоні. Циклічні сплески викликані випадковим шумом, який присутній у спостережених даних, і вертикальні піки виникають через короткогенерований шум. В [13]

автор досліджував обробку сейсмічних даних за допомогою методу Габора в порівняльному пошуку елементарних осередків структур даних; в результаті були виявлені ознаки фаз, які могли бути пов'язані з типами фацій в системі дельта.

Запропонований вище аналіз застосування методів вейвлет-перетворення для дослідження сейсмологічної інформації дозволяє стверджувати, що це перетворення дає можливість представити геофізичну інформацію у вигляді безлічі параметрів (амплітуди вейвлет-функцій, їх масштабні множники та параметри походження), які мають фізично змістовний зміст. З цієї множини можна виділити підмножину найбільш інформативних параметрів для характеристики стану об'єкта сейсмоніторингу. Процес зміни стану об'єкта відображається у тимчасові зміни цієї підмножини параметрів. Ця обставина стала підставою для використання вейвлет-функцій у деяких випадках як альтернативу раніше розглянутим моделям осциляторів. Динаміка об'єкта дослідження відбивається в міграцію точки у кінцевому просторі параметрів, вибраних як інформативні.

Модель, що складається з  $K$  підмоделей і являє собою суперпозицію імпульсів, кожен з яких задається формулою

$$\min_{\substack{\mathbf{h} \in H \\ \mathbf{a} \in A}} \left[ (y(t, x) - M(\mathbf{h}, \mathbf{a}, t, x), y - M(\mathbf{h}, \mathbf{a}, t, x)) \right] . \quad (1)$$

і входить в модель вектором фізично змістовних вільних параметрів сполученого імпульсу Берлаге, кожен імпульс повністю визначається вектор-рядком:

$$\mathbf{P}_{\langle k \rangle} = \{A_k, \tau_k, \alpha_k, \omega_k, \beta_k\} \quad (2)$$

А модель набуває вигляду:

$$M(t, \mathbf{P}) = \sum_{k=1}^K A_k \eta(t - \tau_k) (t - \tau_k)^{\beta_k} \exp\{-\alpha_k (t - \tau_k)\} \sin[\omega_k (t - \tau_k)] + n(t) \quad (3)$$



В (3) введена матриця вільних параметрів моделі . Вектор-рядок цієї матриці повністю визначає -ю підмодель, а вектор-стовпець якої визначає споріднені параметри підмоделей, - адитивна перешкода. У (3) таких споріднених параметрах п'ять:

$$\mathbf{P} = \{P_{k,s}\}, k = \overline{1, K}, s = \overline{1, S}. \quad (4)$$

- кількість вільних параметрів у підмоделі (кількість стовпців у матриці ),

- кількість підмоделей (кількість рядків у матриці ).

Таким чином прямокутна матриця вільних параметрів моделі розмірністю визначає модель (3).

Якщо з'єднати споріднені вектори у матрицю, то

$$\mathbf{P} = \left\{ \mathbf{P}^{(1)}, \mathbf{P}^{(2)}, \mathbf{P}^{(3)}, \mathbf{P}^{(4)}, \mathbf{P}^{(5)} \right\}, \quad (5)$$

В (5) об'єднані вектори виду:

$$\mathbf{P}^{(1)} = \mathbf{A} = \begin{Bmatrix} A_1 \\ \vdots \\ A_k \\ \vdots \\ A_K \end{Bmatrix}; \mathbf{P}^{(2)} = \boldsymbol{\tau} = \begin{Bmatrix} \tau_1 \\ \vdots \\ \tau_k \\ \vdots \\ \tau_K \end{Bmatrix}; \mathbf{P}^{(3)} = \boldsymbol{\alpha} = \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_k \\ \vdots \\ \alpha_K \end{Bmatrix}; \quad (6)$$

$$\mathbf{P}^{(4)} = \boldsymbol{\omega} = \begin{Bmatrix} \omega_1 \\ \vdots \\ \omega_k \\ \vdots \\ \omega_K \end{Bmatrix}; \mathbf{P}^{(5)} = \boldsymbol{\beta} = \begin{Bmatrix} \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \\ \vdots \\ \beta_K \end{Bmatrix}$$

Модель оптимізації динамічних параметрів моніторингу об'єктів критичної інфраструктури на основі сейсмоакустичного аналізу у термінах матриці вільних параметрів набуває вигляду:

$$M(t, \mathbf{P}) = \sum_{k=1}^K \mathbf{P}_k^{(1)} \eta(t - \mathbf{P}_k^{(2)}) (t - \mathbf{P}_k^{(2)})^{\mathbf{P}_k^{(5)}} \exp \left\{ -\mathbf{P}_k^{(3)} (t - \mathbf{P}_k^{(2)}) \right\} \sin \left[ \mathbf{P}_k^{(4)} (t - \mathbf{P}_k^{(2)}) \right] \quad (7)$$

Тут вектори  $\mathbf{A}, \mathbf{\tau}, \mathbf{\alpha}, \mathbf{\omega}, \mathbf{\beta}$  це вектор-стовпці, що складаються з  $K$  рядків,  $K$  - кількість підмоделей. Матриця  $\mathbf{P}$  формується як поєднання векторів (2.16),  $P_{k,s} = P_k^{(s)}$ . У наведеній моделі  $s = \overline{1, S}; S = 5$ .

Формула (3) являє собою нову модель дискретного вейвлет переретворення, яке широко використовується в задачах моніторингу сейсмологічними методами.

**Висновок.** Отримано оптимальну оцінку параметрів моделі для даних, що спостерігаються. Наступним кроком в обробці даних буде синтез за параметрами моделі модельного сигналу та оцінки розбіжності моделі з даними спостереження для обраного критерію. Таким чином можна зробити висновок, що математична модель апроксимує дані спостереження вибухового сигналу з великою ступеню достовірності, що дає можливість відобразити ОКІ в векторний простір вільних параметрів моделі.

## ЛІТЕРАТУРА

2. P. Goupillaud, A. Grossmann, J. Morlet. Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis. *Geoexploration*, 23, 1984. R. 85-102.
3. Daubechies I. Ten lectures on wavelets. CBMS-NSF Regional Conference Series in Applied Mathematics. Philadelphia: SIAM, 1992.
4. Tony F. Chan and Jackie Shen. Image Processing and Analysis - Variational, PDE, Wavelet, and Stochastic Methods/ Society of Applied Mathematics, ISBN 089871589X (2005).
5. Fedorenko YV, Husebye ES. First breaks - automatic phase of pickings P- and S-onsets in seismic records/ *Geophys. Res. Lett.*, 26 (21), 1999. pp. 3249-3252.
6. Li XP. Comparison of Fourier and wavelet power spectral analysis of heterogeneities. EAGE 58 th Conference and Technical Exhibition, - Amsterdam, The Netherlands, June 3-7, 1996. 171 p.

7. Li XP. On-line discovery of breakage from small diameter clicks using the current signature wavelet transform. *Int. J. Machine Tools Manufact*, 39, 1999. pp.157-164.
8. Kalcic MT, Lambert DN, Martinez A. In. Time-frequency analysis of shallow seismic imagery. *Sea Tech.*, 40 (8), Ch 7, 1999. pp. 55-60.
9. Bergeron SY, Vincent AP, Yuen DA, Tranchant V.J., Tchong Z. Viewing seismic velocity anomalies with 3D continuous Gaussian wavelets. *Geophys. Res. Lett.*, 25 (15), 1999. pp. 2311-2314.
10. Wavelet Explorer Documentation. [Electronic resource]/ URL : <http://documents.wolfram.com/applications/wavelet/FundamentalsofWavelets/1.4.5.html/>
11. Nagano K., Niitsuma H.. Discrepancy in the analysis of crack-waves in arterial subsurface fracture using two crack models *IEEE. Trans. Geosci. Remote Sensing*, 38 (1), 2000. pp. 3-11.

**Alona Boholiepova<sup>1</sup>, Tetiana Filimonova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*GoIT, Redmond, USA*

<sup>2</sup>*State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine*

*abogolepova@gmail.com, tatyana0377@gmail.com*

## **PREDICTING CONSUMER PURCHASING BEHAVIOR USING MACHINE LEARNING METHODS**

**Abstract.** *This article explores the application of machine learning methods for predicting consumer purchasing behavior based on data analysis. Using a dataset from Kaggle, data was analyzed and prepared, including removal of duplicates, feature scaling, and correlation analysis. Various machine learning models, such as Random Forest and Gradient Boosting, were tested using different techniques, including hyperparameter optimization and class balancing. The results showed that incorporating feature correlation and hyperparameter optimization significantly improves the accuracy of the models, making them effective tools for predicting consumer behavior in online sales.*

**Keywords:** *machine learning, consumer behavior prediction, data analysis, Random Forest, Gradient Boosting, hyperparameter optimization, correlation analysis, online sales.*

**Introduction.** In the modern world, the demand for selling and buying goods online is growing every year. Therefore, it is crucial for e-commerce websites to predict whether a user will make a purchase. Fortunately, machine learning effectively handles this task.

Machine learning (ML) allows for the study of raw data to quickly solve complex business tasks. It helps automate routine tasks, process large volumes of data, improve customer service quality, and gain a competitive advantage in the

market. ML enables businesses to make more informed decisions, predict future demand, and optimize business processes [1-2].

This paper examines the prediction of consumer purchasing behavior using machine learning methods. The «Predict Customer Purchase Behavior Dataset» [3] from [www.kaggle.com](http://www.kaggle.com) was used for this work.

Machine learning methods are increasingly being applied to solve various economic problems, particularly in the financial sector. A significant amount of research is focused on using recurrent neural networks, such as LSTM (Long Short-Term Memory), for stock price prediction. For example, the study [4] examines the application of LSTM networks for predicting Google stock prices, which illustrates the effectiveness of deep learning in financial analysis. Another study [5] analyzes the process of developing machine learning models for stock price prediction based on historical data, emphasizing the importance of using machine learning (ML) methods in forecasting financial indicators.

Further studies demonstrate the application of the LSTM algorithm along with technical indicators for predicting price trends in the Vietnamese stock market, indicating the potential for using ML in emerging markets [6]. In a systematic review [7] of various machine learning and deep learning methods for stock market price prediction, a comparative analysis of the effectiveness of different approaches is presented. This study provides valuable recommendations for choosing the optimal method depending on specific conditions and data.

Furthermore, the study [8] focuses on predicting stock closing prices using machine learning methods, confirming the potential of ML for analyzing specific financial indicators. The combination of these studies highlights the growing role of machine learning in financial analysis and opens up prospects for further improvement of existing models and approaches.

After downloading and reading the dataset, it is necessary to conduct data analysis. In this dataset, there are no missing values, and all data is presented in numerical format. However, 112 duplicates were detected. Considering the

negative impact of duplicates on the machine learning process, a decision was made to remove them. The main reasons for this are:

- Duplicates can lead to model overfitting, as the model «learns» from the same data repeatedly, reducing its ability to generalize.
- The presence of duplicates can distort the data distribution, leading to model bias and decreased accuracy on new data.
- Duplicates increase the volume of data, which can result in longer model training times without actually improving its performance.
- Duplicates can affect quality metrics such as accuracy and F1-score, creating a false impression of high model performance [9].

The next stage of the research is the construction and selection of the best model for predicting consumer purchasing behavior. This stage consists of three key parts. First, the best base model is selected, focusing on its ability to accurately predict consumer behavior. Second, the correlation between features is taken into account to improve the quality of the model. Third, various techniques are applied to enhance the chosen model, improving its performance and adaptability to changing market conditions. This approach will not only determine the optimal model but also ensure its high efficiency in real-world conditions.

The dataset includes the following features:

- Age: customer's age;
- Gender: customer's gender (0: male, 1: female);
- Annual Income: customer's annual income in dollars;
- Number of Purchases: total number of purchases made by the customer;
- Product Category: category of the purchased product (0: electronics, 1: clothing, 2: home goods, 3: beauty, 4: sports);
- Time Spent on Website: time spent by the customer on the website, in minutes;
- Loyalty Program: customer's participation in the loyalty program (0: no, 1: yes);

- Discounts Availed: number of discounts used by the customer (range: 0-5);
- PurchaseStatus (target variable): likelihood of the customer making a purchase (0: no, 1: yes) [3].

In classical machine learning, there are two main types of tasks: classification and regression. Classification is used to predict categorical labels (for example, determining whether an email is spam), while regression is used to predict numerical values (for example, predicting real estate prices). Given the objective of the task (PurchaseStatus), classification methods were chosen[10] .

Initially, we focus on selecting the best base model among several popular machine learning algorithms, specifically RandomForestClassifier, GradientBoostingClassifier, SVC (Support Vector Classifier), and LogisticRegression. Each of these models has its unique characteristics and areas of application, making them suitable for different types of tasks. The research was aimed at identifying the model that provides optimal performance and accuracy for this dataset [11].

Data scaling is important in machine learning as it ensures the same scale for all features, allowing models to learn faster and improve accuracy. Using StandardScaler() from the sklearn library allows scaling of data, reducing the impact of different feature scales and increasing the efficiency of algorithms[12]. For this purpose, StandardScaler() was specifically chosen because it standardizes the data to zero mean and unit standard deviation [13].

All features were selected for scaling, except for PurchaseStatus. This is because PurchaseStatus already has binary values (1 or 0), making it suitable for direct use in classification tasks. The main focus was on scaling other features to ensure their compliance with machine learning algorithm requirements and to improve the overall accuracy of the model.

To split the data into training and test sets, we used the train\_test\_split function [14]. In this process, all features were split into training and test sets, and

the target variable PurchaseStatus was split into corresponding labels ( $y_{train\_b}$  and  $y_{test\_b}$ ). The test set comprised 30% of the total data volume, and the stratify parameter ensured the preservation of class proportions of the target variable in the samples.

After training the base models, we conducted additional training taking into account the correlation between features. Correlation is a statistical measure that reflects the strength and direction of the linear relationship between two variables. It ranges from -1 to 1, where a value close to 1 indicates a strong direct relationship, and a value close to -1 indicates a strong inverse relationship. Understanding correlation is important for making informed decisions in data analysis and model building. This will allow for a better understanding of the relationships in the data and improve model accuracy by eliminating redundant information and focusing on the most significant features [15]. Figure 1 presents the study of feature correlation with the target variable.

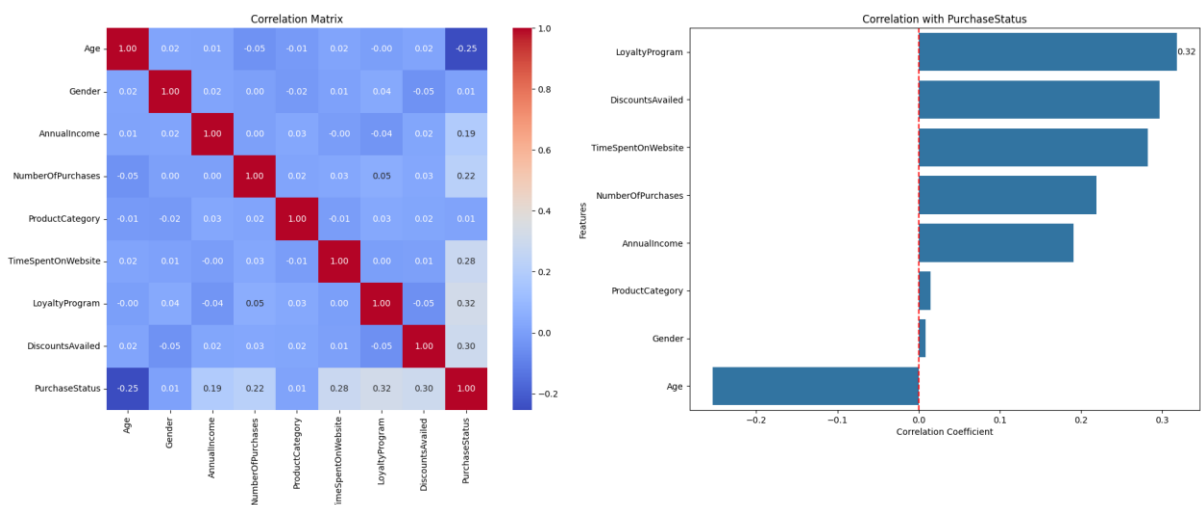


Figure 1 – Correlation of features with the target variable PurchaseStatus

The analysis of feature correlation with the target variable PurchaseStatus showed that the features LoyaltyProgram, DiscountsAvalled, and TimeSpentOnWebsite have the strongest positive influence. At the same time, the features ProductCategory and Gender were found to be almost uncorrelated with the target variable, so it was decided not to include them in further model training.



Table 1 – Performance results of base models

<b>№</b>	<b>Model</b>	<b>Accuracy</b>	<b>Precision</b>	<b>Recall</b>	<b>F1-Score</b>
1	Random Forest Base Model	0.908873	0.912551	0.905994	0.907894
2	Gradient Boosting Base Model	0.908873	0.911062	0.906618	0.908069
3	SVM Base Model	0.860911	0.861859	0.858766	0.859808
4	Logistic Regression Base Model	0.827338	0.830673	0.823493	0.825116

Table 2 – Performance results of models considering correlation

<b>№</b>	<b>Model</b>	<b>Accuracy</b>	<b>Precision</b>	<b>Recall</b>	<b>F1-Score</b>
1	Random Forest with Correlation	0.923261	0.925669	0.921067	0.922584
2	Gradient Boosting with Correlation	0.923261	0.926409	0.920755	0.922512
3	SVM with Correlation	0.856115	0.855674	0.855198	0.855416
4	Logistic Regression with Correlation	0.810552	0.809724	0.80991	0.809812

Based on the research results presented in Tables 1 and 2, the following conclusions can be drawn regarding the selection of models for further work. Among all the models considered, Random Forest with Correlation and Gradient Boosting with Correlation showed the highest accuracy, precision, recall, and F1-score, reaching 92.33%. This indicates that considering feature correlation significantly improves the performance of these models. At the same time, SVM and Logistic Regression demonstrated less impressive results, with accuracies of 86.09% and 82.73% respectively. Even accounting for correlation could not substantially improve their performance, indicating their lower effectiveness in this context. Given these results, two models were selected for further work: Random Forest with Correlation and Gradient Boosting with Correlation. These models demonstrate a high capacity for data generalization and are the most promising for solving tasks that require high accuracy and reliability.

After selecting the models, we focused on applying various techniques to improve them. Initially, hyperparameter optimization methods such as Grid

Search and Random Search were used. These methods allow finding optimal values for model parameters, which increases its accuracy and performance. Grid Search conducts an exhaustive search of all possible parameter combinations, while Random Search selectively tests random combinations, which can be more efficient in large parameter spaces [16].

Next, ensemble methods were used, particularly bagging (Bootstrap Aggregating). Ensemble methods combine predictions from multiple models to improve overall accuracy and stability of results. Bagging involves creating multiple subsets of data through random sampling with replacement and training individual models on these subsets. The results of these models are then averaged (or combined in another way) to obtain the final prediction. This approach reduces variability and increases the model's resistance to overfitting [17].

Table 3 – Results for Random Forest Models

<b>№</b>	<b>Model</b>	<b>Accuracy</b>	<b>Precision</b>	<b>Recall</b>	<b>F1-Score</b>
1	Random Forest Base Model	0.908873	0.912551	0.905994	0.907894
2	Random Forest using Bagging	0.920863	0.922287	0.919127	0.920269
№	Balanced Random Forest	0.920863	0.922898	0.918815	0.920201
1	Random Forest with Correlation	0.923261	0.925669	0.921067	0.922584
2	Random Forest using Random Search	0.930456	0.932625	0.928448	0.929873
3	Random Forest using Grid Search	0.932854	0.934132	0.931324	0.932377

The problem of class imbalance, which often arises in machine learning tasks when one category of the target variable significantly outweighs others, was also considered. Class imbalance can lead to the model predicting the dominant class well, but performing poorly on less represented classes. To address this issue, various approaches were applied, such as data resampling (increasing the number of examples in the less represented class or decreasing the number of examples in the dominant class) and the use of specialized algorithms that account for class imbalance [18].

Table 4 – Results for Gradient Boosting Models

<b>№</b>	<b>Model</b>	<b>Accuracy</b>	<b>Precision</b>	<b>Recall</b>	<b>F1-Score</b>
1	Gradient Boosting Base Model	0.908873	0.911062	0.906618	0.908069
2	Gradient Boosting using Grid Search	0.918465	0.919588	0.916875	0.917887
3	Gradient Boosting using Random Search	0.918465	0.920154	0.916563	0.917818
4	Gradient Boosting with Correlation	0.923261	0.926409	0.920755	0.922512
5	Balanced Gradient Boosting	0.925659	0.927762	0.923631	0.925037
6	Gradient Boosting using Bagging	0.930456	0.933341	0.928136	0.92981

### Analysis of Results.

#### Random Forest models:

- The base model showed the lowest accuracy (90.89%).
- The best results were demonstrated by the model using Grid Search (93.29% accuracy).
- All improved versions of Random Forest outperformed the base model.
- Gradient Boosting models:
  - The base model had the lowest accuracy (90.89%).
  - The best results were shown by the model using Bagging (93.05% accuracy).
  - All modifications of Gradient Boosting outperformed the base version.

The main objective of the study was to predict consumer purchasing behavior using machine learning methods. The research analyzed the performance of Random Forest and Gradient Boosting models using various improvement techniques, including feature correlation consideration, Grid Search, Random Search, Bagging, and class balancing. The following results were obtained:

#### Random Forest:

- The base Random Forest model showed an initial accuracy of 90.89%, serving as a baseline for further improvements.

- Adding feature correlation to Random Forest increased accuracy to 92.33%, highlighting the importance of considering feature correlations.
- Using Bagging and Balanced Random Forest methods led to the same accuracy of 92.09%, demonstrating the effectiveness of these approaches in reducing variance and increasing model stability.
- Random Search and Grid Search methods provided the highest results, with accuracies of 93.05% and 93.29% respectively, significantly improving model performance through hyperparameter optimization.
- Gradient Boosting:
  - The base Gradient Boosting model also showed an initial accuracy of 90.89%.
  - Adding feature correlation to Gradient Boosting improved performance to 92.33%, confirming the importance of considering feature correlations.
  - Using Grid Search and Random Search led to an accuracy of 91.85%, indicating the effectiveness of these methods for fine-tuning the model.
  - Balanced Gradient Boosting and Gradient Boosting with Bagging showed the highest accuracy among all Gradient Boosting models, reaching 92.57% and 93.05% respectively, emphasizing their potential in improving model accuracy and robustness.

**Conclusions.** Based on the conducted research, it can be concluded that for tasks of predicting consumer purchasing behavior, adding feature correlation and using hyperparameter optimization methods such as Grid Search and Random Search significantly improve the performance of Random Forest and Gradient Boosting models. Class balancing and Bagging also demonstrated their effectiveness, especially in conditions of data imbalance. For tasks requiring high accuracy and reliability, it is recommended to use models that take into account correlation and have optimized hyperparameters.

## REFERENCES

1. Intelliarts. Machine Learning Implementation in Business [10 Uses Cases]. 2024. URL: <https://intelliarts.com/blog/machine-learning-business-applications/>
2. PixelPlex. Top 10 Machine Learning Applications in Business [2023 List]. 2023. URL: <https://pixelplex.io/blog/machine-learning-applications-in-business/>
3. Kaggle. Dataset for predicting consumer purchasing behavior. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/rabieelkharoua/predict-customer-purchase-behavior-dataset>
4. Simplilearn. Stock Market Prediction using Machine Learning in 2024. 2024.
5. Simplilearn. Master Guide on Machine Learning for Stock Prediction. 2024.
6. Phuoc T., Anh P.T.K., Tam P.H. et al. Applying machine learning algorithms to predict the stock price trend in the stock market – The case of Vietnam. *Humanities and Social Sciences Communications*. 2024;11:393.
7. Sonkavde G., Dharrao D.S., Bongale A.M. et al. Forecasting Stock Market Prices Using Machine Learning and Deep Learning Models: A Systematic Review, Performance Analysis and Discussion of Implications. *International Journal of Financial Studies*. 2023;11(3):94.
8. ProjectPro. Stock Closing Price Prediction using Machine Learning Techniques. 2024.
9. Zhao Y., Li L., Wang H., et al. On the Impact of Sample Duplication in Machine-Learning-Based Android Malware Detection. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*. 2021;30(3):Article 40. <https://chapering.github.io/pubs/tosem21impact.pdf>
10. Murphy K. P. (2012). *Machine Learning: A Probabilistic Perspective*. MIT Press.
11. Scikit-learn. Comparing Random Forests and Histogram Gradient Boosting models. URL: [https://scikit-learn.org/stable/auto\\_examples/ensemble/plot\\_forest\\_hist\\_grad\\_boosting\\_comparison.html](https://scikit-learn.org/stable/auto_examples/ensemble/plot_forest_hist_grad_boosting_comparison.html)

12. Scikit-learn. StandardScaler. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.preprocessing.StandardScaler.html>
13. Pedregosa F., Varoquaux G., Gramfort A., Michel V., Thirion, B., Grisel O., ... & Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825-2830.
14. Data Preparation URL: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.model\\_selection.train\\_test\\_split.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.model_selection.train_test_split.html)
15. Correlation analysis of data: What it is and how to apply it. Available at: <https://ua5.org>
16. Scikit-learn. Comparing randomized search and grid search for hyperparameter estimation. URL: [https://scikit-learn.org/stable/auto\\_examples/model\\_selection/plot\\_randomized\\_search.html](https://scikit-learn.org/stable/auto_examples/model_selection/plot_randomized_search.html)
17. Breiman, L. (1996). Bagging Predictors. *Machine Learning*, 24(2), 123-140.
18. He H., & Garcia E.A. (2009). Learning from Imbalanced Data. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 21(9), 1263-1284.

**Byvalkevych A.V., Dukhnovska K.K.**

*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine*

*nastyia\_byvalkevich@knu.ua, kseniia.dukhnovska@knu.ua*

## **VIRTUAL PLATFORM FOR VOLUNTEERS**

**Abstract.** *As a result, the Virtual Platform for Volunteers should become not just a tool, but a strategic resource that will change the way volunteer work is organized in Ukraine, giving it a new, modern dimension. The use of advanced technological solutions will not only optimize the processes of interaction between volunteers and those in need, but also guarantee transparency and convenience of making donations. The practical significance of such a platform will increase the efficiency of volunteer coordination and help ensure a quick and effective response to the urgent needs of society.*

**Keywords:** *Virtual Platform for Volunteers, Next.js, Vercel, CI/CD processes.*

**Introduction.** Modern Ukraine is going through a period of intense challenges caused by the ongoing war and social instability [1]. These circumstances have led to an increase in the need for volunteer assistance, which requires not only enthusiasm and sacrifice from individuals and groups, but also a high level of organization and coordination. The answer to these requirements is the development of a virtual platform aimed at ensuring a rapid response to urgent needs in times of crisis by improving coordination and communication between participants in volunteer initiatives. The platform should be focused on the Ukrainian audience, taking into account local needs and customs. As a result, the Virtual Platform for Volunteers should become not just a tool, but a strategic resource that will change the way volunteer work is organized in Ukraine, giving it a new, modern dimension. The use of advanced technological solutions will not

only optimize the processes of interaction between volunteers and those in need, but also guarantee transparency and convenience of making donations. The object of the study is the process of interaction between volunteers and organizations through the use of digital platforms. The subject of the study is the functionality of a virtual platform for volunteers, including registration, task management, and analytics.

The practical significance of such a platform will increase the efficiency of volunteer coordination and help ensure a quick and effective response to the urgent needs of society.

Overview of existing platforms. Scientists in many fields are engaged in optimizing the work of volunteers. For example, a study [2] showed that the health volunteer program in the primary health care system faces a number of problems, most of which are organizational and managerial. Therefore, a multifaceted approach should be used to improve the participation of health volunteers. In addition to motivational factors, factors such as allocation of adequate resources, empowerment of trainers, and community mobilization should also be considered.

Paper [3] explores the possibility of introducing income-generating activities for volunteers as a tool to increase their motivation, improve their well-being, and, as a result, reduce staff attrition.

Study [4] focuses on the creation of an intuitive web product that allows a volunteer with limited technical computer skills to create a useful website about a rare disease in a short time. This software product provides access to news and research results, promotes community participation, presents concise information about the disease, and allows for temporary management of volunteers who are likely to change periodically.

Study [5] aims to identify the key factors influencing the adoption and use of volunteer crowdsourcing technologies, in particular VGI, in urban governance. Using a combined Delphi method and a quantitative survey, as well as factor



analysis, the paper identifies the main components that explain the successful implementation of such technologies.

The Templet Web cloud service described in [6] opens up new opportunities for scientific research. Through the use of volunteer computing, the service allows democratizing access to high-performance computing and thus accelerating scientific progress.

In recent years, web-based volunteer platforms have gained great popularity as they provide the necessary tools to coordinate and support volunteer activities, raise funds, and interact with users. Analyzing the popular platforms, we can distinguish such basic functions as user registration and authorization, volunteer project management, tools for collecting donations and analyzing activities, as well as communication tools for effective information exchange between participants.

The main advantage of such platforms is the ability to attract a large number of volunteers from different regions, which ensures a wide coverage of initiatives. The platforms provide a high level of organization and efficiency, allowing volunteer organizations to manage resources and coordinate their activities in real time. Additionally, integration with modern payment systems simplifies the fundraising process and ensures transparency of financial transactions (Fig. 1).

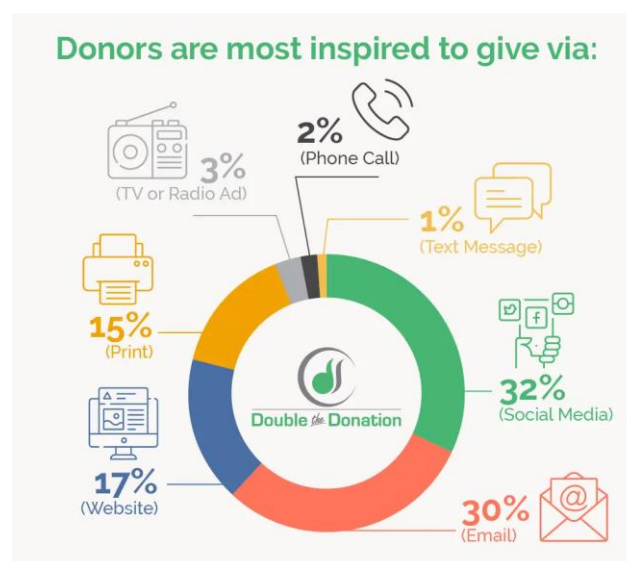


Figure 1 – Fundraising statistics [7]

However, there are some drawbacks. Data security is a critical aspect, as breaches in security systems can lead to the leakage of confidential information. In addition, the high dependence on technical support and the need for constant software updates can create additional difficulties for organizations with limited resources.

The management of volunteer activities on these platforms (Fig. 2) is often achieved through sophisticated project creation and management tools that allow volunteers to easily find and engage in relevant initiatives. Communication tools, such as forums, chats, and emails, ensure constant communication between participants, which increases overall efficiency and helps avoid misunderstandings and double work.

The Best Web and Mobile Apps to Use for Your Charity Efforts

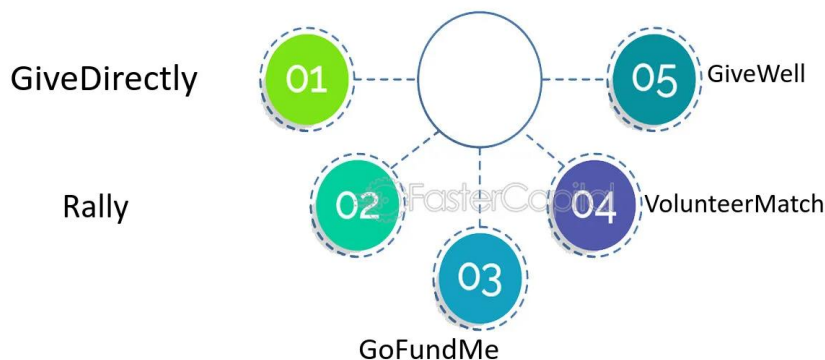


Figure 2 – Examples of the best web and mobile applications to support charitable initiatives [7]

An example is the GoFundMe platform [8], which is widely known for its ability to organize fundraising campaigns for various purposes. It allows users to quickly create a fundraiser, visualize progress, and engage donors through social media. Although effective for fundraising, the platform is not always ideal for managing long-term volunteer projects, as the main focus is on funding.

Another example is VolunteerMatch [9], which specializes in connecting volunteers with organizations that need help. The platform includes project management and participation tracking tools to help organizations effectively manage their volunteer resources. JustGiving [10] is another popular fundraising platform that provides tools for creating campaigns, automatic donation collection, and analytics. Its special feature is integration with social media, which allows users to spread information about their campaigns widely. The disadvantage may be a high payment processing fee, which can potentially alienate donors.

**Goal and objectives.** The purpose of the work is to develop a virtual platform to improve the efficiency of volunteer coordination and optimize resource allocation using digital technologies. Tasks - to achieve the goal, the following tasks were set and solved:

- designing a server architecture and developing scalable user components to implement a role-based system with the ability to create, edit, and track campaigns;
- implementing the platform, integrating a payment gateway to process financial transactions of volunteer contributions, and analyzing the results to assess the effectiveness of the platform and its impact on volunteer activities.

**Technology stack.** The choice of the technology stack for the development of the virtual platform for volunteers was driven by the need to create a reliable, scalable, and easy-to-maintain system. Next.js 14 improves page loading speed and optimizes SEO, which is critical to ensure high visibility of the platform in search engines. MongoDB Atlas is used as a cloud database, which provides flexibility and scalability, while Mongoose allows you to easily interact with MongoDB in a Node.js environment through a convenient API. Tailwind CSS and Ant Design provides a high level of customization and fast interface development without sacrificing performance, thanks to the utilitarian approach of Tailwind CSS and ready-made components from Ant Design. TypeScript provides strict

typing, which helps to increase code reliability and reduce errors during the development phase. As a payment gateway, Stripe was chosen for its reliability, security, and ease of integration with web applications. Clerk provides user authentication, secure and convenient session and authorization management. Firebase allows you to store images, quickly and securely upload and access media content. Nodemailer makes it easy to integrate email into the platform's business processes. Vercel provides convenience in managing the productive environment and CI/CD processes. The choice of each technology is based on its ability to meet specific project requirements.

For example, the choice of Next.js and MongoDB was driven by the need for rapid development, scalability, and ease of integration with other services and libraries. Stripe and Clerk were chosen for their ability to secure financial transactions and user data, respectively. On the server side, Node.js and MongoDB form the backend foundation, helping to manage data and processes. The client side is built on Next.js using React, which provides a rich interactive interface.

**Design and implementation.** To illustrate the functionality of the platform, we used a precedent diagram (Fig. 3), which demonstrates the main interactions between users of the system and its components, as well as a database diagram (Fig. 4), which shows the structure of storing data such as users, organizations, campaigns, and donors.

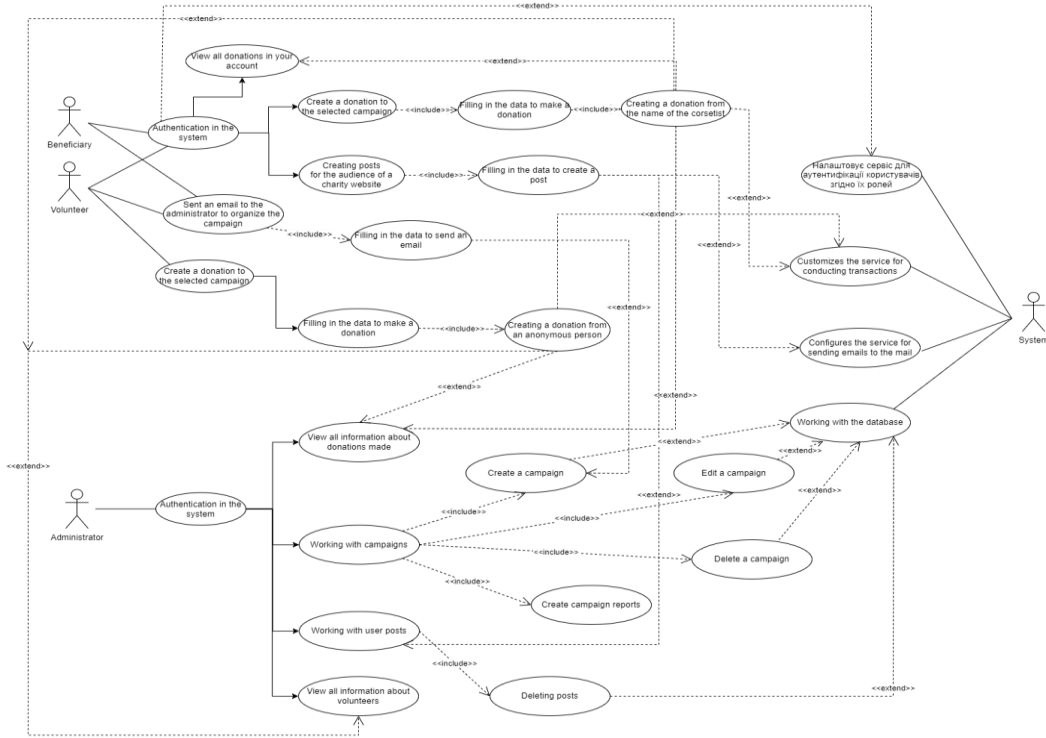


Figure 3 – Precedent diagram

The use case diagram helps to understand how the system supports various functions, such as authorization/authentication, creating and managing organizations, making donations, and access to analytics for administrators. Each user (actor) has a well-defined set of capabilities and actions that they can perform, and the system handles these requests accordingly.

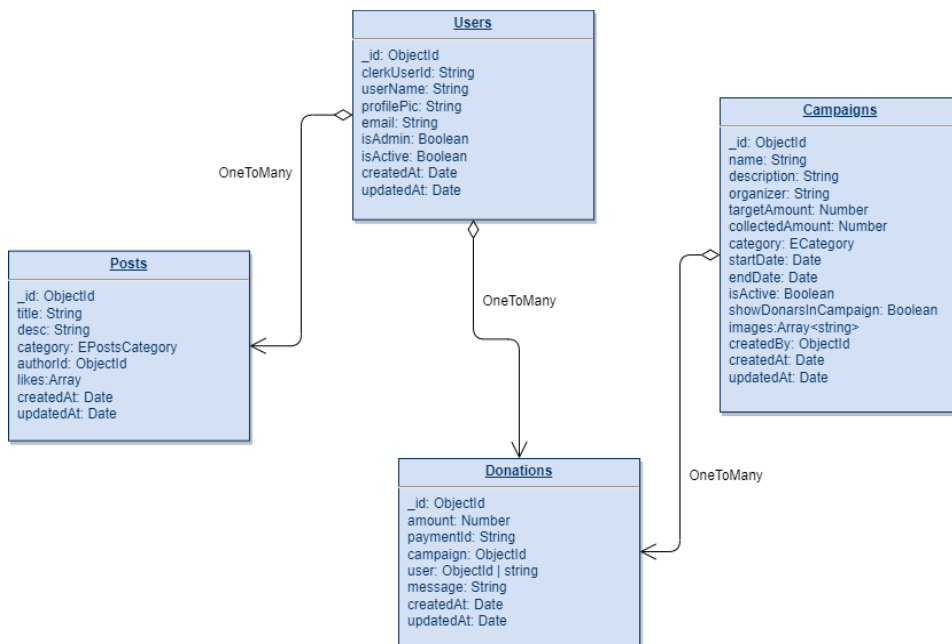


Figure 4 – Database diagram

The database diagram demonstrates the relationships between different tables and their elements, including how campaigns are linked to donors, and how users can create posts and manage their profiles. This ensures transparency of financial transactions, allows volunteers to easily manage their contributions, and allows administrators to monitor campaign performance and respond quickly to new requests.

The system architecture for the virtual platform is designed to provide flexibility, efficiency, and scalability in handling large numbers of users and data. The system consists of several high-level components (Fig. 5) that interact with each other through defined interfaces and protocols, thus ensuring the integrity and continuity of the service.

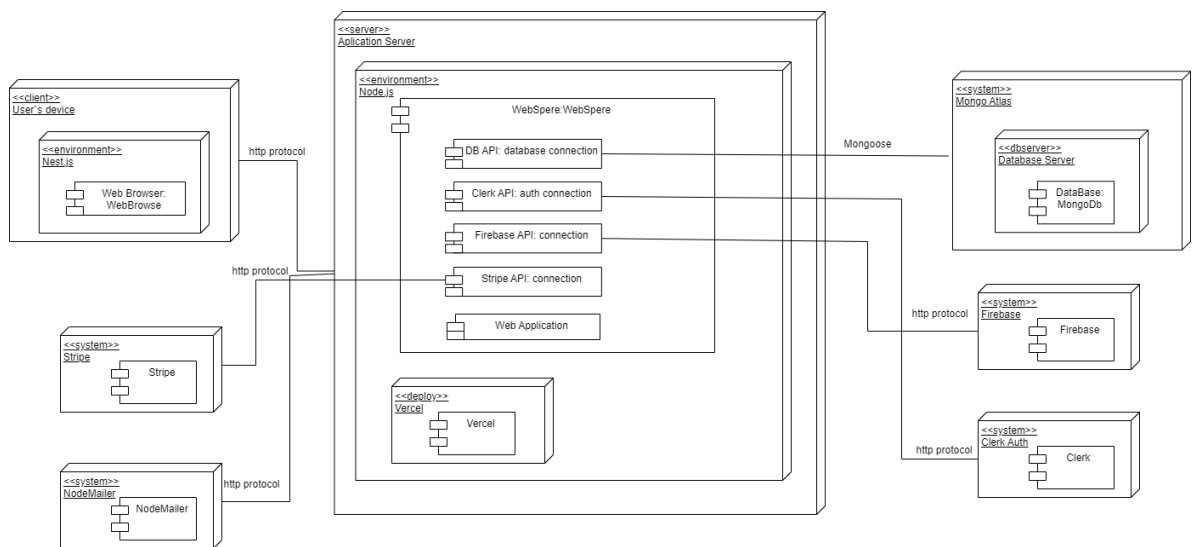


Figure 5 – Deployment diagram

The client side of the system is made in the form of a web application developed on the basis of Next.js, which allows you to take advantage of universal rendering (SSR - Server-Side Rendering). This improves the performance of the website, providing fast page loading and improved SEO optimization. Users interact with the platform through modern web browsers, which ensures wide accessibility and ease of use.

The backend is based on Node.js, which supports asynchronous request processing and high performance. Next.js, used as the main framework, handles the logic of the web application, including page rendering and route management.

The system is integrated with several external services:

MongoDB Atlas is used as the basis for data storage. This cloud database provides flexibility, scalability, and reliability of data storage.

Firebase is used to store images and other media files, which optimizes the management of large amounts of media data.

Stripe is integrated for payment processing, ensuring the security and reliability of financial transactions.

Clerk is used for user authentication, ensuring the protection of user data and sessions.

Nodemailer allows the system to send emails, which is important for ensuring communication with users.

The system is deployed on the Vercel platform [11], which provides easy deployment, scaling, and management of web applications developed in Next.js. Vercel optimizes performance through a global CDN and automated optimizations, which allows for high loading speeds and web application reliability. The platform also provides Continuous Integration and Delivery (CI/CD), automatically deploying new versions of the web application after each code update in the repository. This allows developers to focus on improving the product, reducing the technical barrier and shortening the time required to implement changes.

**Results.** The core program is designed to support and develop volunteer initiatives by providing a platform (see Figure 6) that connects volunteers, donors, and nonprofit organizations to facilitate effective fundraising and campaigns.

The screenshot displays the Ukraine Aid Fund website interface. At the top left is the logo for 'UKRAINE AID FUND'. The navigation menu includes 'Home', 'About', 'Campaign', 'Blog', 'Contact', and 'EN'. A 'Sign in' button is located in the top right corner. The main heading reads 'Help us Save the world'. Below this, a message states: 'Donate today to be a part of positive change in society. Your contribution will help us implement projects aimed at supporting and developing various charitable initiatives. Be the change you want to see in the world - join us today.' The interface features a search bar with 'Select Category' and 'Search by Organizer' options, along with 'Reset' and 'Filter' buttons. Three campaign cards are visible: 1) A red heart and a red first aid kit with a stethoscope, labeled 'тест' and showing '0 грн зібрано з 1000 грн' (0% progress). 2) A campaign for 'Збір на 10 000 000' (Fundraising for 10,000,000) for FPV-drones, Starlink, and transport for the 54th OMBR, showing '1000000 грн зібрано з 10000000 грн' (10% progress). 3) A campaign titled 'Готово' (Ready) for FPV-drones, Starlink, and transport for the 54th OMBR, showing 'Збір 15 мільйонів грн на FPV-дрони Стерненку та ударні й розвід-БПЛА для ССО та інших боєздатних підрозділів' (Fundraising 15 million UAH for FPV-drones Sternenku and strike and reconnaissance UAVs for SSO and other combat-ready units) and '7%' progress.

Figure 6 – Screenshots of the platform

An important feature of the program is its ability to adapt to the needs of different users through multilingual support, advanced authentication options, and various management functions. The main goal is to create a transparent and accessible environment where every participant can contribute to socially important projects and track the impact of their participation and contributions.

**Conclusions.** The unique value of this platform lies in its tailored approach to the specific needs of Ukrainian volunteers, including local language, cultural and logistical aspects. This localization addresses the lack of such specialized solutions on the market, providing an important tool for effective volunteer engagement during crises.

In addition, the introduction of advanced web technologies, such as server-side architecture and payment gateway integration, further enhanced the platform's efficiency. The project's focus on security, scalability, and user experience ensures that it not only meets current volunteer coordination requirements, but also sets the stage for future improvements.

Issues such as data security and technical support are recognized and addressed, ensuring not only functionality but also sustainability of the platform.



The design of the platform encourages broad user engagement, from individual volunteers to large organizations, making it a versatile tool for a variety of volunteer activities.

To summarize, the virtual platform for volunteers effectively meets the identified needs and objectives, demonstrating significant potential to improve volunteer management in Ukraine. Its development is timely, especially given the current social and military challenges in the region, and it offers significant practical utility and scalability for future adaptations.

## REFERENCES

1. Osadchenko I., Perepeliuk T., & Olkhovetsky S. (2023). Analysis of the psycho-emotional state of ukrainians and aspects of psychological assistance at the beginning of the current war.
2. Alimehr M., & Hashjin A.A. (2021). Challenges to volunteers' participation toward primary health-care system and providing managerial solutions. *Journal of Education and Health Promotion*, 10.
3. Riang'a R. M., Nyanja N., Lusambili A., Mwangi E.M., Ehrlich J.R., Clyde P., ... & Ngugi, A. (2024). Implementation framework for income generating activities identified by community health volunteers (CHVs): a strategy to reduce attrition rate in Kilifi County, Kenya. *BMC Health Services Research*, 24(1), 132 p.
4. Ye X.C., Ng I., Seid-Karbasi P., Imam T., Lee C. E., Chen, S. Y., ... & Wasserman, W. W. (2013). Portal for families overcoming neurodevelopmental disorders (PFOND): implementation of a software framework for facilitated community website creation by nontechnical volunteers. *JMIR Research Protocols*, 2(2), e2675.
5. Daneshvar F., Gandomkar A., Khademalhosseini A., & Nadimi Shahraki M.H. (2023). Pattern Recognition of New Urban Technologies from the

Perspective of Experts and Officials (Study case: Volunteer Geographic Information Systems (VGIS) Technologies). *Spatial Planning*, 13(2), pp. 69-92.

6. Vostokin S., Artamonov Y., & Tsarev D. (2018). Templet Web: the Use of Volunteer Computing Approach in PaaS-style Cloud, *Open Engineering*, 8 (1), pp. 50-56.

7. Nonprofit Fundraising Statistics to Boost Results in 2024. URL: <https://doublethedonation.com/nonprofit-fundraising-statistics/>.

8. Leading crowdfunding platform [Електронний ресурс]. URL: <https://www.gofundme.com/>.

9. More people. More impact. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.volunteermatch.org/>.

10. Online fundraising donations and ideas - JustGiving [Електронний ресурс]. URL: <https://www.justgiving.com/>.

11. Віртуальна платформа для волонтерів [Електронний ресурс]. URL: <https://crowd-funding-navy.vercel.app>.

**Doroshenko D.E.**

*student of the 4th year, Faculty of Mechanics and Mathematics, Oles Honchar  
Dnipro National University, Ukraine*

*dsniil2727@gmail.com*

## **MATHEMATICAL MODELING OF LEARNING PROCESSES AND PREDICTION OF STUDENTS SUCCESS**

In the modern educational environment, mathematical modeling is gradually becoming a powerful tool for analyzing and predicting student success. These models are based on mathematical methods and algorithms. They help identify key factors that can affect learning outcomes, and can also make predictions about the future success of students. As you can see, this will allow us to create and develop different individual approaches to learning and make important decisions regarding the improvement of the educational process.

It is quite well known that mathematical modeling in the field of education has quite different approaches. Namely, these are neural networks, regression analysis, Bayesian networks and, of course, machine learning methods. It is clear that these tools will allow us to analyze key indicators of success, to predict success and to analyze rather large educational losses.

My goal of this work is to review modern approaches to mathematical modeling of learning processes and predicting student success. I will also analyze their effectiveness and their ability to improve the quality of education.

*Consider the essence of mathematical modeling in education.* As is known from various information sources, mathematical modeling in education plays a key role based on data on student learning outcomes. This will allow us to build different models and be able to predict their success in the future. I would like to note that these models are able to take into account numerous factors, namely: attendance at classes, results of control classes, participation in various

extracurricular activities and the level of immersion in the educational process. According to Kaiser, mathematical modeling is considered as a creative process of interpretation of results and input changes to the model in order to determine, control or optimize the situation in order to understand the real one situations [3].

As you know, the main methods of modeling in education are regression analysis and the method of cluster analysis.

Regression analysis is an opportunity to determine the relationship between different variables (it can be the share of self-study material and the average score of the learning result).

Cluster analysis is a kind of opportunity to divide students according to similar characteristics and the opportunity to develop appropriate learning strategies for each group.

We will also consider other modeling methods:

Neural networks – they imitate the work of the human brain, and can reveal complex dependencies between various factors of the educational process [4].

Bayesian networks – they will allow us to build such probabilistic models - of the initial process, and to make the process based on existing data.

Machine learning methods – they automatically find patterns in large data sets and can improve their prediction accuracy with each new set of different information and improve their prediction accuracy with each new set of information.

*Let's consider the prediction of students' success.* Usually, predicting the success of students is a rather difficult task for ensuring the quality of education. Thanks to mathematical models, educators and the management of educational institutions can conduct an analysis in order to early identify students who cannot master the educational material at least at an elementary level, and can be excluded for negative academic results. It is clear that thanks to this prediction, a new opportunity opens up for us to implement preventive measures, such as

developing a different strategy for mastering the material and conducting other general and individual consultations.

Let's consider some basic criteria for predicting success:

Previous grades – on the basis of grades for previous courses, you can build regression models predicting learning outcomes in future semesters.

Time spent studying – you can use time series models that will allow you to predict and take into account the student's cognitive changes and influence his improvement in academic performance.

Activity in educational systems. Data from electronic learning management systems can serve as a basis for modeling student engagement and academic achievement.

*Let's consider the effectiveness of mathematical models in predicting the success of students.* Mathematical modeling shows us significant potential in predicting student success due to the ability to analyze a large amount of data. This will allow us to detect patterns that are difficult to notice using traditional methods. The models we use for forecasting range in complexity and accuracy, from simple linear regressions to complex neural networks. Let's consider each of them:

1. Machine learning algorithms are one of the most effective tools for predicting student success. They are powerful enough to create adaptive models that automatically learn based on new data and constantly improve their predictions. Machine learning itself is based on large data sets, such as exam preparation time, achievement scores, and more.

The most common machine learning algorithms for predicting success are: decision trees, logistic regression, and neural networks.

2. Accuracy of models and factors affecting performance.

The accuracy of mathematical models in forecasting depends on several factors:

- Data quality. The more and more accurate the data, the more accurate the forecast.
- Model selection. Simpler models often lack the power to account for all possible relationships between variables. In contrast, more complex models, such as neural networks or ensemble methods, can provide more accurate results, but require larger amounts of data and computational resources.

Model hyperparameters. The accuracy of the prediction also depends on the correct setting of the hyperparameters of the model.

### 3. Use of neural networks

Neural networks are a powerful tool for analyzing complex relationships between various student performance indicators. They use multi-layer structures to process data and are able to recognize patterns that are difficult to detect with other methods. They can also predict whether a student will succeed in a particular course or predict his grade in a particular discipline based on data about his previous achievements. Most interested in using methods and tools of data analysis are commercial enterprises deploying their projects on the basis of information data warehouses [2]. Ensuring data integrity is one of the most important components of data analysis.

The main advantage of neural networks is their ability to learn from new data and adapt to changes in student behavior. However, they require a lot of computing power and lengthy training, which can be a limitation for educational institutions with limited resources.

### 4. Problems and limitations of mathematical models

Despite their powerful effectiveness, mathematical models for predicting student success have some limitations.

Information gaps – data used for modeling may be incomplete or contain errors. This may be the case in some cases where students may not be using e-learning systems so actively that it may simply make it difficult to analyze their engagement.

Individual characteristics – these models often do not take into account emotional and motivational factors that can have a decisive influence on the student's success.

Overfitting – in these cases, when the model is too precisely adapted to the training data, it may not work effectively on new data sets. This means that the model may not be useful for changes in educational processes or student behavior.

5. Preventive measures based on forecasts – one of the key advantages of using mathematical models for predicting the success of students is the possibility of applying preventive measures. Educators can receive timely notifications about students who are at risk and take appropriate measures, such as individual consultations, adaptation of teaching materials or creation of individual study plans.

For example, if the model predicts that a student may have difficulty with a particular subject, additional resources or counseling can be offered. And, this already increases the chances of successfully completing the course and improving the overall quality of the educational process.

#### 6. Development prospects.

Mathematical models continue to improve along with the development of artificial intelligence and big data processing technologies. New approaches, such as deep learning and ensemble methods, make it possible to increase the accuracy of forecasts and make models more flexible to changes in data.

**Conclusion.** So, after conducting the analysis, it can be stated that the mathematical modeling of learning processes and predicting the success of students is a promising direction in the development of educational technologies. It is thanks to the use of mathematical methods and algorithms that educational institutions get the opportunity to improve the quality of the educational process, identify problems at early stages and implement preventive measures to improve academic results.

I would like to note that despite certain limitations, the use of mathematical models allows us to make the educational process more effective and individualized.

I hope that in the future we can expect the further development of such technologies, which will contribute to the improvement of teaching methods and increase the level of success of students

## REFERENCES

1. The use of statistical methods of analysis for adequate interpretation of the results of the success of students of higher education / V.P. Kuvachev et al. Collection of scientific and methodical works of TDATU. 2017. Issue 20. pp. 127-133.
2. Chilukuri K.C. A novel framework for active learning in engineering education mapped to course outcomes. *Procedia Computer Science*, 172, 2020. pp. 28-33.
3. Cooper R, Heaverlo C. Problem solving, creativity and design: How they affect subject interest STEM fields? *American Journal of Engineering Education*. 2013 year.
4. Innovative educational activity in higher education in the conditions of modern reforming of ukrainian educational system / I. Kuchynska et al. *Society. Integration. Education: Proceedings of the International Scientific Conference*. 2022. Vol. 1. pp. 168-183.
5. Zharovskyi R.O., Darmopuk D.V. Analysis of students' success based on GritNet technology. Materials of the IX scientific and technical conference of Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University "Information models, systems and technologies" (December 8-9, 2021). Ternopil: TNTU. 2021. P. 108.



**Maliava Andrii**

*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine*

*andriy\_m@knu.ua*

## **USAGE OF INFORMATIONAL SYSTEM IN SPHERE OF MEDICINE TO IMPROVE EFFICIENCY OF STERILIZATION PROCESSES**

**Annotation.** *This article examines the critical role of sterilization in healthcare, emphasizing its importance in preventing Surgical Site Infections (SSIs), which are a leading cause of postoperative complications worldwide. It highlights the disparities in sterilization practices between Low and Middle-Income Countries (LMICs) and High-Income Countries (HICs) due to economic constraints and varying access to technology. The article explores the potential of developing a globally accessible information system for sterilization management, sponsored by the World Health Organization (WHO). Such a system could offer customizable, efficient solutions tailored to the resources of different healthcare facilities, enhancing patient safety, reducing SSIs, and positively affecting both global healthcare and economic outcomes. The long-term benefits include lower infection rates, reduced healthcare costs, and improved public trust in healthcare systems.*

**Keywords:** *Sterilization, Surgical Site Infections (SSIs), Healthcare, Low and Middle-Income Countries (LMICs), High-Income Countries (HICs), World Health Organization (WHO), Information systems, Infection control, Healthcare technology, Patient safety, Economic impact, Global health, Healthcare reforms.*

**Introduction.** Sterilization is the process of eliminating all forms of microbial life, including bacteria, viruses, fungi, and spores, from medical instruments and surfaces to ensure they are safe for use. It is a critical process in healthcare that is present in the surgical life cycle in each and every country in the

world. When talking about surgery, sterilization is not a precaution but a necessity. Any fault or deviation from the strict requirements will probably result in a variety of dangerous situations that may lead to the death and severe injuries of a patient as well as a doctor. The importance of sterilization processes is confirmed by various healthcare organizations worldwide, including the World Health Organization. They officially launched a course in 2020 divided into sterilization and decontamination of instruments and medical devices [1].

Problems that we are facing nowadays are usually connected to the quality of sterilization, which varies across countries, largely due to their economic status. Countries are often categorized into Low and Middle-Income-Countries (LMICs) and High-Income-Countries (HICs) based on their gross national income (GNI) per capita. The World Bank defines Lower middle-income economies as those with a GNI per capita between \$1,136 and \$4,465; upper middle-income economies are those with a GNI per capita between \$4,466 and \$13,845; high-income economies are those with a GNI per capita of \$13,846 or more, according to the World Bank Country and Lending Groups [2][4].

Table 1 – Country category by GNI per capita [2]

Country category	Minimum GNI per capita	Maximum GNI per capita
Low and Middle-Income-Countries	\$1,136	\$4,465
Middle-Income-Countries	\$4,466	\$13,845
High-Income-Countries	\$13,846	–

LMICs frequently face challenges such as insufficient funding, which leads to outdated equipment, low-trained inexperienced staff, which negatively affects the quality of sterilization processes. Unlike LMICs, HICs typically allocate more resources to the research and development of high-efficient sterilization technologies, which results in lower surgical site infections (SSI). SSI are one of the most common and dangerous complications that arise from inadequate

sterilization. That can cause the development of pathogens that infiltrate a surgical wound, causing inflammation, delayed healing, and, in severe cases, sepsis or death. Surgical site infections are considered the reason for most postoperative deaths. Generally speaking, postoperative death is the third leading cause of death worldwide, accounting for 7.7% of global deaths in 2016 [3], which makes sterilization nowadays one of the most important.

## **2. STATEMENT OF THE PROBLEM**

Even in developed countries, like the United States, which is considered as a High Income country according to The World Bank [6], SSI affects thousands of people each year [3]. Despite achieved progress in the field of medical technology and sterilization, these infections remain a non-solved problem, underscoring the importance of continuous improvement of current sterilization practices. However, the current difference in efficiency of sterilization processes is clearly visible: infection rates in LMICs can reach as high as 70%, compared to 1.2%-5.2% in HICs, including the US [3].

Ukraine, according to the World Bank's 2024 data [5], is classified as an Upper-Middle-Income Country (UMIC), which is still is a part of the LMIC group. The Ukrainian healthcare system underwent significant reforms in the last 5 years and became more transparent and digitalized, which positively impacted disease control efficiency, but still faces challenges typical of LMICs. These include underfunding and outdated medical equipment, especially in rural areas, leading to a heightened risk of hospital-acquired infections (HAIs) and SSIs. While urban hospitals in Ukraine may have access to modern sterilization technologies, the disparity between rural and urban healthcare facilities is more visible and often results in inconsistent sterilization practices.

## **3. PROPOSED SOLUTIONS**

Sterilization efficiency can be achieved through enhanced staff training and the adoption of advanced technologies; however, these improvements often result in increased costs that LMICs may struggle to afford. Implementing information

systems is often a more cost-effective solution for enhancing sterilization practices in healthcare settings. These systems are typically less expensive than advanced sterilization technologies, making them more accessible to LMICs. Additionally, training staff to utilize information systems is generally more straightforward and less resource-intensive. As a result, information systems represent an affordable approach for LMICs to enhance sterilization efficiency, ultimately contributing to better infection control.

#### **4. CHALLENGES IN DEVELOPING GLOBAL STERILIZATION SOLUTIONS**

Currently, there are no widely available information systems specifically designed for sterilization processes that can be purchased by commercial hospitals or governments. While some private developments exist, they remain largely undisclosed as they are developed exclusively to meet the needs of the companies that requested them. The absence of accessible solutions creates a major gap in the healthcare market, especially for LMICs that face challenges with limited resources. Many hospitals in these countries lack the funding to invest in expensive, custom-made information systems designed for sterilization processes. This situation leaves healthcare providers in LMICs without the tools they need to effectively monitor and manage sterilization practices. As a result, hospitals in LMICs often struggle to maintain high standards of patient safety, and the risk of SSI remains high. Without affordable, ready-to-use solutions, these healthcare facilities are forced to rely on outdated sterilization technologies, which can further compromise the quality of care they provide.

Developing a single, ready-to-use information system for sterilization processes is a challenging task due to the diverse standards and requirements across different countries and private medical organizations. Each healthcare facility has its own specific needs based on factors like available resources, staff training, and local regulations. As a result, any effective system would need to function like a modular constructor, allowing organizations to customize their

setup according to the resources they can provide and the capabilities of their staff. The system should intelligently adapt to these variations, determining the most efficient methods for sterilizing, accounting for, storing, and managing medical instruments.

Additionally, creating such a system poses significant challenges related to security. Since it involves handling sensitive personal information, including patient data, the system must meet very high security standards. This is essential not only to protect patient confidentiality but also to comply with various data protection regulations, such as the General Data Protection Regulation (GDPR)[7] in Europe, the Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA)[8] in the United States, and the Personal Information Protection and Electronic Documents Act (PIPEDA)[9] in Canada. Each of these regulations imposes strict requirements regarding how personal data must be collected, stored, and processed, and non-compliance can result in severe penalties.

Because of the complexities of developing a single, ready-to-use information system, this requires global collaboration. It is difficult for any single country, even a highly developed one, to undertake such a comprehensive project alone due to the immense challenges of meeting various standards, security demands, and legal requirements across different regions. However, a solution could be found through the leadership of an international organization like the World Health Organization (WHO).

The WHO could play a game-changing role in sponsoring, organizing, and overseeing the development of such software. By providing financial support and bringing together experts from various fields—medical, technological, and legal—the WHO could ensure that the system is developed with maximum compatibility. A WHO initiative would help to establish universal standards for sterilization processes, while allowing the system to remain flexible enough to fulfill the specific requirements of individual countries and organizations. This

modular approach would enable healthcare facilities to customize the software based on their resources, staffing, and regulatory environment.

## **5. ADVANTAGES OF IMPLEMENTING INFORMATION SYSTEMS IN STERILIZATION**

The development of such a system would have such a positive impact on sterilization processes and healthcare worldwide. For LMICs, the system would offer an affordable and scalable solution, allowing them to improve sterilization practices without the prohibitive costs of custom software development. It would enable healthcare facilities in LMICs to ensure compliance with best practices, reduce the risk of SSIs, and, as a result, enhance patient safety. This approach would help LMICs overcome the challenges of limited resources, outdated equipment, and insufficient staff training.

High-Income Countries would also benefit significantly from such a system. While many HICs already have advanced healthcare infrastructure, a unified information system could streamline and enhance their existing sterilization processes. By adopting a globally recognized system, hospitals and healthcare networks could improve integration, enabling more consistent and efficient monitoring and management of sterilization procedures. Furthermore, by using a standardized system, HICs could avoid the high costs associated with developing, managing, and maintaining their own custom sterilization solutions. Instead of investing heavily in proprietary systems that may quickly become outdated or need continuous updates, healthcare providers could rely on a system developed and supported on a global scale.

Both LMICs and HICs would benefit greatly from the widespread implementation of this system. The reduction of SSIs would result in fewer postoperative complications, shorter hospital stays, and reduced healthcare costs for both governments and private healthcare providers. Additionally, it would help lower the global burden of antibiotic-resistant infections, as fewer patients would require treatment for preventable infections.

Moreover, by shortening recovery periods, this system would positively affect the economy, especially in LMICs. Patients would be able to return to work and daily activities sooner, reducing the economic strain on families and healthcare systems. This improvement in recovery time would have a direct impact on the economic development of LMICs, where prolonged hospital stays and the inability to work can severely affect livelihoods. By improving patient outcomes and increasing the overall safety of medical procedures, the software would also enhance public trust in healthcare systems worldwide.

## **6. PROJECTED OUTCOMES WITHIN THE FIRST YEAR OF IMPLEMENTATION**

In just one year, healthcare facilities could see a measurable reduction in SSIs, leading to fewer postoperative complications and a decrease in healthcare costs. The shorter recovery periods would start positively affecting workforce productivity, especially in Low and Middle-Income Countries, where a quicker recovery can have an immediate impact on economic growth and stability. Public trust in healthcare would also begin to rise as patient outcomes improved.

## **7. PROJECTED OUTCOMES WITHIN THE TEN YEARS OF IMPLEMENTATION**

Over the span of ten years, the cumulative benefits would be even more substantial. Both LMICs and HICs would see a significant reduction in the global burden of antibiotic-resistant infections, as fewer patients would require antibiotics to prevent infections. The long-term cost savings from fewer infections, shorter hospital stays, and less need for custom sterilization solutions would benefit both governments and private healthcare providers. The economic growth driven by healthier populations and increased productivity would be particularly transformative for LMICs.

## **8. LONG-TERM BENEFITS OF IMPLEMENTATION**

Over a lifetime, the system would lead to sustained improvements in global healthcare. By continuously evolving with new technologies and regulatory

changes, the system would ensure that sterilization practices remain efficient and secure worldwide. This would result in higher overall patient safety, lower healthcare costs, and stronger public trust in healthcare systems. The long-term impact on global public health would be profound, with healthier populations contributing to more robust economies, particularly in developing nations.

## REFERENCES

1. World Health Organization Decontamination and sterilization of medical devices. URL: <https://openwho.org/courses/IPC-DECON-EN>.
2. The World Bank Middle Income Countries. URL: <https://www.worldbank.org/en/country/mic/overview>.
3. Instrument Sterilization and Surgical Site Infections in Low and Middle Income Countries by Marina Cura. URL: [https://www.researchgate.net/publication/378165625\\_Instrument\\_Sterilization\\_and\\_Surgical\\_Site\\_Infections\\_in\\_Low\\_and\\_Middle\\_Income\\_Countries](https://www.researchgate.net/publication/378165625_Instrument_Sterilization_and_Surgical_Site_Infections_in_Low_and_Middle_Income_Countries).
4. World Bank Country and Lending Groups. URL: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups>.
5. The World Bank Data Ukraine Information. URL: <https://data.worldbank.org/country/ukraine>.
6. The World Bank Data United States Information. URL: <https://data.worldbank.org/country/united-states>.
7. General Data Protection Regulation. URL: <https://gdpr.eu/>.
8. Health Insurance Portability and Accountability Act. URL: <https://www.hhs.gov/hipaa/index.html>.
9. Personal Information Protection and Electronic Documents Act. URL: <https://laws-lois.justice.gc.ca/eng/acts/p-8.6/index.html>.



**Volodymyr Nakonechnyi, Vladyslav Lutsenko**

*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine*

*nvc2006@i.ua, vladyslav.lutsenko99@gmail.com*

## **BLOCKCHAIN-BASED MODELS AND METHODS FOR PROTECTING DATA AGAINST UNAUTHORIZED ACCESS**

**Abstract.** *Blockchain era has received massive interest for its capacity to decorate records protection in a variety of applications, from monetary offerings to healthcare. This article explores how blockchain-primarily based totally fashions and techniques offer strong safety in opposition to unauthorized records access, leveraging decentralized architecture, cryptographic techniques, and consensus mechanisms. It examines the strengths and boundaries of numerous blockchain protection frameworks and highlights capacity regions for destiny research.*

**Keywords:** *Blockchain, data protection, unauthorized access, decentralized architecture, cryptographic security, consensus mechanisms, permissioned blockchain, permissionless blockchain, smart contracts, decentralized identity management, data encryption, immutable ledger, cybersecurity, data privacy, access control models, scalability, regulatory compliance, interoperability, hybrid blockchain solutions.*

**Introduction.** In the virtual age, facts has end up one of the maximum precious assets, and shielding it towards unauthorized get entry to is a number one challenge for businesses throughout industries. Traditional facts safety methods, at the same time as powerful to a few extent, are an increasing number of challenged through state-of-the-art cyber threats, together with facts breaches, insider attacks, and different styles of unauthorized get entry to. As a result, there

may be a developing want for modern answers which can provide more potent safety for touchy information [1].

Blockchain technology, to start with advanced because the spine of cryptocurrencies like Bitcoin, has emerged as a promising answer for information security. With its decentralized, immutable ledger and cryptographic foundations, blockchain can probably revolutionize the manner information is stored, accessed, and protected.

### **Blockchain Fundamentals and Security Features**

To recognize how blockchain can decorate facts protection, it's far critical to comprehend its center ideas and safety features. At its center, blockchain is a disbursed ledger that data transactions in a decentralized way throughout a community of nodes. Each transaction is grouped right into a block, that is cryptographically connected to the preceding block, growing a series of blocks or a "blockchain." This shape guarantees that facts is immutable, which means it can not be altered or deleted as soon as recorded [2].

A key function of blockchain era is decentralization, which removes the want for a government or middleman to control the ledger. This decentralized structure distributes records throughout a couple of nodes, making it tremendously resilient to attacks.

Blockchain additionally employs consensus mechanisms to make sure settlement amongst members at the kingdom of the ledger. Consensus algorithms, consisting of Proof of Work (PoW), Proof of Stake (PoS), and Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT), save you fraudulent sports with the aid of using requiring community members to validate transactions. These mechanisms make sure that almost all of nodes have to agree at the validity of every transaction, making it extraordinarily tough for a unmarried entity to control the data [3].

### **Blockchain-Based Models for Data Protection**

Various blockchain-primarily based totally fashions were evolved to beautify facts safety towards unauthorized get right of entry to. One essential

difference is among permissioned and permissionless blockchains. Permissionless blockchains, along with the ones used for cryptocurrencies, permit absolutely everyone to enroll in the community and take part within the consensus process. These blockchains provide an excessive degree of decentralization and transparency, making them appropriate for public programs in which consideration amongst members is limited. However, they'll now no longer be best for situations that require strict get right of entry to controls and privacy.

Permissioned blockchains, on the alternative hand, limit community participation to legal entities only. This version is greater ideal to organization environments in which statistics safety and privateness are paramount. Permissioned blockchains provide a stability among decentralization and control, permitting businesses to keep strict get admission to controls at the same time as cashing in on the transparency and safety of blockchain technology [4].

Within those varieties of blockchains, numerous get admission to management fashions had been proposed to defend data. One not unusual place version is Role-Based Access Control (RBAC), wherein get admission to rights are assigned primarily based totally at the person's position inside an organization. By retaining a decentralized ledger of person roles and permissions, blockchain guarantees steady get admission to management throughout all nodes, lowering the threat of unauthorized get admission to.

### **Blockchain-Based Methods for Data Protection**

Blockchain era additionally permits numerous techniques to decorate facts safety in opposition to unauthorized access. One of the maximum distinguished techniques is facts encryption and garage [5].

Blockchain may be incorporated with superior encryption techniques, which includes Advanced Encryption Standard (AES) and Rivest-Shamir-Adleman (RSA) encryption, to stable facts earlier than it's miles saved on-chain or off-chain. For big volumes of facts, decentralized garage answers just like the InterPlanetary File System (IPFS) may be used along with blockchain to make

sure facts confidentiality and availability. In this setup, touchy facts is encrypted and saved off-chain, even as cryptographic hashes of the facts are saved on-chain, presenting a tamper-evidence reference that may be used to affirm facts integrity [6].

Blockchain additionally gives sturdy auditing and tracking capabilities. The immutable nature of blockchain guarantees that every one get admission to tries and transactions are completely recorded in a tamper-evidence ledger. This audit path may be used for real-time tracking and auditing, supporting businesses come across and save you unauthorized get admission to whilst making sure compliance with regulatory requirements. The transparency and traceability of blockchain statistics additionally facilitate responsibility and consider amongst stakeholders [7].

### **Case Studies and Applications**

Several real-global packages reveal the effectiveness of blockchain-primarily based totally fashions and strategies in protective statistics in opposition to unauthorized access. In healthcare, for instance, blockchain is getting used to steady affected person records, hold privacy, and make sure statistics integrity. Blockchain`s immutability and decentralization make it an excellent answer for handling touchy scientific statistics, because it prevents unauthorized changes and presents a obvious audit path for regulatory compliance [4].

In deliver chain management, blockchain complements transparency and safety with the aid of using monitoring statistics and property throughout the deliver chain. By recording each transaction and statistics change on a decentralized ledger, blockchain reduces the hazard of fraud, counterfeiting, and unauthorized access. This functionality is specifically precious for industries inclusive of pharmaceuticals, in which the integrity of the deliver chain is essential to make certain product protection and authenticity [2].

## **Challenges and Limitations**

While blockchain gives several blessings for facts protection, it isn't without its demanding situations and limitations. One tremendous subject is scalability. As blockchain networks grow, the quantity of facts saved at the blockchain increases, main to longer processing instances and better garage costs. This difficulty is mainly acute in permissionless blockchains, wherein each node need to shop a duplicate of the whole ledger. Several solutions, including sharding and off-chain transactions, had been proposed to deal with scalability, however they arrive with trade-offs in phrases of protection and complexity [7].

Another challenge is the high energy consumption associated with certain consensus mechanisms, such as Proof of Work (PoW). PoW requires participants to solve complex mathematical puzzles to validate transactions, which consumes significant computational resources. Alternative consensus mechanisms, such as Proof of Stake (PoS) and Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT), are being explored to reduce energy consumption, but they may have their own security vulnerabilities and limitations [8].

Interoperability is every other issue, as integrating blockchain with present structures and requirements may be complex. Many companies have legacy structures that might not be like minded with blockchain technology, requiring sizable funding in integration and migration efforts. Additionally, the shortage of standardized protocols and frameworks for blockchain improvement can result in fragmentation and prevent collaboration amongst stakeholders.

## **Future Directions and Research Opportunities**

To absolutely comprehend the capability of blockchain for records protection, in addition studies and innovation are needed. One promising place of studies is the improvement of extra energy-green and scalable consensus algorithms. For example, new algorithms, consisting of Proof of Authority (PoA) and Delegated Proof of Stake (DPoS), purpose to lessen the computational assets required for consensus at the same time as preserving security.

Hybrid blockchain answers, which integrate the strengths of public and personal blockchains, provide any other road for innovation. These answers can offer the transparency and decentralization of public blockchains whilst keeping the manage and privateness of personal blockchains. By allowing steady statistics sharing amongst a couple of events with out compromising privateness, hybrid blockchains have the ability to conquer some of the boundaries of modern-day blockchain models [9].

The integration of blockchain with rising technologies, together with synthetic intelligence (AI), the Internet.

**Conclusion.** Blockchain generation gives a promising framework for reinforcing information safety in opposition to unauthorized access. By leveraging its center principles of decentralization, immutability, cryptographic security, and consensus mechanisms, blockchain offers a strong basis for protecting touchy data in diverse applications, from healthcare to finance. Blockchain-primarily based totally models, along with permissioned and permissionless networks, and strategies like clever contracts, decentralized identification management, and encryption techniques, display the capacity to deal with most of the demanding situations confronted with the aid of using conventional information safety strategies.

However, the implementation of blockchain for facts safety isn't always with out its challenges. Issues associated with scalability, electricity consumption, regulatory compliance, and interoperability ought to be cautiously considered. As studies maintains to discover extra green consensus mechanisms, hybrid blockchain solutions, and integrations with rising technologies, the capability of blockchain to revolutionize facts safety turns into more and more more apparent [10].

Ultimately, blockchain affords a transformative method to statistics protection, providing new fashions and techniques that could appreciably lessen the hazard of unauthorized access. Continued innovation, collaboration amongst

stakeholders, and model to regulatory necessities may be crucial to absolutely harness the electricity of blockchain and create a extra steady virtual surroundings for all.

## REFERENCES

1. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Retrieved from <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
2. Zheng Z., Xie S., Dai H., Chen X., Wang H. An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends. IEEE International Congress on Big Data, 557-564. doi:10.1109/BigDataCongress.2017.85.
3. Kosba A., Miller A., Shi E., Wen Z., Papamanthou C. Hawk: The Blockchain Model of Cryptography and Privacy-Preserving Smart Contracts. IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), 839-858. doi:10.1109/SP.2016.55.
4. Yaga D., Mell P., Roby N., Scarfone K. Blockchain Technology Overview. National Institute of Standards and Technology (NIST). doi:10.6028/NIST.IR.8202.
5. Xu X., Weber I., Staples M. Architecture for Blockchain Applications. Springer. doi:10.1007/978-3-319-99058-3.
6. Wood G. Ethereum: A Secure Decentralized Generalized Transaction Ledger. Ethereum Project Yellow Paper. Retrieved from <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf>.
7. Kshetri N. Can Blockchain Strengthen the Internet of Things? IT Professional, 19(4), 68-72. doi:10.1109/MITP.2017.3051335.
8. Christidis K., Devetsikiotis M. Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. IEEE Access, 4, 2292-2303. doi:10.1109/ACCESS.2016.2566339.
9. Zyskind G., Nathan O. Decentralizing Privacy: Using Blockchain to Protect Personal Data. IEEE Security and Privacy Workshops, 180-184. doi:10.1109/SPW.2015.27.

10. Casino F., Dasaklis T. K., Patsakis C. A Systematic Literature Review of Blockchain-Based Applications: Current Status, Classification, and Open Issues. *Telematics and Informatics*, 36, 55-81. doi:10.1016/j.tele.2018.11.006.



**Irma Šileikienė<sup>1</sup>, Romanas Tumasonis<sup>1</sup>, Valentina Pleskach<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Vilniaus Kolegija, Higher Education Institution Saltoniškių str. 58, Vilnius, LT-08105 Lithuania*

<sup>2</sup>*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Volodymyrska St, 60, Kiev, 01033, Ukraine*

## **INFORMATION SECURITY MEASURES FOR A PROCRASTINATION-COMBATTING DIGITAL SOLUTION**

**Abstract.** *This paper explores various security frameworks, threat modeling, and risk management techniques, the assignment provided a thorough theoretical backdrop against which practical security measures can be developed and implemented. Covering critical aspects of security such as authentication, data privacy, session management, and compliance with legal standards like GDPR, the work not only addressed potential vulnerabilities identified through threat modeling but also set a solid framework for implementing these security features practically. This comprehensive approach ensures that the prototype is not only functional but also secure from various cybersecurity threats. Moreover, it showcased how security and functionality can be balanced effectively, paving the way for potential future development and real-world application of the prototype.*

**Keywords:** *Information security, security frameworks, security requirements, security measures, risk management.*

**Introduction.** The integration of technology into every day has greatly improved personal and professional productivity. However, this digital expansion has also exposed users to complex cybersecurity challenges (Thakur, 2024). Applications designed to enhance productivity are particularly vulnerable, as they frequently manage large volumes of sensitive data, making them prime targets for

cyber threats. In this context, the role of information security is paramount, safeguarding against data breaches, unauthorized access, and other threats that undermine user privacy and trust. Thus, robust information security measures are fundamental for maintaining the confidentiality, integrity, and availability of data.

Given the complexity of modern cyber threats, which now include advanced tactics like social engineering, ransomware, and sophisticated malware attacks, digital solutions require robust and comprehensive security protocols, as well as the ability to adapt to the rapidly changing landscape of cyber risks (Rajasekharaiah et al., 2020). Additionally, the international scope of digital application deployment mandates adherence to various data protection laws, such as GDPR and CCPA. This complex environment highlights the need for continuous improvement in security strategies to maintain user trust and ensure the integrity of personal data.

Therefore, the intersection of information security and application development is a critical area of study and application. This study aims to bridge the gap between application development and robust cybersecurity practices, ensuring that digital solutions are not only effective in addressing human behavioral issues like procrastination but are also secure against both current and potential future cyber threats.

The objectives of this work:

1. **Analyze Existing Digital Security Frameworks:** To assess their applicability to productivity applications, particularly those designed to combat procrastination.

2. **Develop Security Requirements:** Formulate specific security strategies designed to protect digital solutions from both current and emerging cyber threats.

3. **Implement and Evaluate Security Measures:** Apply these security measures in a prototype environment and evaluate their effectiveness through systematic testing, refining the approach based on empirical results and user feedback.

## 1. Theoretical Foundations and Security Frameworks

### Definition and Importance of Information Security

Technological advancement offered unique solutions to age-old problems, among which procrastination stands out as a complex issue affecting individuals' productivity and well-being. As digital solutions emerge to address this challenge, the significance of embedding robust information security measures cannot be overstated (Rajasekharaiah et al., 2020). The development of applications designed to mitigate procrastination through behavior modification underscores the necessity of ensuring these solutions not only fulfill their intended purpose but also safeguard users' data and privacy.

Information Security is the practice of protecting digital assets such as data, networks, systems, and devices from unauthorized access, use, disclosure, disruption, modification, or destruction. It encompasses a range of practices, technologies, and processes designed to safeguard digital information and ensure the confidentiality, integrity, and availability of critical resources (NIST, 2012).

The importance of ISM in today's digital environment is multifaceted, addressing the need to protect against cyber threats, comply with regulatory requirements, mitigate economic and social impacts, enable secure digital transformation, and enhance user trust. As the digital landscape continues to evolve, the role of ISM will only grow in significance, underscoring the need for ongoing investment in information security practices, technologies, and skills.

### The CIA Triad

Information security consists of several key principles, each fulfilling a distinct role in addressing the complex threats and vulnerabilities within digital environments. These principles include confidentiality, integrity, and availability (van der Ham, 2021).

Confidentiality ensures that sensitive information is accessed only by authorized individuals and is protected from those who are not permitted to access it. In digital solutions, particularly those managing personal productivity,

confidentiality can be upheld through the use of encryption, secure user authentication methods, and stringent access controls (Al-Janabi & Al-Shourbaji, 2021). For instance, a digital application designed to combat procrastination may store user data related to personal goals and daily activities, which should be accessible only by the user and not be exposed to unauthorized access.

Ensuring confidentiality is paramount not only for user trust but also for the application's credibility and long-term viability. Users entrust applications with their data, expecting that their information will be handled with the utmost discretion. Breaches in confidentiality can lead to loss of user trust, legal repercussions, and potential harm to individuals whose data may be exposed. Achieving confidentiality requires a complex approach, incorporating both technical measures and organizational policies. Techniques to ensure confidentiality include encryption, access control mechanisms, and data classification policies that dictate the levels of secrecy and the measures required to protect each classification level.

In procrastination-addressing applications, the integrity of data stands as a pillar of user trust and application efficacy. Integrity refers to the assurance that information is protected against unauthorized alteration or deletion and that it accurately reflects the original intended content as created, transmitted, or stored by the user. This principle ensures that the data presented and acted upon by both users and application algorithms remains true to its source, untainted by corruption or unauthorized manipulation. Integrity protection mechanisms include cryptographic hash functions, digital signatures, and version control systems. These measures help detect unauthorized changes, prevent data tampering, and ensure that data remains consistent, accurate, and valid over its entire lifecycle.

Availability, the third cornerstone of the CIA Triad, is pivotal for the functionality and reliability of digital solutions. Ensuring the availability of productivity applications involves a comprehensive strategy that incorporates

redundancy, fault tolerance, regular maintenance, disaster recovery planning, load balancing, and vigilant monitoring. For applications targeting behavioral changes like procrastination, the uninterrupted availability is tightly linked to the application's ability to effectively support users in achieving their goals. Service interruptions not only impede user progress but can also foster frustration and reduce motivation, undermining the application's purpose d (Khidzir et al., 2018).

## Security Threats and Vulnerabilities

### Overview of Common Security Threats

The cybersecurity area is continuously evolving, marked by an array of diverse and sophisticated threats. These threats, ranging from malware to sophisticated denial of service attacks, endanger the confidentiality, integrity, and availability of digital data.

Malware represents a significant threat, encompassing various forms of malicious software such as viruses, worms, and trojans. Viruses, for example, can replicate themselves and spread across networks, corrupting data and disrupting operations. Worms operate similarly but do not require human action to propagate, making them particularly virulent. Trojans disguise themselves as legitimate software, creating backdoors in security to facilitate further illicit activities. Each type of malware can cause extensive damage to digital systems, compromising both personal and corporate data.

Phishing Attacks leverage social engineering to deceive users into divulging sensitive information. These attacks typically occur through email, where attackers impersonate legitimate institutions to lure victims into entering personal data on fraudulent websites. Phishing is especially dangerous because it exploits human vulnerability, bypassing many technical safeguards.

Ransomware is a specific type of malware that encrypts a victim's files, demanding payment to restore access. These attacks directly impact data availability and can halt business operations, leading to significant financial losses and erosion of trust among users.

Denial of Service (DoS) and Distributed Denial of Service (DDoS) Attacks disrupt services by overwhelming systems with a flood of traffic. DoS attacks originate from a single source, whereas DDoS attacks are distributed across numerous compromised devices. These attacks aim to render websites and online services inoperative, causing operational disruption and damaging reputational trust.

### Security Vulnerabilities and their Implications for Productivity Applications

The evolution of the cybersecurity threat landscape poses significant challenges for productivity applications as well, as essential tools underpinning both individual productivity and organizational efficiency. These applications, encompassing a broad range of communication platforms to project management tools, serve as repositories for vast amounts of sensitive data, rendering them prime targets for cyber threats (Ghelani, Tan, & Koduru, 2022).

When attackers manipulate SQL queries to gain unauthorized access or modify a database, the consequences can be severe. This type of vulnerability not only leads to data breaches but also erodes user trust and can result in substantial legal and financial repercussions under data protection laws such as GDPR.

Furthermore, vulnerabilities that allow attackers to inject malicious scripts into web pages expose users to risks of sensitive information theft, such as session tokens. In environments where applications offer collaborative features, such security breaches can severely undermine the platform's credibility and reduce user confidence in the safety of their data.

Issues with authentication processes are equally concerning. Inadequate authentication mechanisms provide easy entry points for attackers, leading to unauthorized access and potential data leaks. The repercussions extend beyond data integrity, affecting user access and the overall reliability of the application. These disruptions are particularly detrimental in applications relied upon daily for

personal management and productivity, directly impacting user satisfaction and trust.

The exposure of sensitive data due to insecure APIs or poor encryption practices can attract significant regulatory attention, resulting in heavy fines and damage to the organization's reputation. Moreover, operational disruptions from attacks like DDoS not only degrade service quality but can also lead to substantial downtime, frustrating users and compromising the effectiveness of the application.

To address these challenges, adopting a security-by-design approach throughout the application development lifecycle is critical. By implementing rigorous testing, compliance checks, and user education, developers can mitigate risks and reinforce the security framework of their applications. This proactive stance on security not only safeguards against specific vulnerabilities but also enhances user trust and compliance with international standards and regulations.

### Risk Management in ISM

#### Risk Assessment Methodologies

Risk assessment is a fundamental aspect of information security management, providing a systematic process for identifying vulnerabilities and evaluating the risks associated with potential security threats. The methodologies employed in risk assessment can vary widely, each with its approach to quantifying and managing risk (Hussain, 2022).

Risk assessments are generally categorized into two types: qualitative and quantitative. Qualitative assessments focus on subjective analysis of the impact and probability of risks based on expert opinion and industry knowledge. This type often results in risk prioritization on a scale such as low, medium, or high. Quantitative assessments, on the other hand, aim to assign numerical values to risks, calculating potential impacts in financial terms or other measurable units. This approach can provide a more objective basis for comparing risks and allocating resources (Kuzminykh et al., 2021).

### **Common Methodologies:**

**OCTAVE (Operationally Critical Threat, Asset, and Vulnerability Evaluation):** Developed by Carnegie Mellon University, OCTAVE is a framework that focuses on organizational risk and security practices. It is particularly suited for larger organizations looking to integrate business objectives with risk-based security strategies (Ciscopress, 2017).

**FAIR (Factor Analysis of Information Risk):** FAIR is a quantitative risk assessment methodology that helps organizations understand, analyze, and quantify information risk in financial terms. It is useful for making informed decisions about security investments and risk management priorities (Ciscopress, 2017).

**Risk IT Framework:** Designed by ISACA for IT-related risk, the Risk IT framework provides a comprehensive guide for enterprises to identify, govern, and manage IT risk. It helps organizations align IT risk management with overall enterprise risk management.

Adapting these methodologies to digital solutions involves considering the specific characteristics and requirements of the application. For instance, a digital tool designed to combat procrastination might utilize OCTAVE to assess organizational risks involving user data security and system availability. FAIR could be employed to quantify the financial impact of potential breaches or downtime, aiding in decision-making about where to focus security efforts. The Risk IT framework can guide the overall risk governance structure, ensuring that all IT risks are systematically managed in line with the application's strategic goals (Tucker, 2018).

### **Identifying, Prioritizing, and Mitigating Risks**

Effective risk management in digital applications requires identifying, prioritizing risks and implementing appropriate mitigation strategies. This integrated approach ensures that the most critical risks are addressed with effective solutions to protect the application and its users.



The first step in risk management is to identify potential risks. This involves a thorough analysis of the entire ecosystem of the digital application, including software components, user interactions, data flows, and external integrations. Techniques such as brainstorming sessions, expert interviews, and the use of automated tools can help uncover potential vulnerabilities. For digital applications aimed at combating procrastination, risks might include unauthorized access to user data, data leakage, or service interruptions that could derail users' productivity improvements (Kuzminykh et al., 2021).

Once identified, risks are prioritized based on their potential impact on the application and the likelihood of their occurrence. Tools such as risk matrices and SWOT analysis help in assessing risks to focus resources and attention on the most significant threats. Prioritization considers factors like the severity of impact, regulatory compliance requirements, and operational criticality.

The next crucial step is to implement strategies to mitigate those risks. Risk avoidance might be applied to eliminate threats, such as opting for more secure alternatives in technology or redesigning vulnerable system components. Where risks cannot be entirely avoided, reduction strategies are crucial and may include deploying advanced security measures like encryption, stringent access controls, and adherence to secure coding practices. In scenarios where risks cannot be internally managed, sharing through insurance or outsourcing to third-party vendors with specialized security expertise can be effective. Risk acceptance is considered for less critical risks, where the cost of mitigation exceeds the potential impact. Integral to these strategies are implementing robust preventative, detective, and corrective controls. Preventative controls are designed to prevent security incidents, detective controls to identify and react to incidents as they occur, and corrective controls to recover from incidents and restore normal operations. Continuous monitoring and regular review of these controls are essential to ensure they remain effective and are adjusted in response to evolving threats and business needs.

## Security Frameworks and Standards

### Overview of Established Frameworks

Established frameworks provide comprehensive guidelines and best practices for establishing, implementing, maintaining, and continually improving information security.

ISO/IEC 27001 is one of the most prevalent international standards for information security management systems (ISMS). It outlines a systematic approach to managing sensitive company information so that it remains secure. It includes people, processes, and IT systems by applying a risk management process. This standard is particularly useful for organizations that need to demonstrate their commitment to information security to clients or regulatory bodies through formal certification (ISO/IEC, 2022).

The NIST Cybersecurity Framework developed by the National Institute of Standards and Technology in the United States. The framework is used globally to improve cybersecurity across industries. It provides a policy framework of computer security guidance for organizations that want to assess and improve their ability to prevent, detect, and respond to cyber incidents. The NIST Framework is flexible and can be tailored to the specific needs of individual organizations, regardless of their size or sector (National Institute of Standards and Technology, 2019).

COBIT is a comprehensive framework for IT governance and management developed by ISACA. It is designed to be a supportive tool for managers and allows for bridging the gap between technical issues, business risks, and control requirements. COBIT's principles and tools aim to provide a holistic approach to IT management, focusing on maximizing the value of information by aligning IT processes with business objectives.

### Application to Procrastination-Addressing Digital Solutions

Integrating established ISM frameworks and standards into digital solutions that focus on combating procrastination and enhancing productivity is critical for

ensuring robust security while supporting functional and user-centric design. These frameworks provide a structured approach to safeguarding sensitive user data and maintaining application integrity, which are crucial for applications that handle personal productivity data.

Applications designed to manage procrastination often collect detailed data on user habits, preferences, and productivity patterns. Adhering to standards like ISO/IEC 27001 and the NIST Cybersecurity Framework helps ensure that this data is handled securely and responsibly. These frameworks provide guidelines for implementing comprehensive data protection measures that respect user privacy while preventing unauthorized access and data breaches (ISO/IEC, 2022).

Trust is a cornerstone of applications focused on personal productivity, as users need to feel confident that their sensitive data is in safe hands. Compliance with recognized security standards demonstrates a commitment to data protection, which can be a significant factor in user adoption and retention. For instance, aligning with GDPR and other privacy regulations not only meets legal requirements but also positions the application as trustworthy and reliable.

Digital solutions for procrastination need to be agile and responsive to changes in user behavior and technological advancements. Frameworks like COBIT can guide developers in managing IT risks that could affect the application's performance and security. These include risks from new software updates, integration with other apps, or evolving cyber threats. A structured risk management process enables developers to identify potential vulnerabilities early and adapt their security strategies accordingly.

Procrastination-management applications benefit from a continuous improvement approach to security. This involves regular security audits, user feedback loops, and updates to security policies as part of the lifecycle management prescribed by frameworks like ISO/IEC 27001. Continuous improvement helps ensure that the application adapts to new security challenges

and evolving user expectations, thus maintaining its effectiveness and competitive edge.

Table 1 – Frameworks Comparison

Framework	Focus Area	Key Features	Applicability to Procrastination-Combating Apps
ISO/IEC 27001	Comprehensive ISMS	Systematic approach, risk management, control implementation	High - versatile for all app types
NIST Cybersecurity	Cybersecurity risk management	Core functions (Identify, Protect, Detect, Respond, Recover), tailored to organizational needs	Medium - ideal for critical infrastructure apps
COBIT	IT governance and management	Aligns IT with business goals, ensures compliance, optimizes resources	Low - more suitable for enterprise IT management
PCI DSS	Payment card data security	Secure data processing, strong access control, network infrastructure security	Medium - essential for apps handling payments
GDPR	Data protection and privacy	Data subject rights, data protection principles, regulatory compliance	High - mandatory for apps used by EU residents

Evaluating security frameworks is essential for determining their suitability in addressing the unique requirements and challenges of procrastination-combatting applications. The Table 1. examines the effectiveness and applicability of established frameworks within the context of such applications, considering factors such as comprehensiveness, flexibility, and alignment with regulatory requirements.

#### Privacy and Data Protection

##### Data Protection Laws

Data protection laws play a crucial role in safeguarding personal information, particularly for applications that collect and process user data to

manage behaviors such as procrastination. Understanding these regulations is essential for ensuring legal compliance and safeguarding user privacy.

As one of the most stringent privacy and security laws in the world, the General Data Protection Regulation (GDPR) affects any entity that processes the data of EU citizens, regardless of the entity's location. For procrastination-addressing applications, this means adhering to principles of lawfulness, transparency, and consent. The GDPR mandates that users must explicitly consent to the collection and use of their data, which must be collected for specified, explicit, and legitimate purposes. Furthermore, users have the right to access their data, correct inaccuracies, and request the deletion of their data under certain circumstances ((EU General Data Protection Regulation [GDPR], 2018).

California Consumer Privacy Act (CCPA) gives California residents the right to know what personal data is being collected about them, whether their personal data is sold or disclosed, and to whom. It also grants the right to object to the sale of personal data and the right to access their data. For apps focusing on productivity and procrastination, which might collect detailed user activity data, compliance involves implementing processes to manage user data access requests efficiently and transparently (California Legislative Information, 2018).

Depending on the nature of the procrastination management app, other specific laws might also apply. For instance, apps that integrate health tracking or mental well-being aspects might need to comply with the Health Insurance Portability and Accountability Act (HIPAA) in the U.S., which protects sensitive patient health information from being disclosed without the patient's consent or knowledge. Developers must also stay informed about emerging laws in other regions, such as Brazil's LGPD or India's proposed Personal Data Protection Bill, which introduce additional compliance requirements and could impact global operations.

## Relevance to Digital Solutions

Applications designed to manage procrastination often collect and analyze extensive personal data to provide customized advice and track user progress. The sensitivity of this data and the potential consequences of its misuse make robust data protection practices a fundamental requirement for these digital solutions.

Procrastination management applications typically gather data that users consider private, such as details about personal goals, daily routines, and behavioral patterns. This data can reveal much about a person's lifestyle, health, and psychological state. As such, protecting this information is a legal obligation under laws like GDPR and CCPA and also a critical aspect of maintaining user trust. Any breach that leads to unauthorized access could have severe repercussions, damaging the users' trust and the application's reputation.

Users of digital productivity tools have high expectations regarding the privacy and security of their data. They trust these applications to not only help them manage their time more effectively but also to protect the personal information they share. Failing to meet these expectations can lead to loss of trust, user attrition, and severe reputational damage.

The specific nature of data collected by procrastination-management apps increases their risk exposure, making them potential targets for cyber threats such as data breaches or unauthorized access. These risks are not only technical but also legal and ethical, as mishandling personal data can lead to significant legal repercussions under laws like GDPR or CCPA.

Non-compliance with data protection laws can result in hefty fines and legal actions. Beyond the financial implications, non-compliance can erode user confidence, impacting the application's marketability and long-term viability. For instance, a breach in user data privacy can trigger a decline in user engagement, negatively affecting the overall effectiveness of the app in managing procrastination.

## Compliance Strategies

Ensuring compliance with data protection laws is critical for applications that help users manage procrastination. These laws not only protect users but also build trust and enhance the credibility of digital solutions.

Procrastination-combatting digital solutions should adopt a data minimization approach, collecting only the necessary information required for their functionality. By limiting data collection to essential elements, such as user preferences or task schedules, these applications can minimize the potential impact of data breaches and unauthorized access.

Moreover, implementing robust user consent mechanisms is paramount to ensuring compliance with privacy regulations. Procrastination-combatting apps should obtain explicit consent from users before collecting, processing, or sharing their data. Transparent disclosure of data practices and clear opt-in/opt-out options empower users to make informed decisions about their data usage, fostering trust and accountability.

Incorporating privacy by design principles into the development process is integral to building privacy-centric procrastination-combatting solutions. By embedding privacy considerations into every stage of product design and development, from concept ideation to deployment, developers can proactively address privacy risks and vulnerabilities. Privacy-enhancing features, such as end-to-end encryption and anonymization techniques, should be prioritized to safeguard user data against unauthorized access and misuse.

Ongoing compliance monitoring and auditing are essential components of an effective privacy and data protection strategy. Procrastination-combatting app developers should establish internal processes for regularly assessing compliance with relevant regulations, conducting privacy impact assessments, and maintaining comprehensive audit trails. External audits by independent third-party assessors can provide additional validation of compliance efforts, demonstrating a commitment to transparency and accountability.

## Designing Security Requirements for a Procrastination-Addressing Digital Solution

This document outlines the security requirements for a prototype of a mobile application designed to combat procrastination issue through gamification and task management. The objective is to develop a security framework that not only protects user data but also aligns with global security standards, ensuring the application's integrity and trustworthiness.

The security requirements specified in this document are structured to provide a comprehensive approach to safeguard the application from inception through deployment and operation. Inspired by the OWASP Mobile Application Security Verification Standard (MASVS), this work aligns with globally recognized best practices tailored specifically to the mobile environment (OWASP, 2024).

### Architecture, Design, and Threat Modeling

#### Architecture, Design, Threat Modeling

The prototype is conceptualized to engage users with a dynamic interface that helps manage tasks effectively while encouraging progress through gamified elements. As a prototype aimed at demonstrating potential functionalities and security strategies, it incorporates best practices in software architecture and mobile application security.

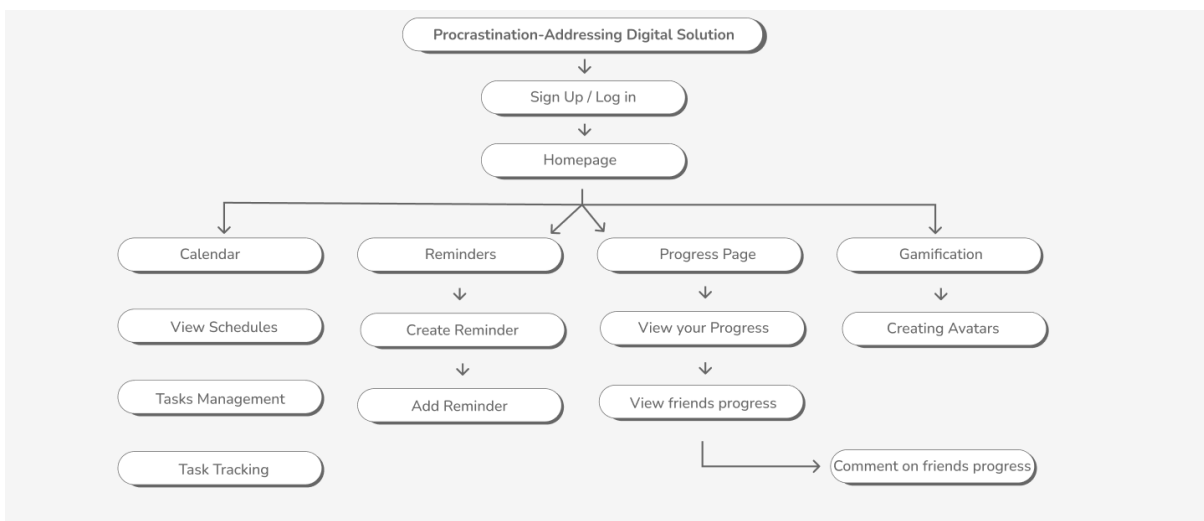


Figure 1 – Information Architecture



The architecture of the digital solution encompasses multiple layers, each serving distinct functions while contributing to the overall security and usability of the application. At the presentation layer, the use of frameworks like React Native or Flutter ensures a responsive and engaging user interface across different mobile platforms. This layer is meticulously designed to handle user inputs, display task-related information, and manage interactive elements with a focus on usability and accessibility.

Beneath the presentation layer lies the business logic layer, where the core functionalities of the application reside. This layer processes user requests, manages task data, and orchestrates gamification features to incentivize user engagement and productivity. Hosted on a secure cloud platform, the business logic layer leverages cloud-native services and best practices to ensure scalability, reliability, and resilience against potential security threats.

The data storage layer, situated at the foundation of the architecture, is responsible for persistently storing user data, task-related information, and application settings. Utilizing encrypted database solutions, this layer employs industry-standard encryption algorithms and access control mechanisms to safeguard sensitive data from unauthorized access and malicious tampering. Additionally, data integrity checks and redundancy measures are implemented to mitigate the risk of data corruption or loss.

### Threat Modeling

Threat modeling is a crucial step in identifying and assessing potential security risks to our procrastination-addressing digital solution. Each category of threat identified by STRIDE is analyzed to determine its potential impact on the system and the likelihood of its occurrence. This detailed analysis informs the prioritization and resource allocation for security measures (Hajrić et al., 2020).

In the digital solution, spoofing identity refers to the risk where unauthorized individuals may attempt to gain access to the system by impersonating legitimate users. This could occur through phishing attacks where

attackers deceive users into providing their login credentials. The likelihood of such incidents is considered medium given the common nature of these tactics despite robust authentication mechanisms. The impact, however, is high as successful spoofing attacks could lead to unauthorized access to sensitive user data and personal information, severely undermining user trust and data integrity. To mitigate this risk, implementing multi-factor authentication and conducting regular security awareness training for users are essential steps. Prioritizing these measures is critical due to the high potential impact on the system's integrity and user privacy.

Tampering involves unauthorized alterations to data or system configurations. Within the productivity-combatting application, this might manifest as unauthorized changes to user-set tasks or personal goals, potentially through cross-site scripting (XSS) or SQL injection attacks where attackers inject malicious code into the system. The likelihood of tampering is low due to stringent input validation and access controls. However, the impact of such an event is high as it could corrupt the accuracy of user data and disrupt the application's functionality. Ensuring data integrity is therefore a medium priority, with continuous implementation of secure coding practices, regular code reviews, and comprehensive access control mechanisms as our primary defenses (Rouland et al., 2021).

Information disclosure poses a significant threat to this application, especially concerning the unauthorized access to or exposure of personal user data through breaches or leaks. The likelihood of this threat is high, as data breaches continue to be prevalent in the digital landscape, often through compromised security systems or insider threats. The impact is deemed very high due to the potential for severe privacy violations and subsequent legal and reputational damage. Consequently, this threat is a very high priority, and robust measures, including advanced encryption, comprehensive data access policies,

A Denial of Service (DoS) attack aims to make the digital solution unavailable to legitimate users, typically by overwhelming the system with excessive requests. The likelihood of such attacks is medium, reflecting the general risk across digital platforms. The impact is also medium, as service disruptions can degrade user experience but usually do not result in permanent damage. Mitigating DoS attacks is a medium priority, with strategies such as deploying anti-DDoS protections and ensuring scalability and redundancy in our hosting infrastructure.

Elevation of privilege involves attackers gaining higher-level permissions than intended, allowing them to execute actions that should be restricted. While the likelihood of this occurring is low due to stringent access controls, the potential impact is very high as it could lead to extensive unauthorized access and system damage. Preventing such escalation is a high priority, necessitating rigorous enforcement of the principle of least privilege, regular audits of user permissions, and the deployment of anomaly detection systems to quickly identify unauthorized attempts to elevate privileges. Table 2 below presents a summary of key threats identified along with their potential impact, likelihood, priority, and corresponding mitigation strategies.

Table 2 – Threat Analysis

<b>Threat</b>	<b>Impact</b>	<b>Likelihood</b>	<b>Priority</b>	<b>Mitigation Strategy</b>
Spoofing Identity	High	Medium	High	Multi-factor authentication, security awareness training
Tampering with Data	High	Low	Medium	Input validation and parameterized queries, least privilege access controls
Repudiation	Medium	Medium	Medium	Content security policies, sanitize user input to prevent script injection
Information Disclosure	Very High	High	Very High	Advanced encryption, enforce data access policies, conduct continuous monitoring
Denial of Service	Medium	Medium	Medium	Anti-DDoS protections, ensure scalability and redundancy
Elevation of Privilege	Very High	Low	High	Principle of least privilege, regular audits, anomaly detection systems

## Data Storage and Privacy

### Data Management

Effective data management is fundamental to the development of the prototype mobile application. Given the diverse range of user-generated content and operational data involved, adopting a systematic approach to data collection, storage, and processing is crucial. This approach must align with global data protection standards, particularly the General Data Protection Regulation (GDPR), to ensure the privacy and security of user data, especially for potential users within the European Union (Lambert, 2023).

In the context of data collection and classification, the application will only collect essential data required for delivering its services. This includes personal information for account setup, task details for functionality, and interaction data for enhancing user experience. Personal information, such as names and email addresses, will be gathered with explicit user consent, accompanied by clear explanations regarding the purposes and benefits of data submission. Task details, including deadlines and notes, will be treated with utmost confidentiality due to their personal nature. Additionally, data on user interactions with the application's features will be handled judiciously to maintain user privacy while leveraging insights to refine functionality.

To ensure the security of data storage and access, the application will leverage encrypted cloud services, employing robust encryption protocols such as Advanced Encryption Standard (AES-256) for data at rest and Transport Layer Security (TLS) for data in transit. Role-Based Access Control (RBAC) will be implemented to regulate data access within the application, with strict user permission policies based on predefined roles to prevent unauthorized data access.

Data retention and compliance are also critical considerations. The application will adhere to a concise data retention policy, limiting the duration of stored data to what is strictly necessary for its intended purposes. Users will have control over their data management, including the ability to update or delete their

information, empowering them to maintain control over their data. Furthermore, the application will be designed to comply with relevant privacy laws, incorporating mechanisms to address user rights under GDPR, such as data portability and the right to erasure (Kollnig et al., 2021).

#### Privacy Enhancements

Data anonymization serves as a critical method in protecting user privacy, especially when handling data that could reveal personal user behaviors or preferences. In the prototype, anonymization is applied to user interaction data, which includes general metrics on app usage patterns and feature engagement. This data is processed to remove or obscure any personally identifiable information (PII), employing techniques such as pseudonymization and aggregation (Personal Data Protection Commission Singapore [PDPC], 2018).

Pseudonymization replaces identifiers with pseudonyms, severing the direct link between data sets and user identities, while aggregation combines data points from multiple users to create a non-identifiable dataset that prevents the reverse engineering of individual profiles. These measures significantly reduce the risk of privacy breaches and ensure that the data used for improving app functionalities and conducting analytics cannot be traced back to any individual user.

#### Cryptography Requirements

The implementation of robust cryptographic measures is paramount, as it helps securing user data and ensuring that communications between the application and its servers are shielded against interception and tampering. The application will incorporate advanced encryption protocols to safeguard data at every stage of its lifecycle:

*Data Encryption at Rest:* Given the sensitive nature of personal and task-related information, the application will employ the Advanced Encryption Standard (AES) with a 256-bit key for encrypting data stored within its databases and on user devices. AES-256 is renowned for its robustness, and a meticulous

key management system, including hardware security modules (HSMs) and key rotation procedures, will be implemented to securely manage encryption keys (OWASP, n.d.).

*Data Encryption in Transit:* Transport Layer Security (TLS) version 1.3 will be utilized for encrypting all data transmitted between the mobile application and the server. TLS 1.3 offers improved security and efficiency, ensuring that data in transit remains confidential and unaltered. The application will enforce HTTPS across all API endpoints to guarantee encrypted communication channels.

The prototype will leverage cryptographic hash functions, incorporating salted hashes to enhance the security of stored credentials. Salted hashes prevent attackers from efficiently using precomputed tables (e.g., rainbow tables) to crack passwords, significantly bolstering the application's security posture (Daisie Team, 2023).

For sensitive operations like financial transactions, the application will employ challenge-response authentication mechanisms. This approach safeguards against man-in-the-middle attacks by ensuring that intercepted communications do not expose reusable credentials.

#### Authentication and Session Management

Effective authentication and session management are fundamental to securing user interactions within mobile applications. These mechanisms not only verify user identities but also ensure that users are authorized to perform actions within their sessions without compromising security. For the mobile application prototype focused on reducing procrastination and gamification, implementing robust authentication and reliable session management is imperative to protect against unauthorized access and session hijacking.

- To strengthen the authentication process, the prototype will require users to provide multiple forms of verification. This includes SMS-based verification, the use of authentication apps and backup codes. MFA significantly

reduces the risk of unauthorized access even if one credential component is compromised.

Depending on the sensitivity of the actions being performed or the user's login behavior, the system may invoke additional security checks. For instance, if a login attempt is made from a new device or location, the system will prompt for additional verification steps or send an alert to the user's primary email. The prototype will enforce strong password policies requiring users to create passwords with a mix of characters, numbers, and symbols. Passwords will be stored using salted hash functions to ensure that stored credentials are not in plain text. Additionally, the prototype will integrate features for password recovery and reset that are secure and user-friendly.

Maintaining the integrity and security of user sessions is crucial to preventing session-related attacks such as session hijacking and fixation:

- Sessions will have an automatic timeout limit to reduce the risk of unauthorized access when devices are left unattended. For sessions requiring extended duration, periodic re-authentication will be necessary, especially before accessing sensitive features or data.
- Session tokens will be generated using cryptographic methods to ensure they are unique and cannot be guessed or reused. These tokens will be securely stored on the device and validated on the server for each session-related request.
- Proper session termination practices will be implemented to ensure that sessions are securely ended when users log out or after periods of inactivity. This includes invalidating session tokens both client-side and on the server.

To ensure that the authentication and session management systems remain secure against emerging threats, the prototype will undergo regular security reviews and updates. This includes updating authentication protocols and session management strategies to incorporate new security practices and respond to new vulnerabilities discovered in the technology landscape.

## Platform Interaction

In the design of digital solutions aimed at combating procrastination, understanding the user and system interactions is paramount to identifying potential security risks. The prototype involves complex interactions where users manage tasks, engage socially, and earn rewards based on their activities.

Table 3 below categorizes the different types of user interactions within the application, identifying potential security risks and proposing mitigation strategies for each interaction type. The core functionalities where user interaction is most prevalent include account creation and management, task management, social interactions, and the reward system. Each interaction point involves specific data points such as emails, usernames, passwords, task descriptions, and personal details, which are susceptible to various security threats. For instance, account creation and management are critical areas vulnerable to account takeovers and data breaches. This necessitates robust security measures such as CAPTCHA, two-factor authentication (2FA), and rate limiting to prevent unauthorized access and safeguard user information.

Table 3 – User and System Interaction Analysis

<b>Interaction Type</b>	<b>Description</b>	<b>Data Points</b>	<b>Security Concerns</b>	<b>Mitigation Strategies</b>
Account Creation and Management	Users create accounts and manage profiles	Email, username, password, personal details	Vulnerable to account takeover, and data breaches	Implement CAPTCHA, two-factor authentication (2FA), and rate limiting
Task Management	Users input and manage tasks	Task descriptions, categories, deadlines	Unauthorized access, and data manipulation risks	Use data validation and user authentication to secure access
Social Interaction	Users participate in groups, chat, and challenges	Messages, group memberships, interactions	Harassment, spreading of malware, privacy breaches	Content filtering, user reporting, and blocking mechanisms



<b>Interaction Type</b>	<b>Description</b>	<b>Data Points</b>	<b>Security Concerns</b>	<b>Mitigation Strategies</b>
Reward System	Users earn and spend points on virtual goods	Points, item purchases, reward history	Exploitation of reward mechanisms, unfair manipulation	Monitor for unusual activity, and validate transactions server-side

### Implementing and Evaluating Security Measures for a Prototype in Figma

The primary objective of our work is to implement and evaluate the security measures designed within a digital solution prototype to combat procrastination. This work bridges theoretical security planning and practical application, showcasing how advanced security protocols can seamlessly integrate into a user-centric digital environment. The focus is on enhancing the prototype's security while maintaining ease of use and ensuring compliance with relevant data protection laws.

The prototype, designed using Figma, simulates a mobile application that provides task management tools enhanced with social features to engage users in a productive and secure environment. The prototype includes detailed user interaction flows for registration, authentication, account management, and privacy settings, emphasizing robust security measures such as multi-factor authentication (MFA), data encryption, and compliance with the General Data Protection Regulation (GDPR).

#### Registration and Authentication Flow

The registration and login processes are designed to ensure user identity verification while maintaining a balance between security and user convenience. These processes are critical for preventing unauthorized access and protecting user data from potential security breaches.

The application supports various authentication methods to cater to user preferences and security needs. This includes traditional email/password combinations and more seamless integrations with third-party authentication

providers like Google and GitHub. Figure 2. below provides a more detailed visual presentation of this process.

For third-party authentication providers, the application uses OAuth, a widely accepted open standard for access delegation. It allows users to grant websites or applications access to their information on other websites but without giving them the passwords. This is particularly useful for enhancing user experience by simplifying the login process and reducing password fatigue.

All data transmitted during the registration and login processes is encrypted using SSL/TLS, ensuring that user credentials and other sensitive information are securely transmitted over the internet.

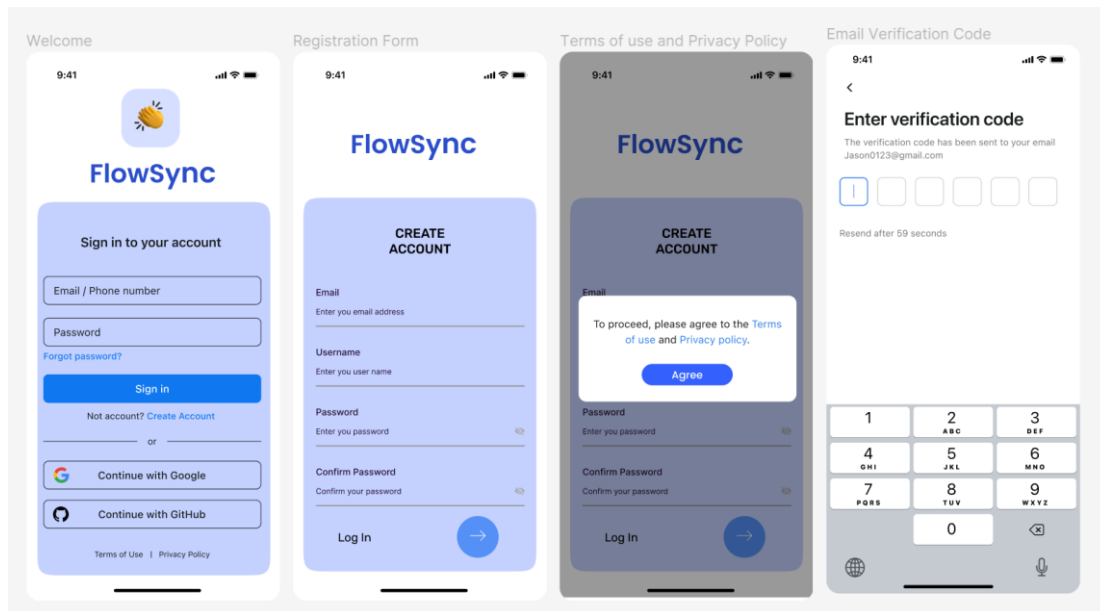


Figure 2 – Registration process flow

MFA adds an additional layer of security by requiring two or more verification factors, which significantly decreases the risk of unauthorized access. The application provides several options for MFA, each designed to meet different user needs and security levels. The visual process is presented in the Figure 3.

- **SMS-based Verification:** Users receive a one-time password (OTP) via SMS, which they must enter in addition to their regular password. This method is widely used due to its simplicity and relatively strong security profile. The system utilizes a reliable SMS gateway provider to ensure timely delivery of

OTPs. This method leverages the user's access to a mobile device as a form of something they have, adding a physical layer of security. SMS-based OTP is popular and widely understood by users, making it a practical choice for initial MFA implementation.

- **Authentication App** (e.g., Google Authenticator): Recommended for users seeking higher security, this method involves generating a time-based OTP through an app installed on the user's smartphone. The application uses a Time-Based One-Time Password (TOTP) algorithm, which creates a new password at fixed intervals, ensuring that each password is only valid for a short period. Unlike SMS, which can be intercepted, TOTP requires physical access to the user's smartphone, providing a higher level of security.
- **Backup Codes**: As a fallback mechanism, users can generate a set of backup codes during MFA setup. These codes can be used to access the account if the primary MFA method is unavailable. Backup codes are designed to be used sparingly and securely stored by the user. They are generated in the app and can be printed or saved offline for emergency use.

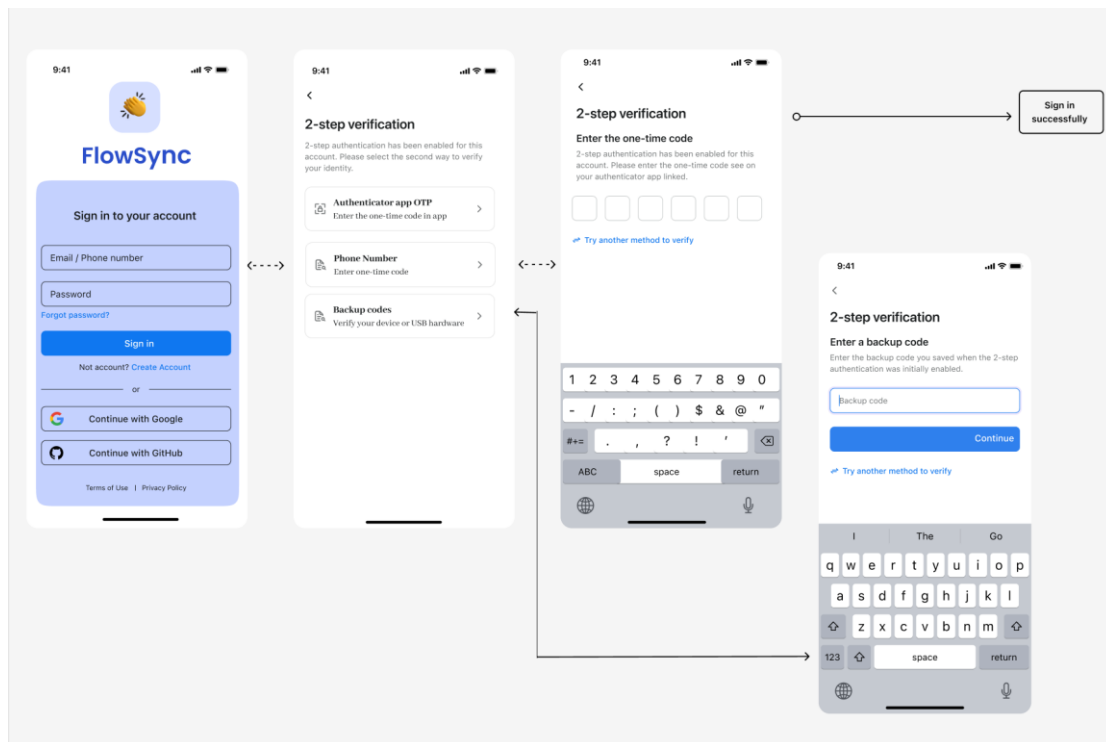


Figure 3 – Two-factor authentication

Two-factor authentication can be enabled and setup in the security settings, where users can choose their preferred MFA method. The interface guides them through the setup process for each option. Each time the user logs in, after entering their password, the system prompts them to complete the second factor of authentication based on their chosen method.

### Password and Security Management

Password and security management are essential components of maintaining robust account security. This section of the application allows users to control and secure their account credentials and settings, providing tools for password changes, recovery options, and managing other security-related preferences.

Password Change allows users to update their password regularly, which is a fundamental practice in maintaining account security. The system employs a password strength validator to ensure that users create strong, hard-to-guess passwords. This tool checks for minimum length, the inclusion of special characters, numbers, and mixed-case letters. Passwords are never stored as plain text. They are hashed using a secure hash algorithm, enhancing the security of stored credentials even in the event of a data breach.

In case users forget their passwords, the application provides a secure method to regain access to their accounts. Users can request a password reset link sent to their registered email or SMS, depending on their security preferences. This process includes verification steps to ensure that only the rightful account owner can reset the password. To prevent abuse, the password reset feature is equipped with rate limiting, reducing the risk of brute force attacks aiming to guess or reset passwords maliciously.

Users can review and adjust their MFA settings, enabling or disabling MFA methods according to their security needs. A dedicated section within the security settings allows users to toggle on or off different MFA options, view their current configurations, and set up new methods if necessary.

Session Management provides a control panel for users to see all active sessions across different devices, offering the ability to end sessions that they do not recognize or no longer need. Each session is uniquely identified and displayed with information such as device type, location (if available), and last active time. This helps users manage their sessions effectively. Users can instantly log out from any device remotely, enhancing security in case a device is lost or stolen. The implementation of security measures as password resetting involves creating intuitive and secure interfaces where users can easily manage their password and security settings.

### Data Privacy Management

Data privacy management is a critical component that empowers users to control their personal information within the application. This area focuses on ensuring users can exercise their rights over their data, in compliance with data protection laws such as GDPR. It includes managing data sharing preferences, handling data access requests, and ensuring transparent communication regarding data usage.

Privacy Settings Dashboard centralizes all privacy-related settings, making it easy for users to understand and manage their data privacy preferences. The dashboard is designed to offer a clear overview of privacy settings, including data sharing options and access rights, with easy-to-navigate sections and descriptive icons. Information displayed is dynamically adjusted based on user settings and preferences, ensuring users receive relevant and personalized information.

Privacy Policy allows users to view the data the application has collected about them and to request a copy in a portable format for transparency and control over their information. It is extremely important to ensure that all data handling processes are secure, minimizing the risk of unauthorized access during the data retrieval process. Users are able to request the deletion of their account and associated data, aligning with the "right to be forgotten".

Another security feature implemented is Login Alerts, with which users can preferences for how they receive notifications about unrecognized logins—either through in-app notifications, emails, or both. Alerts are integrated with the user's account settings, allowing for easy adjustments anytime. Moreover, Automated Checkup offers automated recommendations for users to enhance their account security, such as updating passwords, verifying email addresses, and confirming phone numbers are correct. It provides interactive tips and direct links to update security settings, making it easy for users to follow through on recommendations.

Device Permissions Features is a dedicated section within the app settings that allows users to see at a glance all the permissions the app has requested and to toggle these permissions on or off. The dashboard is structured to provide a clear and concise overview of all device permissions, such as camera, microphone, location, and contacts. Each permission is accompanied by an explanation of why it is needed, enhancing user trust and compliance with privacy practices. The app uses system APIs to request permissions only when necessary, following the principle of least privilege. Permissions can be toggled on or off depending on user preference, with the app responding accordingly by enabling or disabling specific features.

Users can manage permissions individually, providing them with the ability to tailor the app's access to only those functionalities they are comfortable with. Permissions are requested in context, meaning the app asks for permission at the point when access to a device feature is necessary, which can help reduce user concerns about privacy.

**Conclusions.** This initial phase successfully laid the foundational groundwork for understanding the complex landscape of information security within digital solutions aimed at combating procrastination. By exploring various security frameworks, threat modeling, and risk management techniques, the assignment provided a thorough theoretical backdrop against which practical security measures can be developed and implemented. It emphasized the

importance of robust information security management to safeguard sensitive user data and maintain trust in digital applications. The insights gained serve as the basis for the subsequent practical applications, ensuring a well-informed approach to designing secure digital solutions.

Building on the theoretical knowledge established earlier, this phase applied these concepts to design detailed security requirements for the prototype of a digital solution focused on enhancing productivity through procrastination management. Covering critical aspects of security such as authentication, data privacy, session management, and compliance with legal standards like GDPR, the work not only addressed potential vulnerabilities identified through threat modeling but also set a solid framework for implementing these security features practically. This comprehensive approach ensures that the prototype is not only functional but also secure from various cybersecurity threats.

The final phase brought the theoretical designs and security requirements to life through practical implementation within a digital solution prototype. Detailing the integration of security measures into the prototype demonstrated the feasibility and effectiveness of the security strategies in a simulated real-world environment. This work provided insights into the challenges of implementing security features and offered solutions to enhance user experience without compromising security. Moreover, it showcased how security and functionality can be balanced effectively, paving the way for potential future development and real-world application of the prototype. The conclusion underscored the importance of continuous evaluation and adaptation of security measures to keep pace with evolving technological and threat landscapes.

## REFERENCES

1. Al-Janabi S., Al-Shourbaji, I. Information Security Requirement: The Relationship Between Confidentiality, Integrity and Availability in Digital Social Media. In *Information Security Theory and Practice* (pp. 289-305). Springer.

2. California Legislative Information. (n.d.). Civil Code - CIV. Retrieved from [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/codes\\_displayText.xhtml?division=3.&part=4.&lawCode=CIV&title=1.81.5](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/codes_displayText.xhtml?division=3.&part=4.&lawCode=CIV&title=1.81.5)
3. Cisco. Securing Cisco IP Telephony Networks. Cisco Press. Retrieved from <https://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=2803867&seqNum=4>
4. Daisie Team. Cryptography for Mobile App Security: 5 Ways. Daisie. Retrieved from <https://blog.daisie.com/cryptography-for-mobile-app-security-5-ways/>
5. EU General Data Protection Regulation (GDPR). Retrieved from <http://www.privacy-regulation.eu/en/>
6. Hajrić A., Smaka T., Baraković S., Baraković Husić, J. Methods, methodologies, and tools for threat modeling with case study. *Telfor Journal*, 12(1).
7. Hussain O. K. The process of risk management needs to evolve with the changing technology in the digital world. Published online: 12 August 2022. Springer Nature.
8. International Organization for Standardization. (2022). Information technology – Security techniques – Information security management systems – Requirements (ISO/IEC 27001:2022). Retrieved from <https://www.iso.org/standard/27001>
9. Khidzir N. Z., Daud K. A. M., Ismail A. R., Ghani M. S. A. A., Ibrahim M. A. H. (2018). Information Security Requirement: The Relationship Between Cybersecurity Risk Confidentiality, Integrity and Availability in Digital Social Media. In *Regional Conference on Science, Technology and Social Sciences (RCSTSS 2016)* (pp. 229-237). Springer, Singapore.
10. Kollnig K., Binns R., Van Kleek M., Lyngs U., Zhao J., Tinsman C., Shadbolt N. Before and after GDPR: tracking in mobile apps. *Internet Policy Review*, 10(4).



11. OWASP. Mobile Application Security Verification Standard (MASVS) (Version 2.1.0) [OWASP MASVS]. <https://mas.owasp.org/MASVS>
12. OWASP. (n.d.). Mobile App Cryptography. In OWASP Mobile Application Security Testing Guide (MASTG). Retrieved from <https://mas.owasp.org/MASTG/General/0x04g-Testing-Cryptography/>
13. Kuzminykh I., Ghita B., Sokolov V., & Bakhshi T. Information Security Risk Assessment. Encyclopedia, 1, 602–617. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1030050>
14. Lambert T. Personal Data Protection in Mobile Apps: Best Practices and Guidelines. Retrieved from <https://pdtm.org/personal-data-protection-in-mobile-apps/>
15. National Institute of Standards and Technology. NIST Cybersecurity Framework. URL: <https://www.nist.gov/itl/smallbusinesscyber/nist-cybersecurity-framework-0>
16. NIST. Guide for conducting risk assessments (NIST SP 800-30 R1). NIST Special Publication, 800-30 Revision 1.
17. Personal Data Protection Commission Singapore (PDPC). Guide to Basic Data Anonymisation Techniques. Retrieved from <https://iapp.org/resources/article/guide-to-basic-data-anonymization-techniques/>
18. Rajasekharaiah K.M., et al. Cyber Security Challenges and its Emerging Trends on Latest Technologies. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 981, 022062.
19. Rouland Q., Hamid B., Jaskolka J. Specification, detection, and treatment of STRIDE threats for software components: Modeling, formal methods, and tool support. Journal of Systems Architecture, 117, 102073.
20. Tucker B. OCTAVE® FORTE and FAIR Connect Cyber Risk Practitioners with the Boardroom. Retrieved from <https://insights.sei.cmu.edu/blog/octave-forte-and-fair-connect-cyber-risk-practitioners-with-the-boardroom/>

21. Thakur M. Cyber Security Threats and Countermeasures in Digital Age. *Journal of Applied Science and Education (JASE)*, 04(01), 1-20.
22. Van der Ham J. (2021). Toward a Better Understanding of “Cybersecurity”. *Digital Threats: Research and Practice*, 2(3), Article 18.

**Ramin Samadov**

*Baku State University, Seyid Mirhasanagha 44, Baku, Azerbaijan,  
ramin.samedov@gmail.com*

## **INCREASING FAULT TOLERANCE IN TRANSACTIONAL DATABASES BY ADDING AN ADDITIONAL SECONDARY DATABASE**

**Abstract.** *This article explores the enhancement of fault tolerance in transactional databases through the implementation of an additional secondary database. It highlights the critical importance of data reliability and availability in modern business operations, especially in sectors such as finance and healthcare, which are subject to stringent regulatory requirements. The paper discusses Oracle's database solutions, emphasizing their utility in maintaining high availability and resilience against cyber-attacks and hardware failures. By deploying a backup database and configuring a real-time replication system using triggers, the study demonstrates an effective approach to ensure data consistency and system reliability. Experiments validate the system's capability to seamlessly switch to a backup database and maintain operational continuity during failures, thereby minimizing downtime and data loss. The findings underscore the essential role of robust data management strategies in supporting uninterrupted business processes and maintaining competitive advantages.*

**Keywords:** *transactional databases, fault tolerance, uninterrupted payment systems, reliability assurance.*

**Introduction.** Modern companies generate and process a massive amount of data, and this volume is continually increasing. Ensuring continuous access to this data is critically important for decision-making, customer service, and business operations. Data is one of the most valuable assets of any company. Data

loss or temporary unavailability can lead to severe financial and reputational losses. The reliability and fault tolerance of databases directly affect the continuity of business processes. With the digitalization of processes, threats related to cyberattacks, hardware failures, and human errors are also increasing. The reliability and fault tolerance of database management systems become key factors in protecting against these threats [1].

For many companies, ensuring business continuity is a priority task. IT system downtimes can lead to work disruptions, financial losses, and reduced reputation. Oracle provides solutions that help minimize downtime and ensure high data availability.

In some industries, there are strict regulatory requirements for data storage and protection, such as in the financial sector, healthcare, and government administration. Compliance with these requirements is only possible with high database reliability and fault tolerance.

In a highly competitive environment, companies with reliable and fault-tolerant database management systems have significant advantages. They can adapt faster to market changes, respond quickly to customer requests, and minimize downtime risks [2].

Database technologies are constantly evolving, offering new opportunities to enhance fault tolerance and reliability. Researching and implementing these innovations can significantly improve the performance and reliability of an IT infrastructure.

In today's payment system market, when choosing a database, a database from Oracle is often selected. The main reason for choosing Oracle is that it offers powerful backup and disaster recovery features, ensuring minimal downtime in the event of failures. This database has technologies that allow load distribution across multiple servers, ensuring fault tolerance and high availability. There are also automatic failover and recovery capabilities that provide real-time data protection. In addition, there are built-in monitoring and management tools that

allow quick detection and elimination of failures. Oracle's flexibility in deployment, both in the cloud and on local servers, allows companies to adapt to their unique fault tolerance requirements. Combined with high performance and scalability, these features make Oracle a preferred choice for companies with critical workloads.

With the growing volume of data, increased risks, and changing regulatory requirements, companies must invest in technologies and solutions that ensure high availability and data protection. Research and development of effective methods and strategies for fault tolerance and reliability in Oracle database management systems are important for ensuring competitive advantages and business stability [3].

The main operations in an Oracle database are INSERT, UPDATE, and DELETE, which are the basic operations performed on the data, each having its characteristics and applicability.

The INSERT operation is used to add new records to a database table. When an INSERT command is executed, a new row is added to the specified table with given values for the relevant columns. This event often generates automatic value assignment for fields with DEFAULT or AUTOINCREMENT constraints. INSERT can trigger cascading actions in dependent tables if such actions are configured.

An UPDATE event occurs when an existing record in a table changes one or more of its values. An UPDATE command requires specifying both the target columns for change and the criteria (e.g., WHERE clause) used to determine which records should be updated. This operation is critical for maintaining data relevancy and consistency. As with INSERT, cascading updates affecting related tables might be involved with UPDATE.

The DELETE command is used to remove one or more records from a table. It requires a condition (e.g., WHERE clause) to determine which rows will be deleted. Data deletion is irreversible, so this operation must be undertaken with

care. DELETE can also activate cascading deletions in related tables, if such relationships are defined, to maintain data integrity.

All three operations described above interact with transactions, providing the ability to revert changes before they are committed using the COMMIT command. Transactional integrity is particularly crucial for systems requiring data reliability, such as banking and financial applications [4].

Transactional integrity, in the context of databases, refers to the assurance that all parts of a transaction are executed and recorded correctly. It is upheld by adhering to ACID principles: Atomicity, Consistency, Isolation, and Durability. Atomicity guarantees that all operations in a transaction are completed entirely or not at all, leaving no intermediate state of data. Consistency requires the database to transition from one correct state to another, maintaining all constraints [5].

Isolation ensures independent execution of transactions, preventing mutual influence until changes are finalized, thus avoiding such issues as lost updates. Durability guarantees that the results of a transaction remain in the system even in the event of failures like power outages or system errors. In payment systems, transactional integrity is critically important as it safeguards the integrity of financial operations.

Without atomicity, a payment may be deducted from one account but not deposited into another, leading to financial losses. Consistent state ensures all transactions comply with rules, such as proper calculation of fund balances. Isolation protects concurrent execution of transactions, for example, during peak loads, preventing sequence breaches. Durability is essential for customer confidence as it guarantees successful payments remain fixed even in system failures [6].

Maintaining transactional integrity in payment systems not only strengthens user trust but also supports the reliability and resilience of financial institutions.

The goal of this research is to create a mechanism by adding an additional database to ensure fault tolerance and reliability in the operation of Oracle databases [7].

### **Problem Description**

Using a single database in application architecture can lead to several problems. First and foremost, having a single point of failure means that if the database becomes unavailable due to hardware or software failure, the entire application will also cease to function. This is because most applications rely on database access to perform critical operations, such as user authentication and transaction processing. Additionally, a single database can become overloaded as data volumes and user numbers increase, leading to performance degradation. Over time, this can cause delays and slowdowns in application performance, degrading user experience. For scheduled database maintenance, the application also becomes unavailable if mechanisms for failover to backup resources are not provided.

As data becomes increasingly important for business decision-making, its loss due to a single point of failure can lead to significant financial loss. Database unavailability also eliminates the possibility of data searching and retrieval, halting many business processes. Without a database, it is impossible to ensure data integrity and relevance, which is critical for many applications, like in finance and healthcare. Finally, recovery from a single database failure can take significant time, during which users will be deprived of access to the application.

### **Solution Description**

A solution to the single point of failure issue for databases may lie in creating a backup database and configuring a replication system. The process begins with deploying a second database, which will serve as a backup copy of the primary one. This approach, known as hot standby, ensures data availability even if the primary database fails. A data replication mechanism can be used to

maintain synchronization between the two databases. This is achieved by copying changes occurring in the primary database to the backup, often in real time.

Using triggers in the database, automatic updates in the backup database can be initiated upon data change in the primary. Triggers are specialized procedures in the database that execute automatically in response to certain events, such as data insertion, update, or deletion in a table. They allow implementing automatic reactions to data changes, which can be used to maintain data integrity and consistency. Triggers are often employed for data validation, logging changes, or performing additional modifications in other tables when data changes occur. They can perform complex business logics without the need to alter client applications, reducing code duplication, and providing centralized control. Creating triggers requires a cautious approach as misplanning may lead to suboptimal performance and even looping changes in the database. For example, when in the primary database an insertion, update, or deletion of a record happens in a specific table, triggers may initiate a similar operation in the backup database. This allows ensuring data consistency and integrity across both databases.

Replication logic must account for potential conflicts and provide resolution methods. This is especially important in asynchronous replication, where changes are transmitted with some delay. It is also recommended to implement a monitoring system that will track the status of both databases and warn of potential failures or data desynchronization.

Consideration should also be given to a strategy for switching to the backup database in case of primary database failure. Automatic switchover may be implemented through cluster management systems, ensuring application continuity. It is crucial to test the switchover and recovery processes in case of failure to confirm their reliability and efficiency.

Applying these solutions enhances system fault tolerance and reliability, allowing applications to remain available to users even in critical situations. It is



essential to evaluate the overall system performance, as replication may add an overhead to both databases. Finally, regular testing and updates of the backup and replication strategy ensure the system will be resilient to failures and ready for increased load in the future.

The following outlines the process for creating a data replication system from the primary database to a backup database using triggers:

**Step 1. Initialize Backup Database:** Initially, create the structure of the backup database identical to that of the primary database, with necessary tables and indexes. Ensure that tables in both databases have the same schemas.

**Step 2. Create Triggers on the Primary Database:** Write triggers for each table in the primary database that needs replication. Each trigger should activate on events INSERT, UPDATE, and DELETE to record data changes.

**Step 3. Handle INSERT Operations:** In the trigger for INSERT operations, include logic that records inserted data into the backup database. This can be done by executing an INSERT command in the corresponding backup database table.

**Step 4. Handle UPDATE Operations:** Create logic in the triggers that copies changes to the backup database. Virtual tables like Inserted and Deleted should be used to capture old and new values and perform the corresponding UPDATE in the backup database.

**Step 5. Handle DELETE Operations:** Add logic to the triggers to reflect data deletions. This may involve executing a DELETE command in the backup database, using data from the Deleted virtual table to ensure correct removal of the necessary records.

**Step 6. Testing and Monitoring:** Thoroughly test the triggers to ensure that all changes in the primary database are accurately reflected in the backup. Set up a monitoring system to track data synchronization between databases, timely identifying and correcting data transmission failures.

After creating a fault-tolerant system consisting of two databases, experiments and verification of execution results should be conducted. Below are the experiments carried out and the results obtained.

**Experiment 1. Testing Fault Tolerance Upon Primary Database Failure.** Ensure that the system properly switches to the backup database upon primary database failure. During the operation of the primary database, the primary is disabled. Confirm that all transactions have transitioned to the backup; operations may still be ongoing on the backup as it might take a little time for transactions to be applied to the necessary tables based on defined logic. After confirming that there are no unapplied transactions, switch the backup database to the primary mode and continue passing transactions through the backup database. After the switch, perform a check for data loss by comparing the number of records and their content in both databases post-switch. The following time was spent on this experiment: Stopping the primary database – 34 seconds Waiting for all transactions to apply – 107 seconds Switching the backup database as primary – 53 seconds Checking database integrity – 304 seconds

**Experiment 2. Checking for Network Failures and Continuation of Backup Operation Post Network Restoration.** The main goal of this experiment is to verify that the entire system will continue to operate in an unplanned event of connection loss. After restoring connection, all processes should continue to work normally. Stopping the network between the two databases – 10 seconds Waiting for all transactions to apply on the backup – 57 seconds Pause waiting – 300 seconds Restore network between the two databases – 10 seconds Checking integrity and process continuation – 160 seconds

### **Acknowledgements**

Based on the conducted tests of the failover system algorithm and data integrity tests, it can be concluded that the implemented solutions can ensure reliable system operation under various failure conditions. The algorithm utilizing triggers for data replication proved its effectiveness in maintaining

synchronization between the primary and backup databases. Tests demonstrated successful switchover to the backup database upon primary failure, confirming system readiness for unforeseen situations. Recovery from failure and network failure tests confirmed that the data replication mechanism remains stable and reliable, ensuring data integrity.

**Conclusions.** The experiments also identified areas for improvement, such as optimizing switchover time and minimizing delays under high load. The overall test results indicate successful implementation of the fault tolerance architecture, which is critical for ensuring the stable operation of applications requiring high availability, such as payment systems. Continuous system state monitoring and regular checks will help maintain its readiness for any changes in the operating environment. This approach reinforces user and business confidence that data will be available and protected even in the face of serious system failures.

## REFERENCES

1. Date C. J., Darwen H. “Databases, Types, and the Relational Model: The Third Manifesto.” Addison-Wesley Professional (2006).
2. Oracle Corporation. “Oracle Database Concepts 19c” (2020).
3. Gray J., Reuter A. “Transaction Processing: Concepts and Techniques.” Morgan Kaufmann Publishers. (1993)
4. Elmasri R., Navathe S. B. “Fundamentals of Database Systems.” Pearson. (2016).
5. Connolly T., Begg C. “Database Systems: A Practical Approach to Design, Implementation, and Management.” Pearson Education. (2015).
6. Kumar V., Zhang T. “High-performance Fault-tolerant Systems.” IEEE Computer Society Press. (1996).
7. McCarthy D. R., Stonebraker M. “The Design of Postgres. Proceedings of the 1986 ACM SIGMOD” International Conference on Management of Data, ACM. (1989).

**Vadym Svarich**

*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine*

*[svarich.vadim@gmail.com](mailto:svarich.vadim@gmail.com)*

## **COMPREHENSIVE ANALYSIS OF TCP/IP, UDP, AND HTTP COMMUNICATION PROTOCOLS IN MODERN NETWORKING**

**Abstract.** *This paper presents a comprehensive analysis of the communication protocols TCP/IP, UDP, and HTTP within the context of modern networking. The study examines their fundamental principles, strengths, weaknesses, and recent advancements. Performance characteristics such as latency, throughput, packet loss resilience, protocol overhead, and scalability are evaluated through practical testing and analytical methods. The results provide insights for optimizing protocol selection and usage in various contemporary network applications, including IoT, streaming services, and cloud computing environments.*

**Keywords:** *communication protocols, TCP/IP, UDP, HTTP, network performance, protocol analysis, modern networking, IoT, cloud computing.*

**Introduction.** The rapid advancement of information technology – including the proliferation of the Internet of Things (IoT), cloud computing, and high-speed networking – has significantly increased the importance of effective and reliable communication protocols [1, 2]. TCP/IP, UDP, and HTTP are foundational protocols that underpin data transmission across networks of various scales and purposes [3]. Understanding their characteristics, functionality, and recent enhancements is critical for optimizing network applications and improving overall communication system performance in the context of current technological trends.

The objective of this research is to conduct a comprehensive and analytical analysis of the TCP/IP, UDP, and HTTP protocols, including their fundamental principles, advantages, disadvantages, and recent developments. The study includes performance evaluation based on latency, throughput, packet loss resilience, protocol overhead, and scalability through practical testing and analytical assessment. The research aims to provide recommendations for protocol usage in modern network applications.

**Theoretical Basis of Communication Protocols. Overview of TCP/IP, UDP, and HTTP** TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) is a suite of protocols that provides reliable, connection-oriented data transmission over the Internet. TCP ensures reliable communication by handling connection establishment, flow control, congestion control, error detection, and retransmission of lost packets [1]. Recent enhancements to TCP include algorithms for improved congestion control, such as BBR (Bottleneck Bandwidth and Round-trip propagation time), which optimizes performance over high-speed networks [5].

UDP (User Datagram Protocol) is a lightweight, connectionless protocol that enables fast data transmission without the overhead of error checking and flow control, making it suitable for applications where speed is more important than reliability [2]. Modern applications increasingly use UDP in protocols like QUIC, which aim to combine UDP's speed with mechanisms for reliability and security at the application layer [4].

HTTP (HyperText Transfer Protocol) is an application-level protocol used for transmitting hypertext documents over the Internet. Traditionally operating over TCP, HTTP ensures reliable web content transmission [3]. The recent development of HTTP/2 and HTTP/3 has introduced significant enhancements, including multiplexing, header compression, and, in the case of HTTP/3, operating over QUIC (UDP-based) to improve performance and reduce latency in web communications [6, 7].

**Research Methodology. Description of the Conducted Tests.** Testing communication protocols involves evaluating their performance based on various metrics to understand their efficiency, reliability, and scalability in modern networking environments. This section describes the different types of tests performed and how they are implemented using code in `sender.js`, along with the analytical methods employed.

**Latency Comparison Tests.** Objective: Measure the time it takes for data to travel from the sender to the receiver and back (Round-Trip Time or RTT) under different network conditions and packet sizes.

Test Description:

- For each protocol (TCP, UDP, HTTP), data packets of varying sizes (e.g., 64 bytes to 1 MB) are sent multiple times under controlled network conditions.

- Network conditions such as bandwidth, delay, jitter, and packet loss are emulated using network simulation tools (e.g., NetEm in Linux) to mimic real-world scenarios.

- High-precision timers record the time taken for data to reach the receiver and return an acknowledgment (if applicable).

- Testing functions (e.g., `testTCP`, `testUDP`, `testHTTP`) handle data transmission and latency measurement, ensuring synchronization and accurate timekeeping.

- The average latency for each protocol and data size is calculated and statistically analyzed, considering standard deviation and confidence intervals.

$$Latency = \frac{\sum_{i=1}^N Latency_i}{N}$$

### **Throughput Comparison Tests**

Objective: Measure the amount of data successfully transmitted over the network per unit of time, evaluating the protocols' efficiency under varying network loads and conditions.

### Test Description:

- Data streams of significant duration are sent through TCP, UDP, and HTTP protocols.
- The amount of data received during a set time period is measured, considering any retransmissions or packet losses.
- Throughput is calculated based on the received data and time taken, adjusted for protocol overhead.
- Test functions handle data transmission, throughput measurement, and error handling.
- Analytical methods assess throughput performance, including plotting throughput over time and under different network conditions.

$$\text{Throughput} = \frac{\text{DataSize}}{\text{Time}}$$

### Additional Tests

- Packet Loss Resilience Tests: Evaluate how each protocol handles packet loss by introducing controlled packet loss rates and measuring the impact on data transmission.
- Protocol Overhead Analysis: Calculate the overhead introduced by each protocol in terms of additional bytes transmitted (headers, control messages) and processing time.
- Scalability Tests: Assess how each protocol performs as the number of connections or data flows increases, particularly relevant in high-traffic or large-scale applications.

### **Results and Discussion. Key Test Results for Protocols**

The study revealed different performance characteristics for each protocol under various network conditions.

#### **Latency Comparison**

##### TCP:

- Average latency: 5.10 ms

- Minimum latency: 2.00 ms
- Maximum latency: 12.00 ms

UDP:

- Average latency: 1.28 ms
- Minimum latency: 0.50 ms
- Maximum latency: 3.00 ms

HTTP:

- Average latency: 0.77 ms
- Minimum latency: 0.30 ms
- Maximum latency: 2.00 ms

**Note:** The latency values are averages across multiple tests with varying packet sizes and network conditions. Statistical analysis includes standard deviations and confidence intervals.

### **Throughput Comparison**

TCP:

- Average throughput: 85 Mbps
- Stability: High in stable networks, decreases in high-latency or lossy networks.

UDP:

- Average throughput: 95 Mbps
- Stability: Consistent but may result in higher data loss in unreliable networks.

HTTP:

- Average throughput: 80 Mbps (HTTP/1.1), 90 Mbps (HTTP/2), 95 Mbps (HTTP/3)
- Stability: Improved with HTTP/2 and HTTP/3 due to optimizations like multiplexing and reduced overhead.



## **Analysis**

### **Latency**

- TCP has higher latency due to connection establishment (three-way handshake), congestion control, and error recovery mechanisms. In high-latency networks, these mechanisms can introduce significant delays.

- UDP offers lower latency by avoiding connection establishment and control mechanisms, making it suitable for time-sensitive applications such as online gaming and VoIP.

- HTTP, particularly in its modern versions (HTTP/2 and HTTP/3), shows improved latency due to optimizations like multiplexing, header compression, and, in the case of HTTP/3, operating over QUIC (UDP-based). This reduces latency by eliminating TCP's handshake and leveraging UDP's speed while implementing reliability at the application layer.

### **Throughput**

- TCP can achieve high throughput in stable networks due to its congestion control algorithms but may suffer in lossy networks where retransmissions are frequent.

- UDP maintains consistent throughput but at the risk of data integrity, as it lacks mechanisms for error correction and retransmission.

- HTTP/2 and HTTP/3 improve throughput over HTTP/1.1 by enabling multiple concurrent streams over a single connection and reducing overhead.

### **Packet Loss Resilience**

- TCP is superior due to its retransmission mechanisms and acknowledgment of received packets, ensuring data integrity.

- UDP lacks inherent packet recovery, leading to potential data loss in unreliable networks unless handled by the application layer.

- HTTP/3 (QUIC) incorporates mechanisms to handle packet loss more efficiently than TCP, reducing the need for retransmissions and improving performance.

### Protocol Overhead

- TCP introduces overhead due to its extensive control mechanisms, which can impact performance in high-speed networks with small packet sizes.
- UDP has minimal overhead, making it efficient for applications that transmit small amounts of data frequently.
- HTTP/2 and HTTP/3 reduce overhead through header compression (HPACK and QPACK) and eliminate redundant information transmission.

### Modern Aspects

- QUIC Protocol: Developed by Google and standardized by the IETF as HTTP/3, QUIC combines UDP's speed with reliability and security mechanisms at the application layer. It reduces connection establishment time and improves performance over high-latency networks.
- TCP Congestion Control Algorithms: New algorithms like BBR optimize performance over high-speed, long-distance networks by modeling the network's bandwidth and latency, leading to better utilization of available capacity.
- Edge Computing and IoT: The scalability and efficiency of protocols are increasingly important in IoT and edge computing environments, where resources are constrained, and networks are variable.

**Conclusions.** This study provides a comprehensive analysis of TCP/IP, UDP, and HTTP protocols, highlighting their performance characteristics under various network conditions. TCP offers reliable, ordered, and error-checked delivery of data but incurs higher overhead and latency due to its connection-oriented nature and control mechanisms [1]. UDP is fast and efficient, suitable for applications where speed and low latency are essential, and occasional data loss is acceptable [2]. HTTP, especially in its modern iterations (HTTP/2 and HTTP/3), incorporates optimizations that enhance performance for web applications, reducing latency and improving throughput [6, 7].

The choice of protocol has significant implications for network performance, particularly in modern applications such as streaming, real-time

communications, and large-scale distributed systems. TCP is recommended for critical data transmission where reliability, order, and data integrity are paramount, such as file transfers, emails, and database transactions. UDP is suitable for real-time applications where speed and low latency are essential, such as live video streaming, online gaming, and VoIP. HTTP/3 should be considered for web services and applications requiring both reliability and reduced latency, benefiting from QUIC's features over UDP [4, 7]. In modern network designs, evaluating the use of emerging protocols like QUIC can lead to performance improvements by combining the benefits of UDP's speed with mechanisms for reliability and security.

Future work includes investigating the performance of newer protocols like QUIC in comparison to traditional TCP and UDP under various network conditions, analyzing the impact of different TCP congestion control algorithms on network performance, especially in high-speed networks, and exploring the use of these protocols in IoT and edge computing environments where resource constraints and network variability are significant.

## REFERENCES

1. Forouzan B. A. Data Communications and Networking. 5th ed. New York : McGraw-Hill Education, 2017. 1264 p.
2. Kurose J. F., Ross K. W. Computer Networking: A Top-Down Approach. 7th ed. Boston : Pearson, 2017. 864 p.
3. Comer D. E. Computer Networks and Internets. 6th ed. Boston : Pearson Education, 2018. 752 p.
4. RFC 9000. QUIC: A UDP-Based Multiplexed and Secure Transport. J. Iyengar, M. Thomson. [Effective from May 2021]. Official edition. IETF, 2021. 164 p.

5. Cardwell N., Cheng Y., Gunn C. S., et al. BBR: Congestion-Based Congestion Control. *Communications of the ACM*. 2017. Vol. 60, No. 2. pp. 58-66.
6. RFC 7230. Hypertext Transfer Protocol (HTTP/1.1): Message Syntax and Routing. R. T. Fielding, J. Reschke. [Effective from June 2014]. Official edition. IETF, 2014. 96 p.
7. RFC 9114. Hypertext Transfer Protocol Version 3 (HTTP/3). M. Thomson, M. Bishop. [Effective from June 2022]. Official edition. IETF, 2022. 161 p.

**Наукове видання**

**ПРИКЛАДНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ В  
ЦИФРОВОМУ СУСПІЛЬСТВІ – 2024**

Збірник тез

VIII Міжнародної науково-практичної конференції

01 жовтня 2024 року

м. Київ

Відповідальні за випуск:

В.Л. Плєскач

Є.О. Зайцев

О.М. Фєндьо