



**СУЧАСНА  
МОЛОДЬ В  
СВІТІ  
ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ**

**Матеріали  
VII Всеукраїнської науково-  
практичної  
конференції молодих вчених  
та здобувачів вищої освіти  
присвяченої Дню науки**



**15 травня 2026 р.  
Херсон-Кропивницький**

Міністерство освіти і науки України  
Херсонський державний аграрно-економічний університет  
Вінницький національний медичний університет  
ім. М. І. Пирогова  
Вінницький національний технічний університет  
Київський національний університет технологій та дизайну  
Кременчуцький національний технічний університет  
ім. Михайла Остроградського  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Одеський національний морський університет  
Сумський державний університет  
Херсонський національний технічний університет  
Херсонська державна морська академія

**Матеріали**  
**VII Всеукраїнської науково-практичної**  
**конференції молодих вчених**  
**та здобувачів вищої освіти**  
**«СУЧАСНА МОЛОДЬ В СВІТІ**  
**ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»**

*присвячена Дню науки*

15 травня 2026р.  
Херсон-Кропивницький

УДК 004.7+004.05]:005.5](06)

С 91

С91 «Сучасна молодь в світі інформаційних технологій»: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти присвяченої Дню науки (15 травня 2026 р.). Ред. Г.В. Жосан, Г.О. Димової та ін. Херсон-Кропивницький: Видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2026. 185 с.

**ISBN 978-617-8187-82-8 (електронне видання)**

**DOI 10.5281/zenodo.20326418**

Конференція «Сучасна молодь в світі інформаційних технологій» присвячується Дню науки. Метою конференції є висвітлення розробок, результатів досліджень та досягнень молодих вчених України та здобувачів вищої освіти при розробці, використанні та впровадженні інформаційних технологій в різних галузях науки.

Тези наукової конференції містять результати наступних досліджень: цифровий менеджмент та впровадження інновацій; управління проектами та інвестиційне проектування; математичні методи та прогнозування соціально-економічних процесів; сучасні комп'ютерні технології та системи відображення інформації; інформаційно-аналітичні та керуючі системи: моделювання і оптимізація; цифрова економіка та галузеві IT-рішення: наука, освіта, транспорт і сфера послуг; новітні IT-рішення в медицині та енергетичних системах.

Роботи друкуються в авторській редакції, в збірці максимально зменшено втручання в обсяг та структуру відібраних до друку матеріалів. Редакційна колегія не несе відповідальність за достовірність інформації, що надано в рукописах, та залишає за собою право не розподіляти поглядів деяких авторів на ті чи інші питання.

#### **АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ**

25031, Україна, м. Кропивницький, Університетський проспект, 5/2

73006, Україна, м. Херсон, вул. Стрітенська, 23

Херсонський державний аграрно-економічний університет, економічний факультет

кафедра менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій

e-mail: conference.mywit@gmail.com, kaf\_mmit@ksaeu.kherson.ua

**УДК 004.7+004.05]:005.5](06)**

ISBN 978-617-8187-82-8 (електронне видання)

© Херсонський державний аграрно-економічний університет, 2026

© Видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2026

## ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

**Кирилов Ю.Є.** – ректор, д.е.н., професор, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

**Грановська В.Г.** – проректор з науково-педагогічної роботи, д.е.н., професор, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

**Лавренко С.О.** – проректор з наукової роботи та міжнародної діяльності, к.с.-г.н., доцент, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

**Кириченко Н.В.** – декан економічного факультету, к.е.н., доцент, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

**Білоусов Є.В.** – д.т.н., професор кафедри судових енергетичних систем та комплексів, Одеський національний морський університет;

**Бісікало О.В.** – завідувач кафедри Автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, д.т.н., професор, Вінницький національний технічний університет;

**Корчевська Л.О.** – д.е.н., професор кафедри менеджменту, маркетингу і туризму, Херсонський національний технічний університет;

**Кулик А.Я.** – завідувач кафедри біофізики, інформатики і медичної апаратури, д.т.н., професор, Вінницький національний медичний університет ім. М. Пирогова;

**Шевченко І.В.** – д.т.н., професор кафедри автоматизації та інформаційних систем, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського;

**Шушура О.М.** – д.т.н., професор кафедри цифрових технологій в енергетиці (АПЕПС), Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Лебеденко Ю.О.** – к.т.н., доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну;

**Кулінченко Г.В.** – к.т.н., доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління, Сумський державний університет.

## ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

**Жосан Г.В.** – завідувач кафедри менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій, к.е.н., доцент, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

**Димова Г.О.** – к.т.н., доцент кафедри менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій, Херсонський державний аграрно-економічний університет;

**Ларченко О.В.** – к.с.-г.н., доцент кафедри менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій, Херсонський державний аграрно-економічний університет.



## ЗМІСТ

### **СЕКЦІЯ «ЦИФРОВИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙ»**

<b>Бондар Б.А.</b> Цифрова трансформація бізнес-процесів як чинник підвищення конкурентоспроможності організацій у цифровій економіці .....	9
<b>Гавриш П.А.</b> Трансформація рекламної діяльності під впливом штучного інтелекту в системі цифрового управління .....	11
<b>Гончаров А.В., Кириченко Н.В.</b> Стратегічне управління персоналом підприємств в умовах цифрової трансформації економіки .....	14
<b>Горобець І.В.</b> Трансформація маркетингових стратегій суб'єктів агробізнесу в умовах економічної турбулентності .....	16
<b>Досенко В.І., Базака Р.В.</b> Використання штучного інтелекту в системі цифрового менеджменту підприємства ...	18
<b>Дубовка Б.Ю., Боліла С.Ю.</b> Удосконалення маркетингової діяльності для підвищення ефективності продажів на підприємстві в умовах цифрової економіки .....	21
<b>Кузів Я.С., Димова Г.О.</b> Автоматизація управлінських процесів та інтелектуалізація B2B-комунікацій як інструмент цифрової інтеграції підприємства .....	23
<b>Олійник І.В., Сагайдак О.М.</b> Штучний інтелект як інструмент управлінських рішень: виклики та можливості для українських підприємств в умовах воєнного часу .....	28
<b>Погребнюк А.А.</b> Розвиток інноваційної інфраструктури як основа підвищення конкурентоспроможності малих та середніх підприємств .....	32
<b>Пшедніцька В.Є., Малюта Л.Я.</b> Економічне обґрунтування впровадження CRM-систем для малого та середнього бізнесу .....	34
<b>Славуца О.В., Малюта Л.Я.</b> Цифровий менеджмент підприємства в умовах розвитку штучного інтелекту .....	36
<b>Федоренко О.С.</b> Соціальна відповідальність бізнесу як чинник формування інновацій та споживацьких переваг .....	38

### **СЕКЦІЯ «УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ ТА ІНВЕСТИЦІЙНЕ ПРОЄКТУВАННЯ»**

<b>Жосан Г.В., Левченко А.О.</b> «Зелене» інвестиційне проектування як інструмент інтеграції принципів сталого розвитку в оцінювання ефективності проєктів .....	41
<b>Осипчук К.А., Базака Р.В.</b> Сучасні методи управління проєктами в умовах цифрової трансформації .....	44
<b>Стрілецький Є.А.</b> Дослідження онлайн-платформ управління контентом для поліграфічних сервісів на технології Web-to-Print .....	46

**СЕКЦІЯ «МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ  
СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ»**

**Білоусова Т.П., Кузів Я.С.**

Застосування диференціальних рівнянь у розв'язанні економічних задач ..... 50

**СЕКЦІЯ «СУЧАСНІ КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ТА СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ»**

**Біліченко Н.О.**

Інфографіка як інструмент подання облікової інформації для прийняття управлінських рішень ..... 55

**Боскін О.О., Калатун Є.В., Сидорчук Д.О.**

Концептуальне проектування ігрового всесвіту в жанрі Sci-fi: від візуального сетингу до системної архітектури (на прикладі «Allisabyss») ..... 57

**Боскін О.О., Калатун Є.В., Сидорчук Д.О.**

Програмно-алгоритмічне забезпечення ігрового процесу, процедурна генерація подій та інтелектуальні агенти підтримки ..... 60

**Боскін О.О., Калатун Є.В., Сидорчук Д.О.**

Моделювання нелінійної структури наративу та ігрових механік етичного вибору в інтерактивних сценаріях ..... 63

**Бурлака О.О.**

Оптимізація управління рекламною діяльністю на основі даних та інтелектуальних алгоритмів ..... 66

**Густі М.О.**

Вимоги до універсального лабораторного стенда і його інтеграція в освітній процес ... 69

**Закревський Д.С., Череватенко О.В.**

Клієнт-серверна система управління електронною бібліотекою з модулем рекомендацій на основі машинного навчання ..... 72

**Золотар Є.В.**

Інтерактивні форми електронної звітності: вимоги до систем відображення та досвід впровадження в Україні ..... 76

**Керницький М.В.**

Конфігурування апаратно-програмної комп'ютерної платформи для опрацювання відеоматеріалів навчального спрямування ..... 78

**Малець І.В., Нерода Т.В.**

Методика інтелектуальної адаптації верстки багатомовної персоналізованої продукції в системах Web-to-Print ..... 80

**Мороз Р.Б., Нерода Т.В.**

Інтерактивні механізми семантичного маркування контенту для публікаційного супроводу наукових рукописів ..... 82

**Петрієнко І.О., Лебеденко Ю.О.**

Інтеграція комп'ютерних мереж у структуру автоматизованих систем управління: сучасні підходи та проблеми кіберзахисту ..... 86

**Ратайчук П.Є., Медолиз М.М., Фастовська О.Т.**

Використання алгоритмів штучного інтелекту для підвищення якості відображення зображень у системах комп'ютерної графіки ..... 89

**Русанов Д.Д., Золотухіна О.А.**

Програмна реалізація інтелектуального вебсервісу аналізу коду ..... 91

**Сегіда Д.В.**

Цифрові панелі моніторингу (dashboards) у системі контролінгу та внутрішнього аудиту ..... 94

<b>Федотова М.О., Трушаков Д.В., Заворуєв Р.С., Голик О.П., Дідик О.К.</b> Синтез багатовимірних спостерігачів вихідними сигналами теплового об'єкту .....	96
<b>Чінкує П.</b> Інтеграція імерсивних середовищ у цифрову поліграфію .....	98
<b>Шушура О.М., Ігнатов Д.А.</b> Critical Prediction Horizon Threshold In Delay-Aware Kubernetes Autoscaling .....	101

**СЕКЦІЯ «ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ ТА КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ:  
МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ»**

<b>Берест О.Ю., Конох І.С.</b> Фізично-інформовані нейронні мережі в додатках ідентифікації процесів опалення будівель .....	104
<b>Білий Д.Ю., Шушура О.М.</b> Система торгівлі ф'ючерсами на основі аналізу новин із Twitter з використанням великих мовних моделей .....	108
<b>Василенко М.С., Золотухіна О.А.</b> Аналіз маркетингових текстових даних засобами обробки природної мови .....	110
<b>Владіміров Н.В., Золотухіна О.А.</b> Інтелектуальний аналіз поширення новин у Telegram-каналах .....	112
<b>Гобов М.О., Лебеденко Ю.О.</b> Автоматизація насосної станції на підприємстві водопостачання .....	115
<b>Костенко Є.Г., Сангінова О.В., Бондаренко С.Г., Толстопалова Н.М.</b> Програмний модуль для розрахунку адсорбційних установок у складі системи підтримки прийняття рішень з водоочищення .....	118
<b>Левченко А.О., Проценко А.Д.</b> Бенчмаркінг як інструмент розвитку та удосконалення діяльності підприємства .....	120
<b>Міщенко А.А., Шушура О.М.</b> Architecture of an Anomaly Detection System Based on Methods For Fuzzy Analysis of Multimodal Data .....	123
<b>Правда К.Ю., Сотник В.О., Лазарєв О.В.</b> Перспективи модернізації систем автоматичного блокування з тональними рейковими колами на основі цифрового моніторингу та прогнозування відмов .....	126
<b>Тарасюк Н.О., Золотухіна О.А.</b> Нейромережева оптимізація алгоритмів пошуку в шахових рушіях .....	127
<b>Федюра В.М.</b> Моделювання комплексного режиму керуючої системи в процесі адаптування до параметрів продукції .....	129
<b>Чінкує К.</b> Механізми взаємодії технологій промислового інтернету речей та цифрових моделей у керуючих системах підприємств .....	133

**СЕКЦІЯ «ЦИФРОВА ЕКОНОМІКА ТА ГАЛУЗЕВІ ІТ-РІШЕННЯ:  
НАУКА, ОСВІТА, ТРАНСПОРТ І СФЕРА ПОСЛУГ»**

<b>Nesterov O., Lytvynenko V.</b> Development of a Multi-Agent Customer Support Automation System Based On Large Language Models And Retrieval-Augmented Generation Technology .....	137
<b>Гудкова О.Є., Ратайчук П.Є.</b> Використання віртуальної та доповненої реальності у професійній освіті .....	141

<b>Данько К.О., Прилипко А.А., Лазарєв О.В.</b> Удосконалення датчиків рахунку осей на залізничному транспорті шляхом впровадження технічної діагностики їх елементів .....	144
<b>Козак А.А., Малюта Л.Я.</b> Впровадження цифрових технологій у сфері послуг: сучасні тенденції та перспективи розвитку .....	146
<b>Коломієць О.М., Ананьєва О.М., Лазарєв О.В.</b> Аналіз можливості впровадження системи контролю положення поїздів на основі IoT для підвищення безпеки руху .....	148
<b>Larchenko O.</b> Innovative Digital Technologies In Marketing: From Automation to Artificial Intelligence ...	149
<b>Малюта О.І., Ничипорчук Ю.С., Паляниця В.А.</b> Сучасні інформаційні технології в готельно-ресторанному бізнесі .....	151
<b>Олійник І.В., Дмитрієв Д.В.</b> EdTech як драйвер цифрової трансформації освіти: досвід України та перспективи післявоєнного відновлення .....	155
<b>Стратічук О.В., Лобода О.М.</b> Практичне застосування системи WMS в логістичній діяльності підприємств .....	159
<b>Труш І.Б., Прилипко А.А., Лазарєв О.В.</b> Удосконалення IoT-системи для колійних датчиків температури в автоматизації залізничної інфраструктури .....	161
<b>Федорук А.А., Малюта Л.Я.</b> Цифрова трансформація управління витратами в умовах розвитку цифрової економіки .....	163
<b>Хома В.В., Малюта Л.Я.</b> Оптимізація транспортно-логістичних процесів із використанням інформаційних технологій .....	165

**СЕКЦІЯ «НОВІТНІ IT-РІШЕННЯ В МЕДИЦИНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ»**

<b>Осипчук В.А., Базака Р.В.</b> Впровадження III в енергетичні системи України .....	169
<b>Степанчиков Д.М., Котенко Д.О.</b> Застосування алгоритму Форда-Фалкерсона для оптимізації перетоків електроенергії у регіональних електромережах .....	171
<b>Шиб М.А., Малачівський П.С.</b> Аналіз властивостей композитних матеріалів для адитивного виготовлення будівельної продукції .....	174

<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ</b> .....	178
------------------------------------	-----

***СЕКЦІЯ***  
***«ЦИФРОВИЙ МЕНЕДЖМЕНТ***  
***ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙ»***

## **ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЙ У ЦИФРОВІЙ ЕКОНОМІЦІ**

У сучасних умовах глобальної економічної турбулентності та стрімкого розвитку інформаційно-комунікаційних технологій цифрова економіка постає як ключовий вектор трансформації бізнес-середовища. Її становлення супроводжується глибокими структурними змінами у способах створення вартості, організації виробничих процесів, управлінні ресурсами та взаємодії із споживачами. Інноваційні цифрові технології, зокрема штучний інтелект, великі дані, Інтернет речей, хмарні сервіси, цифрові платформи та блокчейн-рішення, формують нову парадигму функціонування організацій, що орієнтована на гнучкість, адаптивність і клієнтоцентричність.

Цифрова трансформація бізнес-процесів не обмежується впровадженням окремих технологічних рішень, а передбачає комплексне переосмислення управлінських підходів, організаційної структури та корпоративної культури. Вона охоплює всі ключові функціональні сфери діяльності підприємства, включаючи виробництво, логістику, маркетинг, продажі, фінанси та управління персоналом. Застосування цифрових інструментів дозволяє автоматизувати рутинні операції, підвищити точність прогнозування, оптимізувати витрати та забезпечити більш ефективне прийняття управлінських рішень на основі аналітики даних.

Особливу роль у трансформації бізнес-процесів відіграє інтеграція CRM- та ERP-систем, які забезпечують єдину інформаційну базу для управління взаємовідносинами з клієнтами та ресурсами підприємства. Впровадження таких систем сприяє підвищенню прозорості бізнес-операцій, скороченню часових витрат на обробку інформації та покращенню координації між структурними підрозділами. Поряд із цим, використання технологій Big Data та штучного інтелекту відкриває нові можливості для персоналізації продуктів і послуг, аналізу поведінки споживачів та формування індивідуалізованих маркетингових стратегій.

В умовах цифрової економіки конкурентоспроможність організацій дедалі більше визначається не лише наявністю ресурсів, але й здатністю ефективно використовувати цифрові інновації. Організації, що активно впроваджують цифрові технології, отримують суттєві конкурентні переваги за рахунок підвищення продуктивності праці, скорочення витрат, покращення якості продукції та послуг, а також швидкої адаптації до змін ринкового середовища. Цифровізація сприяє формуванню нових бізнес-моделей, зокрема платформних, які забезпечують масштабованість і доступ до глобальних ринків.

Водночас процес цифрової трансформації супроводжується низкою викликів, серед яких варто виділити високі інвестиційні витрати, дефіцит кваліфікованих кадрів, кіберзагрози та необхідність змін у корпоративній культурі. Недостатній рівень цифрової зрілості підприємств може стати стримуючим фактором у впровадженні інновацій, що особливо актуально для економік, які перебувають у стані трансформації. У цьому контексті важливим є формування системного підходу до управління цифровими змінами, який передбачає поєднання технологічних, організаційних і людських факторів.

Оцінювання впливу цифрових технологій на бізнес-процеси та конкурентоспроможність організацій доцільно здійснювати на основі інтегрального підходу, що враховує рівень цифрової зрілості підприємства, ступінь автоматизації процесів, рівень використання аналітичних інструментів та ефективність управлінських рішень. Використання економіко-математичних методів, зокрема кореляційно-регресійного аналізу, дозволяє встановити залежності між впровадженням цифрових технологій і ключовими показниками ефективності діяльності підприємств.

У результаті дослідження обґрунтовано, що цифрова трансформація бізнес-процесів є одним із визначальних чинників формування конкурентоспроможності організацій у сучасних умовах. Вона забезпечує підвищення ефективності використання ресурсів, покращення якості управління та створення доданої вартості. Запропонований підхід до інтеграції цифрових технологій у бізнес-процеси дозволяє сформувати стратегічні орієнтири розвитку організацій та підвищити їх стійкість до зовнішніх викликів.

Таким чином, розвиток цифрової економіки вимагає від організацій не лише впровадження інноваційних технологій, але й глибокої трансформації бізнес-процесів і управлінських підходів. Подальші дослідження у цьому напрямі мають бути спрямовані на розроблення практичних інструментів оцінювання цифрової зрілості підприємств, формування ефективних стратегій цифрової трансформації та адаптацію міжнародного досвіду до умов національної економіки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Zhosan, G. V. (2020). Цифрова економіка: стратегічний контекст розвитку. Економіка та держава, (1), 82–85. <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.1.82>
2. Zhosan, G. V., & Kyrychenko, N. V. (2021). Цифрова трансформація підприємств як інструмент забезпечення їх конкурентоспроможності. Ефективна економіка, (12). <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.12.94>
3. Zhosan, G. V. (2022). Інструментарій управління цифровою трансформацією бізнес-процесів підприємства. Агросвіт, (11), 38–43. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2022.11.38>
4. Kolomytsiva, O. V., & Vasylychenko, O. P. (2021). Цифрова трансформація бізнес-процесів: теоретичні аспекти та практичні рекомендації. Бізнес Інформ, (5), 184–190. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-5-184-190>
5. Kraus, N. M., Kraus, K. K., & Marchenko, O. V. (2021). Цифрова економіка в контексті інноваційного розвитку держави. Економічний простір, (168), 51–57. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/168-8>
6. Panchenko, V. A. (2022). Управління конкурентоспроможністю підприємств в умовах цифровізації. Академічний огляд, (1), 125–134. <https://doi.org/10.32342/2074-5354-2022-1-56-11>

## **ТРАНСФОРМАЦІЯ РЕКЛАМНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІД ВПЛИВОМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМІ ЦИФРОВОГО УПРАВЛІННЯ**

У сучасному цифровому середовищі рекламна діяльність перебуває на етапі не лише модернізації, а глибинної якісної трансформації, що зумовлює зміну її сутнісних характеристик, інструментального забезпечення та управлінської логіки. Якщо в традиційних підходах реклама ґрунтувалася переважно на креативних рішеннях і медіаплануванні, то в умовах цифровізації її ключовими детермінантами стають дані, алгоритмічні моделі та здатність систем до самонавчання. У цьому контексті штучний інтелект формує нову архітектуру рекламного менеджменту, в межах якої процес ухвалення рішень дедалі більше базується на аналітичних інструментах і прогнозних моделях, а не на інтуїтивних підходах.

Згідно з позицією В. Кудельського, впровадження технологій штучного інтелекту спричиняє системну трансформацію маркетингової діяльності. Це зумовлено, зокрема, стрімким розвитком обчислювальних потужностей, зниженням вартості технологічних рішень, розширенням доступу до великих масивів даних, а також суттєвим прогресом у сфері алгоритмів машинного навчання. У сукупності зазначені чинники забезпечують перетворення штучного інтелекту на один із ключових інструментів сучасного маркетингу [1].

Актуальність дослідження обумовлена тим, що більшість організацій уже інтегрують елементи штучного інтелекту в рекламні процеси, однак системного розуміння його ролі у стратегічному управлінні досі бракує. На практиці це проявляється у фрагментарному використанні технологій без їх повноцінного включення у бізнес-логіку компанії. У результаті потенціал інтелектуальних систем реалізується лише частково, що знижує ефективність рекламної діяльності.

Метою дослідження є визначення особливостей трансформації рекламної діяльності під впливом штучного інтелекту в системі цифрового управління та обґрунтування напрямів підвищення її ефективності. Відповідно поставлено завдання: розкрити зміну управлінської парадигми реклами, визначити напрями застосування ШІ, окреслити результати його впровадження, а також ризики та обмеження.

Цифрова трансформація реклами зумовлює перехід від масового впливу до персоналізованої взаємодії зі споживачем. Алгоритми аналізують поведінкові дані та контекст споживання контенту, формуючи релевантні повідомлення в реальному часі, що сприяє інтеграції реклами в користувацький досвід.

За висновками К. Корсунової, штучний інтелект забезпечує глибоку сегментацію аудиторії та адаптацію контенту — від дизайну й заголовків до продуктів і комунікації. Це дозволяє компаніям підвищувати ефективність взаємодії зі споживачами, зміцнювати позиції брендів і рівень лояльності клієнтів [2].

Суттєвих змін зазнає і сам процес управління рекламними кампаніями. Якщо раніше він ґрунтувався на тривалому етапі планування, подальшому запуску та постфактум аналізі результатів, то в сучасних умовах трансформується у безперервний цикл оптимізації. Використання технологій штучного інтелекту забезпечує постійний моніторинг ефективності кампаній і автоматичне коригування їх параметрів у режимі реального часу. Унаслідок цього управління набуває ознак адаптивної системи, здатної оперативно реагувати на зміни зовнішнього середовища швидше, ніж це можливо за умов виключно людського аналізу.

Українські дослідники підкреслюють, що впровадження штучного інтелекту в маркетингову діяльність сприяє підвищенню продуктивності праці маркетологів у середньому на 5–15 %. Такий ефект зумовлений насамперед оптимізацією процесів створення контенту.

Застосування інструментів генеративного штучного інтелекту дає змогу автоматизувати генерацію ідей, що істотно скорочує часові витрати та підвищує ефективність командної роботи. Крім того, ці інструменти забезпечують формування консистентного контенту, підтримуючи узгодженість між його окремими елементами, збереження єдиного стилю бренду та дотримання стандартизованих форматів подання інформації.

Водночас інструменти, засновані на технологіях штучного інтелекту, відкривають нові можливості для обробки даних. Вони дозволяють структурувати та аналізувати неструктуровані, суперечливі або фрагментовані інформаційні джерела, зокрема текстові та візуальні матеріали. Це, у свою чергу, суттєво підвищує якість аналізу поведінкових характеристик споживачів, їхніх відгуків і реакцій, що є важливою передумовою для прийняття обґрунтованих управлінських рішень у сфері цифрового маркетингу [3].

Окремої уваги потребує трансформація креативного складника рекламної діяльності. У науковому дискурсі поширеною є теза про витіснення творчості штучним інтелектом, однак емпіричні спостереження свідчать про інший процес — функціональну переорієнтацію ролей у межах креативного виробництва. Зокрема, інтелектуальні системи забезпечують генерацію множинних варіантів контенту, їх оперативне тестування та відбір найбільш ефективних рішень, тоді як людина зосереджується на формуванні стратегічного бачення, смислових акцентах і ціннісному наповненні комунікації. У такому контексті креатив набуває ознак не інтуїтивного, а емпірично верифікованого продукту, що підвищує його результативність.

Спираючись на теоретичні напрацювання українських дослідників, можна стверджувати, що впровадження штучного інтелекту зумовило глибинну трансформацію творчого процесу, розширивши інструментарій створення рекламного контенту — від копірайтингу та слоганів до візуальних образів, музичного супроводу й сценаріїв відео. Такі системи функціонують на основі попередньо заданих параметрів, зокрема характеристик цільової аудиторії та ідентичності бренду, що забезпечує узгодженість і релевантність створюваних матеріалів. Водночас зазначені механізми відкривають можливості для експериментування з різними креативними варіаціями, їх оцінювання в режимі реального часу та подальшої оптимізації рекламних кампаній відповідно до визначених комунікаційних цілей [4].

Попри те, що творчість, керована ШІ ґрунтується на шаблонах даних і предикативній аналітиці, людська креативність залишається незамінною для інтерпретації культурних значень, емоційних нюансів та етичних наслідків, що алгоритми не здатні повністю врахувати. З огляду на це найефективніше використання ШІ в рекламі відбувається за допомогою синергетичної моделі, в якій технологічна точність доповнює людську уяву. Така гібридна методологія не лише підвищує ефективність, а й розширює межі творчості, даючи змогу рекламодавцям створювати адаптовані, персоналізовані та емоційно насичені повідомлення, що відповідають очікуванням споживачів [5].

Узагальнення теоретичних джерел свідчить, що впровадження штучного інтелекту забезпечує досягнення низки відчутних ефектів у рекламній діяльності. По-перше, суттєво підвищується точність таргетингу, що безпосередньо впливає на ефективність використання рекламного бюджету. По-друге, зростає швидкість прийняття управлінських рішень завдяки автоматизації значної частини операційних процесів. По-третє, формується можливість прогнозування результатів рекламних кампаній ще на етапі їх розроблення. По-четверте, забезпечується гнучкість стратегій, що набуває особливого значення в умовах нестабільного ринкового середовища.

Разом із тим, аналіз отриманих результатів дозволяє виявити і низку проблемних аспектів. Передусім йдеться про залежність рекламної діяльності від технологічних платформ, які фактично визначають правила гри на ринку. Крім того, існує ризик надмірної автоматизації, коли управлінські рішення приймаються без належного критичного осмислення.

Етичні аспекти є невід'ємною складовою цифрової трансформації рекламної діяльності, зокрема у питаннях використання персональних даних, прозорості алгоритмів і ризиків маніпулювання поведінкою споживачів. Теоретичні джерела наголошують, що надмірна персоналізація може перетворюватися на інструмент прихованого впливу, що вимагає чіткого визначення меж допустимого.

Використання штучного інтелекту потребує забезпечення відповідального збору та обробки даних, дотримання принципів конфіденційності й прозорості алгоритмічних рішень, а також надання користувачам можливості контролювати рівень втручання в їхній інформаційний простір. Водночас важливим є запобігання дискримінаційним ефектам через аудит і тестування алгоритмів на неупередженість.

Отже, ефективне застосування ШІ в рекламі можливе лише за умови дотримання етичних принципів, що забезпечують баланс між інноваційністю та захистом прав людини і сприяють формуванню довіри між бізнесом і споживачами [2].

З позиції цифрового менеджменту принципово важливим є розуміння того, що штучний інтелект не є самодостатнім інструментом. Його ефективність визначається тим, наскільки він інтегрований у загальну систему управління. Це передбачає зміну організаційної культури, розвиток цифрових компетентностей персоналу та переосмислення ролі менеджера, який із контролера процесів перетворюється на архітектора системи прийняття рішень.

Отже, трансформація рекламної діяльності під впливом штучного інтелекту є не просто технологічним, а управлінським феноменом. Вона змінює підходи до планування, реалізації та оцінювання рекламних стратегій, формуючи нову модель взаємодії між брендом і споживачем. Досягнення поставленої мети дослідження дозволило підтвердити, що інтеграція штучного інтелекту в систему цифрового управління є необхідною умовою підвищення ефективності рекламної діяльності.

У подальшому доцільно зосередити увагу на розробці практичних моделей впровадження штучного інтелекту в рекламний менеджмент, а також на формуванні критеріїв оцінювання його ефективності з урахуванням як економічних, так і соціальних наслідків. Це дозволить забезпечити не лише технологічний розвиток реклами, а й її відповідальність перед суспільством.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Кудельський В. Е. Штучний інтелект в маркетингу: переваги та недоліки. *Міжнародний науковий журнал «Грааль науки» № 55(серпень 2025)*. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.22.08.2025.015>.
2. Корсунова К. Ю. Штучний інтелект у дослідженні ринку та запуску рекламних кампаній: ефективні методи та етичні аспекти для міжнародного маркетингу. *Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля № 6 (276) 2022*. DOI: <https://doi.org.10.33216/1998-7927-2022-276-6-13-19>.
3. Ращенко А. В., Лесь А. В. Роль штучного інтелекту в трансформації сучасних маркетингових практик. *Економічна наука. Інвестиції: практика та досвід № 6/2025*. ). DOI: <https://doi.org.10.32702/2306-6814.2025.6.66>
4. Мороз А. Методологічні основи формування цифрових маркетингових стратегій в умовах невизначеності. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2025. № 1 (41). С. 265-276. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5215-2025-1\(41\)-265-276](https://doi.org/10.25140/2411-5215-2025-1(41)-265-276).
5. Грушко, Є. (2025). Використання штучного інтелекту у формуванні креативних концепцій реклами для FMCG. *Актуальні питання економічних наук*, (18). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17851692>.

## **СТРАТЕГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОНОМІКИ**

У сучасних умовах розвитку цифрової економіки трансформація бізнес-середовища супроводжується суттєвими змінами у системах управління підприємствами, серед яких особливого значення набуває управління персоналом. Цифровізація економічних процесів, активне впровадження інформаційно-комунікаційних технологій, автоматизація виробництва, використання штучного інтелекту та цифрових платформ формують нові вимоги до організації праці, професійних компетентностей працівників та стратегічного управління людськими ресурсами. У цих умовах персонал перетворюється не лише на трудовий ресурс, а й на ключовий інтелектуальний актив підприємства, здатний забезпечувати інноваційний розвиток, адаптивність і конкурентоспроможність організації.

Цифрова трансформація економіки впливає на всі складові системи управління персоналом, включаючи підбір кадрів, адаптацію, оцінювання ефективності праці, мотивацію, розвиток компетентностей та формування корпоративної культури. Сучасні підприємства дедалі активніше використовують цифрові HR-технології, серед яких автоматизовані системи рекрутингу, HR-аналітика, електронне навчання, цифрові платформи внутрішніх комунікацій, системи управління талантами та інструменти дистанційної взаємодії. Такі технології забезпечують підвищення швидкості прийняття управлінських рішень, оптимізацію кадрових процесів і формування гнучкої організаційної структури.

Водночас цифровізація створює нові виклики для системи управління персоналом. Одним із ключових є необхідність постійного оновлення професійних компетентностей працівників у відповідь на швидкі технологічні зміни. Зростає потреба у розвитку цифрових навичок, аналітичного мислення, адаптивності та здатності працювати в умовах невизначеності. У результаті підприємства змушені переосмислювати підходи до навчання персоналу, переходячи від традиційних моделей підготовки кадрів до концепцій безперервного навчання, reskilling та upskilling.

Суттєвого значення в умовах цифрової трансформації набуває формування адаптивної HR-стратегії, яка має враховувати динаміку зовнішнього середовища, цифрові тенденції та зміни на ринку праці. Ефективна стратегія управління персоналом повинна поєднувати інноваційні технології, гнучкі форми організації праці та індивідуалізовані підходи до розвитку працівників. Особливу роль у цьому процесі відіграє концепція Smart HRM, яка базується на використанні цифрових рішень, аналітики даних та автоматизації HR-процесів для підвищення ефективності управління людським капіталом.

У сучасних умовах значного поширення набувають дистанційні та гібридні форми зайнятості, що змінюють традиційні підходи до організації праці та управління персоналом. Це вимагає від керівництва підприємств розвитку нових механізмів контролю, мотивації та підтримки працівників у цифровому середовищі. Формування цифрової корпоративної культури, підтримка внутрішніх комунікацій та забезпечення психологічного комфорту працівників стають важливими складовими стратегічного HR-менеджменту.

Окремої уваги потребує питання використання HR-аналітики та великих даних у процесі прийняття управлінських рішень. Сучасні цифрові системи дозволяють аналізувати ефективність роботи персоналу, прогнозувати кадрові ризики, оцінювати рівень залученості працівників та визначати фактори, що впливають на продуктивність праці. Використання таких інструментів забезпечує підвищення обґрунтованості управлінських рішень і сприяє формуванню більш ефективної кадрової політики.

Водночас цифровізація HR-процесів супроводжується низкою ризиків, серед яких загрози кібербезпеці, зростання інформаційного навантаження, цифрова нерівність

працівників та ризик втрати міжособистісної взаємодії у колективі. Надмірна автоматизація кадрових процесів може негативно впливати на рівень довіри між працівниками та керівництвом, що вимагає забезпечення балансу між цифровими технологіями та людським фактором.

Для оцінювання ефективності стратегічного управління персоналом в умовах цифрової трансформації доцільно використовувати комплексний підхід, що включає аналіз продуктивності праці, рівня цифрових компетентностей персоналу, ефективності HR-процесів, рівня залученості працівників та індексу цифрової зрілості підприємства. Використання методів SWOT-аналізу, HR-аналітики, експертного оцінювання та економіко-математичного моделювання дозволяє визначити основні напрями удосконалення системи управління персоналом.

У результаті дослідження обґрунтовано, що стратегічне управління персоналом в умовах цифрової трансформації економіки має базуватися на інтеграції цифрових технологій, розвитку людського капіталу та формуванні гнучких організаційних механізмів управління. Цифровізація HR-процесів створює нові можливості для підвищення ефективності діяльності підприємств, розвитку інноваційного потенціалу та забезпечення довгострокової конкурентоспроможності організацій.

Таким чином, цифрова трансформація економіки зумовлює необхідність переосмислення традиційних підходів до управління персоналом і формування нових стратегічних орієнтирів розвитку HR-систем. Подальші дослідження у цьому напрямі мають бути спрямовані на розроблення моделей цифрового HR-менеджменту, адаптацію міжнародного досвіду до умов української економіки та вдосконалення механізмів розвитку цифрових компетентностей працівників.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Zhosan, G. V., & Kyrychenko, N. V. (2021). «Цифрова трансформація підприємств як інструмент забезпечення їх конкурентоспроможності». *Ефективна економіка*, (12). DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.12.94>.
2. Zhosan, G. V. (2020). «Цифрова економіка: стратегічний контекст розвитку». *Економіка та держава*, (1), 82–85. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.1.82>.
3. Zhosan, G. V. (2022). «Інструментарій управління цифровою трансформацією бізнес-процесів підприємства». *Агросвіт*, (11), 38–43. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2022.11.38>.
4. Kolomytsiva, O. V., & Vasylychenko, O. P. (2021). «Цифрова трансформація бізнес-процесів: теоретичні аспекти та практичні рекомендації». *Бізнес Інформ*, (5), 184–190. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-5-184-190>.
5. Kraus, N. M., Kraus, K. K., & Marchenko, O. V. (2021). «Цифрова економіка в контексті інноваційного розвитку держави». *Економічний простір*, (168), 51–57. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/168-8>.
6. Panchenko, V. A. (2022). «Управління конкурентоспроможністю підприємств в умовах цифровізації». *Академічний огляд*, (1), 125–134. DOI: <https://doi.org/10.32342/2074-5354-2022-1-56-11>.

## **ТРАНСФОРМАЦІЯ МАРКЕТИНГОВИХ СТРАТЕГІЙ СУБ'ЄКТІВ АГРОБІЗНЕСУ В УМОВАХ ЕКОНОМІЧНОЇ ТУРБУЛЕНТНОСТІ**

Сучасний розвиток аграрного сектору економіки характеризується високим рівнем невизначеності, нестабільністю ринкового середовища, посиленням глобальної конкуренції та впливом кризових явищ, що формують нові виклики для суб'єктів агробізнесу. Воснні дії, інфляційні процеси, порушення логістичних ланцюгів, зміни споживацької поведінки, коливання валютних курсів та кліматичні ризики суттєво впливають на ефективність діяльності аграрних підприємств. У цих умовах особливого значення набуває стратегічне управління маркетинговою діяльністю, яке забезпечує адаптацію підприємств до динамічних змін зовнішнього середовища, формування конкурентних переваг та підвищення стійкості агробізнесу.

Маркетингова діяльність у системі агробізнесу виступає важливим інструментом забезпечення ефективної взаємодії між виробником і споживачем, формування попиту, просування продукції та зміцнення ринкових позицій підприємства. Водночас сучасні умови економічної турбулентності вимагають переходу від традиційних маркетингових підходів до стратегічно орієнтованих моделей управління, які базуються на гнучкості, адаптивності та використанні цифрових технологій.

Стратегічне управління маркетинговою діяльністю суб'єктів агробізнесу передбачає формування довгострокових маркетингових цілей, аналіз ринкового середовища, визначення цільових сегментів ринку, розроблення конкурентної стратегії та впровадження ефективних інструментів просування продукції. У сучасних умовах аграрні підприємства дедалі активніше використовують цифровий маркетинг, CRM-системи, інструменти аналітики даних, соціальні мережі та електронні торговельні платформи для забезпечення ефективної комунікації зі споживачами та розширення ринків збуту.

Особливого значення в умовах турбулентності економіки набуває здатність аграрних підприємств швидко реагувати на зміни ринкової кон'юнктури та поведінки споживачів. Зростання ролі екологічної безпеки, органічного виробництва, локальних брендів та прозорості виробничих процесів формує нові вимоги до маркетингової політики агробізнесу. Споживачі дедалі більше орієнтуються не лише на ціну продукції, але й на її якість, походження, безпечність та соціальну відповідальність виробника.

Важливим напрямом удосконалення маркетингової діяльності аграрних підприємств є впровадження концепції агромаркетингу, яка поєднує інструменти стратегічного управління, цифрові технології та аналітичні механізми прогнозування попиту. Використання Big Data, геоінформаційних систем, цифрових платформ електронної торгівлі та інструментів маркетингової аналітики дозволяє суб'єктам агробізнесу підвищувати ефективність управлінських рішень, оптимізувати канали збуту та забезпечувати персоналізовану взаємодію зі споживачами.

Водночас стратегічне управління маркетинговою діяльністю в аграрному секторі супроводжується низкою ризиків і обмежень. До основних із них належать нестабільність цін на аграрну продукцію, обмеженість фінансових ресурсів, високий рівень залежності від зовнішніх ринків, логістичні проблеми та недостатній рівень цифровізації аграрних підприємств. У цих умовах важливим завданням стає формування адаптивних маркетингових стратегій, здатних забезпечити гнучкість підприємств та їхню стійкість до кризових явищ.

Суттєву роль у забезпеченні ефективності маркетингової діяльності відіграє розвиток брендингу аграрної продукції та формування позитивного іміджу підприємства. Використання сучасних комунікаційних інструментів, соціальних мереж, контент-маркетингу та цифрової

реклами дозволяє аграрним підприємствам посилювати впізнаваність бренду, формувати довіру споживачів та зміцнювати конкурентні позиції на внутрішньому й зовнішньому ринках.

Для оцінювання ефективності стратегічного управління маркетинговою діяльністю суб'єктів агробізнесу доцільно використовувати комплексний підхід, що враховує ринкову частку підприємства, рівень прибутковості, ефективність каналів збуту, рівень цифрової активності та індекс лояльності споживачів. Використання SWOT-аналізу, PEST-аналізу, маркетингової аналітики та економіко-математичних методів дозволяє визначити ключові фактори впливу на конкурентоспроможність аграрних підприємств та сформувані напрями вдосконалення маркетингової стратегії.

У результаті дослідження обґрунтовано, що стратегічне управління маркетинговою діяльністю є одним із ключових чинників забезпечення стійкого розвитку суб'єктів агробізнесу в умовах економічної турбулентності. Інтеграція цифрових технологій, розвиток маркетингової аналітики та формування адаптивних стратегій дозволяють підприємствам ефективно реагувати на зміни ринкового середовища, підвищувати конкурентоспроможність та забезпечувати довгострокову економічну стійкість.

Таким чином, сучасні виклики розвитку аграрного сектору вимагають переосмислення традиційних підходів до маркетингової діяльності та переходу до стратегічно орієнтованих моделей управління. Подальші дослідження у цьому напрямі мають бути спрямовані на розроблення інноваційних маркетингових стратегій для суб'єктів агробізнесу, удосконалення цифрових інструментів просування продукції та адаптацію міжнародного досвіду до умов функціонування української економіки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Zhosan, G. V., & Kurychenko, N. V. (2021). «Цифрова трансформація підприємств як інструмент забезпечення їх конкурентоспроможності». *Ефективна економіка*, (12). DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.12.94>.
2. Zhosan, G. V. (2020). «Цифрова економіка: стратегічний контекст розвитку». *Економіка та держава*, (1), 82–85. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.1.82>.
3. Zhosan, G. V. (2022). «Інструментарій управління цифровою трансформацією бізнес-процесів підприємства». *Агросвіт*, (11), 38–43. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2022.11.38>.
4. Kolomytsiva, O. V., & Vasylychenko, O. P. (2021). «Цифрова трансформація бізнес-процесів: теоретичні аспекти та практичні рекомендації». *Бізнес Інформ*, (5), 184–190. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-5-184-190>.
5. Kraus, N. M., Kraus, K. K., & Marchenko, O. V. (2021). «Цифрова економіка в контексті інноваційного розвитку держави». *Економічний простір*, (168), 51–57. DOI: <https://doi.org/10.32782/2224-6282/168-8>.
6. Panchenko, V. A. (2022). «Управління конкурентоспроможністю підприємств в умовах цифровізації». *Академічний огляд*, (1), 125–134. DOI: <https://doi.org/10.32342/2074-5354-2022-1-56-11>.

## ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМІ ЦИФРОВОГО МЕНЕДЖМЕНТУ ПІДПРИЄМСТВА

В умовах глобальної нестабільності та прискореної цифрової трансформації традиційні методи управління підприємством втрачають свою ефективність. Сучасний цифровий менеджмент потребує інструментів, які здатні миттєво обробляти великі масиви даних для підвищення гнучкості та точності управлінських рішень [1; 2]. І саме штучний інтелект стає головним чинником цих змін, дозволяючи автоматизувати не лише рутинні операції, а й складні аналітичні процеси, забезпечуючи підприємствам стратегічну перевагу на ринку.

Актуальність впровадження ШІ підтверджується стрімким зростанням корпоративних інвестицій у цю галузь, які у 2024 році досягли 252,3 млрд доларів США [3].

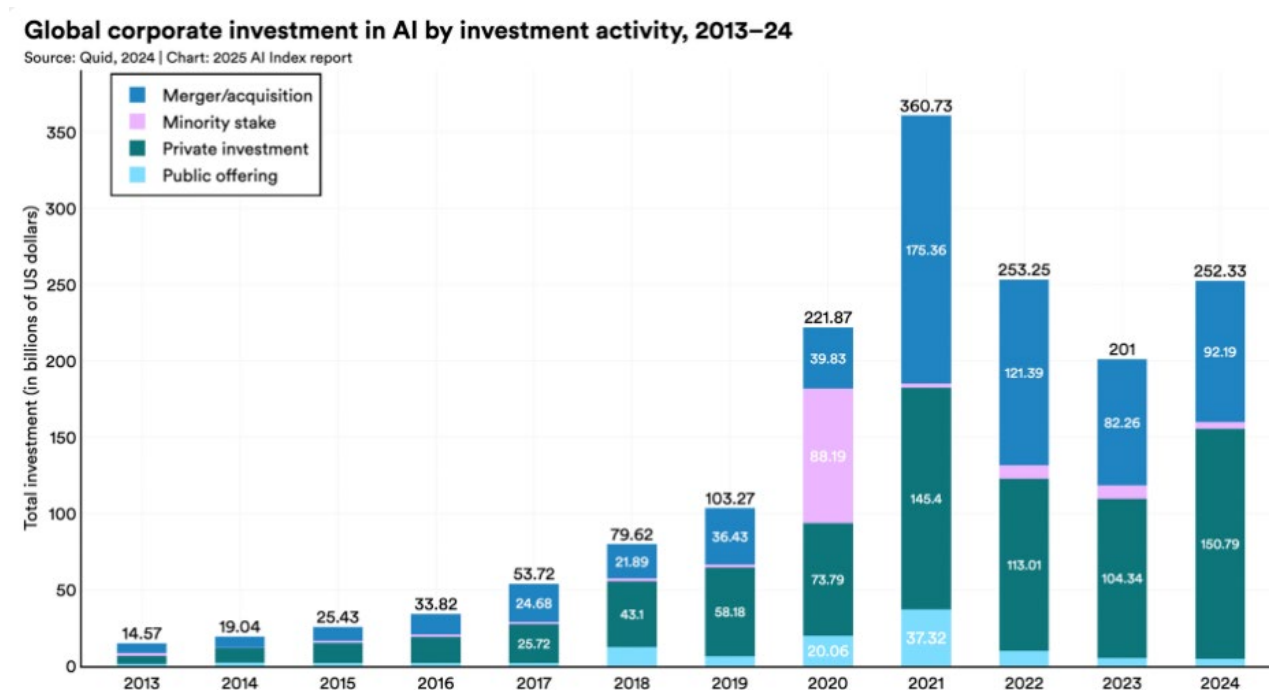


Рисунок 1 – Обсяги глобальних корпоративних інвестицій у сферу штучного інтелекту за видами інвестиційної діяльності (2013-2024 рр.) [3]

Згідно з останніми опитуваннями компанії McKinsey, близько 88% організацій уже використовують ШІ принаймні в одній бізнес-функції, переходячи від етапу пілотних проєктів до масштабного інвестування інтелектуальних систем у систему управління [4]. Таким чином, ШІ трансформується з інноваційного експерименту в фундаментальний елемент цифрової архітектури сучасного підприємства [5].

Впровадження штучного інтелекту сильно змінює класичний управлінський цикл, трансформуючи базові функції менеджменту в інтелектуальні цифрові процеси [6]. Наприклад, традиційне планування еволюціонує у предиктивну аналітику, де алгоритми машинного навчання прогнозують ринкові тренди і попит з високою точністю. Функція організації зміщується в бік динамічного розподілу ресурсів та автоматизації робочих потоків,

а контроль стає безперервним, що тим самим дозволяє виявляти відхилення ще до їхнього виникнення [1].

Найбільш вагомий вплив на ефективність цифрового менеджменту мають такі групи технологій, як: машинне навчання, яке використовується для стратегічного прогнозування та оптимізації ланцюгів поставок; обробка природної мови та чат-боти, які забезпечують миттєву внутрішню та зовнішню комунікацію, автоматизуючи підтримку клієнтів та збір фідбеку від персоналу [7]. Важливу роль також відіграють когнітивні аналітичні системи, які дозволяють інтегрувати дані з різних департаментів для підтримки прийняття складних управлінських рішень. Таким чином, ШІ перетворює менеджмент на високоточну дисципліну, мінімізуючи вплив людського фактору в процесах збору та первинної обробки інформації.

Практичне впровадження штучного інтелекту в систему цифрового менеджменту дозволяє підприємствам перейти на новий рівень продуктивності. Основними векторами цього розвитку є:

1) Автоматизація рутини: штучний інтелект бере на себе виконання повторюваних завдань, наприклад: формування звітів, сортування вхідної інформації та базовий контроль дедлайнів. Наприклад, у роботі з кадровими документами автоматизація первинної обробки дозволяє значно пришвидшити пошук інформації і зменшити кількість технічних помилок. Це дозволяє керівникам вивільнити до 30-40% робочого часу для вирішення стратегічних завдань і креативного планування [8].

2) Data-driven decisions (рішення на основі даних): на зміну управлінській інтуїції приходить глибокий аналіз великих масивів даних. ШІ виявляє приховані кореляції і прогнозує ризики, що мінімізує ймовірність помилок, викликаних людським фактором.

3) Персоналізація управлінського підходу: у цифровому менеджменті штучний інтелект аналізує патерни поведінки як клієнтів, так і співробітників. Це дозволяє покращувати досвід взаємодії з брендом.

Попри значні переваги, інтеграція ШІ в систему цифрового менеджменту супроводжується низкою викликів. Перш за все, варто зважати на економічні бар'єри, адже висока вартість впровадження хмарних рішень є непідйомною для малих бізнесів.

Іншим важливим аспектом є кадровий опір і гостра потреба у навчанні. Сьогодні ми можемо спостерігати значний дефіцит фахівців, які вміють ефективно взаємодіяти зі штучним інтелектом, що тим самим змушує підприємства інвестувати у масштабну перекваліфікацію персоналу. При цьому менеджери стикаються не лише з технічними труднощами, а й з необхідністю подолати психологічний бар'єр – навчитися довіряти алгоритмам складні управлінські процеси [9].

Паралельно з людським фактором на перший план можна винести і питання кібербезпеки та етики. Захист персональних даних і збереження корпоративної таємниці залишаються пріоритетними, особливо в умовах інтеграції хмарних рішень. Крім того, виникають дискусії стосовно етичності алгоритмів: важливо гарантувати, що система не припускатиметься упередженості під час оцінки персоналу або взаємодії з клієнтами.

Отже, можна зробити висновок, що штучний інтелект став визначальним фактором трансформації цифрового менеджменту, перетворюючи його на предиктивну і високоефективну систему. Завдяки ШІ підприємства отримують можливість не просто оптимізувати поточну роботу, а й будувати стратегію на основі глибокого аналізу реальних даних, а не лише управлінської інтуїції.

Водночас важливо розуміти, що штучний інтелект – це потужний когнітивний інструмент, а не заміна людини. У сучасному менеджменті залишаються сфери, де машина ніколи не замінить фахівця – це лідерство, емпатія, стратегічне бачення та етична відповідальність [4]. На мою думку, майбутнє успішного бізнесу буде у синергії людського і

штучного інтелекту, де алгоритми беруть на себе аналітичну рутину, а менеджер зосереджується на творчій стратегії і побудові справжніх людських стосунків.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Використання штучного інтелекту в адаптивному управлінні підприємством. Development Service Industry Management. Development Service Industry Management. URL: <https://dsim.khmn.edu.ua/index.php/dsim/article/view/325>.
2. Роль штучного інтелекту в цифровому менеджменті. DSpace Repository : Home. URL: <https://ir.kneu.edu.ua/items/21c874f8-4fb7-4d94-84ae-d1192ba211bd>.
3. Economy. The 2025 AI Index Report. Stanford HAI. Home. Stanford HAI. URL: <https://hai.stanford.edu/ai-index/2025-ai-index-report/economy>.
4. The state of AI in 2025: Agents, innovation, and transformation. Mckinsey.com. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/the-state-of-ai>.
5. Клименко В.М. Теоретичні аспекти формування стратегії впровадження інструментів штучного інтелекту у сферу цифрового підприємництва. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка*. 2025. № 25. С. 266 – 277. URL: <https://tnv-econom.ksauniv.ks.ua/index.php/journal/article/view/716>.
6. Штучний інтелект у менеджменті: можливості оптимізації бізнес-процесів та управління ризиками. Herald of Khmelnytskyi National University. Economic sciences. Herald of Khmelnytskyi National University. Economic sciences. URL: <https://heraldes.khmn.edu.ua/index.php/heraldes/article/view/2208>.
7. Котовська І. Перспективи використання штучного інтелекту в процесі управління персоналом: аналіз переваг, ризиків та перспектив розвитку. *Економіка та суспільство*. 2024. № 68. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/5055>.
8. The economic potential of generative AI: The next productivity frontier. Mckinsey.com. URL: <https://www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier>.
9. Андрій М., Владислав К. Економічна ефективність використання штучного інтелекту в системі управління підприємствами. Zenodo. URL: <https://zenodo.org/records/18336113>.

## УДОСКОНАЛЕННЯ МАРКЕТИНГОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОДАЖІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ

Трансформаційні процеси в глобальній економіці, спричинені стрімким розвитком інформаційно-комунікаційних технологій, радикально змінюють ландшафт сучасної торгівлі. Традиційні маркетингові стратегії, що базувалися на лінійній взаємодії зі споживачем, стрімко втрачають свою релевантність. У новій цифровій екосистемі маркетинг перетворюється на інтелектуальний механізм управління великими даними (Big Data) та клієнтським досвідом (Customer Experience), що відзначають в своїх роботах науковці [1; 2; 3; 4; 5]. Для суб'єктів господарювання питання модернізації маркетингової активності стає не просто фактором зростання, а базовим чинником виживання в умовах волатильного та висококонкурентного ринку.

Метою дослідження було розробити комплексний науково-методичний підхід та практичні рекомендації щодо вдосконалення маркетингової діяльності підприємства на прикладі ТОВ «Інгул Опт Сервіс», через впровадження інструментів диджиталізації для забезпечення сталого зростання обсягів продажів.

Наукова дискусія щодо трансформації маркетингу в епоху цифровізації свідчить, що ключовою цінністю сьогодні стає не стільки сам товар, скільки прецизійність та персоналізація його пропозиції конкретному споживачу в оптимальний час.

Сучасний цифровий маркетинг дозволяє підприємствам перейти до концепції Performance-маркетингу, де кожна інвестиція в просування може бути чітко верифікована за допомогою систем наскрізної аналітики та алгоритмів машинного навчання [1].

Проведений аналіз показав, що ТОВ «Інгул Опт Сервіс» має можливості для підвищення ефективності своєї діяльності. Водночас встановлено, що підприємство недостатньо використовує можливості цифрових каналів просування, а також не повною мірою застосовує інструменти аналізу клієнтської поведінки. Діагностика поточного стану маркетингової діяльності ТОВ «Інгул Опт Сервіс» дозволила ідентифікувати низку критичних розривів:

- по-перше, спостерігається інертність у використанні соціальних медіа як стратегічного каналу залучення B2B та B2C сегментів.
- по-друге, відсутність інтегрованої системи управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM) призводить до фрагментарності даних про історію взаємодії з контрагентами.

У результаті підприємство втрачає можливість реалізувати стратегію мікросегментації, що негативно позначається на показнику життєвого циклу клієнта.

Важливим вектором розвитку є інтеграція в маркетингову стратегію технологій штучного інтелекту (AI). Використання нейронних мереж для генерації контенту, прогнозування відтоку клієнтів та автоматизації закупівлі реклами (Programmatic Advertising) дозволяє суттєво оптимізувати операційні витрати.

Для ТОВ «Інгул Опт Сервіс» доцільним є впровадження інтелектуальних чат-ботів, інтегрованих із базою знань про асортимент, що забезпечить миттєву реакцію на запити клієнтів у режимі 24/7.

Для розв'язання виявлених проблем пропонується впровадження моделі омніканального маркетингу. На відміну від звичайної мультиканальності, омніканальність гарантує безшовну інтеграцію всіх точок контакту споживача з брендом. Це означає повну синхронізацію роботи відділів збуту, офіційного веб-сайту, зовнішніх маркетплейсів та месенджерів.

Також важливим кроком є побудова Smart-воронок, які автоматично адаптують рекламні повідомлення залежно від поведінкових тригерів користувача на сайті.

Особлива роль у підвищенні ефективності продажів належить інструментам предиктивної аналітики. Використання статистичних моделей дозволяє передбачати піки сезонного попиту та заздалегідь коригувати логістичні ланцюги. Це мінімізує ризики накопичення неліквідних запасів та гарантує наявність найбільш прибуткових товарних позицій у періоди найвищої активності ринку.

Оцінка результативності маркетингових ініціатив має бути повністю переведена у площину цифрових метрик (Digital KPI). До контуру стратегічного контролю слід включити наступні показники:

- SAC (Customer Acquisition Cost) - вартість залучення одного нового контрагента;
- LTV (Lifetime Value) — прогнозований сумарний прибуток від одного клієнта за весь період співпраці;
- ROAS (Return on Ad Spend) - показник рентабельності інвестицій у рекламні кампанії;
- Churn Rate - рівень відтоку клієнтської бази, що є ключовим індикатором якості сервісного обслуговування [2].

Практична реалізація запропонованої стратегії передбачає етапність дій. На першому етапі необхідна інсталяція та глибоке налаштування хмарної CRM-платформи, що дозволить сегментувати клієнтів за методологією RFM-аналізу (Recency, Frequency, Monetary). Це виділить ядро лояльних клієнтів, для яких будуть розроблені ексклюзивні цифрові програми лояльності.

На другому етапі пропонується масштабування цифрової присутності. Це передбачає не лише технічну SEO-оптимізацію ресурсу, а й агресивне використання таргетованої реклами в Google Ads та Meta Ads, що базується на алгоритмах пошуку схожих аудиторій (Look-alike). Розвиток контент-маркетингу через професійні блоги та відеоогляди продукції дозволить сформувати статус експерта в галузі та підвищити рівень довіри до бренда.

Фундаментальним аспектом трансформації є розвиток людського капіталу. Тобто, важливим напрямом удосконалення маркетингової діяльності є також підвищення кваліфікації персоналу. Працівники, які безпосередньо займаються маркетингом та продажами, повинні володіти сучасними інструментами аналізу та просування продукції. Проведення регулярного навчання та підвищення кваліфікації персоналу дозволить підприємству більш ефективно реалізовувати маркетингову стратегію.

Працівники маркетингового департаменту ТОВ «Інгул Опт Сервіс» повинні опанувати інструментарій наскрізної аналітики (Google Analytics 4) та методики візуалізації даних. Проведення регулярних корпоративних воркшопів дозволить персоналу оперативно адаптуватися до змін алгоритмів пошукових систем та рекламних кабінетів.

Удосконалення маркетингової діяльності в епоху цифровізації – це динамічний процес безперервної адаптації до технологічних інновацій. Запропонований комплекс заходів, що базується на впровадженні CRM-систем, переході до омніканальної моделі та використанні AI-аналітики, дозволить ТОВ «Інгул Опт Сервіс» суттєво підвищити коефіцієнт конверсії та оптимізувати маркетинговий бюджет. Синергія класичних управлінських підходів та цифрових інструментів стане надійним підґрунтям для зміцнення конкурентних позицій підприємства та стабілізації його фінансових результатів у довгостроковій перспективі.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Chaffey D., Ellis-Chadwick F. Digital Marketing. 8th ed. Pearson, 2022. 572 p.
2. Kotler P., Keller K. Marketing Management. 16th ed. Pearson, 2022. 832 p.
3. Bala M., Verma D. A Critical Review of Digital Marketing. *International Journal of Management, IT & Engineering*. 2020. Vol. 10, No. 10. P. 321-339.
4. Ryan D. Understanding Digital Marketing: Marketing Strategies for Engaging the Digital Generation. Kogan Page, 2020. 464 p.
5. Rogers D. L. The Digital Transformation Playbook. Columbia Business School Publishing, 2016. 296 p.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІНСЬКИХ ПРОЦЕСІВ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ В2В-КОМУНІКАЦІЙ ЯК ІНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА

*Робота виконана за Модулем 2 «Цифрові технології в управлінні бізнесом: європейські практики» проєкту «Європейські стратегії цифрової інтеграції: адаптація для розвитку мережевої економіки в Україні» (01239480 – ESDI-NEU – ERASMUS-JMO-2025-HEI-TCH-RSCH), що реалізується кафедрою менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій Херсонського державного аграрно-економічного університету за підтримки Європейського Союзу. Проєкт фінансується Європейським Союзом. Однак висловлені погляди та думки належать лише авторам і не обов'язково відображають погляди Європейського Союзу або Європейського виконавчого агентства з питань освіти та культури (ЕАСЕА). Ні Європейський Союз, ні орган, що надає грант, не можуть нести за них відповідальність.*

У парадигмі сучасної глобальної економіки цифровий менеджмент виходить за межі простої ІТ-підтримки бізнесу, стаючи ядром його стратегічного розвитку. Для вітчизняного малого та середнього бізнесу (МСБ), що орієнтується на експансію в Європейський Союз, класичні ієрархічні моделі управління є надто повільними. Європейські ринки вимагають від компаній реалізації концепції «подвійного переходу» (Twin Transition) – синергії цифрової трансформації та сталого екологічного розвитку (ESG-стандартів). Це зумовлює необхідність побудови гнучких, масштабованих та інтелектуалізованих екосистем управління [4].

Метою даного дослідження є проєктування комплексної моделі цифрової трансформації В2В-процесів підприємства за допомогою no-code рішень, інструментів хмарної аналітики та штучного інтелекту, що забезпечує відповідність європейським стандартам кібербезпеки та управління даними.

Дослідження проведено на основі моделювання бізнес-процесів віртуальної еко-компанії «EcoUA». З позиції цифрового менеджменту архітектуру трансформації було декомпоновано на п'ять послідовних управлінських етапів, які формують єдиний наскрізний конвеєр обробки даних (Pipeline):

1. *Оркестрація та Paperless-автоматизація*: створення подійно-орієнтованої інфраструктури збору лідів.
2. *Управління ризиками (Кібербезпека)*: криптографічний захист персональних даних згідно з GDPR.
3. *Інтелектуалізація комунікацій*: інтеграція великих мовних моделей (LLM) для подолання мовних бар'єрів.
4. *Data-Driven менеджмент*: розгортання хмарної CRM-системи та аналітичних дашбордів для моніторингу KPI.
5. *Стратегічний фандрейзинг*: залучення інноваційних грантів ЄС для масштабування інфраструктури.

Візуалізацію спроектованої структури управлінських процесів наведено на рис. 1.

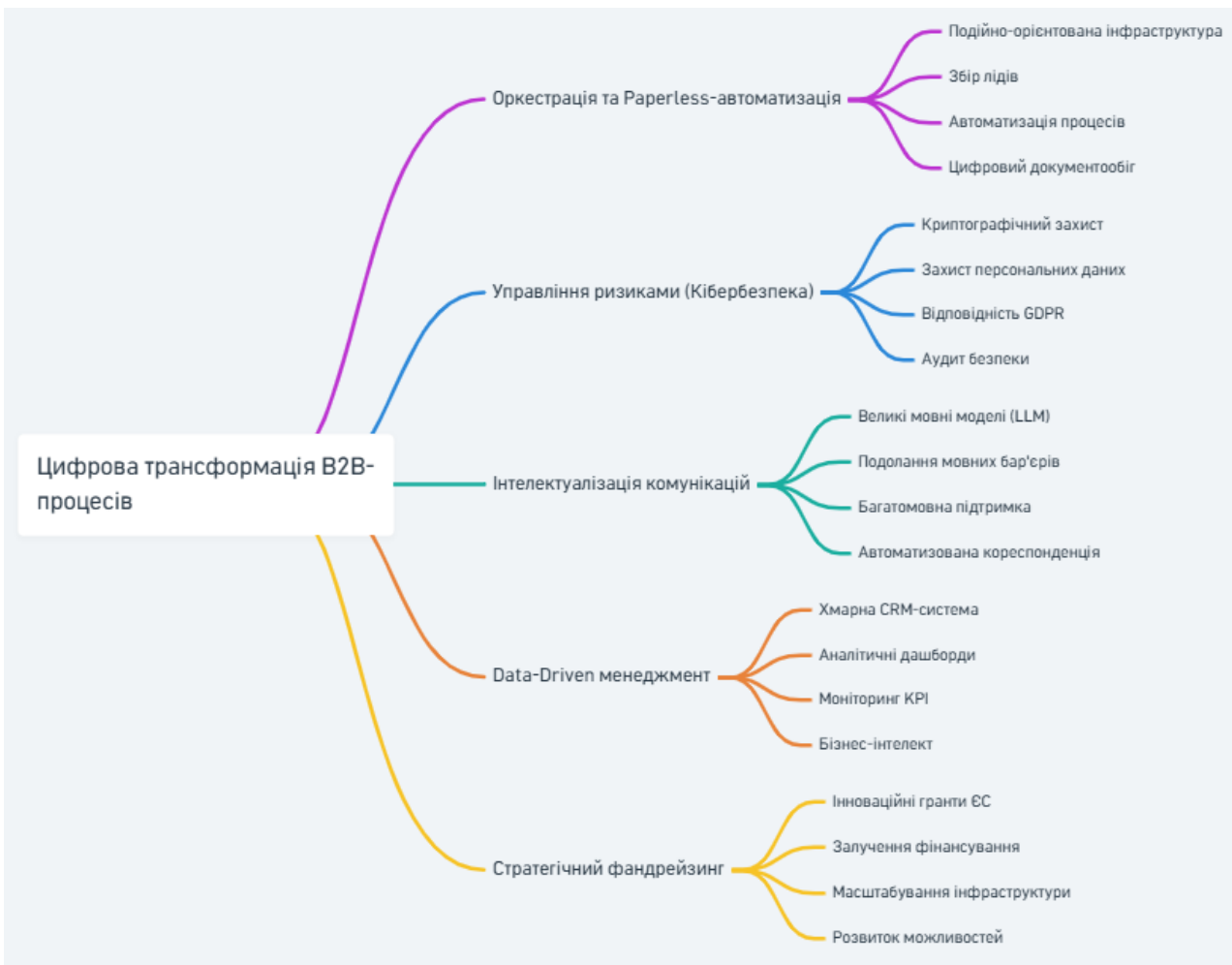


Рисунок 1 – Блок-схема загальної архітектури цифрової трансформації (від збору даних до аналітики та залучення інвестицій)

Приведемо детальний аналіз етапів впровадження цифрової трансформації B2B-процесів.

*Етап 1. Оркестрація процесів та впровадження концепції Paperless.* З точки зору операційного менеджменту, ручна обробка інформації генерує критичні втрати часу та підвищує ймовірність помилок (human error). Відповідно до європейської ініціативи «Цифрове десятиліття 2030», оптимізація передбачає перехід до безпаперового документообігу. У межах проекту було використано платформу хмарної оркестрації n8n. Розроблена архітектура працює за принципом Event-Driven (подійно-орієнтована): надходження запиту від іноземного контрагента через вебформу виступає тригером, що автоматично ініціює каскад управлінських дій без жодного втручання людини. Такий підхід суттєво скорочує операційні витрати (ОРЕХ) підприємства та час реакції на запит (Lead Response Time) [3].

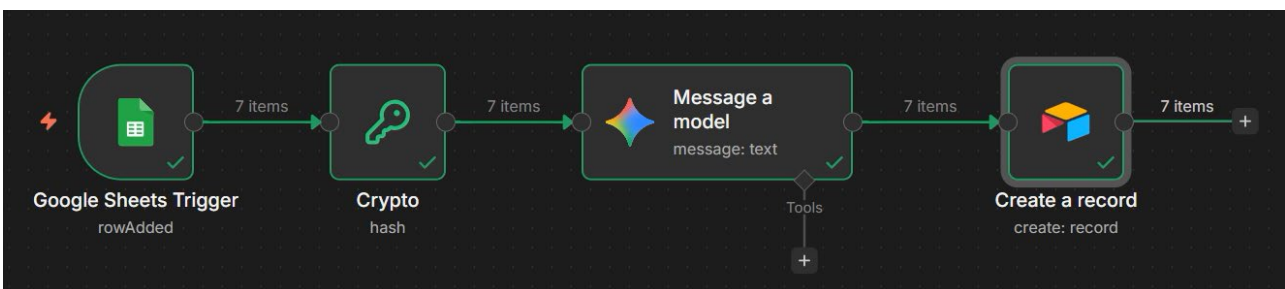


Рисунок 2 – Загальна схема робочого процесу (Workflow) у n8n з логікою тригерів

*Етап 2. Управління ризиками: Кібербезпека та комплаєнс із GDPR.* Вихід на ринок ЄС вимагає від цифрового менеджера забезпечення абсолютного юридичного та технічного комплаєнсу, зокрема дотримання Загального регламенту захисту даних (GDPR). Зберігання персональної ідентифікаційної інформації (PII) у відкритих хмарних базах становить неприпустимий ризик. Для його мінімізації в робочий процес було імплементовано вузол криптографії. Даний програмний модуль автоматично здійснює псевдонімізацію вхідних даних клієнтів (наприклад, корпоративних email-адрес), конвертуючи їх за алгоритмом хешування (MD5/SHA-256) у безпечний шістнадцятковий рядок. Отже, до бази даних CRM потрапляє виключно деперсоналізований хеш, що захищає компанію від репутаційних та фінансових втрат у разі кібератак [1].

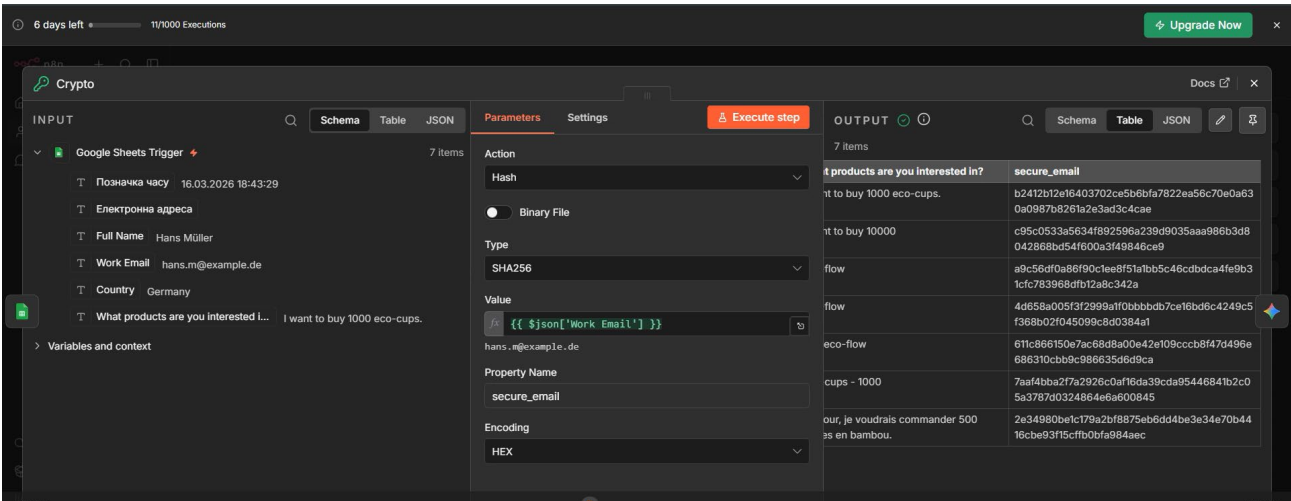


Рисунок 3 – Налаштування модуля Crypto та результат хешування email-адреси

*Етап 3. Інтелектуалізація комунікацій через LLM-інтеграції.* Головним бар'єром масштабування B2B-продажів у Європі є мультимовність середовища. Цифровий менеджмент вирішує цю проблему не шляхом розширення штату перекладачів, а через делегування рутинних інтелектуальних завдань нейромережам. Завдяки API-підключенню великої мовної моделі (Google Gemini), система здатна в режимі реального часу аналізувати семантику запиту (французькою, німецькою тощо), адаптувати переклад для українського менеджера та автоматично генерувати релевантну B2B-пропозицію мовою цільового ринку. Це створює ефект глобальної присутності компанії та підвищує рівень клієнтського сервісу [7].

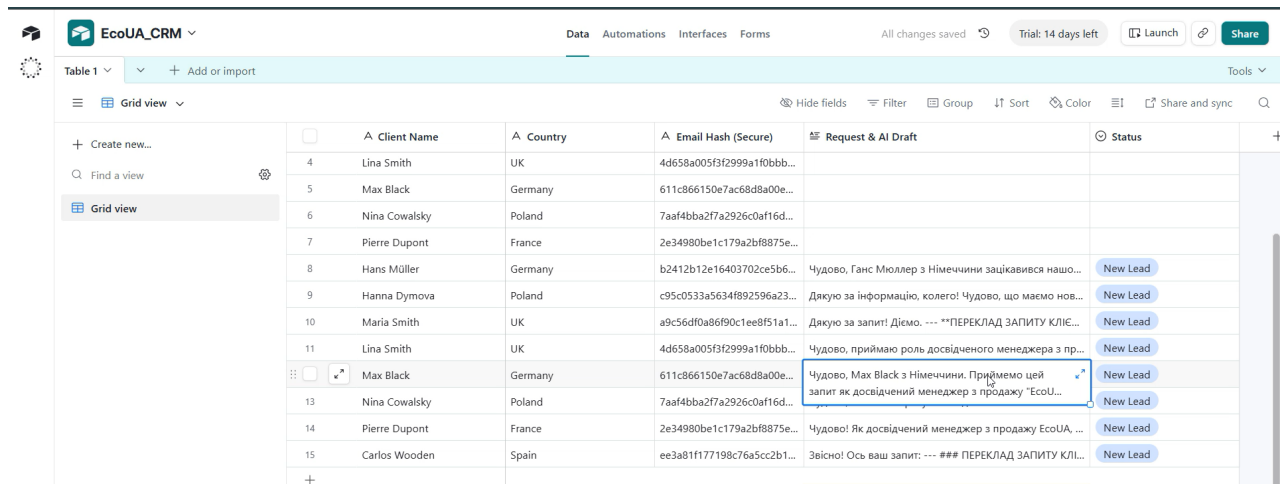


Рисунок 4 – Приклад обробки запиту штучним інтелектом: переклад та генерація відповіді

*Етап 4. Управління на основі даних (Data-Driven Decision Making).* Сучасний цифровий менеджмент базується на концепції єдиного джерела істини (Single Source of Truth). Оброблені ШІ та зашифровані дані автоматично спрямовуються до хмарної реляційної бази Airtable. Тут формується Kanban-дошка воронки продажів, що дозволяє відділу збуту ефективно управляти статусами лідів. Паралельно, для потреб топменеджменту, розгорнуто систему Business Intelligence (BI) на базі Google Looker Studio. Цей інструмент автоматично агрегує знеособлені дані та формує інтерактивні дашборди. Візуалізація географії попиту, конверсії та прибутковості дозволяє приймати стратегічні рішення на основі об'єктивних метрик, а не інтуїції [5].

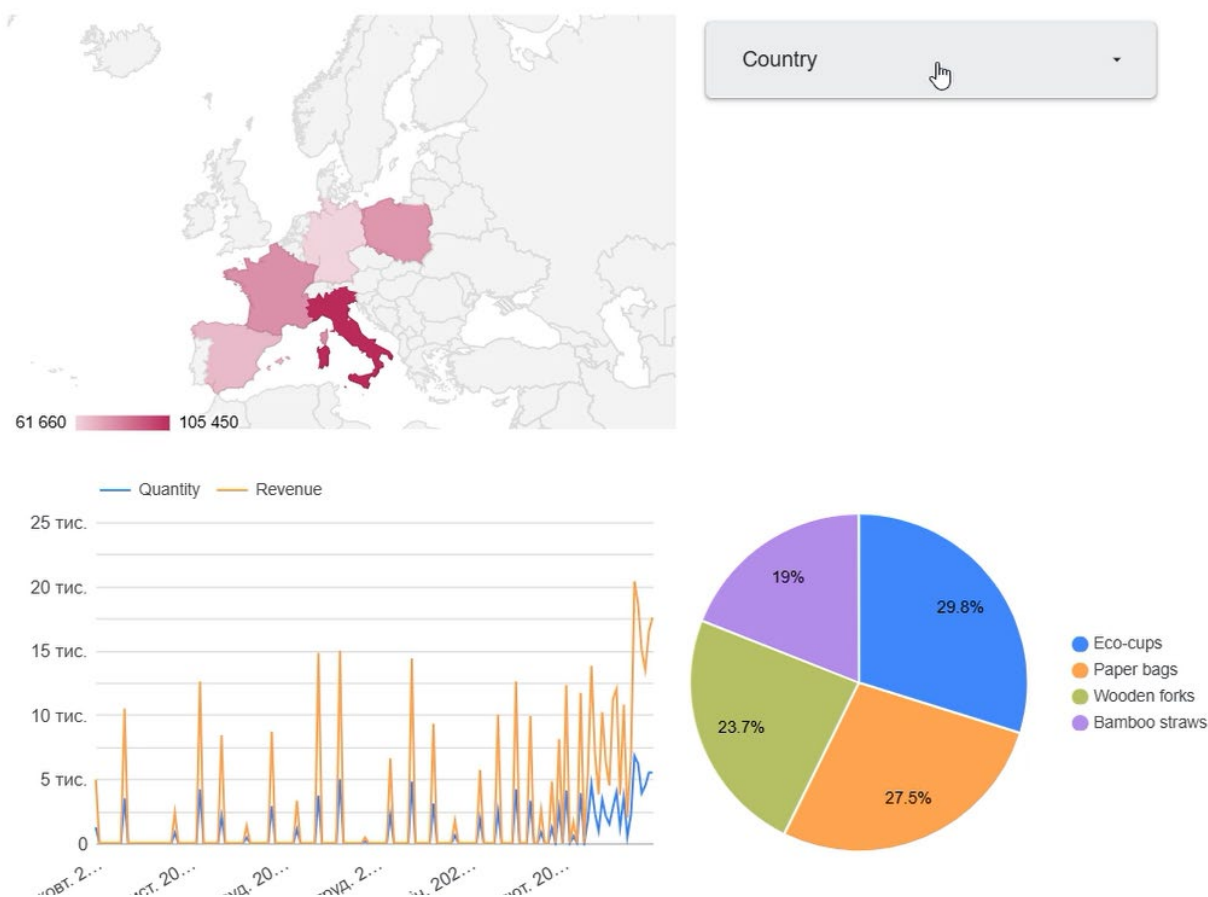


Рисунок 5 – Аналітичний дашборд Looker Studio з візуалізацією бізнес-метрик

*Етап 5. Стратегічне планування та інтеграція в екосистемі ЄС.* Наявність прозорої, масштабованої та захищеної ІТ-інфраструктури відкриває підприємству доступ до європейських інноваційних екосистем. У рамках дослідження штучний інтелект було використано в ролі бізнес-консультанта для пошуку релевантних фондів. На основі аналізу "цифрового паспорта" компанії було згенеровано Executive Summary для грантової заявки за програмою «Digital Europe Programme». Створений Pitch Deck аргументує потребу в інвестиціях для розширення серверних потужностей та придбання Enterprise-ліцензій, необхідних для подальшої європейської експансії [2, 6].

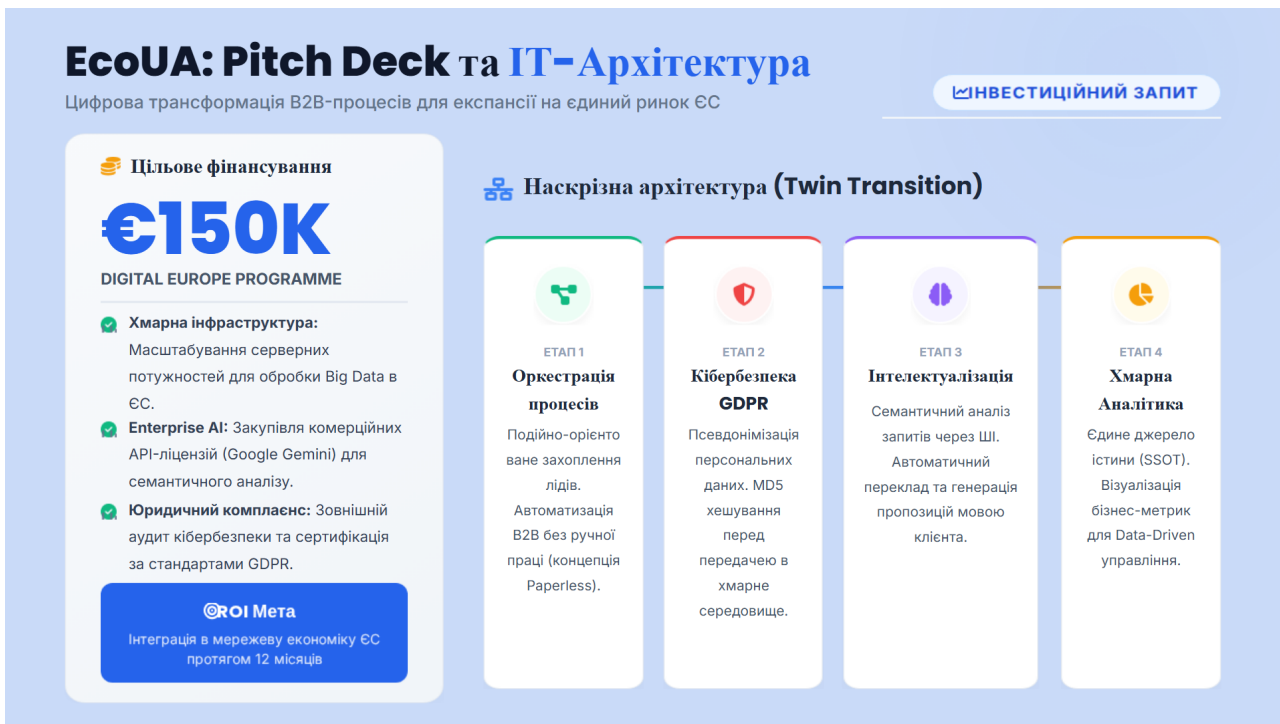


Рисунок 6 – Слайд презентації (Pitch Deck) з описом IT-архітектури та інвестиційним запитом

*Висновки.* Дослідження доводить, що застосування принципів цифрового менеджменту дозволяє докорінно трансформувати архітектуру вітчизняного бізнесу. Комплексне використання no-code платформ, криптографії та ШІ забезпечує оптимізацію ресурсів, виконання вимог європейського комплаєнсу (GDPR) та створює Data-Driven середовище для прийняття стратегічних рішень. Навички проєктування таких екосистем, отримані в межах грантового проєкту ESDI-NEU, є критично важливими для фахівців нового покоління, які керуватимуть процесами цифрової інтеграції української мережевої економіки в європейський ринок.

ЛІТЕРАТУРА :

1. Регламент (ЄС) 2016/679 Європейського Парламенту і Ради від 27 квітня 2016 року про захист фізичних осіб у зв'язку з опрацюванням персональних даних і про вільний рух таких даних (GDPR). *Офіційний вісник Європейського Союзу*. 2016. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/UK/TXT/?uri=CELEX:32016R0679> (дата звернення: 12.04.2026).
2. Digital Europe Programme. *European Commission : official website*. URL: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/activities/digital-programme> (date of access: 12.04.2026).
3. Кузів Я.С., Димова Г.О. Інформаційні технології автоматизації B2B-процесів та захисту даних підприємства в умовах євроінтеграції. *Матеріали XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню ракетно-космічної галузі України*. Ред. Г.В. Рудакової та ін. Херсон-Хмельницький: Видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2026, С. 60–63.
4. Краус Н. М., Голобородько О. П., Краус К. М. Цифрова економіка: тренди та перспективи авангардного характеру розвитку. *Ефективна економіка*. 2018. № 1. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6047>.
5. Mell P., Grance T. The NIST definition of cloud computing. *National Institute of Standards and Technology*. 2011. Special Publication 800-145. 7 p.
6. Європейські стратегії цифрової інтеграції: адаптація для розвитку мережевої економіки в Україні (ESDI-NEU) : офіційний вебсайт проєкту. Херсонський державний аграрно-економічний університет. URL: <https://sites.google.com/ksaeu.kherson.ua/esdi-neu/> (дата звернення: 12.04.2026).
7. Zhao W. X. et al. A survey of large language models. *arXiv preprint*. 2023. URL: <https://arxiv.org/abs/2303.18223>.

## **ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК ІНСТРУМЕНТ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ: ВИКЛИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ДЛЯ УКРАЇНСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ**

Стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту, що відбувається протягом останніх років, докорінно змінює підходи до управління підприємствами в усьому світі. Для української економіки, яка функціонує в надзвичайно складних умовах повномасштабної війни, питання впровадження інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень набуває особливої гостроти. Менеджмент змушений ухвалювати рішення в умовах перманентної невизначеності, дефіциту ресурсів, руйнування інфраструктури, кадрових втрат та постійної загрози безпеці бізнес-процесів. У такому середовищі традиційні методи аналізу й планування виявляються недостатньо ефективними, що актуалізує запит на технології, здатні швидко обробляти великі масиви даних і генерувати обґрунтовані прогнози. Саме штучний інтелект демонструє потенціал перетворитися на дієвий інструмент адаптації українського бізнесу до екстремальних умов господарювання.

Поняття штучного інтелекту охоплює широкий спектр технологічних рішень, серед яких машинне та глибоке навчання, обробка природної мови, комп'ютерний зір, генеративні моделі, експертні системи та інтелектуальні агенти. У контексті управлінської діяльності ці технології застосовуються для розв'язання різноманітних завдань – від автоматизації рутинних операцій до прогнозування ринкових тенденцій, оцінки ризиків, оптимізації логістичних маршрутів, персоналізації клієнтського обслуговування та підбору персоналу. Принципова відмінність систем штучного інтелекту від традиційних інформаційних систем полягає у здатності навчатися на даних, виявляти приховані закономірності та адаптуватися до змінних умов без жорстко заданих алгоритмів [3]. Це робить такі системи особливо цінними для керівників, які працюють в умовах високої волатильності зовнішнього середовища.

Світова статистика впровадження штучного інтелекту демонструє вибуховий характер. Згідно з дослідженням McKinsey Global Survey on AI, у 2024 році частка організацій, які використовують ШІ принаймні в одній бізнес-функції, зросла до 72 %, тоді як упродовж попередніх шести років цей показник стабільно тримався в межах 47–58 %. За даними IBM Global AI Adoption Index, понад 82 % великих корпорацій (з кількістю працівників понад 1000) активно впроваджували, експериментували або вивчали можливості штучного інтелекту вже на початку 2024 року. Загальний обсяг світових інвестицій у цю сферу у 2024 році сягнув рекордних 500 млрд дол. США, а до 2035 року внесок штучного інтелекту в глобальний валовий внутрішній продукт може перевищити 15 трлн дол. США [4].

Українська ситуація відрізняється від загальносвітової. Дослідження Forbes Ukraine виявило, що станом на грудень 2024 року лише 5,2 % українських компаній впроваджували повноцінні рішення на основі штучного інтелекту, тоді як аналітика великих даних та ERP-системи використовувалися 15,2 % підприємств. Водночас опитування консалтингової агенції Stayinno AI, проведене з жовтня 2024 року по березень 2025 року серед 240 українських компаній, засвідчило значно вищий рівень готовності бізнесу до інновацій: близько 40 % опитаних організацій планують інвестувати у впровадження штучного інтелекту та автоматизацію процесів. Більшість компаній, які вже застосували інтелектуальні рішення, відзначають реальні бізнес-вигоди – скорочення часу на виконання рутинних операцій, підвищення продуктивності працівників та якість прийняття рішень. Цю розбіжність між фактичним і потенційним рівнем впровадження можна пояснити одночасною дією стримувальних та стимулювальних чинників, які формують специфіку українського ринку [1].

Воєнний стан виявився парадоксальним каталізатором цифрової трансформації. Масовані обстріли логістичних хабів, складських приміщень і транспортної інфраструктури в

період 2022–2024 років змусили підприємства ритейлу, аграрного сектору, e-commerce та логістичних операторів швидко перебудувувати ланцюги постачання. У 2025 році зафіксовано стрімке зростання впровадження систем управління складом (WMS), систем управління транспортом (TMS), GPS-моніторингу та інструментів динамічної маршрутизації, побудованих на алгоритмах машинного навчання. Низка великих українських ритейлерів реалізувала повну автоматизацію зон зберігання, обробки замовлень і доставки, що дало змогу суттєво скоротити час обслуговування клієнтів навіть під час повітряних тривог і блекаутів. Промислові гіганти, такі як «Метінвест», впроваджують рішення на основі комп'ютерного зору для автоматичного контролю якості напівфабрикатів у режимі реального часу, а агрохолдинг МХП розгорнув першу у світі end-to-end систему Smart Technology Assistant для управління процесами вирощування птиці на базі моделей штучного інтелекту [5].

Аналіз управлінських функцій, у яких штучний інтелект демонструє найбільшу віддачу, дозволяє виділити кілька ключових напрямів. Перший пов'язаний із прогнозною аналітикою: алгоритми машинного навчання обробляють історичні дані про продажі, ціни, кліматичні умови, поведінку споживачів і генерують прогнози попиту, врожайності або рентабельності з точністю, що значно перевищує можливості традиційних статистичних методів. Другий напрям охоплює оптимізацію операційних процесів, де інтелектуальні системи допомагають визначити оптимальні маршрути доставки, графіки технічного обслуговування обладнання та структури складських запасів. Третій напрям – управління персоналом: ШІ-системи фільтрують резюме, оцінюють відповідність кандидатів вимогам вакансії, проводять первинні інтерв'ю, що особливо актуально в умовах кадрового голоду, спричиненого міграцією та мобілізацією. Четвертий напрям охоплює клієнтський сервіс через чат-боти, віртуальних асистентів та персоналізовані рекомендаційні системи. П'ятим важливим напрямом стало використання генеративного штучного інтелекту для створення контенту, аналітичних звітів та комунікацій, що раніше потребували значних людських ресурсів [2].

Особливе значення для українського бізнесу мають можливості ШІ у сфері управління ризиками та кібербезпеки. В умовах постійних кібератак з боку держави-агресора інтелектуальні системи виявлення аномалій здатні розпізнавати нетипову поведінку в корпоративних мережах, блокувати спроби несанкціонованого доступу та прогнозувати потенційні вразливості ще до їх експлуатації зловмисниками. Системи на основі обробки природної мови дають змогу автоматично моніторити інформаційний простір, виявляти репутаційні загрози та координувати кризові комунікації. У фінансовому секторі алгоритми машинного навчання забезпечують виявлення шахрайських транзакцій з мінімальною кількістю помилкових спрацьовувань, що в умовах нестабільної економіки набуває критичного значення для збереження довіри клієнтів і стабільності платіжних систем. Прикметно, що саме фінансово-банківський сектор в Україні демонструє найвищі темпи інтеграції ШІ-рішень: провідні комерційні банки реалізують антифрод-системи, скоринг кредитоспроможності клієнтів та персоналізовані рекомендаційні сервіси, які дають змогу зберігати конкурентоспроможність попри ускладнення макроекономічних умов.

Аналіз досвіду українських аграрних компаній заслуговує на окрему увагу, оскільки агропромисловий комплекс залишається провідним сектором експортної економіки. Інтелектуальні системи в агросекторі застосовуються для моніторингу стану посівів за допомогою супутникових знімків і безпілотних літальних апаратів, для прогнозування врожайності з урахуванням кліматичних, ґрунтових і ринкових змінних, для оптимізації внесення добрив і засобів захисту рослин. Розгортання ШІ-платформ на 50–70 агропідприємствах центральних і південних регіонів України у 2023–2025 роках продемонструвало зменшення часу обробки замовлень у 3–4 рази, скорочення витрат на паливо на 15–20 % та зниження кількості запізнь у поставках на чверть. Окремий ефект пов'язаний із можливістю прогнозного управління запасами – інтелектуальна аналітика забезпечує підвищення точності прогнозів обсягів реалізації на 20–25 %, що особливо важливо в умовах розриву традиційних експортних маршрутів через окупацію частини портової інфраструктури.

Попри очевидні переваги, впровадження штучного інтелекту в управлінську практику українських підприємств наражається на низку серйозних викликів. На рівні організаційної готовності найгострішою проблемою залишається дефіцит кваліфікованих кадрів. За оцінками Saturday Team, на початку 2024 року в Україні налічувалося близько 5200 фахівців з ШІ, тоді як потенційна потреба була вчетверо вищою. Через високий світовий попит на спеціалістів і нижчий рівень оплати праці країна щорічно втрачає від 10 до 15 % таких фахівців. Другим суттєвим бар'єром виступає обмежений доступ до фінансування – попри те, що український технологічний сектор у 2025 році залучив 498 млн дол. США венчурних інвестицій (на 8 % більше, ніж у 2024 році), малі й середні підприємства традиційно мають дуже обмежений доступ до капіталу для інновацій. Третій виклик – інфраструктурні обмеження: систематичні ракетно-дронові атаки на енергетичну систему створюють перебої в роботі дата-центрів і порушують безперервність бізнес-процесів, які залежать від хмарних сервісів і складних обчислювальних потужностей.

Не менш важливими є етичні, правові та культурні виклики. Низький рівень цифрової зрілості керівництва, особливо у середовищі традиційного агробізнесу, промисловості та малого бізнесу регіонів, призводить до недовіри щодо рекомендацій, які генерують інтелектуальні системи. Відсутність чітких протоколів пояснюваності алгоритмічних рішень створює ризик прийняття непрозорих управлінських висновків, наслідки яких складно перевірити. У грудні 2024 року Україна зробила перший крок у регулюванні цієї сфери – 14 провідних IT-компаній підписали Добровільний кодекс поведінки з етичного й відповідального використання штучного інтелекту. У травні 2025 року Кабінет Міністрів України затвердив план заходів з реалізації Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні на 2025–2026 роки, що створило нормативне підґрунтя для подальшої гармонізації українських підходів із вимогами європейського AI Act, основна частина якого набирає чинності з 2 серпня 2026 року. Така гармонізація стає особливою вимогою на тлі курсу на євроінтеграцію та посилення співпраці з міжнародними партнерами в межах програм Horizon Europe, USAID та GIZ.

Аналіз практичного досвіду українських підприємств демонструє, що найбільший економічний ефект від впровадження ШІ досягається при поетапному, продуманому підході. Перший етап передбачає аудит бізнес-процесів та виявлення тих зон, де автоматизація принесе максимальний результат при мінімальних інвестиціях. Другий етап полягає у пілотному впровадженні готових рішень – чат-ботів, систем рекомендацій, інструментів обробки документів, – що дає змогу перевірити гіпотези на обмеженому масштабі. Третій етап включає розгортання масштабних кастомізованих рішень, інтеграцію штучного інтелекту в стратегічне планування, фінансовий аналіз та управління ланцюгами постачання. Четвертий етап передбачає формування власних компетенцій усередині компанії та культивування культури роботи з даними, без якої жодна, навіть найдосконаліша, технологія не дасть очікуваного ефекту. Дослідження свідчать, що компанії, які впровадили генеративний ШІ в маркетинг, обслуговування клієнтів і документообіг у 2024–2025 роках, фіксують зростання продуктивності окремих функцій на 25–40 % та скорочення витрат на створення контенту до 60 %.

Перспективним напрямом для українського бізнесу стає поєднання штучного інтелекту з іншими цифровими технологіями – блокчейном, інтернетом речей, периферійними і квантовими обчисленнями. Така технологічна конвергенція дає змогу будувати повноцінні цифрові екосистеми, у яких ШІ виконує роль інтелектуального ядра, що координує дії різних компонентів. Ще одним стратегічним вектором розвитку є формування галузевих і регіональних цифрових платформ, де підприємства, наукові установи та державні структури об'єднують ресурси для спільного використання алгоритмів і даних. У післявоєнний період такий кооперативний підхід може стати основою прискореного відновлення економіки – країни, що пройшли через подібні випробування, демонструють вибухове зростання технологічної зрілості саме завдяки інтеграції цифрових інструментів у процеси відбудови. Потенційний внесок штучного інтелекту у валовий внутрішній продукт України, за оцінками

експертів Київської школи економіки, у разі системного впровадження може сягнути 8–10 % до 2030 року.

Отже, штучний інтелект у сучасних умовах виступає одночасно і викликом, і ключовою можливістю для українських підприємств. Воєнні реалії, попри їх руйнівний характер, прискорили цифрову трансформацію та сформували унікальний попит на інноваційні рішення в управлінні. Українські компанії, які роблять обґрунтовані інвестиції в інтелектуальні технології, отримують конкурентні переваги, що зберігаються й у післявоєнний період. Подальший розвиток у цій сфері потребує комплексної державної політики, спрямованої на підготовку кадрів, формування сприятливого регуляторного середовища, розвиток цифрової інфраструктури та підтримку наукових досліджень. Лише за умови синхронної взаємодії бізнесу, держави, освіти та міжнародних партнерів штучний інтелект перетвориться зі стратегічного потенціалу на дієвий механізм економічного відновлення та модернізації України. Підприємства, які усвідомлюють цей виклик уже сьогодні, формують основу нової економічної моделі, у якій інтелектуальні системи стають невід’ємною складовою прийняття управлінських рішень будь-якого рівня складності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гринчак Н. А., Горобець О. О. Вплив цифровізації на процес прийняття управлінських рішень у міжнародному бізнесі. *Статистика України*. 2024. № 2. С. 108–119. URL: <https://irb.nasoa.edu.ua/server/api/core/bitstreams/4f5538ac-f567-4084-8978-0b13dca9d4af/content> (дата звернення: 09.05.2026).
2. Кузьминчук Н. В., Капранова Л. Г. Цифровізація та автоматизація бізнес-процесів як інструмент забезпечення економічної безпеки в машинобудівній галузі. *Здобутки економіки: перспективи та інновації*. 2024. № 11. С. 124–133. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14213009> (дата звернення: 09.05.2026).
3. Кулинич М. Б. Штучний інтелект в процесі прийняття та реалізації управлінських рішень. *Таврійський науковий вісник. Серія: Економіка: Науковий журнал*. 2023. Вип. 17. С. 132–139. DOI: <https://doi.org/10.32782/2708-0366/2023.17.16> (дата звернення: 09.05.2026).
4. Про затвердження плану заходів з реалізації Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні на 2025–2026 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 09.05.2025 № 457-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/457-2025-p> (дата звернення: 09.05.2026).
5. Як українські компанії використовують штучний інтелект. *Kyivstar Business Hub*: вебсайт. URL: <https://hub.kyivstar.ua/articles/yak-ukrayinski-kompaniyi-vikoristovuyut-shtuchnij-intelekt> (дата звернення: 09.05.2026).

## **РОЗВИТОК ІННОВАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЯК ОСНОВА ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ МАЛИХ ТА СЕРЕДНІХ ПІДПРИЄМСТВ**

У сучасних умовах трансформації економічних систем, посилення глобальної конкуренції та активного розвитку цифрових технологій малі та середні підприємства відіграють важливу роль у забезпеченні економічного зростання, створенні робочих місць, розвитку регіонів та стимулюванні інноваційної активності. Саме сектор малого та середнього бізнесу характеризується високою адаптивністю до змін ринкового середовища, здатністю швидко впроваджувати нові бізнес-моделі та генерувати інноваційні рішення. Водночас ефективність функціонування таких підприємств значною мірою залежить від рівня розвитку інноваційної інфраструктури, яка забезпечує доступ до фінансових, інформаційних, технологічних та консультаційних ресурсів.

Інноваційна інфраструктура виступає важливим елементом національної економічної системи, що формує сприятливі умови для створення, впровадження та комерціалізації інновацій. Її складовими є технопарки, бізнес-інкубатори, центри трансферу технологій, інноваційні кластери, венчурні фонди, цифрові платформи підтримки підприємництва, науково-дослідні установи та освітні центри. Взаємодія цих елементів сприяє розвитку підприємницької екосистеми, формуванню інноваційного середовища та підвищенню конкурентоспроможності малого і середнього бізнесу.

Особливого значення формування інноваційної інфраструктури набуває в умовах цифрової економіки, де ключовими факторами успіху стають швидкість обробки інформації, доступ до сучасних технологій та здатність підприємств інтегрувати цифрові рішення у власну діяльність. Сучасна інноваційна інфраструктура дедалі більше орієнтується на використання цифрових платформ, хмарних сервісів, інструментів електронної комерції, Big Data та технологій штучного інтелекту. Це дозволяє підприємствам отримувати доступ до нових ринків, оптимізувати бізнес-процеси та формувати інноваційні продукти й послуги.

Важливим аспектом розвитку інноваційної інфраструктури є забезпечення взаємодії між державою, бізнесом, науковими установами та громадським сектором. Ефективне партнерство між цими суб'єктами сприяє створенню сприятливого інституційного середовища, розвитку системи фінансування інновацій та підвищенню рівня підприємницької активності. У багатьох країнах світу важливу роль у підтримці малого та середнього бізнесу відіграють державні програми стимулювання інновацій, грантові механізми, податкові пільги та регіональні центри підтримки підприємництва.

Для економіки України питання формування інноваційної інфраструктури має особливу актуальність у контексті післявоєнного відновлення, цифрової трансформації та інтеграції до європейського економічного простору. В умовах нестабільності та обмеженого доступу до фінансових ресурсів саме малі та середні підприємства можуть стати драйвером економічної стабілізації та регіонального розвитку. Однак недостатній рівень розвитку інноваційної інфраструктури, низька інвестиційна активність, обмежений доступ до технологій та дефіцит кваліфікованих кадрів залишаються суттєвими бар'єрами для розвитку підприємництва.

Одним із перспективних напрямів удосконалення інноваційної інфраструктури є розвиток регіональних інноваційних кластерів, які забезпечують об'єднання підприємств, наукових установ, органів влади та інвесторів у межах спільного інноваційного середовища. Такі кластери сприяють поширенню знань, обміну технологіями та створенню умов для колективного розвитку інноваційних проєктів. Водночас активне використання цифрових платформ дозволяє малим та середнім підприємствам брати участь у міжнародних ланцюгах створення вартості та інтегруватися у глобальні інноваційні мережі.

Оцінювання ефективності інноваційної інфраструктури доцільно здійснювати на основі комплексного підходу, що враховує рівень інноваційної активності підприємств, обсяг інвестицій у дослідження та розробки, кількість стартапів, рівень цифровізації бізнесу та показники комерціалізації інновацій. Використання економіко-математичних методів, анкетування підприємств та SWOT-аналізу дозволяє визначити ключові проблеми функціонування інноваційної інфраструктури та сформулювати напрями її удосконалення.

У результаті дослідження обґрунтовано, що формування ефективної інноваційної інфраструктури є необхідною умовою забезпечення сталого розвитку малого та середнього бізнесу. Вона створює передумови для активізації інноваційної діяльності, підвищення конкурентоспроможності підприємств, розвитку цифрового підприємництва та посилення економічної стійкості регіонів. Запропонований підхід до розвитку інноваційної інфраструктури дозволяє забезпечити інтеграцію науки, бізнесу та держави в єдину систему підтримки інноваційного розвитку.

Таким чином, інноваційна інфраструктура виступає стратегічним елементом розвитку малого та середнього підприємництва в умовах цифрової економіки та економічної трансформації. Її розвиток сприятиме формуванню інноваційно орієнтованої моделі економіки, посиленню інвестиційної привабливості країни та створенню умов для довгострокового економічного зростання.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Zhosan, G. V. (2020). Цифрова економіка: стратегічний контекст розвитку. *Економіка та держава*, (1), 82–85. <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.1.82>
2. Zhosan, G. V., & Kurychenko, N. V. (2021). Цифрова трансформація підприємств як інструмент забезпечення їх конкурентоспроможності. *Ефективна економіка*, (12). <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.12.94>
3. Zhosan, G. V. (2022). Інструментарій управління цифровою трансформацією бізнес-процесів підприємства. *Агросвіт*, (11), 38–43. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2022.11.38>
4. Kolomytsiva, O. V., & Vasylchenko, O. P. (2021). Цифрова трансформація бізнес-процесів: теоретичні аспекти та практичні рекомендації. *Бізнес Інформ*, (5), 184–190. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-5-184-190>
5. Kraus, N. M., Kraus, K. K., & Marchenko, O. V. (2021). Цифрова економіка в контексті інноваційного розвитку держави. *Економічний простір*, (168), 51–57. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/168-8>
6. Panchenko, V. A. (2022). Управління конкурентоспроможністю підприємств в умовах цифровізації. *Академічний огляд*, (1), 125–134. <https://doi.org/10.32342/2074-5354-2022-1-56-11>

## ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ CRM-СИСТЕМ ДЛЯ МАЛОГО ТА СЕРЕДНЬОГО БІЗНЕСУ

Впровадження CRM-системи або ж (Customer Relationship Management) управління взаємовідносинами з клієнтами є важливою ланкою в управлінні та роботі бізнесу. Це зручно дозволяє зберігати всю необхідну інформацію про клієнта та його замовлення в одному місці, не гублячи деталей. Завдяки цьому можна легко відстежувати кожен контакт із клієнтом та краще продумувати майбутні стратегічні рішення на основі даних, легко тримати у фокусі важливі замовлення, прогнозувати нові. Таким чином, рутинна робота може виконуватися з обмеженою кількістю помилок, а то і без них, що дозволить ефективніше управляти економічною діяльністю підприємства підвищуючи його конкурентоспроможність.

Для кожного підприємства метою є досягнення своїх цілей. У сучасному світі люди намагаються ефективніше управляти часом та збільшувати свою продуктивність. Важливим етапом є цифровізація, адже без неї жоден бізнес не буде рухатись у правильному напрямку [3]. Технології ніколи не стоять на місці, і клієнти теж, їхні вимоги і потреби ростуть з кожним роком. Вони хочуть, щоб їм приділяли достатню кількість уваги та враховували їх думки та побажання. Інколи буває важко розмістити та урахувати все сказане у голові. Для цього й існує CRM-система, вона охоплює широкий спектр послуг та користується попитом від малих до великих організацій. Особливо актуально для сфер, там де є великий потік людей [2]. Розглянемо використання CRM-систем за різними галузями (рис.1).

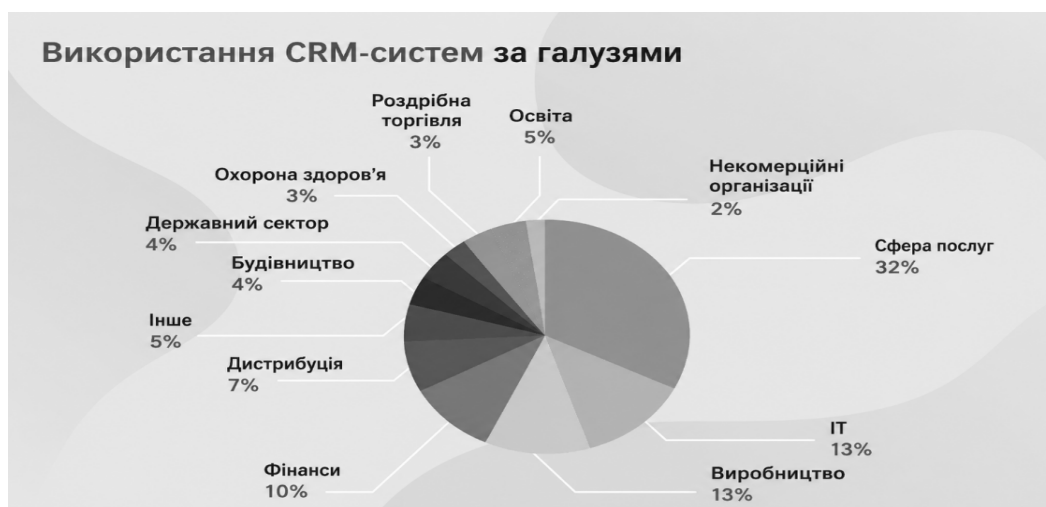


Рисунок 1 – Використання CRM-систем за різними галузями

Із даних діаграми бачимо, що найбільшу частку використання CRM-систем займає сфера послуг – 32%, що значно випереджає інші галузі. Це цілком логічно, адже саме у сфері послуг ключовим є управління взаємодією з клієнтами, їхнім досвідом та лояльністю.

У межах цієї категорії особливо показовим є готельно-ресторанний бізнес. Для нього CRM-системи стають не просто інструментом обліку, а основою ефективного сервісу. Вони дозволяють зберігати історію відвідувань гостей, їхні вподобання, автоматизувати бронювання, персоналізувати пропозиції та покращувати комунікацію.

Наприклад, готелі можуть використовувати CRM для створення індивідуальних пропозицій постійним клієнтам, а ресторани – для програм лояльності чи нагадувань про

спеціальні акції. У результаті це підвищує рівень задоволеності гостей і стимулює повторні візити, що є критично важливим у висококонкурентному середовищі HoReCa.

Варто зазначити, що утримання клієнтів безпосередньо впливає на прибутки компанії, тому що постійні клієнти є зазвичай більш лояльними та відкритішими у своїх діях і вони не бояться збільшувати обсяги своїх замовлень, адже вже знають перевірену фірму. А це, своєю чергою, знижує витрати для компанії через меншу кількість помилок, знання поведінки споживача та потребу в обслуговуванні. Особливо актуально, там де великий потік людей: інтернет-продажі, торгівля, виробництва, надання різноманітних послуг, де потрібно комунікувати з клієнтом [4].

На сьогоднішній день задоволені клієнти самі створюють позитивний імідж компанії, тим самим створюючи безкоштовний маркетинг через особисті рекомендації з успішної співпраці. Через це знижується вартість залучення нових клієнтів. Завдяки цьому бізнес може відійти від хаотичних продажів, та сфокусувати свої сили на потрібному їм ресурсі (аналіз значущих партнерів, покращення обслуговування та клієнтоорієнтованості) Саме тому важливо автоматизувати робочі процеси менеджера, щоб з'явилося більше вільного часу від рутини та приділити увагу іншим деталям, тим самим підвищуючи кількість продажів, конверсію, мінімізуючи витрати на перегляд скарг, зменшуючи відтік клієнтів через негативний досвід та приділивши увагу вирішенню усіх проблем [1].

Отже, CRM слугує потужним інструментом для компанії, адже там в основному відбувається постійна комунікація з клієнтом та заноситься вся необхідна інформація. Завдяки всій цій системі збору даних малий та середній бізнес мають змогу краще розробляти продукти, які потребує ринок в даний момент часу та мінімізувати власні ризики відповідно до попередніх відгуків клієнтів. Нові рішення створюються, коли є потреба і саме споживач вносить цінність у продукт, це дозволяє знизити витрати на додатковий аналіз та збір первинної інформації. Замість того, щоб витратити кошти на нові дослідження можна провести аналіз отриманих даних використовуючи аналітику CRM, на основі реальних відгуків, скарг та побажань можна дієво і швидко просунути у роботі. Робота з продуктом не тільки для клієнта, але і разом із ним – повністю змінює бізнес. Це допомагає компанії витратити менше грошей на утримання клієнтів та підвищує клієнтоорієнтованість [1].

В сучасних умовах CRM стає тим самим аналітичним ядром, яке допомагає малому та середньому бізнесу гнучко підлаштовуватися під запити ринку, зменшувати ризики при запуску нових продуктів і перетворювати задоволеність клієнтів на власний прибуток. В сучасних умовах цифровізації наявність такої системи є базовою умовою для того, щоб бізнес залишався конкурентоспроможним та фінансово стійким у довгостроковій перспективі [4].

Таким чином, впровадження CRM-системи сьогодні це не просто крок до оновлення програмного забезпечення, а серйозна інвестиція у майбутнє розвитку малого та середнього бізнесу.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Баттл Ф. Управління взаємовідносинами з клієнтами: концепції та технології. 2-ге вид. Оксфорд: Баттерворт-Хайнеманн, 2008. 513 с.
2. Впровадження CRM-системи: етапи та переваги. CRM Solutions. URL: <https://crmsolutions.ua/implementing-a-crm-system/> (дата звернення: 27.04.2026).
3. Дерманська Л., Малюта Л. Інноваційно-цифрові перспективи розвитку економіки України. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Економіка і управління»*. 2019. Вип. 2(30). С. 55-60.
4. Малюта Л., Малюта О. Цифрова трансформація як фактор формування конкурентних переваг і забезпечення стійкості підприємств у сучасних умовах. *Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації»: зб. наук. праць*. Переяслав, 2026. Вип. 127. 254 с. С.28-30.

## ЦИФРОВИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ РОЗВИТКУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

У сучасних умовах стрімкого розвитку технологій, зокрема штучного інтелекту (ШІ), перед підприємствами постає проблема його ефективного впровадження у власну діяльність з метою забезпечення подальшого розвитку і підвищення конкурентоспроможності. Підприємства все частіше почали використовувати ШІ у своїй діяльності, однак разом із цим стикаються з викликами, що неминуче виникають у процесі його застосування. Одною із ключових проблем є те, що ШІ не є досконалим інструментом, оскільки може допускати помилки, тому потребує постійного контролю. Водночас навіть з урахуванням його недосконалості він значно спрощує роботу та зменшує участь людини у роботі, внаслідок чого скорочується кількість робочих місць і зростає конкуренція у сферах, які ШІ не здатен замінити. Оскільки ШІ є відносно новою технологією, підприємства наразі перебувають на етапі адаптації до його використання та ще не повною мірою сформували ефективні підходи до його застосування. Зокрема, актуальним залишається питання пошуку балансу між використанням людських ресурсів і можливостями ШІ.

Питання, що виникли внаслідок впровадження ШІ в системи управління, досліджуються сучасними науковцями. Зокрема, Орехов Д. [4] аналізує особливості застосування ШІ в управлінні сучасним підприємством, акцентує увагу на його ролі у підвищенні ефективності управлінських рішень та автоматизації бізнес-процесів, проте також наголошує на необхідності врахування обмежень, пов'язаних із впровадженням і використанням ШІ. Своєю чергою, науковці Дриньов Д., Загородніх В. та Зінченко О. [2] розглядають ШІ як інструмент оптимізації управлінських процесів, вони акцентують увагу на здатності ШІ зменшувати витрати, покращувати якість рішень і автоматизувати рутинні завдання, однак визнають, що існує залежність від якості даних. Досліджуючи працю Малюти Л. та Балушевського К. [3] бачимо, що автори підкреслюють необхідність впровадження технологій штучного інтелекту в управлінні логістичними ланцюгами, а Бевз А. [1] зазначає, що використання ШІ відкриває нові можливості для підвищення продуктивності та гнучкості будь-якого підприємства, але водночас пов'язане з ризиками, зокрема у сфері кібербезпеки, вартості впровадження та потреби у кваліфікованих кадрах.

Отже, аналізуючи дослідження [1-4], можна зазначити, що ШІ – це інноваційний інструмент, який має потенціал стати важливим елементом управління підприємством і при ефективному використанні сприяє підвищенню результативності його діяльності. В умовах стрімкої цифровізації ШІ стає важливим чинником, що дозволяє підприємствам швидше адаптуватися до змін зовнішнього середовища, підвищує їхню конкурентоспроможність і відкриває нові можливості для подальшого розвитку, зменшуючи витрати. Окрім того бачимо, що використання ШІ в системі управління підприємством дозволяє суттєво підвищити ефективність різноманітних процесів через автоматизації рутинних операцій та обробки великих обсягів даних. Це досягається завдяки здатності ШІ аналізувати інформацію в режимі реального часу, виявляти приховані закономірності та формувати більш обґрунтовані рішення, що сприяє підвищенню точності управління, зниженню витрат і покращенню якості діяльності підприємства [1;4]. Використанню ШІ у діяльності підприємств забезпечує більш швидку реакцію на зміни зовнішнього середовища та дозволяє підприємствам ефективніше функціонувати в умовах невизначеності.

Практична цінність ШІ в системі управління підприємством проявляється через його здатність трансформувати ключові бізнес-процеси та підвищувати їх результативність. Зокрема, використання ШІ дає можливість здійснювати прогнозування попиту на продукцію, оптимізувати управління запасами, покращити ефективність фінансового аналізу,

вдосконалювати маркетингові стратегії та персоналізувати взаємодію з клієнтами. Завдяки цьому підприємства отримують можливість не лише автоматизувати рутинні операції, але й підвищити обґрунтованість управлінських рішень, що в кінцевому результаті сприяє зростанню їх конкурентоспроможності [4].

Подальше впровадження ШІ в управління підприємствами потребує не просто технічних змін, а й глибших організаційних змін. Передусім це стосується формування стратегії інтеграції ШІ у діяльність підприємства. Компанії повинні наперед визначити, у яких процесах варто застосовувати ШІ, які завдання він має виконувати та яких результатів очікується досягти. Без такого системного підходу використання ШІ може бути неефективним і не принести очікуваного результату.

Велику роль відіграє підготовка персоналу до роботи в нових умовах. Працівники повинні не лише володіти базовими цифровими навичками, але й розуміти принципи роботи ШІ, вміти розпізнавати правдивість і точність результатів, а також приймати на їх основі правильні рішення. Саме поєднання людського розуму та можливостей ШІ є важливим елементом, що може забезпечити позитивний результат в управлінні підприємством [4].

Також особливу увагу слід приділити якості даних, адже ШІ працює саме на їх основі. Якщо дані будуть неточними, застарілими або неповними, це неминуче приведе до помилок у кінцевому результаті. Ефективність ШІ прямо залежить від рівня організації інформаційних потоків на підприємстві [2]. Тому компаніям необхідно інвестувати у створення якісних баз даних, впровадження сучасних систем їх обробки та забезпечення їх актуальності.

Використання ШІ може супроводжувати значні ризики. Зокрема, це питання кібербезпеки, захисту інформації та вартості. Зі зростанням обсягів даних і рівня автоматизації зростає і ймовірність кіберзагроз, що може призвести до значних втрат для підприємства. Впровадження ШІ повинно супроводжуватися створенням надійних систем захисту інформації та контролю за його використанням. Окрім того, важливо враховувати вартість технології, що робить процес впровадження ШІ для малих і середніх підприємств надто ризиковим, а також необхідність перекваліфікації працівників для роботи з новою технологією [1].

Таким чином, можна стверджувати, що впровадження ШІ у діяльність підприємств є складним і багатограним процесом, який охоплює не лише технологічну, але й організаційну, економічну та соціальну складові. Його ефективність залежить від здатності підприємства адаптуватися до нових умов, грамотно поєднувати можливості людини та можливості технологій, а також своєчасно реагувати на виклики, що виникають у процесі цифрової трансформації. Варто зазначити, що в першу чергу потрібно розглядати ШІ саме як інструмент, а не як повноцінну заміну людини. Його головна цінність полягає у здатності аналізувати великі об'єми даних та на їх основі приймати рішення. Тому кінцевий результат залежить не стільки від самого ШІ, скільки від того, як ефективно він використовується. У довгостроковій перспективі саме ті підприємства, які зможуть ефективно інтегрувати ШІ у свою діяльність, отримають значні конкурентні переваги та зможуть забезпечити стабільний розвиток.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бевз А. Сучасні концепції та методи дослідження штучного інтелекту в системах управління підприємством. *Економічні горизонти*. 2025. Вип. 1(30). С. 4-11. [https://doi.org/10.31499/2616-5236.1\(30\).2025.317883](https://doi.org/10.31499/2616-5236.1(30).2025.317883)
2. Дриньов Д., Загородніх В., Зінченко О. Застосування штучного інтелекту у системі управління підприємством. *Економічний простір*. 2023. Вип. 188. С. 79-82. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/188-13>
3. Малюта Л., Балушевський К. Впровадження технологій штучного інтелекту в управлінні логістичними ланцюгами. *Успіхи і досягнення у науці. Серія: Управління та адміністрування*. 2026. № 1(23). С.885-902. [https://doi.org/10.52058/3041-1254-2026-1\(23\)](https://doi.org/10.52058/3041-1254-2026-1(23))
4. Орехов Д. Застосування штучного інтелекту в управлінні сучасним підприємством. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 64. С. 883-891. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-64-143>

## СОЦІАЛЬНА ВІДПОВІДАЛЬНІСТЬ БІЗНЕСУ ЯК ЧИННИК ФОРМУВАННЯ ІННОВАЦІЙ ТА СПОЖИВАЦЬКИХ ПЕРЕВАГ

У сучасних умовах глобалізації, цифровізації та посилення суспільних очікувань щодо етичної поведінки компаній соціальна відповідальність бізнесу перетворюється на один із ключових чинників забезпечення довгострокової конкурентоспроможності організацій. Сьогодні споживачі оцінюють підприємства не лише за якістю продукції чи рівнем цін, але й за їхнім ставленням до працівників, екології, місцевих громад та суспільства загалом. У зв'язку з цим концепція корпоративної соціальної відповідальності набуває стратегічного значення, оскільки інтеграція соціально відповідальних практик у бізнес-модель підприємства впливає на інноваційний розвиток, формування позитивного іміджу та зміну споживацьких переваг.

Соціальна відповідальність бізнесу охоплює широкий спектр напрямів діяльності, серед яких екологічна стійкість, етичне ведення бізнесу, підтримка працівників, участь у соціальних ініціативах та забезпечення прозорості корпоративного управління. Реалізація таких підходів сприяє формуванню довіри між бізнесом і суспільством, що особливо важливо в умовах нестабільного економічного середовища та високого рівня інформаційної відкритості. Поширення цифрових комунікацій і соціальних мереж суттєво посилило вплив громадської думки на репутацію компаній, тому соціальна відповідальність дедалі частіше стає елементом маркетингової та інноваційної стратегії підприємств.

Важливим аспектом сучасного розвитку бізнесу є взаємозв'язок між соціальною відповідальністю та інноваційною діяльністю підприємств. Орієнтація на принципи сталого розвитку стимулює організації до впровадження екологічно безпечних технологій, ресурсозберігаючих рішень, цифрових інструментів контролю виробництва та нових моделей управління. У багатьох випадках саме суспільний запит на етичність і прозорість стає катализатором інноваційних змін. Компанії, що активно впроваджують ESG-підходи, інвестують у розвиток зеленої енергетики, безвідходного виробництва, автоматизації процесів та цифрового моніторингу впливу на довкілля, отримують додаткові можливості для зміцнення своїх ринкових позицій.

Водночас соціальна відповідальність суттєво впливає на поведінку споживачів і трансформацію їхніх переваг. Сучасний споживач дедалі частіше обирає бренди, які демонструють відповідальне ставлення до суспільства та навколишнього середовища. Це особливо характерно для молодого покоління споживачів, для яких важливими є етичність бренду, прозорість виробництва, підтримка соціальних ініціатив та дотримання екологічних стандартів. У результаті формується новий тип споживчої поведінки, орієнтований не лише на функціональні характеристики товару, але й на соціальну цінність бренду.

Соціально відповідальні практики також впливають на рівень лояльності клієнтів, репутаційний капітал підприємства та ефективність маркетингових комунікацій. Позитивний імідж компанії сприяє формуванню емоційного зв'язку зі споживачами, підвищенню довіри до бренду та зростанню повторних покупок. В умовах високої конкуренції це створює додаткові нематеріальні конкурентні переваги, які складно швидко відтворити конкурентам.

Для оцінювання впливу соціальної відповідальності бізнесу на інновації та споживацькі переваги доцільно використовувати комплексний підхід, що поєднує аналіз фінансових, маркетингових та репутаційних показників. Ефективними методами можуть бути соціологічні опитування споживачів, аналіз ESG-індикаторів, оцінювання рівня інноваційної активності підприємств, а також кореляційний аналіз взаємозв'язку між соціально відповідальними практиками та рівнем лояльності клієнтів.

У результаті дослідження встановлено, що соціальна відповідальність бізнесу перестася бути виключно елементом корпоративної етики та дедалі більше інтегрується у стратегічне управління підприємством. Вона впливає на формування інноваційного потенціалу організації, сприяє розвитку нових бізнес-моделей, зміцнює конкурентні позиції компанії та формує довгострокові споживацькі переваги. Соціально відповідальний бізнес стає більш стійким до кризових явищ, швидше адаптується до змін ринкового середовища та ефективніше реагує на суспільні виклики.

Таким чином, у сучасній економіці соціальна відповідальність виступає не лише моральною чи репутаційною категорією, а й стратегічним інструментом забезпечення інноваційного розвитку та формування конкурентних переваг підприємства. Подальші дослідження у цьому напрямі мають бути спрямовані на розроблення методик оцінювання ефективності соціально відповідальних практик, аналіз поведінкових моделей споживачів та вивчення впливу цифрових технологій на розвиток корпоративної соціальної відповідальності.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Kolomytsiva, O. V., & Vasylychenko, O. P. (2021). Цифрова трансформація бізнес-процесів: теоретичні аспекти та практичні рекомендації. *Бізнес Інформ*, (5), 184–190. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-5-184-190>
2. Kraus, N. M., Kraus, K. K., & Marchenko, O. V. (2021). Цифрова економіка в контексті інноваційного розвитку держави. *Економічний простір*, (168), 51–57. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/168-8>
3. Panchenko, V. A. (2022). Управління конкурентоспроможністю підприємств в умовах цифровізації. *Академічний огляд*, (1), 125–134. <https://doi.org/10.32342/2074-5354-2022-1-56-11>
4. Zhosan, G. V. (2020). Цифрова економіка: стратегічний контекст розвитку. *Економіка та держава*, (1), 82–85. <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.1.82>
5. Zhosan, G. V. (2022). Інструментарій управління цифровою трансформацією бізнес-процесів підприємства. *Агросвіт*, (11), 38–43. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2022.11.38>
6. Zhosan, G. V., & Kyryuchenko, N. V. (2021). Цифрова трансформація підприємств як інструмент забезпечення їх конкурентоспроможності. *Ефективна економіка*, (12). <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.12.94>

***СЕКЦІЯ***  
***«УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ***  
***ТА ІНВЕСТИЦІЙНЕ ПРОЄКТУВАННЯ»***

## «ЗЕЛЕНЕ» ІНВЕСТИЦІЙНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕГРАЦІЇ ПРИНЦИПІВ СТАЛОГО РОЗВИТКУ В ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТІВ

Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується посиленням уваги до екологічної безпеки, ресурсоефективності та соціальної відповідальності бізнесу. Нинішня фаза трансформації глобального економічного простору визначається зміщенням пріоритетів у бік гарантування екологічної безпеки, раціонального використання природних ресурсів та впровадження принципів соціальної відповідальності у корпоративний сектор. За таких обставин класичні методи оцінювання інвестиційних ініціатив, котрі тривалий час базувалися винятково на детермінованих фінансових показниках рентабельності, втрачають свою прогностичну здатність. Вони більше не дозволяють комплексно верифікувати наслідки інвестування для соціуму, екосистеми та фундаментальної стійкості економіки у довгостроковій перспективі. З огляду на це, науково-практичний інтерес до «зеленого» інвестиційного проектування зростає, оскільки воно стає дієвим механізмом узгодження інтересів державних інституцій, приватного капіталу та місцевого самоврядування в межах концепції збалансованого поступу.

Світова економічна політика сьогодні розглядає проблематику сталого розвитку як один із ключових векторів свого формування. Ратифікація Глобальних цілей ООН до 2030 року стала каталізатором для перегляду фундаментальних засад інвестування та проектного менеджменту. Ця стратегічна ініціатива спрямовує як державні, так і приватні структури до пошуку таких моделей господарського піднесення, де стимулювання економічної динаміки нерозривно пов'язане з декарбонізацією та мінімізацією антропогенного навантаження на довкілля [1]. У вітчизняному контексті імплементація індикаторів сталого розвитку в процеси експертизи інвестиційних проектів набуває критичного значення. Це зумовлено специфічними викликами, перед якими постала Україна: необхідністю відбудови національного господарства у повоєнний період, глибокою трансформацією енергетичного сектору та інтенсифікацією процесів гармонізації із вимогами європейського співтовариства.

Класична парадигма визначення результативності інвестиційних ініціатив традиційно спирається на систему фінансово-економічних детермінант. До найбільш репрезентативних показників цієї моделі належать чиста дисконтована вартість (NPV), внутрішня ставка рентабельності (IRR), термін самоокупності капіталовкладень та коефіцієнт прибутковості інвестицій. Водночас сучасні глобальні трансформації, серед яких особливо відчутними є кліматичні зміни, виснаження природних ресурсів та посилення соціально-економічної нерівності, вимагають переосмислення підходів до оцінювання управлінських і інвестиційних рішень. За таких умов традиційний аналітичний інструментарій уже не здатний повною мірою враховувати довгострокові екологічні та суспільні наслідки, що обумовлює потребу в його оновленні та адаптації до нових реалій розвитку. Це передбачає імплементацію екологічних та соціально-орієнтованих параметрів у загальну архітектуру оцінювання [2].

У сучасному науковому дискурсі категорія «зеленого» інвестиційного проектування трактується як цілісний алгоритм підготовки та впровадження управлінських рішень, що гармонізують прагнення до фінансового успіху з імперативами екобезпеки та етики бізнесу [3]. Ключовою ознакою такої стратегії є наскрізна інтеграція ESG-індикаторів (Environmental, Social, Governance) у всі ланки проектного циклу – від концептуального проектування до фінальної верифікації досягнутих показників.

Особливого аналітичного статусу сьогодні набуває екологічний вектор експертизи проектів. Сучасні суб'єкти господарювання стикаються з неминучою потребою моніторингу карбонового сліду, оптимізації енергоємності виробництва, впровадження регенеративних

джерел енергії та розбудови замкнених циклів управління відходами. У межах реалізації стратегії European Green Deal Європейський Союз виступає драйвером розширення інструментарію «зеленого» інвестування та проведення комплексного екологічного аудиту [4]. Для вітчизняного підприємницького сектору синхронізація з цими регламентами є безальтернативною умовою повноцінного входження до єдиного європейського економічного простору.

Фундаментального значення в сучасній методології набуває соціальний детермінант верифікації результативності проєктів. Процес прийняття інвестиційних рішень поступово трансформується: акцент зміщується з суто фінансових показників на інтегральну оцінку впливу на добробут населення, динаміку зайнятості, якісну трансформацію людського потенціалу та суспільну рівновагу. У межах стратегії повоєнного відродження України зазначений аспект стає пріоритетним, оскільки реалізація капіталовкладень має забезпечувати не лише кумулятивне економічне зростання, а й ревіталізацію соціальної мережі та зміцнення життєздатності територіальних громад.

Імплементация принципів збалансованого розвитку в аналітичну архітектуру оцінювання проєктів ґрунтується на застосуванні системного підходу до детермінації ефектів інвестиційної активності. Одним із найефективніших інструментів у цьому контексті виступає методологічна концепція «потрійного підсумку» (Triple Bottom Line), що передбачає тривекторну декомпозицію аналізу: за економічним, екологічним та соціальним складниками [5]. Застосування такої моделі дозволяє об'єктивно оцінити не тільки комерційну привабливість ініціативи, а й її стратегічні наслідки для соціуму та природного середовища у довгостроковій ретроспективі.

Дієвим механізмом реалізації парадигми «зеленого» проєктування є розбудова систем екологічного комплаєнсу та впровадження нефінансових форм звітування. Зокрема, імплементация стандартів Global Reporting Initiative (GRI) та методик ESG-рейтингування стає базовим критерієм ідентифікації інвестиційної спроможності суб'єктів господарювання та окремих проєктних рішень [6]. Це надає стейкхолдерам верифіковані дані для аналізу рівня прибутковості в кореляції зі ступенем екологічної етики та соціальної залученості бізнесу.

У нинішніх фінансових реаліях вагома роль відведена інструментарію «зеленого» капіталу. Ключовими елементами цієї системи є емісія екологічних облігацій, акумулювання коштів у спеціалізованих фондах та участь у глобальних донорських програмах, спрямованих на підтримку сталого розвитку (табл. 1). Такий фінансовий інженеринг дозволяє диверсифікувати джерела фінансування та забезпечити ресурсами проєкти з високим рівнем екологічної та соціальної цінності.

Таблиця 1 – Характеристика інструментів реалізації «зелених» проєктів

Інструмент	Основна ціль	Приклад застосування
Зелені облігації	Фінансування масштабних еко-проєктів	Енергомодернізація міст
Кредити ЄБРР/СБ	Підтримка енергоефективності	Будівництво СЕС, ВЕС
ESG-звітність (GRI)	Оцінка інвестиційної привабливості	Нефінансова звітність корпорацій
Екологічні фонди	Грантова підтримка інновацій	Утилізація відходів, рециклінг

*Джерело: сформовано автором на основі [7]*

Світовий банк та Європейський банк реконструкції та розвитку активно підтримують фінансування проєктів у сфері енергоефективності, розвитку відновлюваної енергетики та екологічної модернізації інфраструктури [7]. Для України залучення таких інвестицій є важливим елементом економічної стабілізації та післявоєнного відновлення.

Разом із тим інтеграція критеріїв сталого розвитку у систему оцінювання ефективності проєктів супроводжується низкою проблем. Серед основних викликів варто виокремити

недостатній рівень нормативно-правового забезпечення «зеленого» інвестування, обмеженість фінансових ресурсів, низький рівень екологічної культури частини бізнесу та складність кількісного вимірювання соціального ефекту проєктів. Крім того, в Україні все ще недостатньо розвинені механізми моніторингу ESG-показників та системи нефінансової звітності.

У перспективі подальший розвиток «зеленого» інвестиційного проєктування в Україні повинен базуватися на гармонізації національного законодавства із європейськими стандартами, розвитку системи екологічного аудиту, стимулюванні «зеленого» фінансування та впровадженні цифрових інструментів оцінювання ефективності проєктів. Особливу роль відіграватиме використання технологій штучного інтелекту та аналітики великих даних для прогнозування екологічних та соціальних наслідків інвестиційної діяльності.

Таким чином, інтеграція критеріїв сталого розвитку у систему оцінювання ефективності інвестиційних проєктів є необхідною умовою формування сучасної моделі економічного розвитку. «Зелене» інвестиційне проєктування дозволяє забезпечити баланс між економічною ефективністю, екологічною безпекою та соціальною відповідальністю, що особливо актуально для України в умовах післявоєнної трансформації економіки та реалізації європейського вектора розвитку.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations. URL: [https://sdgs.un.org/2030agenda?utm\\_source=chatgpt.com](https://sdgs.un.org/2030agenda?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 08.05.2026).
2. Kaplan R. S., Norton D. P. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action. Boston : Harvard Business School Press, 1996. 322 p.
3. Elkington J. Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. Oxford : Capstone Publishing, 1997. 407 p.
4. European Green Deal. European Commission. URL: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en?utm\\_source=chatgpt.com](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 08.05.2026).
5. Savitz A. W. The Triple Bottom Line: How Today's Best-Run Companies Are Achieving Economic, Social and Environmental Success. San Francisco : Jossey-Bass, 2013. 320 p.
6. Global Reporting Initiative Standards. URL: [https://www.globalreporting.org/standards/?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.globalreporting.org/standards/?utm_source=chatgpt.com) (дата звернення: 08.05.2026).
7. Green Economy Transition Approach 2021–2025. European Bank for Reconstruction and Development. URL: <https://www.ebrd.com/home/who-we-are/ebd-values/ebd-environmental-social-sustainability/EBRD-green/Green-Economy-Transition-Paris-alignment.html> (дата звернення: 08.05.2026).

## СУЧАСНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Сьогодні цифрові технології дуже швидко розвиваються та змінюють роботу підприємств, організацій і навіть повсякденне життя людей. Майже всі процеси поступово переходять у цифровий формат, через що компанії змушені змінювати підходи до організації роботи та управління проєктами. Якщо раніше головною умовою успішного проєкту було чітке планування та суворе дотримання всіх етапів роботи, то зараз ситуація дещо інша. Сучасні умови вимагають швидко реагувати на зміни, адаптуватися до нових вимог та постійно вдосконалювати робочі процеси. Саме тому тема сучасних методів управління проєктами в умовах цифрової трансформації є дуже актуальною [1].

У сучасному світі підприємства працюють в умовах високої конкуренції. Технології постійно оновлюються, а вимоги клієнтів змінюються дуже швидко. Через це компанії повинні не лише створювати якісний продукт чи послугу, а й робити це максимально швидко та ефективно. У таких умовах управління проєктами набуває особливого значення, адже від правильної організації роботи часто залежить успіх усієї компанії. Крім того, цифрова економіка змушує підприємства шукати нові способи взаємодії з клієнтами та вдосконалювати внутрішні процеси. Саме тому сучасні методи управління проєктами сьогодні активно розвиваються та поєднуються з цифровими інструментами [3].

Під управлінням проєктами зазвичай розуміють процес планування, організації та контролю виконання певних завдань для досягнення поставленої мети [1]. Проте сьогодні традиційні методи управління вже не завжди можуть забезпечити хороший результат. Раніше проєкти часто планувалися на довгий період, а зміни вносити було складно. Зараз ситуація змінилася, оскільки ринок є нестабільним, а нові технології з'являються дуже швидко. Саме тому компанії все частіше використовують більш гнучкі методи роботи. Науковці також зазначають, що сучасне управління проєктами дедалі більше орієнтується на швидкість прийняття рішень, командну взаємодію та постійний аналіз результатів роботи [4].

Одним із найпопулярніших сучасних підходів є Agile. Його головна особливість полягає у гнучкості та можливості швидко реагувати на зміни. Якщо при традиційному підході весь проєкт детально планується ще до початку роботи, то Agile дозволяє вносити зміни вже під час виконання завдань. Це особливо важливо для IT-сфери, де технології та потреби користувачів можуть змінюватися буквально за короткий час [2].

На мою думку, популярність Agile пояснюється тим, що він дозволяє швидше отримувати результат і краще враховувати побажання замовників. Команда постійно аналізує виконану роботу та може змінювати напрям діяльності, якщо це необхідно. Завдяки цьому вдається уникнути багатьох помилок і не витратити зайвий час на те, що вже втратило актуальність. У сучасних дослідженнях також зазначається, що Agile-підходи позитивно впливають на ефективність командної роботи та допомагають краще використовувати ресурси підприємства [3].

У межах Agile часто використовують Scrum і Kanban. Метод Scrum базується на поділі роботи на короткі етапи, які називають спринтами. Після завершення кожного етапу команда обговорює результати, аналізує проблеми та планує подальшу роботу. Це дозволяє швидше помітити помилки та виправити їх ще до завершення всього проєкту [2].

Kanban має дещо інший принцип роботи. Його головна ідея полягає у візуальному контролі завдань. Для цього використовують спеціальні дошки, де можна побачити, на якому етапі перебуває кожне завдання. Це дуже зручно, оскільки команда одразу бачить загальну картину роботи. Зараз такі дошки часто використовують не тільки в офісах, а й у спеціальних електронних сервісах. Дослідники відзначають, що Scrum і Kanban сьогодні є одними з

найпоширеніших методів управління ІТ-проектами, оскільки дозволяють швидше адаптуватися до змін та підтримувати постійний зв'язок між учасниками команди [5].

Важливу роль у сучасному управлінні проектами відіграють цифрові інструменти. Більшість компаній сьогодні використовує спеціальні програми для планування роботи та комунікації між працівниками. Найчастіше це Trello, Jira, Asana або Microsoft Project. Такі сервіси дозволяють контролювати терміни виконання завдань, розподіляти обов'язки між працівниками та швидко знаходити необхідну інформацію.

Особливо помітною роль цифрових технологій стала після поширення дистанційної роботи. Багато компаній були змушені перейти на онлайн-формат роботи, через що зросла потреба у використанні відеозв'язку, хмарних сервісів та систем спільної роботи з документами. Сьогодні працівники можуть працювати з різних міст і навіть країн, але при цьому залишатися частиною однієї команди. Для цього використовуються Zoom, Google Meet, Microsoft Teams та інші сервіси. У сучасних дослідженнях також звертається увага на те, що цифрові екосистеми та онлайн-комунікація значно підвищують ефективність управління проектними командами [5].

Проте цифрова трансформація має не лише позитивні сторони. Разом із новими можливостями виникають і певні труднощі. Однією з головних проблем є інформаційна безпека. Оскільки велика кількість документів і даних зберігається в електронному вигляді, існує ризик втрати інформації або кібератак. Саме тому компанії повинні приділяти увагу захисту даних та використанню безпечних цифрових систем.

Ще однією проблемою є те, що не всі працівники однаково швидко звикають до нових технологій. Деяким людям складно працювати з новими програмами або переходити на інший формат роботи. Через це підприємствам доводиться організовувати навчання працівників та допомагати їм адаптуватися до нових умов. На мою думку, це теж є важливою частиною сучасного управління проектами. Крім того, сьогодні активно обговорюється використання штучного інтелекту в управлінні проектами. Одні вважають це великим кроком уперед, а інші ставляться до цього з обережністю, оскільки повна автоматизація процесів може створювати нові ризики [6].

Сучасний керівник проекту повинен не лише контролювати виконання роботи, а й добре розуміти цифрові технології та сучасні системи управління. Крім організаційних навичок, важливими стають комунікація, вміння працювати в команді та швидко приймати рішення. Особливо це важливо в умовах постійних змін та великої кількості інформації [1]. У сучасній цифровій економіці керівники проектів повинні також розуміти принципи роботи цифрових сервісів, онлайн-платформ та сучасних систем автоматизації [4].

Ми вважаємо, що сучасні методи управління проектами значно покращують роботу підприємств та організацій. Вони допомагають швидше реагувати на зміни, краще організувати роботу команди та ефективніше використовувати час і ресурси. Поєднання цифрових технологій та гнучких методів управління відкриває нові можливості для розвитку бізнесу та підвищення його конкурентоспроможності.

Отже, цифрова трансформація суттєво впливає на систему управління проектами та змінює підходи до організації роботи. Сучасним компаніям важливо використовувати нові технології, гнучкі методи управління та сучасні цифрові інструменти, оскільки саме це допомагає ефективно працювати в умовах швидких змін та високої конкуренції.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Блага В. В. Управління проектами: навч. посіб. Львів : Новий Світ-2000, 2020. 152 с.
2. Кобиляцький Л. С. Управління проектами: навч. посіб. Київ : МАУП, 2019. С. 208-210
3. Колодінська Я. О. Сучасні підходи до управління ІТ-проектами та стартапами в умовах цифрової економіки. *Modeling the Development of the Economic Systems*. 2025. №1. С. 322-329
4. Мартиняк І. О., Бакушевич І. В., Гібридні моделі управління проектами в умовах сталого розвитку та цифрової економіки. *Сталий розвиток економіки*. 2024. № 3 (50). С. 22-24
5. Данилюк Н. М., Шулик Ю. В., Качан О. І. Сучасні підходи до управління проектною діяльністю ІТ-компаній. *Наукові записки НаУОА. Серія «Економіка»*. 2021. № 22(50). С. 92-93
6. Чеведа С. С., Максишко Н. К., Баштанник О. І. Механізми інтеграції ІІІ в управління проектами як інструмент забезпечення конкурентоспроможності вітчизняної ІТ-індустрії. *Науковий журнал «Наукові записки Національного університету «Острозька академія» серія «Економіка»*. 2025. № 37(65). С. 89-94.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОНЛАЙН-ПЛАТФОРМ УПРАВЛІННЯ КОНТЕНТОМ ДЛЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ СЕРВІСІВ НА ТЕХНОЛОГІЇ WEB-TO-PRINT

Аналіз існуючих платформ управління контентом для поліграфічних сервісів доцільно виконувати з позицій їх придатності до побудови інформаційних систем класу Web-to-Print, у яких контент розглядається як керований ресурс, що проходить послідовні етапи підготовки від створення до формування друкарського файлу. У такій постановці задача виходить за межі традиційного веб-контент-менеджменту і охоплює інтеграцію з виробничими процесами поліграфії, зокрема автоматизовану генерацію макетів, оброблення графічних ресурсів та взаємодію з системами додрукарської підготовки.

Проведений порівняльний аналіз на основі обумовлених критеріїв [1] охоплює універсальні системи управління контентом, e-commerce платформи, корпоративні CMS та спеціалізовані Web-to-Print рішення, що дозволяє сформуванню узагальнену модель їхніх функціональних можливостей (таблиця 1). До *універсальних* систем управління контентом належать WordPress, Drupal, Joomla та TYPO3 [2-5]. Їх архітектура базується на модульному принципі та передбачає розділення контенту і його представлення, що забезпечує високу гнучкість у проєктуванні інформаційних систем. Ці платформи характеризуються підтримкою структурованих даних, можливістю розширення функціональності через модулі та наявністю програмних інтерфейсів для інтеграції із зовнішніми сервісами. Разом з тим у базовій конфігурації вони не містять засобів автоматизованої генерації друкарських макетів і не орієнтовані на безпосередню взаємодію з поліграфічним обладнанням. Це визначає необхідність їх адаптації до задач Web-to-Print шляхом розроблення спеціалізованих програмних компонентів.

*E-commerce* платформи, представлені системами Magento, PrestaShop, OpenCart та Shopify, орієнтовані на організацію процесів електронної комерції та управління замовленнями [6-9]. Їх функціональна модель передбачає роботу з каталогами товарів, кошиками замовлень та платіжними механізмами. У контексті Web-to-Print вони можуть забезпечувати лише часткову підтримку логіки замовлення друкованої продукції, однак не містять засобів формування видавничого контенту та генерації макетів. Відповідно, їх використання в поліграфічних системах потребує значної модифікації архітектури та інтеграції зовнішніх сервісів оброблення документів.

*Корпоративні* системи управління контентом, до яких належать Sitecore, Adobe Experience Manager, Kentico Experience та Optimizely CMS, орієнтовані на управління складними цифровими екосистемами підприємств [10-13]. Вони забезпечують розвинені механізми персоналізації, аналітики та інтеграції з корпоративними інформаційними системами. Їх перевагою є підтримка структурованого контенту та високий рівень масштабованості. Водночас такі платформи характеризуються закритішою архітектурою, високою складністю впровадження та обмеженою гнучкістю при модифікації внутрішніх процесів, що ускладнює їх адаптацію до специфічних вимог оперативної поліграфії.

Окрему групу становлять *спеціалізовані* Web-to-Print системи, зокрема PrintShop Mail Web, OnPrintShop, EFI MarketDirect StoreFront та Aleyant Pressero [14-17]. Їх функціональна архітектура безпосередньо орієнтована на поліграфічне виробництво і включає засоби веб-редагування, формування макетів, автоматичної перевірки файлів та інтеграції з друкарським обладнанням. Такі системи забезпечують високий рівень автоматизації виробничого циклу, однак їх використання обмежене закритістю програмної архітектури, залежністю від постачальника та недостатньою можливістю глибокої модифікації логіки оброблення контенту.

Таблиця 1 – Платформи управління контентом для Web-to-Print

Платформа		Базова архітектура			Робота з контентом				Інтеграція				
		Архітектурна відкритість	Ліцензійна відкритість	Автономність розгортання	Структурований контент	Власні модулі	Web-редагування	Гнучкість моделі даних	API інтеграція	Інтеграція з друком	Генерація макета	Розширення під W2P	Масштабованість
універсальні	WordPress	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+
	Drupal	+	+	+	+	±	+	+	+	-	-	+	+
	Joomla	+	+	+	±	+	±	±	±	-	-	±	±
	TYPO3	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+
e-commerce	Magento	±	+	+	+	+	±	±	+	±	-	±	+
	PrestaShop	+	+	+	+	+	±	±	+	±	-	±	+
	OpenCart	+	+	+	±	+	-	-	±	-	-	-	±
	Shopify	-	-	-	-	+	-	±	+	±	-	-	+
корпоративні	Sitecore	-	-	-	±	+	+	+	+	±	-	±	+
	Adobe Experience Manager	-	-	-	±	+	+	+	+	±	-	±	+
	Kentico Xperience	-	-	-	±	+	+	+	+	±	-	±	+
	Optimizely CMS	-	-	-	±	+	+	+	+	±	-	±	+
спеціалізовані	PrintShop Mail Web	-	-	-	-	+	-	±	±	+	+	-	+
	OnPrintShop	-	-	-	-	+	-	±	±	+	+	-	+
	EFI MarketDirect StoreFront	-	-	-	-	+	-	±	±	+	+	-	+
	Aleyant Pressero	-	-	-	-	+	-	±	±	+	+	-	+

Порівняльний аналіз показує, що кожна з розглянутих груп платформ має функціональні обмеження щодо повного забезпечення процесів Web-to-Print. Універсальні CMS характеризуються високою гнучкістю та відкритістю, але не містять спеціалізованих поліграфічних функцій. E-commerce системи орієнтовані на комерційні процеси, а не на управління видавничим контентом. Корпоративні CMS забезпечують складні механізми управління даними, проте є менш придатними для оперативної адаптації. Спеціалізовані Web-to-Print рішення реалізують необхідну функціональність, але обмежують можливості розширення та інтеграції в індивідуальні інформаційні системи.

У цьому контексті використання WordPress як базової платформи для побудови системи управління видавничим контентом у процесах Web-to-Print є обґрунтованим з точки зору архітектурної відкритості та можливості модульного розширення. Платформа забезпечує підтримку структурованого контенту, програмні інтерфейси для інтеграції та механізми

розроблення власних компонентів, що дозволяє реалізувати відсутні функції поліграфічної підготовки у вигляді спеціалізованих модулів. Таким чином, вона виступає не як готове Web-to-Print рішення, а як програмна основа для побудови адаптованої інформаційної системи, орієнтованої на вимоги оперативної поліграфії та інтегрованого виробничого середовища.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Стрілецький Є. Обґрунтування критеріїв аналізу систем управління контентом для онлайн-супроводу поліграфічного замовлення. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології*, № 1 (13), 2026.
2. Blog Tool, Publishing Platform, and CMS. URL: [wordpress.org](https://wordpress.org)
3. Drupal - Open Source Content Management Software. URL: [www.drupal.org](https://www.drupal.org)
4. Joomla! Content Management System (CMS). URL: [www.joomla.org](https://www.joomla.org)
5. TYPO3 - The Enterprise Open Source CMS. URL: [typo3.org](https://typo3.org)
6. eCommerce Platform for B2B and B2C Success | Adobe Magento. URL: [business.adobe.com/products/magento/magento-commerce.html](https://business.adobe.com/products/magento/magento-commerce.html)
7. PrestaShop: Create and develop your ecommerce website. URL: [www.prestashop.com](https://www.prestashop.com)
8. OpenCart - Open Source Shopping Cart Solution. URL: [www.opencart.com](https://www.opencart.com)
9. Shopify: Ecommerce Marketing Tools, POS & More. URL: [www.shopify.com](https://www.shopify.com)
10. Sitecore: Digital Experience Platform (DXP) and Content Management. URL: [www.sitecore.com](https://www.sitecore.com)
11. Adobe Experience Manager (AEM) | CMS, DAM, and Digital Forms. URL: [business.adobe.com/products/experience-manager/adobe-experience-manager.html](https://business.adobe.com/products/experience-manager/adobe-experience-manager.html)
12. Kentico Xperience 13 | The leading DXP for the mid-market. URL: [www.kentico.com](https://www.kentico.com)
13. The world's leading DXP - Content Management System | Optimizely. URL: [www.optimizely.com](https://www.optimizely.com)
14. PrintShop Mail Web - Personalized Printing & Web-to-Print Software. URL: [www.objectiflune.com/en/software/printshop-mail-web](https://www.objectiflune.com/en/software/printshop-mail-web)
15. OnPrintShop: Web to Print Solutions & Storefront Software. URL: [www.onprintshop.com](https://www.onprintshop.com)
16. EFI MarketDirect StoreFront | Web to Print Software. URL: [www.efi.com/products/productivity-software/e-commerce-web-to-print/efi-marketdirect-storefront](https://www.efi.com/products/productivity-software/e-commerce-web-to-print/efi-marketdirect-storefront)
17. Aleyant Pressero | Web to Print Software & eCommerce For Printers. URL: [pressero.com](https://pressero.com)

**СЕКЦІЯ**  
**«МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ**  
**ТА ПРОГНОЗУВАННЯ**  
**СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ**  
**ПРОЦЕСІВ»**

## ЗАСТОСУВАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ У РОЗВ'ЯЗАННІ ЕКОНОМІЧНИХ ЗАДАЧ

У сучасних умовах розвитку економіки дедалі більшого значення набувають математичні методи дослідження [1]. Це пов'язано з необхідністю аналізу складних динамічних процесів, прогнозування поведінки економічних систем та прийняття ефективних управлінських рішень [2].

Одним із ключових інструментів математичного моделювання є диференціальні рівняння [3]. Вони дозволяють описувати зміну економічних величин у часі, враховуючи швидкість їх розвитку, взаємозв'язки між змінними та вплив зовнішніх факторів.

Застосування диференціальних рівнянь в економіці охоплює широкий спектр задач: від аналізу попиту та пропозиції до моделювання макроекономічного зростання. Особливу увагу приділяють моделям, які описують еволюцію ринкових процесів у часі. Метою цього дослідження є обґрунтування ефективності використання диференціальних рівнянь для розв'язання економічних задач та демонстрація цього підходу на конкретному прикладі.

*Теоретичні основи застосування диференціальних рівнянь в економіці*

Диференціальним рівнянням називається рівняння, що встановлює зв'язок між функцією, її аргументами та похідними різних порядків. У загальному вигляді воно записується як:

$$F(x, y, y', y'', \dots, y^{(n)}) = 0$$

Розв'язок такого рівняння описує певний процес або явище. Загальний розв'язок містить довільні сталі, які визначаються з початкових або крайових умов.

В економіці диференціальні рівняння застосовуються для:

- моделювання динаміки попиту і пропозиції;
- дослідження рівноважних станів ринку;
- аналізу економічного зростання;
- опису інвестиційних процесів;
- оцінювання еластичності економічних показників [4].

Особливе місце займають моделі, що базуються на принципі акселерації. Відповідно до цього принципу, швидкість зміни обсягу виробництва пропорційна обсягу інвестицій. Такі моделі широко використовуються для опису економічного розвитку [5].

*Математичне моделювання попиту*

Попит є однією з ключових економічних категорій, яка характеризує поведінку споживачів на ринку. У динамічних моделях попит може залежати не лише від ціни, а й від часу [6].

Важливою характеристикою попиту є еластичність, яка показує чутливість обсягу попиту до зміни ціни. У багатьох випадках еластичність використовується для побудови диференціальних рівнянь, що описують поведінку попиту [7].

Застосування диференціальних рівнянь дозволяє:

- враховувати зміну попиту у часі;
- моделювати процеси насичення ринку;
- аналізувати стабільність економічних систем;
- прогнозувати довгострокову динаміку.

*Приклад розв'язання економічної задачі*

Розглянемо задачу, яка демонструє застосування диференціальних рівнянь у моделюванні попиту.

Умова. Крива попиту задається рівнянням:  $p(y) = 4 - y$ , норма акселерації  $\frac{1}{m} = 2$ , норма інвестицій  $\alpha = 0,25$ . Знайти залежність обсягу реалізованої продукції ( $y(t)$ ) від часу, якщо початкова умова  $y(0) = 0,75$ .

Розв'язання. Використаємо співвідношення:  $y' = mI$ , де  $I = \alpha p y$ .

Після підстановки отримаємо:

$$y' = 0,25 \cdot \frac{1}{2} (4 - y) \cdot y, \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{8} y(4 - y). \quad (2)$$

Це диференціальне рівняння (2) зі змінними, що відокремлюються. Розділимо змінні та проінтегруємо:

$$\frac{dy}{y(4 - y)} = \frac{1}{8} dt,$$

$$\int \frac{dy}{y(4 - y)} = \int \frac{1}{8} dt.$$

Отримаємо загальний розв'язок рівняння:  $\ln \left| \frac{y-4}{y} \right| = \frac{C_1}{2} - \frac{t}{2}$ , або  $\frac{y-4}{y} = \pm e^{\frac{C_1}{2}} \cdot e^{-\frac{t}{2}}$ .

Позначимо  $\pm e^{\frac{C_1}{2}} = C$ , звідси  $\frac{y-4}{y} = C \cdot e^{-\frac{t}{2}}$ .

Після перетворень маємо загальний розв'язок диференціального рівняння (1):

$$y(t) = \frac{4}{1 + C e^{-t/2}} \quad (3)$$

Знайдемо частковий розв'язок рівняння (1), який задовольняє початковій умові  $y(0) = 0,75$ . Використовуючи початкову умову  $y(0) = 0,75$  знайдемо значення постійної  $C$ :

$$\frac{0,75 - 4}{0,75} = C \Rightarrow C = -\frac{13}{3}.$$

Підставимо знайдене значення  $C$  у загальне рішення (3). Таким чином, частковий розв'язок диференціального рівняння, що відповідає заданим початковим умовам, має вигляд:

$$y(t) = \frac{12}{3 + 13e^{-t/2}} \quad (4)$$

Якщо провести повне дослідження функції  $y(t) = \frac{12}{3 + 13e^{-t/2}}$  то можна зобразити її графік.

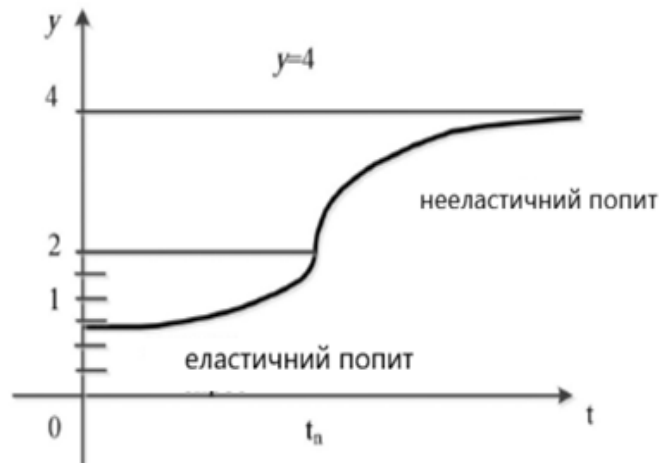


Рисунок 1 – Графік функції  $y(t) = \frac{12}{3+13e^{-t/2}}$

*Економічна інтерпретація*

Отримана функція є логістичною кривою. Вона описує процес зростання обсягу реалізації продукції з поступовим наближенням до граничного рівня. Такі криві описують багато процесів, що відбуваються в навколишньому світі: процес поширення реклами (інформації), процеси насичення ринку, поширення іновачій, зростання виробництва розмноження бактерій та ін. [3].

З умови  $p(y) = 4 - y$ , знайдемо:  $\frac{dy}{dp} = -1$ .

Порахуємо еластичність попиту за ціною за формулою  $E_p(y) = \frac{dy}{dp} \cdot \frac{p}{y}$  та отримаємо:

$$E_p(y) = -1 \cdot \frac{4 - y}{y} = \frac{y - 4}{y} \tag{5}$$

На рис.1 бачимо, що момент часу, що відповідає  $E_x(y) = -1$ , є граничним між проміжком еластичного та нееластичного попиту.

$$\frac{y-4}{y} = -1 \Rightarrow y = 2 \tag{6}$$

Значення  $y = 2$  є ординатою точки перегику.

Абсцис знайдемо якщо підставимо  $y = 2$  в (4):

$$y = 2 \Rightarrow \frac{12}{3 + 13e^{-t/2}} = 2 \Rightarrow e^{-t/2} = \frac{3}{13}$$

Звідси  $t = 2 \ln \frac{13}{3} \Rightarrow t \approx 2,9$ .

Точка перегику графіка на рис.1 буде:  $t \approx 2,9, y = 2$ .

*Аналіз отриманого результату*

Отримана функція є логістичною. Вона широко використовується для опису процесів, які мають обмежене зростання [8].

Основні властивості моделі:

- на початковому етапі спостерігається повільне зростання;
- далі – прискорене зростання;
- з часом – уповільнення та наближення до граничного рівня.

Граничне значення:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{12}{3 + 13e^{-t/2}} = 4. \quad (7)$$

Це означає, що обсяг реалізації стабілізується.

Точка перегину визначає момент переходу від зростання до насичення ринку. Вона має важливе економічне значення, оскільки характеризує зміну тенденцій розвитку.

*Практичне значення результатів.* Розглянута модель може застосовуватися для:

- прогнозування попиту на продукцію;
- оцінювання ефективності інвестицій;
- аналізу ринкових стратегій;
- визначення моменту насичення ринку.

Використання таких моделей дозволяє підприємствам:

- оптимізувати обсяги виробництва;
- планувати інвестиції;
- підвищувати конкурентоспроможність.

*Висновки*

Диференціальні рівняння є важливим інструментом сучасної економічної науки. Вони дозволяють моделювати складні динамічні процеси та отримувати аналітичні залежності між економічними величинами. Розглянутий приклад показує, що навіть відносно проста модель може дати глибоке розуміння економічних процесів [9]. Використання логістичних функцій дозволяє описати реальні явища, пов'язані з насиченням ринку та обмеженим зростанням. Таким чином, застосування диференціальних рівнянь відкриває широкі можливості для аналізу, прогнозування та управління економічними системами, що є особливо актуальним в умовах сучасної цифрової економіки [10].

ЛІТЕРАТУРИ:

1. Кремер Н.Ш. Вища математика для економістів Вища математика для економістів : підручник для студентів закладів вищої освіти. Київ : Юрайт, 2018. 479 с.
2. Самарський О.А. Математичне моделювання економічних процесів : навч. посіб. Київ : КНЕУ, 2017. 320 с.
3. Філіппов А. Ф. Диференціальні рівняння : підручник. Харків : Фактор, 2015. 412 с.
4. Биков В.Ю. Інформаційно-комунікаційні технології в освіті: концептуальні основи : монографія. Київ : Педагогічна думка, 2019. 248 с.
5. Манків Н. Г. Макроекономіка. Київ : Основи, 2000. 588 с.
6. Мочерний С. В. Економічна теорія : навч. посіб. Київ : Академія, 2016. 640 с.
7. Морзе Н.В., Вембер В.П. Цифрова компетентність сучасного фахівця : навч. посіб. Київ : Центр навчальної літератури, 2021. 340 с.
8. Fulford G., Forrester P., Jones A. Mathematical Models in Biology. Princeton : Princeton University Press, 2019. 520 p.
9. Григорків В.С. Економіко-математичне моделювання : навч. посіб. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2020. 360 с.
10. Вітлінський В.В. Моделювання економіки : монографія. Київ : КНЕУ, 2019. 408 с.

***СЕКЦІЯ***  
***«СУЧАСНІ КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ***  
***ТА СИСТЕМИ ВІДОБРАЖЕННЯ***  
***ІНФОРМАЦІЇ»***

## ІНФОГРАФІКА ЯК ІНСТРУМЕНТ ПОДАННЯ ОБЛІКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

Сучасна інформаційно-аналітична інфраструктура підприємств вимагає впровадження інструментів, що забезпечують інтеграцію, обробку та зручну візуалізацію великих масивів даних. В умовах цифрової трансформації бізнесу, глобалізації економічних процесів та посилення конкуренції значення інфографіки та цифрових панелей управління стає ключовим фактором підвищення ефективності діяльності підприємства. На відміну від традиційної бухгалтерської звітності, яка переважно відображає минулі події та результати діяльності, сучасні інструменти візуалізації акцентують увагу на оперативному аналізі, прогнозуванні та підтримці стратегічного планування. Це дозволяє здійснювати безперервний моніторинг господарських операцій, своєчасно реагувати на відхилення та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Інфографіка в обліковій системі виступає засобом перетворення складної фінансово-економічної інформації у доступну, зрозумілу та структуровану форму. Завдяки використанню діаграм, графіків, інтерактивних таблиць, дашбордів та індикаторів керівництво отримує можливість швидше оцінювати фінансовий стан підприємства, рівень ліквідності, прибутковість, структуру витрат та ефективність використання ресурсів. Візуальне представлення даних значно скорочує час на аналіз інформації та підвищує якість управлінських рішень.

У системах контролінгу інфографіка забезпечує синхронізацію стратегічних та операційних цілей через наочне відображення ключових показників ефективності (KPI) у режимі реального часу. Це дає змогу керівництву контролювати виконання планів, дотримання бюджетів, рівень витрат, фінансові результати та стан бізнес-процесів. Особливо важливим є використання дашбордів для порівняння планових і фактичних показників, аналізу відхилень та оцінки ризиків. Інтеграція з ERP- та CRM-системами створює єдине інформаційне середовище, де дані оновлюються автоматично, що мінімізує вплив людського фактора, знижує ризик помилок та підвищує достовірність інформації.

У сфері внутрішнього аудиту цифрові інструменти візуалізації забезпечують перехід до концепції безперервного аудиту, який передбачає постійний контроль за фінансовими потоками та операційною діяльністю підприємства. Вони автоматизують процес ідентифікації ризиків, аналіз транзакцій, перевірку відповідності нормативним вимогам та виявлення аномалій у господарських операціях. Завдяки графічній візуалізації результатів у вигляді індикаторів, теплових карт, аналітичних звітів і діаграм значно полегшується сприйняття критичної інформації та покращується комунікація між аудиторами й керівництвом. Це дозволяє оперативно виявляти випадки шахрайства, неефективного використання ресурсів, дублювання витрат або порушення внутрішніх регламентів.

Важливою перевагою інфографічних систем є їхня гнучкість та можливість налаштування під індивідуальні потреби користувачів. Персоналізація дозволяє різним рівням управління отримувати релевантні інструменти аналізу та контролю:

- топ-менеджмент використовує зведені стратегічні показники для довгострокового планування та оцінки конкурентних позицій підприємства;
- середній менеджмент аналізує результативність структурних підрозділів, виконання бюджетів та продуктивність праці;
- операційні працівники здійснюють контроль щоденних завдань, виробничих показників та поточних процесів.

Такий підхід сприяє підвищенню прозорості управління, посиленню відповідальності персоналу та формуванню єдиного інформаційного простору підприємства.

Технологічну основу сучасних рішень складають інструменти Business Intelligence (BI), технології Big Data, хмарні сервіси та інтерактивна візуалізація даних. Найбільш поширеними платформами є Power BI, Tableau, Qlik Sense, SAP Analytics Cloud та

Google Data Studio. Використання штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML) відкриває нові можливості для автоматизованого виявлення закономірностей, прогнозування фінансових результатів, аналізу поведінки клієнтів та розробки рекомендацій для керівництва. Наприклад, система може автоматично визначати тенденції зростання витрат або прогнозувати ризики касових розривів на основі історичних даних.

Водночас ефективність інфографіки безпосередньо залежить від якості вхідної інформації. Наявність дублювань, помилок, неповноти або несвоєчасного оновлення даних може суттєво знизити достовірність аналітичних висновків. Саме тому важливого значення набуває впровадження систем управління даними (data governance), регламентів контролю якості інформації та заходів із забезпечення інформаційної безпеки.

Особливо актуальним є захист конфіденційної фінансової інформації, що використовується у процесі управління підприємством. Попри значні витрати на розробку, інтеграцію та навчання персоналу, довгострокова перспектива демонструє економічну доцільність впровадження інфографічних систем. Їх використання забезпечує зниження операційних ризиків, скорочення часу на підготовку управлінської звітності, підвищення точності прогнозування та загальне зростання ефективності управління.

Інфографіка та цифрові панелі поступово стають не лише допоміжним інструментом, а фундаментом для побудови адаптивних, прозорих та конкурентоспроможних моделей управління підприємствами в умовах цифрової економіки.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Друкер П. Ф. Менеджмент у XXI столітті. К. : КМ-Букс, 2019. 320 с.
2. Хорнгрен Ч. Т., Фостер Дж., Датар С. Управлінський облік. К. : Основи, 2018. 1008 с.
3. Каплан Р. С., Нортон Д. П. Збалансована система показників. Від стратегії до дії. К. : Олімп-Бізнес, 2020. 320 с.
4. Савицька Г. В. Економічний аналіз діяльності підприємства. К. : Знання, 2017. 668 с.
5. Бутинець Ф. Ф. Внутрішній аудит : навч. посіб. Житомир : ПП «Рута», 2019. 512 с.
6. Few S. Information Dashboard Design: Displaying Data for At-a-Glance Monitoring. Burlingame: Analytics Press, 2013. 224 p.
7. Microsoft Power BI Documentation – офіційна документація Microsoft.
8. Tableau User Guide – офіційна документація Tableau Software.

**КОНЦЕПТУАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ ІГРОВОГО ВСЕСВІТУ В ЖАНРІ SCI-FI:  
ВІД ВІЗУАЛЬНОГО СЕТИНГУ ДО СИСТЕМНОЇ АРХІТЕКТУРИ  
(НА ПРИКЛАДІ «ALLISABYSS»)**

*Актуальність теми.* Жанр науково-фантастичного виживання стає все популярнішим. Гравці хочуть сильніше занурюватися в гру. Для цього потрібно ретельно проєктувати ігровий світ. Його вигляд та механіки мають створювати реалістичне відчуття екстремальних умов.

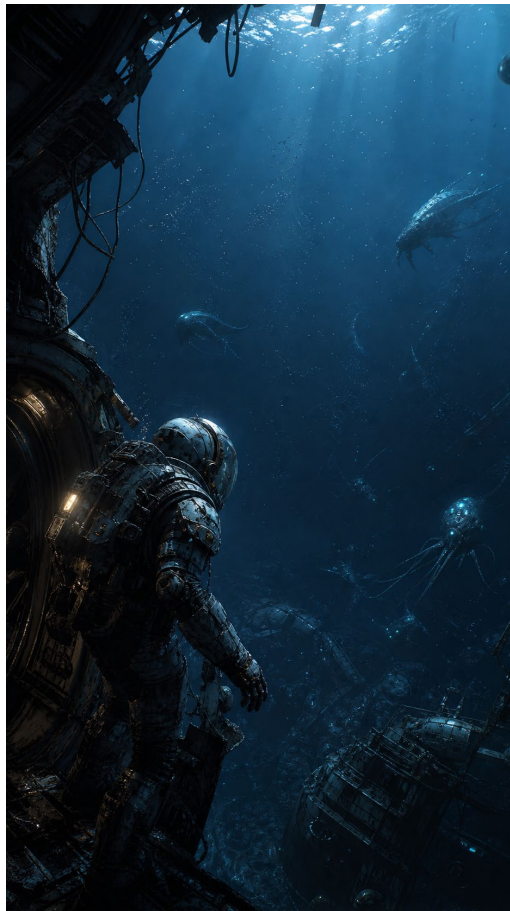
*Мета роботи.* Показати, як створити правдоподібний ігровий світ на прикладі проєкту «Allisabyss: Depths of the Echo-Ocean». Він має бути водночас науково достовірним і зручним для гри.

*Наукова основа.* Події гри відбуваються в океані на іншій планеті. Це спирається на реальні гіпотези про воду на супутниках Юпітера та Сатурна. Океан дозволяє додати в гру справжні фізичні умови: високий тиск, темряву та хімічний склад води.

*Геймплейна доцільність.* Вода природно обмежує простір у грі. Замість штучних «невидимих стін» діють логічні бар'єри, такі як небезпечний тиск води.



*Вертикальність як чинник прогресу.* Гравець досліджує світ не вшир, а вглиб. У верхніх шарах безпечно, але мало цінних ресурсів. На великій глибині виникають нові ризики: небезпечні істоти та нестача енергії. Проте саме там можна знайти унікальні технології та залишки старих кораблів.

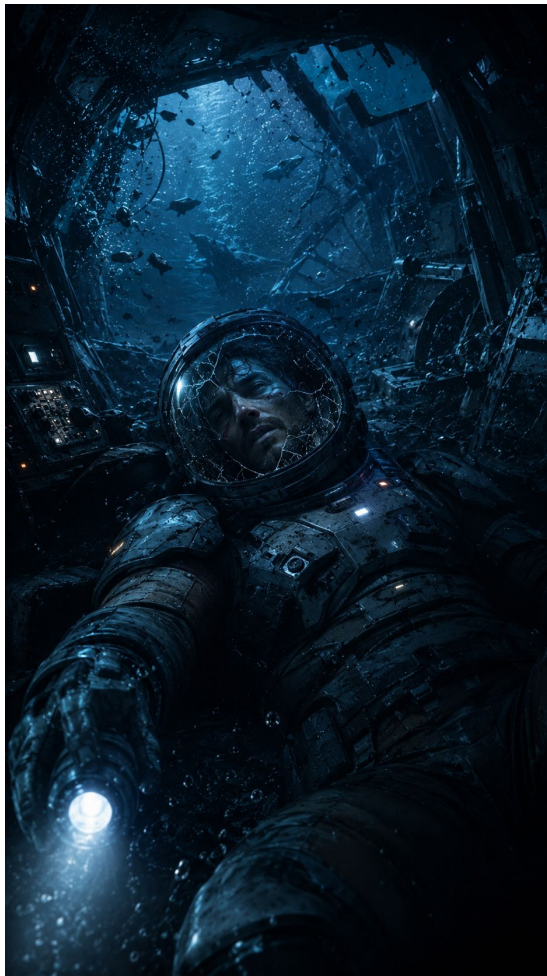


*Ефект самотності.* Гра створює відчуття повної психологічної ізоляції. Гравець майже не зустрічає інших персонажів і взаємодіє лише з порожнім середовищем. Спілкуватися можна тільки зі штучним інтелектом.

*Інструменти емоційного впливу.* Гра використовує обмеження чуттів для кращого занурення:

- *Обмеження зору.* Через темряву та слабке світло ліхтаря гравець бачить недалеко.
- *Фізичний тиск.* Механіки руйнування субмарини та звуки тріску металу від тиску води створюють постійний фоновий стрес.
- *Звуковий дизайн.* Низький гул у поєднанні з несподіваними звуками прихованих істот тримають гравця у постійній напрузі.

*Історія через оточення.* Гра розповідає історію без зайвих текстів. Замість цього гравець знаходить сліди людей: розбиті кораблі, порожні бази та кинуті речі екіпажів. Ці знахідки дозволяють гравцеві самостійно відновити хід подій.



*Логіка зонування.* Ігровий світ поділено на вертикальні зони. Кожна з них має унікальний вигляд та умови:

- *Мілководдя.* Це світла зона з низьким тиском. Вона працює як тренувальний майданчик для гравця.
- *Зона сутінків.* Це основна частина гри. Там темно, тому треба вмикати штучне світло. Через тиск необхідно покращувати субмарину.
- *Глибоководні жолоби.* Найскладніша зона. Тут гра стає чистим виживанням, а середовище – максимально ворожим.

*Екосистема та виживання.* Тварини та рослини безпосередньо впливають на виживання гравця. Тварини можуть бути джерелом рідкісних матеріалів або небезпечними ворогами. Найкращі ресурси сховані біля хижаків або в небезпечних розломах. Тому гравець постійно обирає між ризиком і вигодою.

*Орієнтування.* Штучні об'єкти, такі як бази та кораблі, допомагають орієнтуватися. Навіть у темряві форма розбитих кораблів інтуїтивно підказує шлях до виходу або потрібних кімнат. Завдяки модульній будові баз гравець відразу розуміє призначення приміщень (наприклад, де шлюз, а де лабораторія).

*Висновки.* Успіх гри залежить від поєднання науки та психологічного тиску. Підводний світ змушує гравця не просто збирати ресурси, а боротися з ворожим середовищем. Вертикальна будова світу та ізоляція роблять кожне рішення критично важливим для життя.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Шелл Дж. Геймдизайн: Книга ідей / пер. з англ. О. О. Тарасенко. Київ : ArtHuss, 2023. 600 с.
2. Швецова В. М., Косяк І. В. Аналіз сучасних методів проектування ігрових світів у жанрі Sci-Fi. Комп'ютерні системи та інформаційні технології. 2024. № 2. С. 45–52.
3. Норман Д. Дизайн буденних речей / пер. з англ. А. О. Коваленко. Харків : КСД, 2022. 288 с.

УДК 004.92:004.5

О.О. Боскін, Є.В. Калатун, Д.О. Сидорчук  
Херсонський національний технічний університет  
oleh.boskin@gmail.com

## ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІГРОВОГО ПРОЦЕСУ, ПРОЦЕДУРНА ГЕНЕРАЦІЯ ПОДІЙ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ АГЕНТИ ПІДТРИМКИ

*Актуальність теми.* Багато сучасних ігор мають статичні світи. Готові сценарії роблять гру передбачуваною та зменшують бажання грати знову. Процедурна генерація контенту (PCG) вирішує цю проблему. Вона створює динамічний світ прямо під час гри. Разом із розумними помічниками ця система підлаштовується під гравця.

*Мета роботи.* Створити алгоритми для генерації випадкових подій у грі «Allisabyss». Також потрібно розробити логіку роботи розумного помічника F.R.I.A..

*Логіка «керованого хаосу».* Гра використовує алгоритми ймовірності для створення об'єктів. Це створює ефект керованого хаосу. Поява нових завдань або падіння кораблів не є повністю випадковою подією. Вона залежить від спеціальних вагових коефіцієнтів. Кожна подія має свій шанс на появу. Цей шанс постійно змінюється залежно від ситуації в грі. Тому світ здається непередбачуваним, а події в ньому залишаються логічними.



*Параметри генерації та адаптивність.* Алгоритм аналізує багато факторів для визначення частоти та складності подій. Головні дані для цього:

- *Глибина занурення.* На більшій глибині завдання стають складнішими, а небезпеки трапляються частіше.
- *Ресурси гравця.* Система перевіряє рівень кисню, енергії та стан корпусу. Якщо ресурсів мало, гра може створити сприятливу подію, наприклад, підкинути кисневий балон. Якщо ж у гравця все добре, алгоритм ускладнює гру.
- *Час гри.* Гра чергує спокійні моменти з активними діями. Це створює «нарративні хвилі» та захищає гравця від перевтоми.

*Запобігання неможливим ситуаціям.* Гра завжди має бути прохідною. Тому згенеровані події проходять через спеціальні обмежувальні фільтри. Система перевіряє:

- *Доступність ресурсів.* Чи вистачить гравцю кисню та міцності субмарини, щоб дістатися до створеного об'єкта.
- *Простір.* Об'єкти не повинні накладатися один на одного або з'являтися у недоступних місцях рельєфу.
- *Сюжет.* Нові події не повинні суперечити попереднім рішенням гравця та історії.

*Агент як система моніторингу.* Помічник F.R.I.A. – це активна частина гри. Вона постійно перевіряє рівень здоров'я, кисню, енергії та стан субмарини. Завдяки програмуванню через патерн «Спостерігач» штучний інтелект миттєво реагує на зміну цих показників. Вона одразу дає потрібні підказки, що допомагає краще зануритися у гру.



*Модель поведінки.* Поведінка помічника залежить від того, як грає людина. Для цього використовуються спеціальні алгоритми, які аналізують:

- *Етику.* Якщо гравець приймає добрі рішення, помічник спілкується емоційніше. Якщо гравець діє жорстко, голос помічника стає сухим і технічним.
- *Виживання.* Система стежить, як швидко витрачаються ресурси. Якщо гравець діє погано, помічник припиняє давати підказки для дослідження. Вона починає давати вказівки лише для виживання.

*Навігація та генерація світу.* F.R.I.A. допомагає гравцеві орієнтуватися у випадково створеному світі. Ресурси та уламки з'являються хаотично, але помічник одразу знаходить їхні координати. Після цього ШІ створює нові цілі та коментує ці знахідки.

*Реактивне середовище.* Головне завдання – зробити ігровий світ цілісним. Випадкові події мають логічно вписуватися в загальний сюжет. Для цього використовують механізм «реактивності». Розумний помічник F.R.I.A. пояснює гравцеві результати роботи алгоритму генерації. Коли стається щось випадкове, помічник не просто констатує факт. Вона коментує подію, враховуючи поточний стан гравця та його минулий досвід.

*Черга подій.* Помічник та алгоритм генерації взаємодіють через систему черги подій. Під водою часто стається багато різних речей одночасно. Тому спеціальний програмний менеджер сортує їх за важливістю:

- *Критичні.* Це події, які загрожують життю гравця. Вони обробляються миттєво і переривають усі інші процеси.
- *Наративні.* Це коментарі про знахідки або зміни довкола. Вони звучать лише тоді, коли життю гравця нічого не загрожує.
- *Фонові.* Це системні та технічні повідомлення.

Помічник видає лише потрібну інформацію у правильний час. Це дуже важливо для збереження балансу в іграх про виживання.

*Висновки.* Поєднання генерації світу та розумного помічника є дуже ефективним. Це найкращий спосіб заохотити гравців повертатися до гри знову. Алгоритм створює різноманітні ситуації. Водночас помічник F.R.I.A. пояснює ці події та додає їм логічного сенсу. Кожна гра стає унікальною завдяки новим об'єктам та їхній подачі.

*Масштабованість розробки.* Така програмна логіка значно полегшує створення гри. Розробникам більше не треба прописувати кожну подію вручну. Тепер поведінку світу моделює алгоритм. Це дозволяє легко збільшувати гру: додавати нові зони, кораблі чи механіки без зайвої роботи над скриптами.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Шелл Дж. Геймдизайн: Книга ідей / пер. з англ. О. О. Тарасенко. Київ : ArtHuss, 2023. 600 с.
2. Швецова В. М., Косяк І. В. Аналіз сучасних методів проектування ігрових світів у жанрі Sci-Fi. Комп'ютерні системи та інформаційні технології. 2024. № 2. С. 45–52.
3. Норман Д. Дизайн буденних речей / пер. з англ. А. О. Коваленко. Харків : КСД, 2022. 288 с.

## МОДЕЛЮВАННЯ НЕЛІНІЙНОЇ СТРУКТУРИ НАРАТИВУ ТА ІГРОВИХ МЕХАНІК ЕТИЧНОГО ВИБОРУ В ІНТЕРАКТИВНИХ СЦЕНАРІЯХ

*Актуальність теми.* У сучасній індустрії відеоігор інтерактивний наратив став ключовим інструментом залучення гравця: на відміну від лінійних медіа, гра надає користувачеві роль суб'єкта, що впливає на події. Однак актуальною проблемою лишається ефект «уявної свободи», коли вибори мають лише косметичний характер. Розробка систем із реальними, часто незворотними наслідками кожного етичного чи стратегічного рішення є необхідною умовою високого емоційного резонансу та реіграбельності.

*Мета роботи.* Дослідити та обґрунтувати механіку побудови нелінійної історії у грі «Allisabyss: Depths of the Echo-Ocean», де наративна структура безпосередньо залежить від моральних дилем і поведінкових патернів гравця.

*Деревоподібна модель накопичення вибору.* В основі наративної архітектури «Allisabyss» лежить розгалужена модель, де сюжетний шлях формується кумулятивним накопиченням мікрвзаємодій. Дрібні рішення в діалогах з ШІ F.R.I.A. та вибір пріоритетів при дослідженні локацій поступово утворюють «сюжетні вузли» – ключові етапи, де сценарій зазнає якісних змін. Це дозволяє уникнути штучних переходів, роблячи розвиток історії природним наслідком стилю гри користувача.



*Наративні тригери та динаміка світу.* Для управління нелінійністю розроблено систему наративних тригерів, що реагують на етичні дії гравця. Наприклад, реакція на сигнал SOS від затонулого модуля змінює параметри взаємодії:

- Активна допомога – відкриває унікальні логи екіпажу та формує довірливий тон спілкування з ШІ.
- Ігнорування – зберігає ресурси, але блокує сюжетні гілки про минуле планети та робить

репліки ШІ холоднішими.

Ці тригери безпосередньо впливають на доступність наступних місій, роблячи кожне проходження унікальним.

*Концепція нейтральності середовища.* Проєкт відмовляється від класичної системи «карми». Світ Алісабісс залишається морально нейтральним – відсутність «правильного» шляху спонукає гравця самостійно визначати свою роль: від цинічного виживальника до дослідника-гуманіста. Система не оцінює вчинки героя, а лише демонструє їхні логічні наслідки, що підсилює відчуття особистої відповідальності та свободи.

*Ресурсний конфлікт як основа вибору.* В «Allisabyss» етичний вибір переміщено з площини абстракцій у жорсткий менеджмент ресурсів. Ключовий конфлікт - між власною безпекою та гуманізмом: гравець вирішує, витратити обмежену енергію на системи субмарини чи на порятунок іншого модуля. Кожна допомога реально зменшує шанси на виживання, перетворюючи мораль на повноцінну ігрову механіку.

*Роль ШІ F.R.I.A. як «дзеркала» гравця.* ШІ F.R.I.A. виконує роль не лише навігатора, а й динамічного індикатора морального стану героя. Система аналізує патерни рішень і адаптує стиль спілкування: при цинізмі репліки стають сухими й відчуженими, при емпатії - людянішими та рефлексивними. В умовах повної ізоляції єдиний співрозмовник перетворюється на дзеркало внутрішньої трансформації гравця.

*Механіка відкладених наслідків.* Проєкт відмовляється від миттєвого фідбеку на дії гравця. Вибір, вигідний у короткостроковій перспективі - наприклад, використання нестабільних технологій для швидкого апгрейду - може обернутися трагічними наслідками на пізніх етапах. Це змушує не просто реагувати на виклики, а стратегічно прогнозувати наслідки, що поглиблює наративну напругу та робить кожне проходження унікальним.

*Принцип кумулятивності фіналу.* В «Allisabyss» відмовились від традиційного «фінального вибору». Натомість фінал є інтегральною оцінкою всієї поведінки гравця – від методів видобутку ресурсів до стилю спілкування з ШІ. Це створює ефект «справедливого фіналу», що логічно випливає з образу персонажа, вибудованого протягом усього проходження.



*Класифікація варіативних фіналів.* Сценарій передбачає чотири вектори завершення, що базуються на рівні гуманності та успішності виживання:

1. Техно-оптимізм. Висока емпатія та збір усіх модулів – персонаж повертається, зберігши людяність і цінні знання.
2. Цинічний прагматизм. Порятунком ціною життів інших або етичної деградації, що відображається у холодному фінальному діалозі з ШІ.
3. Асиміляція. Герой стає частиною екзо-океану, обравши пізнання світу замість повернення.
4. Трагічний колапс. Наслідок хибних рішень та ігнорування етичних тригерів – руйнація субмарини й особистості героя.

*Наративне значення кінцівок.* Жоден фінал не є «перемогою» чи «програвшем» - це розгорнута відповідь системи на питання про межі людської стійкості. Кожна кінцівка відображає обрану гравцем стратегію, стаючи не завершенням сесії, а поштовхом до рефлексії.

*Висновки. Реіграбельність та емоційна цінність.* Варіативність сюжету «Allisabyss» підтверджує, що нелінійність є ключовим чинником реіграбельності. Альтернативні наслідки спонукають до повторного проходження, а складні етичні рішення підвищують емоційну цінність досвіду. Кожна сесія перетворюється на персоналізований моральний іспит, а не просте споживання контенту.

*Суб'єктність гравця як співавтор.* «Allisabyss» доводить концепцію «гравець-співавтор»: унікальність досвіду досягається не випадковими подіями, а неповторною комбінацією виборів конкретного користувача. Нелінійність постає не технічним розгалуженням, а методом надання гравцеві справжньої суб'єктності – найвищого ступеня реалізації інтерактивного наративу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Шелл Дж. Геймдизайн: Книга ідей / пер. з англ. О. О. Тарасенко. Київ : ArtHuss, 2023. 600 с.
2. Швецова В. М., Косяк І. В. Аналіз сучасних методів проектування ігрових світів у жанрі Sci-Fi. Комп'ютерні системи та інформаційні технології. 2024. № 2. С. 45–52.
3. Норман Д. Дизайн буденних речей / пер. з англ. А. О. Коваленко. Харків : КСД, 2022. 288 с.

## ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ РЕКЛАМНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ НА ОСНОВІ ДАНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ

У сучасних умовах цифровізації економіки рекламна діяльність зазнає суттєвих трансформацій, зумовлених активним упровадженням інформаційно-аналітичних систем та інтелектуальних алгоритмів. Традиційні підходи до управління рекламою, що ґрунтувалися на інтуїції, досвіді фахівців і обмежених статистичних даних, поступово витісняються підходом, заснованим на даних, у межах якого ключову роль відіграють великі масиви інформації, автоматизовані системи аналізу та алгоритми машинного навчання. Це зумовлює необхідність переосмислення управління рекламною діяльністю, зокрема в контексті її оптимізації.

Як слушно зазначають українські дослідники, якщо раніше маркетинг ґрунтувався переважно на емпіричних спостереженнях, то сьогодні він набуває рис точного аналітичного інструменту, здатного забезпечувати оперативну адаптацію підприємств до змін зовнішнього середовища. У цьому контексті зростає значення аналітики даних та інтелектуальних алгоритмів як ключових рушіїв нової парадигми маркетингового управління [1].

Актуальність теми зумовлена зростанням обсягів цифрової інформації, ускладненням поведінки споживачів і посиленням конкуренції на ринку. За таких умов ефективно управління рекламною діяльністю потребує не лише збору даних, а й їх глибокого аналізу, інтерпретації та використання для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Інтелектуальні алгоритми дають змогу автоматизувати ці процеси, забезпечуючи швидкість, точність і адаптивність управління.

Українські дослідники зазначають, що цифрова реклама зазнає суттєвих трансформацій, а світовий рекламний ринок орієнтується на розвиток «розумних» кампаній із використанням штучного інтелекту. Яскравим прикладом є програматик (programmatic) реклама, яка передбачає автоматизовану закупівлю рекламного простору та використання алгоритмів для прийняття рішень щодо розміщення контенту, орієнтованого на визначені цільові аудиторії [2, с. 132].

Метою дослідження є обґрунтування теоретичних і прикладних засад оптимізації управління рекламною діяльністю на основі використання даних та інтелектуальних алгоритмів у системах цифрового управління.

У сучасних умовах управління рекламною діяльністю перетворюється на складну систему, що базується на безперервному зборі та аналізі даних із цифрових платформ, соціальних мереж, веб-аналітики та CRM-систем (Customer Relationship Management) - програмних рішень, призначених для управління взаємодією організації з клієнтами, партнерами та потенційними споживачами. Зібрані дані формують основу інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття управлінських рішень.

Ключову роль відіграють технології штучного інтелекту, машинного навчання, Big Data та автоматизації, які дають змогу глибше аналізувати потреби аудиторії, персоналізувати комунікації, оптимізувати рекламні процеси й оперативно реагувати на зміни ринку [3, с.130].

Використання даних у рекламній діяльності забезпечує точніше визначення цільових аудиторій, прогнозування їхньої поведінки, персоналізацію повідомлень і оцінювання ефективності кампаній у режимі реального часу. Інтелектуальні алгоритми, зокрема методи машинного навчання, нейронні мережі, а також підходи кластеризації та класифікації, відкривають принципово нові можливості для оптимізації рекламної діяльності. Їх використання забезпечує перехід від інтуїтивного до даних-орієнтованого управління, що дозволяє виявляти приховані закономірності у поведінці споживачів і формувати більш обґрунтовані управлінські рішення. Зокрема, завдяки аналізу великих масивів даних такі алгоритми здатні прогнозувати результати рекламних кампаній, автоматично коригувати їх

параметри в режимі реального часу та створювати персоналізовані пропозиції для окремих сегментів аудиторії.

Підвищення зацікавленості споживачів до товарів і послуг досягається через реалізацію продуманої SMM-стратегії (Social Media Marketing), основою якої є контент. Відповідно до цілей просування у соціальних медіа, сучасна SMM-стратегія ґрунтується на збалансованому поєднанні різних типів контенту - текстового, візуального, відео-, аудіо та інтерактивного, кожен з яких має впливати на поведінку споживача та стимулювати конверсію. Використання штучного інтелекту у реалізації SMM-стратегії сприяє підвищенню ефективності рекламних заходів і зниженню витрат на їх здійснення [4].

Проте самі по собі дані не забезпечують ефективності управління без застосування відповідних методів їх обробки та аналізу.

Важливим інструментом у цьому контексті є алгоритми прогнозування, які дають змогу оцінювати ймовірність конверсії для різних груп споживачів. Це, у свою чергу, сприяє більш ефективному розподілу рекламного бюджету та підвищенню загальної результативності кампаній. Як зазначається у працях українських дослідників, машинне навчання базується на використанні алгоритмів, здатних аналізувати дані та формувати прогнози без явного програмування кожного кроку, що дозволяє виявляти складні патерни, зокрема у задачах виявлення шахрайства. Нейронні мережі, як один із ключових інструментів штучного інтелекту, забезпечують глибокий аналіз даних і широко застосовуються у задачах розпізнавання зображень та мовлення. Подальшим розвитком цих підходів є глибоке навчання, яке орієнтоване на обробку великих обсягів даних і забезпечує високу точність прогнозування. У сукупності ці технології формують основу інтелектуалізації рекламної діяльності, підвищуючи її адаптивність, точність і ефективність [5].

Одним із ключових напрямів оптимізації є автоматизація управління рекламними кампаніями. Сучасні цифрові платформи використовують алгоритми реального часу для управління ставками, вибору аудиторій, розміщення реклами та оптимізації контенту. Оптимізація управління рекламною діяльністю передбачає також удосконалення системи показників ефективності (KPI). Завдяки використанню даних та аналітичних інструментів стає можливим більш точно вимірювання результатів рекламних кампаній, включаючи такі показники, як коефіцієнт конверсії, вартість залучення клієнта, рентабельність інвестицій у рекламу. Це дозволяє здійснювати більш обґрунтовану оцінку ефективності та приймати рішення щодо подальшої оптимізації.

Такий підхід забезпечує адаптивність рекламної діяльності, дозволяючи оперативно реагувати на зміни ринкових умов і поведінки споживачів. Згідно з дослідженнями українських науковців, використання CRM-систем (Customer Relationship Management) та маркетингових платформ дає змогу автоматизувати рутинні процеси маркетологів, забезпечує централізоване управління інформацією про клієнтів, що, своєю чергою, сприяє аналізу їхніх потреб і поведінки, а також дозволяє розробляти більш цілеспрямовані маркетингові стратегії та знижує навантаження на співробітників [6].

Важливим аспектом сучасного управління рекламною діяльністю є моделювання рекламних процесів. Побудова математичних і комп'ютерних моделей дає змогу не лише аналізувати поточні результати, а й прогнозувати ефективність рекламних кампаній у різних сценаріях їх реалізації. Це дозволяє визначати оптимальні параметри розміщення реклами, обсяги фінансування, вибір каналів комунікації та часові інтервали запуску кампаній, а також мінімізувати можливі ризики.

Моделі враховують широкий спектр факторів, зокрема поведінкові характеристики споживачів, рівень їхньої довіри до бренду, вплив конкурентного середовища, сезонні коливання попиту та інші зовнішні чинники. У сучасних умовах особливого значення набувають динамічні та стохастичні моделі, які дозволяють враховувати невизначеність ринку та змінність поведінки аудиторії. Використання таких підходів забезпечує більш обґрунтоване прийняття управлінських рішень і підвищує ефективність рекламної діяльності.

Українські дослідники, зазначають, що використання моделей економічної динаміки та стохастичного моделювання в рекламній діяльності дає можливість досліджувати процеси формування довіри споживачів і прогнозувати результати впливу рекламних заходів [7].

Це підкреслює важливість інтеграції математичного моделювання в систему управління рекламою як інструменту стратегічного планування та оптимізації маркетингових рішень

Разом із тим, впровадження інтелектуальних алгоритмів у рекламну діяльність супроводжується низкою викликів. Серед них – забезпечення якості та достовірності даних, захист персональної інформації, прозорість алгоритмів та етичні аспекти їх використання. Слід враховувати, як кажуть науковці, що персоналізація реклами в соціальних мережах викликає значні етичні застереги, пов'язані з конфіденційністю, безпекою даних, маніпуляцією споживачами, моральними дилемами, упередженням та дискримінацією [8, с. 148].

Таким чином, оптимізація управління рекламною діяльністю на основі даних та інтелектуальних алгоритмів передбачає поєднання сучасних інформаційних технологій, аналітичних методів та управлінських практик, спрямованих на підвищення ефективності рекламної діяльності.

У висновках слід зазначити, що використання інтелектуальних алгоритмів суттєво змінює парадигму управління рекламною діяльністю, перетворюючи її на адаптивну, гнучку та високоефективну систему. Основними напрямками оптимізації є автоматизація процесів, персоналізація рекламних повідомлень, прогнозування результатів та підвищення точності прийняття рішень.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Ковбас Г. І., Прокопенко Ф. В. Інтелектуальні алгоритми та аналітика даних у сучасних маркетингових системах. *Академічні візії*. Випуск 41/2025. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15268255>
2. Руденко М. В., Устик Т. В., Радзіховська Ю. М. Використання сучасних технологій у сфері реклами: світовий досвід та вітчизняні реалії. *Економічний вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*. № 32, 2025. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.32.2025.328554>
3. Мірошніченко В. Розвиток потенціалу рекламного бізнесу в умовах цифровізації та євроінтеграції. *Діалог: Медіастудії*, випуск № 30, 2024. DOI: <https://doi.org/10.188524/2308-3255.2024.30.318426>
4. Романуша Ю. В. Використання штучного інтелекту при розробці SMM стратегії бізнесу. *Економіка та суспільство*. Випуск № 63/2024. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-41>
5. Заячківська Г. А. Маркетингові можливості підприємств на основі штучного інтелекту. *Трансформаційна економіка* №2(07), 2024. DOI: <https://doi.org/10.32782/2786-8141/2024-7-3>
6. Струнгар А. В. Автоматизація маркетингу: ефективність використання CRM-систем та маркетингових платформ для малого та середнього бізнесу. *Економічна наука. Інвестиції: практика та досвід* №13/2024. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.13.147>
7. Шмиголь Н. М., Бирський В. В., Антонюк А. Динамічна модель формування довіри споживачів до продукції підприємств під впливом рекламної діяльності. *Управління змінами та інновації*. 2024. № 10. DOI: <https://doi.org/10.32782/CMI/2024-10-8>
8. Парфенюк, І. (2024). Персоналізація реклами в соціальних мережах: етичні виклики та загрози. *Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері*, 7(1), 148-158. DOI: <https://doi.org/10.31866/2617-796X.7.1.2024.307017>

## ВИМОГИ ДО УНІВЕРСАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА І ЙОГО ІНТЕГРАЦІЯ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС

Сучасні комп'ютерні технології та системи відображення інформації формують цілісне інформаційне середовище, у межах якого реалізуються процеси отримання, обробки, передавання та візуалізації даних у різних сферах діяльності. Їх розвиток зумовлений зростанням обсягів інформації, підвищенням вимог до швидкості її обробки та необхідністю представлення результатів у формі, придатній для сприйняття та аналізу користувачем. У цьому контексті системи відображення виконують функцію інтерфейсу взаємодії між людиною та обчислювальними засобами, забезпечуючи перетворення цифрових сигналів у зрозумілі візуальні образи, розширюючи елементну базу навчальних лабораторій [1].

До складу сучасних комп'ютерних технологій належать програмні та апаратні засоби, що підтримують обчислення, моделювання, зберігання і передавання даних. Важливе місце посідають технології візуалізації, які забезпечують представлення числової інформації у вигляді графіків, діаграм, тривимірних моделей та інтерактивних панелей. Це дозволяє виявляти закономірності, аналізувати динаміку процесів і приймати обґрунтовані рішення на основі отриманих даних. Системи відображення інформації охоплюють широкий спектр технічних рішень, включаючи дисплеї різних типів, проєкційні системи, панелі керування та інтерактивні інтерфейси, функціональні характеристики яких визначаються параметрами роздільної здатності, яскравості, контрастності, швидкості оновлення та точності передачі кольору.

Розвиток обчислювальної техніки супроводжується переходом від окремих пристроїв відображення до інтегрованих мультимодальних систем, що базуються на високопродуктивних графічних процесорах і алгоритмах обробки сигналів. Архітектура відеоінтерфейсів визначає пропускну здатність каналів передавання візуальних даних, яка має відповідати зростаючим обсягам інформації. Сучасні технології дисплеїв, зокрема OLED і MicroLED, забезпечують високий рівень контрастності, енергоефективності та швидкодії, що розширює можливості їх застосування в різних галузях.

Апаратна складова систем відображення тісно пов'язана з розвитком напівпровідникових технологій, що дозволяє реалізовувати складні методи обробки графіки, включаючи трасування променів у реальному часі. Це створює умови для формування фотореалістичних сцен у системах автоматизованого проєктування та навчальних тренажерів. Паралельно розвиваються технології об'ємної візуалізації, зокрема системи доповненої та віртуальної реальності, у яких важливим є мінімізація затримок між введенням даних і відображенням результату.

Програмне забезпечення систем відображення базується на використанні спеціалізованих графічних інтерфейсів, що забезпечують ефективну взаємодію з апаратними ресурсами. Застосування методів машинного навчання дозволяє підвищувати якість зображення та оптимізувати обчислювальні витрати. Інтеграція засобів відображення з промисловими мережами забезпечує сумісність між різними компонентами систем автоматизації, а сучасні людино-машинні інтерфейси реалізуються у вигляді універсальних програмних платформ.

Системи відображення виконують низку функцій, серед яких забезпечення зворотного зв'язку в людино-машинній взаємодії, моніторинг і диспетчеризація технологічних процесів, візуалізація великих масивів даних, підтримка навчання та імітаційного моделювання, а також сприяння прийняттю рішень. Важливу роль відіграють ергономічні аспекти організації інтерфейсу, що впливають на ефективність сприйняття інформації та зменшення навантаження на користувача.

Таким чином, сучасні комп'ютерні технології у поєднанні із системами відображення інформації забезпечують повний цикл роботи з даними та створюють умови для ефективної взаємодії студента з цифровими системами універсального лабораторного стенда (рис. 1).

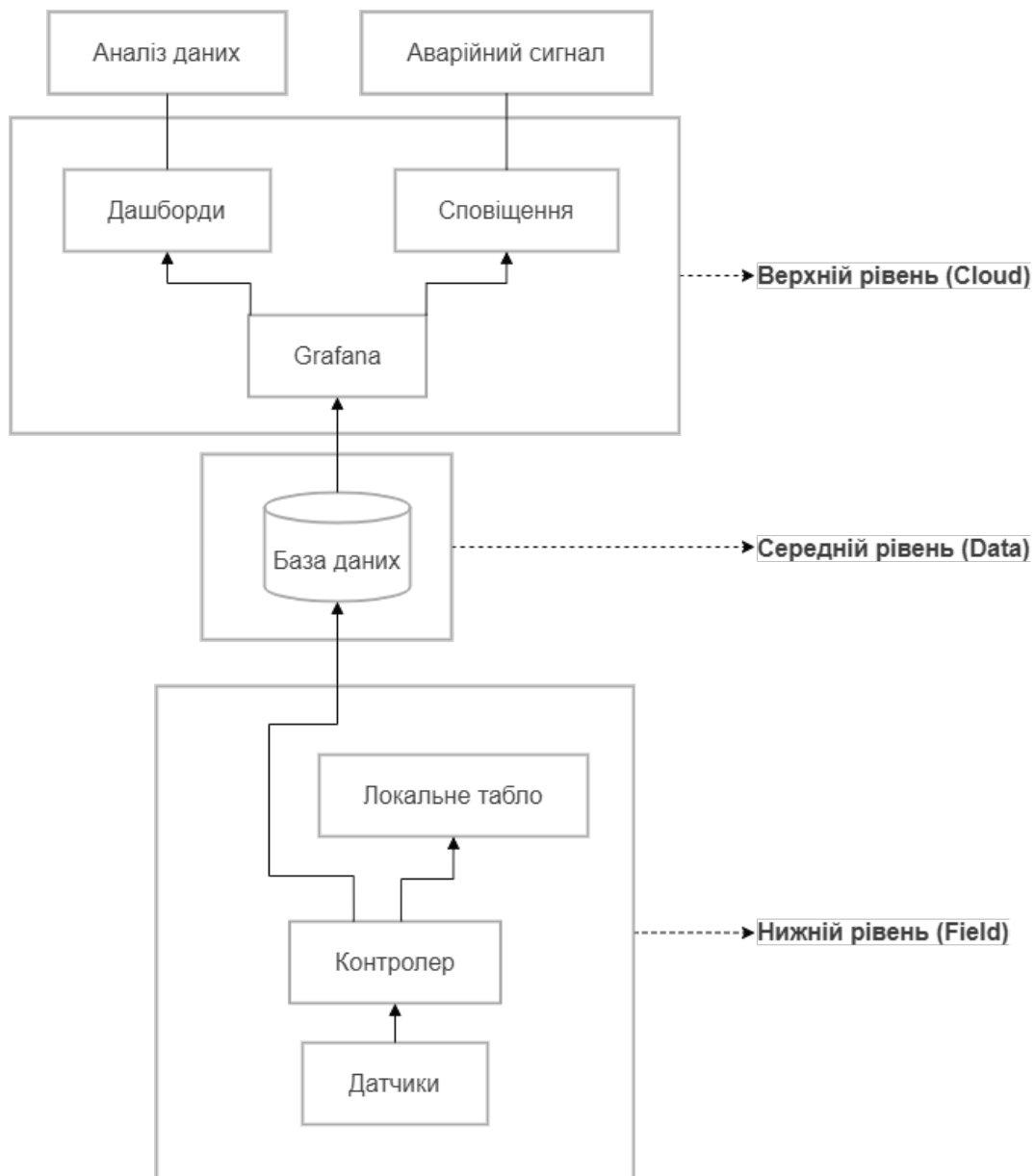


Рисунок 1 – Ієрархічна структура багатоканальної системи відображення та моніторингу експериментальних даних

Відображення інформації в контексті сучасних комп'ютерних технологій виконує роль критичного інтерфейсу між цифровими обчислювальними системами та людським сприйняттям. Без ефективної візуалізації будь-які високотехнологічні операції залишаються недоступними для оперативного аналізу та керування. Далі впорядковано основні функціональні напрями, що обґрунтовують необхідність систем відображення. Системи відображення перетворюють абстрактні електричні сигнали та програмний код у зрозумілі візуальні образи. Це дозволяє оператору в реальному часі бачити стан системи, підтверджувати виконання команд та ідентифікувати збої. В сучасній комп'ютерній інженерії це реалізується через графічні інтерфейси, які мінімізують когнітивне навантаження на користувача.

Моніторинг та диспетчеризація складних процесів у промисловості та великих IT-інфраструктурах відображення інформації необхідний для одночасного спостереження за сотнями параметрів. Системи візуалізації, такі як SCADA-панелі і інші, агрегують дані з датчиків, дозволяючи бачити загальну картину технологічного циклу, що критично для запобігання аварійним ситуаціям. Людський мозок значно швидше розпізнає патерни та аномалії у графічному вигляді, ніж у таблицях із цифрами. Сучасні технології відображення дозволяють будувати динамічні графіки, теплові карти та 3D-моделі, що є фундаментом для прийняття обґрунтованих рішень у бізнесі, науці та інженерії.

Інтерактивні стенди та системи віртуальної/доповненої реальності (VR/AR) створюють безпечне середовище для відпрацювання навичок [2]. Відображення віртуальних моделей поліграфічних чи інших промислових машин дозволяє проводити експерименти без ризику пошкодження дорогого обладнання. Завдяки інтелектуальним системам відображення, інформація подається у пріоритетованому вигляді. Система не просто «показує дані», а виділяє критичні зони, прогнозує тренди і пропонує варіанти дій оператору.

Особливу увагу приділено інтеграції універсальних лабораторних стендів [3] з середовищами віртуального моделювання, зокрема Tinkercad [4]. В такий спосіб створюються умови для гібридної індикації, де фізичне залізо (Hardware) та цифрова копія (Digital Twin) працюють у єдиному синхронному режимі [5]. Це забезпечує можливість верифікації алгоритмів керування та відлагодження систем індикації до їхнього впровадження у промислову експлуатацію. Вимоги до таких систем включають високу швидкість відгуку, ергономічність графічних елементів та відповідність колірної схеми психофізіологічним нормам сприйняття. Таким чином, сучасна індикація трансформується з пасивного відображення станів у активний інструмент підтримки прийняття рішень, що поєднує в собі обчислювальні потужності локальних контролерів та хмарні технології моніторингу даних.

Еволюція IDS також обумовлена переходом до використання адресних систем індикації та інтелектуальних дисплейних модулів, що мають власні обчислювальні ресурси для рендерингу зображень. Це знімає навантаження з центрального процесора системи та дозволяє створювати розподілені мережі відображення інформації. Застосування телеметричних каналів зв'язку розширює межі індикації, виводячи її за межі фізичного корпусу пристрою, що є передумовою для створення систем віддаленого моніторингу та управління в рамках концепції індустріального інтернету речей. Взаємодія всіх ланок від первинного датчика до графічного інтерфейсу забезпечує цілісність інформаційного поля, необхідного для функціонування сучасних автоматизованих комплексів при підготовці фахівців інженерного профіля.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Густі М. Обумовлення компонентів інтерактивного видання для методичного супроводу навчального експерименту. *Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій*, №26, 2026. С. 115-116
2. Чінкує П. Інтелектуальна VR/AR-платформа з адаптивним навчанням на основі штучного інтелекту. *Інформаційно-комп'ютерні технології*, №11. 2026. С. 19-20.
3. Основи роботи з мікроконтролером Arduino URL: [arduino.ua](http://arduino.ua)
4. Dashbord Tinkercad URL: [www.tinkercad.com/dashboard/designs/circuits](http://www.tinkercad.com/dashboard/designs/circuits)
5. Чінкує К. Застосування технології Digital Twin для автоматизації виробництва. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства*, № 42. 2026. С. 385-387.

УДК 004.42:004.738.5:004.89

Д.С. Закревський, О.В. Череватенко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
zakrevsky.d.s@gmail.com

## КЛІЄНТ-СЕРВЕРНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОННОЮ БІБЛІОТЕКОЮ З МОДУЛЕМ РЕКОМЕНДАЦІЙ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

*Постановка проблеми та її актуальність.* У сучасних умовах цифровізації освіти та науки електронні бібліотеки є важливим інструментом для зберігання, систематизації та пошуку навчальної, наукової й художньої літератури. Вони забезпечують швидкий доступ до електронних ресурсів і спрощують роботу з великими обсягами інформації.

Водночас зі збільшенням кількості книг у цифровому фонді виникає проблема ефективного добору релевантної літератури. У багатьох електронних бібліотеках пошук здійснюється переважно за назвою, автором, жанром або ключовими словами. Такий підхід є обмеженим, оскільки користувач не завжди знає точну назву потрібної книги або може формулювати запит у довільній формі, наприклад: «порадь книгу для початківця з машинного навчання» чи «знайди щось схоже на наукову фантастику з філософським підтекстом».

Саме тому актуальним є створення електронної бібліотеки з інтелектуальним модулем рекомендацій, реалізованим у вигляді чату з ШІ. Такий підхід дозволяє користувачу взаємодіяти із системою природною мовою, описувати свої інтереси або потреби, а система на основі цього запиту може запропонувати відповідні книги з бібліотечного фонду.

*Аналіз останніх досліджень, розробок та існуючих рішень.* Рекомендаційні системи широко застосовуються в електронних бібліотеках, книжкових сервісах, освітніх платформах та онлайн-магазинах. Найпоширенішими підходами є колаборативна фільтрація, контентна фільтрація та гібридні методи. Колаборативна фільтрація використовує оцінки й поведінку інших користувачів, однак потребує великого обсягу даних і має проблему «холодного старту». Контентна фільтрація аналізує характеристики самих книг – жанр, автора, опис, ключові слова, але часто не враховує повний зміст запиту користувача.

Існуючі рішення, зокрема Google Books, Goodreads, Open Library та електронні каталоги університетських бібліотек, надають можливість пошуку, перегляду інформації про книги, формування списків і використання базових рекомендацій. Проте такі системи часто орієнтовані на пошук за метаданими або популярністю книг, а не на діалогову взаємодію з користувачем. Вони не завжди дають змогу сформулювати запит природною мовою та отримати пояснення, чому саме певна книга може бути корисною або цікавою.

У зв'язку з цим доцільним є використання модуля рекомендацій у форматі чату з ШІ. Користувач може описати бажану книгу, тему, жанр, рівень складності або власні читацькі вподобання, а система аналізує запит і пропонує релевантні книги з електронної бібліотеки. Такий підхід поєднує переваги семантичного пошуку та зручність природномовної взаємодії.

*Мета роботи.* Метою роботи є підвищення ефективності функціонування електронної бібліотеки шляхом впровадження модуля рекомендацій на основі машинного навчання, що дозволяє підвищити релевантність добору літератури, персоналізувати рекомендації для користувачів та скоротити час пошуку необхідних інформаційних ресурсів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання: проаналізувати предметну область електронних бібліотек і рекомендаційних систем; спроектувати архітектуру клієнт-серверного застосунку; розробити модель бази даних для зберігання користувачів, книг, авторів, жанрів, коментарів і взаємодій користувачів; реалізувати серверну частину системи; інтегрувати механізм зберігання файлів; створити модуль семантичних рекомендацій на основі векторного пошуку.

### *Основна частина*

Розроблена клієнт-серверна система електронної бібліотеки призначена для збереження, пошуку, перегляду та адміністрування електронних книг. Серверна частина реалізована з використанням екосистеми Spring, що забезпечує модульність, інверсію керування, зручну

побудову REST API та інтеграцію з базою даних. Spring Framework надає базові механізми конфігурації, dependency injection та побудови прикладної логіки, що робить його доцільним вибором для створення масштабованих серверних застосунків [1, 2].

Основними сутностями системи є користувач, книга, автор, жанр, коментар та зв'язки, що описують взаємодію користувача з бібліотекою. Книга містить назву, опис, рік видання, жанр, перелік авторів, посилання на файл та обкладинку. Така модель дає змогу реалізувати як класичне управління бібліотечним фондом, так і подальше використання метаданих книги для формування рекомендацій.

Для збереження файлів електронних книг та зображень обкладинок у системі використовується хмарне об'єктне сховище Amazon S3. Такий підхід дозволяє відокремити зберігання великих файлів від основної бази даних, зменшити навантаження на серверну частину та забезпечити масштабоване зберігання бібліотечних матеріалів. У базі даних при цьому зберігаються не самі файли, а посилання на PDF-документи та зображення обкладинок [7].

Для реалізації модуля рекомендацій використано підхід семантичного пошуку. Дані про книгу перетворюються на текстовий документ, який містить її основні характеристики: назву, авторів, жанр, рік публікації та опис. На основі цього документа формується векторне представлення, яке зберігається в окремій таблиці vector\_store бази даних PostgreSQL. Ця таблиця містить текстовий вміст документа, метадані, векторне представлення та унікальний ідентифікатор запису. Для роботи з векторними даними використовується розширення pgvector, яке дозволяє виконувати пошук за векторною схожістю без використання окремої спеціалізованої векторної бази даних [5]. Схема бази даних зображена на рисунку 1.

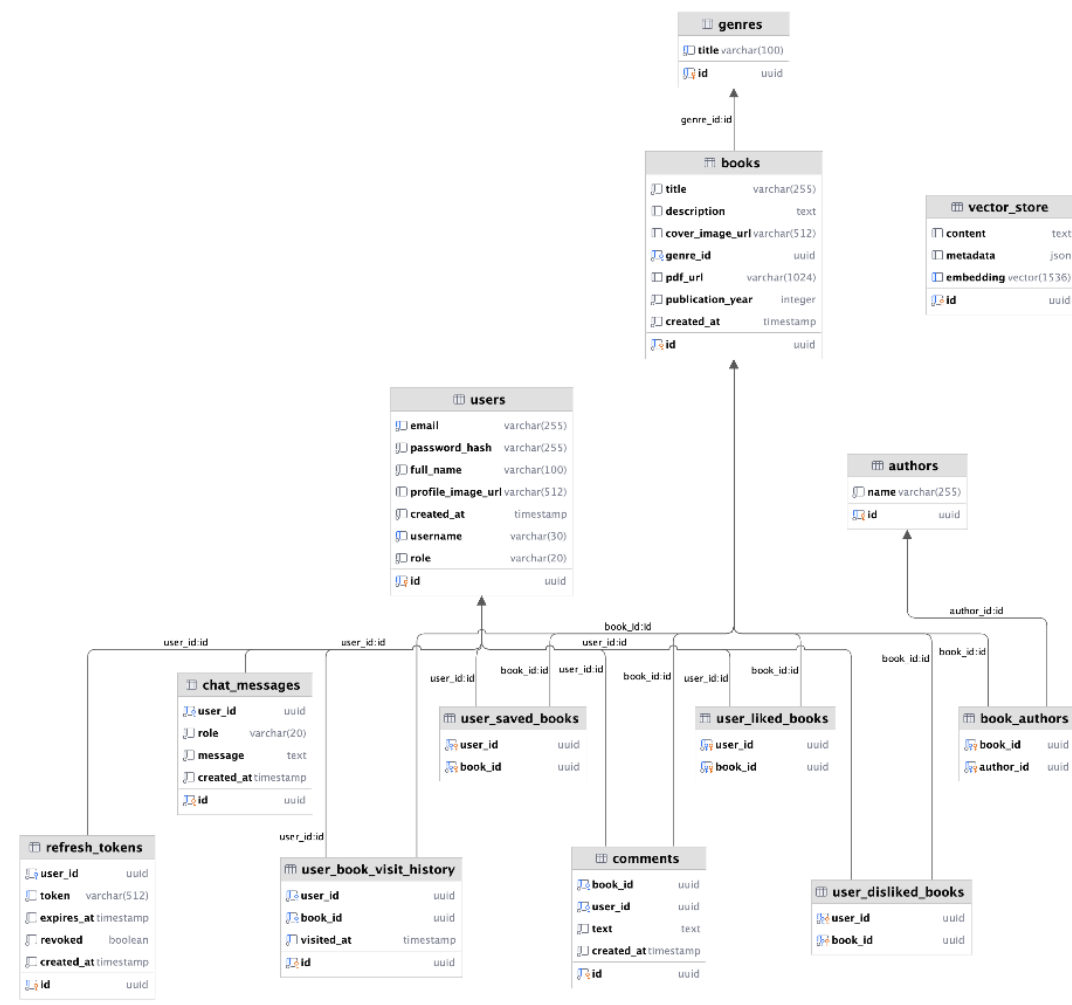


Рисунок 1 – Схема бази даних

Під час обробки запиту користувача система виконує семантичний пошук найбільш релевантних записів у векторному сховищі. Отримані результати використовуються як контекст для генеративної моделі, яка формує відповідь із рекомендаціями у зрозумілій для користувача формі. Для цього застосовується Spring AI.[3]

У системі використано інтеграцію Spring AI з Google GenAI / Gemini. Gemini є сімейством генеративних моделей Google DeepMind, а Spring AI надає окрему підтримку Google GenAI Chat для взаємодії з такими моделями через уніфікований API [4, 6]. Завдяки цьому рекомендаційний модуль може не лише знайти релевантні книги, а й сформувавати коротке пояснення, чому саме ці матеріали відповідають запиту користувача.

Загальний алгоритм роботи рекомендаційного модуля включає такі етапи: отримання текстового запиту користувача; пошук схожих книг у векторному сховищі; формування контексту з метаданих знайдених книг; передавання контексту та запиту до генеративної моделі; отримання відповіді з рекомендаціями; збереження повідомлень в історії взаємодії.

Запропонована архітектура дозволяє розділити відповідальність між основними компонентами системи: контролерами, сервісами, репозиторіями, доменними сутностями та модулем рекомендацій. Це спрощує підтримку програмного продукту, дає змогу розширювати функціональність системи та інтегрувати додаткові механізми персоналізації в майбутньому. Діаграму класів застосунку зображено на рисунку 2.

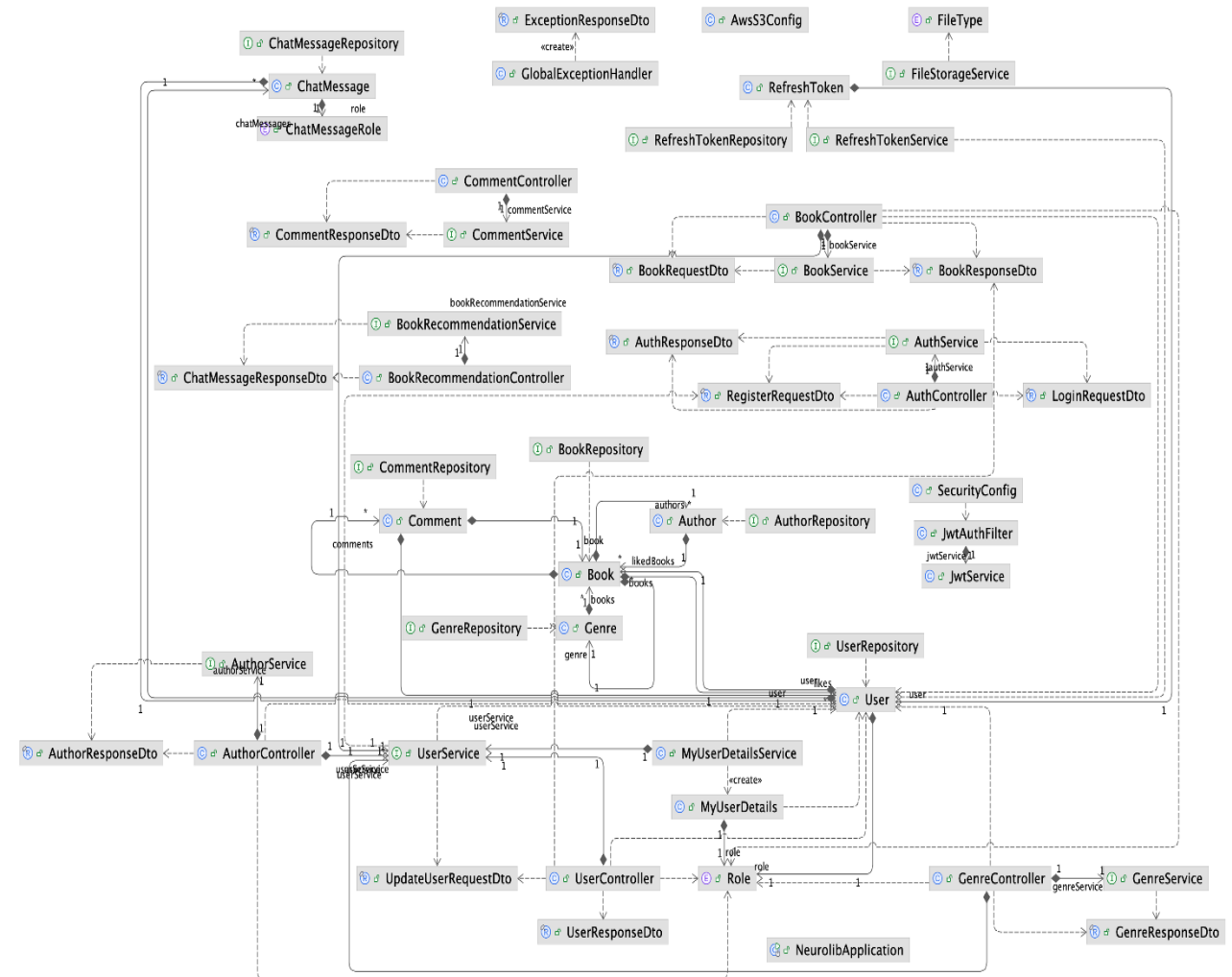


Рисунок 2 – Діаграма класів

*Висновок.* Розроблений підхід на основі клієнт-серверної архітектури та екосистеми Spring підвищує ефективність управління електронною бібліотекою завдяки поєднанню класичних функцій зберігання й пошуку книг із семантичним аналізом користувацьких запитів. Використання векторних представлень, pgvector та генеративних AI-моделей забезпечує формування гнучких рекомендацій на основі змістовного розуміння потреб користувача, а не лише формальних параметрів книги. Практична реалізація системи показує, що поєднання векторного пошуку та генеративної моделі дає змогу підвищити точність добору літератури відповідно до інформаційних потреб користувача.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Spring Framework Documentation. URL: <https://docs.spring.io/spring-framework/reference/index.html>
2. Spring Framework Overview. URL: <https://docs.spring.io/spring-framework/reference/overview.html>
3. Spring AI Reference Documentation. URL: <https://docs.spring.io/spring-ai/reference/index.html>
4. Spring AI Reference Documentation. Google GenAI Chat. URL: <https://docs.spring.io/spring-ai/reference/api/chat/google-genai-chat.html>
5. pgvector. Open-source vector similarity search for Postgres. URL: <https://github.com/pgvector/pgvector>
6. Gemini API Documentation. Google AI for Developers. URL: <https://ai.google.dev/gemini-api/docs>  
Amazon Simple Storage Service Documentation. URL: <https://docs.aws.amazon.com/s3/>

## ІНТЕРАКТИВНІ ФОРМИ ЕЛЕКТРОННОЇ ЗВІТНОСТІ: ВИМОГИ ДО СИСТЕМ ВІДОБРАЖЕННЯ ТА ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ

Цифрова трансформація економіки вимагає впровадження нових методів роботи з фінансовою інформацією. Традиційний формат надання бухгалтерської звітності у вигляді статичних документів, наприклад, паперових носіїв або PDF-файлів, вже не відповідає вимогам сучасного ринку. Основною проблемою таких форм є «законсервованість» даних: їх неможливо автоматично аналізувати, порівнювати або агрегувати без втручання спеціалістів. Потреба у прозорості та оперативності обробки великих обсягів даних змушує бізнес і держустанови переходити на інтерактивні стандарти, зокрема XBRL.

Технологічна основа інтерактивної звітності: iXBRL

В основі нових стандартів лежить формат iXBRL (Inline eXtensible Business Reporting Language). Це комбінована технологія, яка поєднує візуальний і структурований компонент:

- HTML (візуальний рівень): Дозволяє комфортно переглядати звіт через веб-браузер із традиційним представленням таблиць і тексту.
- XML (дані): У цьому шарі кожен показник позначений тегами, які відповідають фінансовій таксономії МСФЗ (Міжнародних стандартів фінансової звітності).

Ця технологія дає змогу не лише відображати інформацію, наприклад цифру «100 000», але й «розуміти» її контекст: це сума у гривнях за певний період, яка стосується конкретного підприємства і відповідає встановленим стандартам.

Вимоги до систем відображення даних:

Для забезпечення повної функціональності інтерактивної звітності необхідно, щоб системи відображення інформації відповідали кільком ключовим технічним вимогам:

- Багаторівнева деталізація (drill-down): Користувач повинен мати змогу переглядати деталі щодо будь-якого показника. Наприклад, клікнувши на позицію «Основні засоби» у Балансі, легко отримати інформацію про їх склад, методи амортизації чи рух за звітний період.
- Динамічна порівняльність (benchmarking):\*\* Програма має автоматично демонструвати порівняльні дані за попередні періоди або вилучати відкриту інформацію про показники конкурентів для побудови графіків чи таблиць у режимі реального часу.
- Семантичний пошук: Забезпечення пошуку не лише за конкретними словами, а й за концепціями з таксономії. Наприклад, можна знаходити всі дані про «поточні зобов'язання», незалежно від формулювання у текстах звітів.
- Інтеграція із кваліфікованим електронним підписом (КЕП): Система повинна показувати статус підписів уповноважених осіб або аудиторів прямо в інтерфейсі документа.

Етапи переходу від традиційної до цифрової звітності:

Процес адаптації компаній та державних органів до цифрових стандартів відбувається поступово і включає декілька ключових етапів:

1. Оцифрування (Digitization): Перенесення паперових документів у цифровий формат (наприклад, PDF чи Excel), що не гарантує структурування даних.
2. Структурування (Digitalization): Використання єдиної таксономії для позначення фінансових даних. На цьому етапі компанії починають стандартизувати свої дані.
3. Інтерактивна трансформація (Interactive Transformation): Формування екосистеми, де звітність інтегрована у фінансовий «Інтернет речей» (IoT) та може використовуватися автоматизованими системами для аналізу ризиків або кредитного скорингу.

Механізм «Тегування» та Таксономія Основою інтерактивності є не просто заміна паперу на файл, а перехід до семантичного опису даних:

Кожен показник у звіті отримує свій унікальний цифровий дескриптор (тег) згідно з міжнародною Таксономією МСФЗ. Це дозволяє комп'ютерним системам автоматично ідентифікувати концепт (наприклад, «Current Assets») незалежно від мови інтерфейсу або назви рядка в конкретній компанії.

Системи відображення інформації використовують ці теги для створення інтерактивних шарів, де користувач може бачити метадані показника при наведенні курсору.

Принцип «Inline XBRL» (iXBRL) як стандарт відображення Технологія iXBRL є ключовою для 4-го напрямку, оскільки вона вирішує проблему одночасного сприйняття даних людиною та машиною:

- Візуальний шар (HTML): Користувач бачить звичну таблицю в браузері, що забезпечує зручність та відповідність принципу «як на папері».
- Шар даних (XML): В середині HTML-коду зашиті машинозчитувані дані, що дозволяє ВІ-системам миттєво імпортувати звіт для аналізу без помилок ручного введення.

Це створює ефект «прозорості» звітності, де кожен клік по цифрі відкриває історію її походження та методи розрахунку.

Виклики для IT-інфраструктури підприємств в Україні Досвід впровадження в Україні (через Центр збору фінансової звітності) виявив кілька критичних технологічних вузлів:

- Проблема Мапінгу (Mapping): Необхідність точного налаштування зв'язків між внутрішніми базами даних ERP-систем та елементами глобальної таксономії.
- Валідація в реальному часі: Сучасні системи відображення повинні не лише показувати звіт, а й підсвічувати логічні та арифметичні помилки (наприклад, невідповідність балансу) ще до моменту відправки регулятору.
- Кваліфікований електронний підпис (КЕП): Інтеграція засобів криптографічного захисту безпосередньо в інтерфейс відображення звіту для гарантування його незмінності.

Перспективи: Від звітності до «Big Data» Трансформація звітності в інтерактивний формат відкриває шлях до використання просунутих методів обробки інформації:

- Автоматизований бенчмаркінг: Можливість систем відображення автоматично порівнювати показники компанії з тисячами аналогічних звітів по всьому світу завдяки єдиному кодуванню.

Прогностична аналітика: Використання структурованих даних звітності як «палива» для нейронних мереж, що прогнозують ризики банкрутства або інвестиційний потенціал.

Виклики та досягнення України в інтерактивній звітності: Україна досягла важливого прогресу зі створенням Центру збору фінансової звітності – платформи.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні: Закон України від 16.07.1999 № 996-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/996-14> (дата звернення: 04.05.2026).
2. Порядок подання фінансової звітності: Постанова Кабінету Міністрів України від 28.02.2000 № 419. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/419-2000-п> (дата звернення: 04.05.2026).
3. Таксономія фінансової звітності за МСФЗ. Центр збору фінансової звітності. URL: <https://frs.gov.ua/> (дата звернення: 04.05.2026).
4. Inline XBRL (iXBRL) Specifications. XBRL International. URL: <https://www.xbrl.org/> (дата звернення: 04.05.2026).
5. Концептуальна основа фінансової звітності. Міжнародні стандарти фінансової звітності (МСФЗ). Переклад Мінфіну України. URL: <https://mof.gov.ua/> (дата звернення: 04.05.2026).

## КОНФІГУРУВАННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ ВІДЕОМАТЕРІАЛІВ НАВЧАЛЬНОГО СПРЯМУВАННЯ

Виробництво мультимедійного навчального контенту висуває специфічні вимоги до обчислювальних потужностей через необхідність одночасної обробки відеопотоків високої чіткості, багатоканального аудіо та графічних примітивів. Ефективність робочої станції визначається не простою сукупністю характеристик, а збалансованістю пропускну здатності окремих підсистем. Процеси монтажу та рендерингу відео є ресурсомісткими задачами, що потребують збалансованої взаємодії чотирьох підсистем апаратно-програмної комп'ютерної платформи: графічного процесора, центрального процесора, оперативної пам'яті та накопичувачів даних [1].

Сучасні пакети нелінійного монтажу, зокрема DaVinci Resolve, переносять значну частину обчислень на графічний процесор (GPU). Основним лімітуючим фактором тут виступає обсяг відеопам'яті (VRAM). При роботі з роздільною здатністю Full HD (1920×1080) мінімальний поріг у 4 ГБ є граничним. При перевищенні цього ліміту (через накладання масок, використання шумозаглушення або Color Grading) програмне забезпечення ініціює скидання кешу в оперативну пам'ять (RAM), що через нижчу швидкість обміну даними призводить до падіння частоти кадрів (FPS) під час прев'ю (рис. 1). Архітектури NVIDIA (Ampere, Ada Lovelace) та AMD (RDNA 2/3) пропонують різні підходи до апаратного енкодингу. Використання блоків NVENC або AMF дозволяє розвантажити центральний процесор (CPU) на 60–80% під час запису екрана через OBS Studio, що є критичним для збереження стабільності системного таймінгу. В умовах 2026 року відеокарти з 12 ГБ VRAM (RTX 3060 або RX 6700 XT) розглядаються як оптимальний стандарт, оскільки забезпечують необхідний стек пам'яті для стабільної роботи без рекурсивних звернень до шини PCIe.

Хоча GPU відповідає за ефекти, CPU залишається основним диспетчером потоків. Для задач відеомонтажу пріоритетним є показник багатопоточної продуктивності (Multi-core performance). Процесори архітектури Alder Lake і новіші (Core i5-12400F та вище) демонструють перевагу завдяки розподілу ядер на продуктивні (P-cores) та енергоефективні (E-cores). Велике значення має обсяг кешу третього рівня (L3), який мінімізує затримки при зверненні до RAM. Наприклад, Ryzen 9 5900X з 64 МБ L3 кешу дозволяє значно швидше опрацювати складні ієрархії на таймлайні, ніж бюджетні аналоги з 12–16 МБ. При цьому частота ядра вище 4 ГГц є необхідною умовою для плавного скраббінгу (переміщення повзунка по таймлайну) без затримок у декодуванні стиснутих форматів H.264/H.265.

Оперативна пам'ять виконує роль буфера для розпакованих кадрів. Встановлення 16 ГБ у 2026 році є компромісним варіантом, оскільки ОС та фонові сервіси споживають до 4–6 ГБ, залишаючи обмежений простір для медіа-кешу. Використання двох модулів (dual-channel mode) подвоює теоретичну пропускну здатність шини пам'яті, що безпосередньо корелює зі швидкістю фінального рендеру. Щодо дискової підсистеми, жорсткі диски (HDD) зі швидкістю 7200 об/хв придатні виключно для архівного зберігання через високі затримки позиціонування голівок. Стандарт SATA SSD (до 560 МБ/с) нівелює проблему затримок доступу, проте при роботі з декількома потоками 10-бітного відео його швидкості стає недостатньо. Перехід на NVMe-накопичувачі з інтерфейсом PCIe 4.0/5.0 дозволяє досягти швидкостей понад 3500 МБ/с, що повністю усуває фризи при читанні великих масивів вихідних файлів.

Формування специфікації має базуватися на принципі ієрархічної достатності. Для базових освітніх задач (запис лекцій, проста склейка) доцільно використовувати схему: 6 ядер CPU / 16 ГБ RAM / GPU 6 ГБ VRAM / NVMe SSD. Для створення складних мультимедійних

видань з елементами анімації та композитингу параметри мають бути зміщені в бік: 8–12 ядер CPU / 32 ГБ RAM / GPU 12 ГБ VRAM.

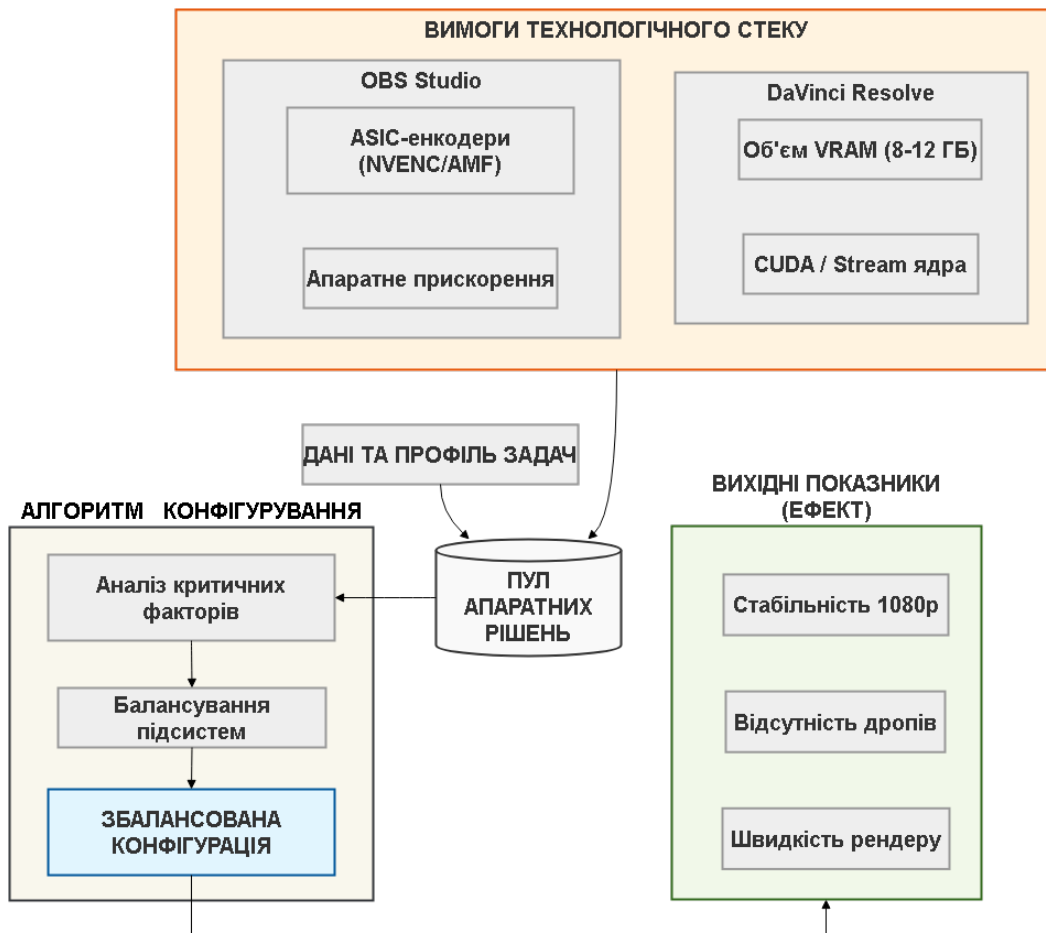


Рисунок 1 – Методика конфігурування освітнього відео

Враховуючи дефіцит напівпровідникових компонентів, спричинений попитом на ШІ-обчислення, вартість модулів пам'яті та відеокарт залишається високою. Це змушує орієнтуватися на вживані рішення (GTX 1660 Super) або енергоефективні нові архітектури (RTX 4060), які мають низький TDP, що додатково економить кошти на блоках живлення та системах охолодження. Таким чином, конфігурування комп'ютерної платформи для підготовки освітнього контенту є ітераційним процесом пошуку балансу між пропускнуою здатністю VRAM, кількістю потоків CPU та швидкістю дискової підсистеми. Мінімально допустимим стандартом для роботи у 1080p визначено системи з 16 ГБ RAM та 4–6 ГБ VRAM. Рекомендованою платформою є 32 ГБ RAM у поєднанні з NVMe-накопичувачем та 12-потоківим процесором, що гарантує відсутність деградації продуктивності при інтенсивному використанні графічних ефектів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Керницький М. Дослідження засобів захоплення екрану при підготовці освітнього відеоконтенту для мультимедійних видань. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології, № 1 (13), 2026.

## МЕТОДИКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ АДАПТАЦІЇ ВЕРСТКИ БАГАТОМОВНОЇ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОЇ ПРОДУКЦІЇ В СИСТЕМАХ WEB-TO-PRINT

Сучасна трансформація поліграфічної галузі характеризується переходом до хмарних сервісів самообслуговування (Web-to-Print), де замовник виступає безпосереднім учасником процесу додрукарської підготовки. Проте при реалізації мультимовних проєктів виникає проблема технологічного розриву: наявні системи автоматизації макетування не мають вбудованих інструментів інтелектуальної адаптації контенту в реальному часі. Традиційні методи, засновані на ручному формуванні статичних шаблонів, призводять до надмірної дубльованості даних та критично уповільнюють виробничий цикл. З огляду на це, актуальним завданням є розробка методики інтелектуальної адаптації верстки, що базується на архітектурі REST-API сервісу як централізованого мовного шару.

Запропонована методика базується на трирівневій моделі Middleware, що забезпечує безшовну інтеграцію між хмарними сервісами Web-to-Print та зовнішніми системами автоматизованого перекладу. На відміну від ізольованих інтеграцій, розроблений функціонал оперує сегментною моделлю документа, де вхідна інформація надходить у вигляді структурованих масивів JSON. Ключовим елементом інфраструктури є використання контентних ключів — стійких ідентифікаторів текстових вузлів, які пов'язують записи у CRM/ERP системах із позиціями змінних полів у VDP-шаблонах та структурах PDF/VT. Взаємодія зазначених компонентів та архітектурна побудова інтелектуального шлюзу детально представлена на рисунку 1.

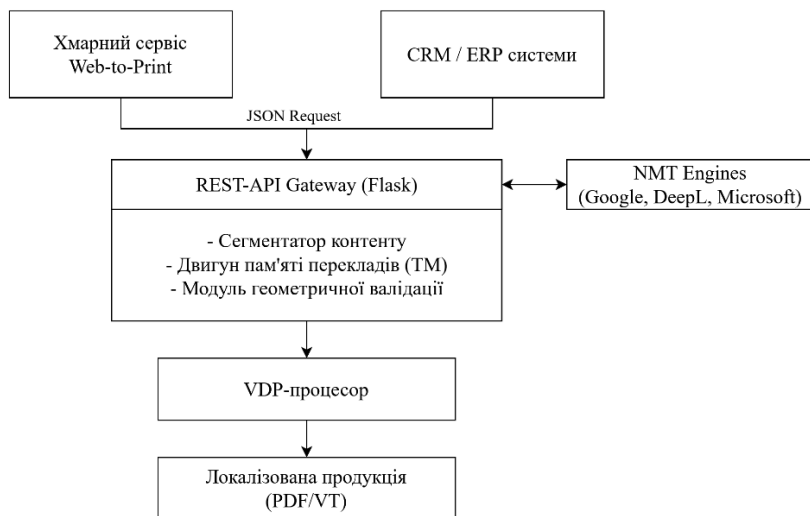


Рисунок 1 – Структурно-логічна схема функціонування інтелектуального шлюзу локалізації контенту

Аналіз представленої схеми (рис. 1) дозволяє виділити чотири функціональні рівні обробки даних. На рівні вхідних даних (Input Layer) здійснюється агрегація запитів від систем Web-to-Print та CRM, які трансформуються у структуровані JSON-масиви. Центральний вузол обробки, реалізований на базі фреймворку Flask, виконує роль інтелектуального диспетчера. Модуль сегментації (Segmenter) проводить декомпозицію вхідного тексту на окремі лінгвістичні одиниці, які згодом перевіряються в базі пам'яті перекладів (Translation Memory). Унікальною особливістю даної архітектури є наявність вбудованого валідатора верстки (Layout Validator), який працює в режимі реального часу, взаємодіючи із зовнішніми NMT-

сервісами через захищені API-канали. Кінцевим етапом є рендеринг персоналізованих PDF/VT файлів, де кожен текстовий блок вже адаптований під геометричні межі відповідного фрейму.

Технологічна реалізація базується на REST-сервісі (фреймворк Flask), який здійснює інтелектуальну маршрутизацію запитів до систем нейронного машинного перекладу (NMT). Для формалізації процесу вибору оптимального провайдера перекладу використовується критерій лінгвістичної ефективності (E), що враховує якість (Q), технічну латентність (L) та вартість обробки (C):

$$E = f(Q, L, C) \rightarrow \max$$

Модель передбачає використання пам'яті перекладів (Translation Memory) для ідентифікації вже опрацьованих сегментів, що дозволяє уникнути надлишкових запитів до API та гарантувати термінологічну консистентність. Окремим модулем реалізовано геометричну валідацію, яка автоматично коригує параметри верстки відповідно до довжини локалізованих текстових блоків. Це дозволяє нівелювати ризики виходу тексту за межі графічних фреймів через різницю в довжині слів у різних мовних парах.

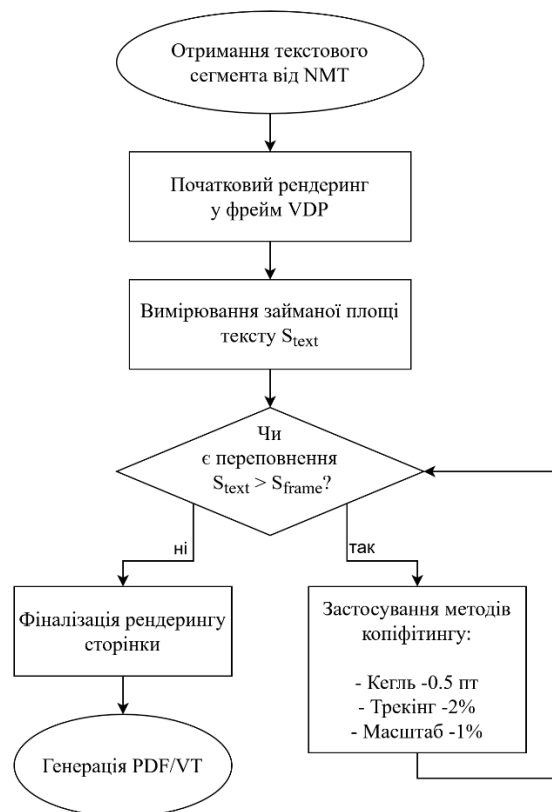


Рисунок 2 – Алгоритм ітераційної корекції геометричних параметрів текстових фреймів

Впровадження REST-API інфраструктури дозволяє трансформувати дискретні процеси локалізації у наскрізний автоматизований потік обробки замовлень. Експериментально підтверджено, що інтелектуальна маршрутизація запитів та використання ТМ-кешування забезпечують зниження навантаження на зовнішні обчислювальні ресурси на 30–40%. Запропонована методика дозволяє оптимізувати час додрукарської підготовки багатомовної продукції на 40–60% залежно від складності структури документа.

ЛІТЕРАТУРА:

1. ISO 16612-2:2010. Graphic technology – Variable data exchange – Part 2: Using PDF/X-4 and PDF/X-5 (PDF/VT-1 and PDF/VT-2). Geneva : ISO, 2010. 84 p.
2. Malets, I. V. (2025). . Review of Machine Translation Quality Assessment Methods for Personalized Content Preparation. Youth Science: Innovation and Global Challenges, Vol. 2 (2), P. 92-94

## **ІНТЕРАКТИВНІ МЕХАНІЗМИ СЕМАНТИЧНОГО МАРКУВАННЯ КОНТЕНТУ ДЛЯ ПУБЛІКАЦІЙНОГО СУПРОВОДУ НАУКОВИХ РУКОПИСІВ**

В умовах зростання обсягів академічного контенту та підвищених вимог до його оформлення необхідним є впровадження інструментів, що поєднують функціональність візуалізації, контролю цілісності та управління метаданими. Сучасний розвиток наукової комунікації та цифрових технологій вимагає створення інтегрованих інформаційних платформ, які забезпечують ефективний супровід підготовки та публікації наукових досліджень. Проектування таких платформ передбачає не лише забезпечення доступу до нормативних документів у зручному форматі, але й інтеграцію механізмів навігації, аналітики та семантичного маркування контенту, що дозволяє підвищити точність відповідності рукописів редакційним стандартам і мінімізувати потребу в повторних доопрацюваннях.

Проблематика ефективного супроводу наукових публікацій обумовлена фрагментарністю існуючих платформ, недостатньою інтеграцією процесів рецензування, ухвалення рішень та управління версіями документів [1]. Відсутність єдиного інтерфейсу для відстеження станів підготовки рукописів та маркування метаданих ускладнює координацію авторів, рецензентів і редакцій, збільшуючи час та ресурси, необхідні для публікації. Тому актуальною є розробка вебплатформи з інтегрованими засобами динамічного супроводу, семантичного анутовання та адаптивної взаємодії з нормативними документами, що сприятиме підвищенню ефективності наукової комунікації та зменшенню адміністративних бар'єрів у підготовці публікацій.

У зв'язку з визначеними проблемами та потребами інтегрованого супроводу наукових публікацій, ключовим завданням проектування є створення вебплатформи, що поєднує зручний доступ до нормативних документів із розширеними інструментами контролю якості та аналітики. Така платформа реалізує комплексний підхід до роботи з науковими рукописами, включаючи функціональність динамічної навігації по структурі нормативних вимог, інтерактивне маркування метаданих, адаптивне відображення PDF-документів та індикацію етапів підготовки публікацій. Застосування модульної архітектури та інтеграція з робочими кабінетами авторів і рецензентів забезпечує єдине інформаційне середовище, яке дозволяє відстежувати процес підготовки тексту, своєчасно виявляти пропущені або неатрибутовані елементи та автоматизувати формування структурованих даних. Таким чином, проєктована платформа виступає не лише як інструмент перегляду нормативних матеріалів, а й як активний засіб підвищення доступності наукових публікацій та оптимізації комунікації між усіма учасниками процесу.

Сторінка вебплатформи з наданням вимог до оформлення та подання наукової роботи реалізується як інформаційно-орієнтований інтерфейс, оптимізований для нормативної взаємодії користувача з регламентованим контентом (рис. 1). Її функціональність базується на вбудованому візуалізаторі PDF-документів у межах стандартного `iframe`, що забезпечує клієнтську рендеризацію нормативних матеріалів без порушення структури та типографії цільового документа. Фрейм виконує роль центрального контейнера відображення, а вся навігаційна та інструментальна логіка реалізується через систему надбудованих контролів, розташованих переважно у верхньому функціональному барі сторінки. Контрольні елементи поділяються на навігаційні, інструментальні та сервісні, що стають доступні при розгортанні фрейма у вбудованому `viewer API`.

Навігаційний кластер включає елементи переходу між розділами нормативного документа, що реалізуються через `anchor`-механізми прив'язки до внутрішніх структур PDF для доступу до вбудованого змісту, або через штучно сформований набір позицій,

синхронізованих із внутрішніми точками перегляду viewer API, реалізуючи гнучку навігацію між блоками вимог, включаючи структуру роботи, типові помилки оформлення, правила набору, форматування таблиць, рисунків і посилань.

Інструментальний кластер містить механізми перемикання режимів перегляду – односторінковий, суцільний скрол, розворот, а також функціонал адаптивного масштабування, що підлаштовує відображення до поточної ширини viewport. Усі ці контроли реалізуються через обробники подій, які проксують команди до вбудованого viewer API. Реалізована логіка не модифікує сам PDF десь на сервері чи взагалі сторонній, а лише трансформує параметри його рендеризації на нашому клієнті.

Сервісний кластер інтегрує елементи розширеної взаємодії: завантаження цільового PDF, експорт окремих сторінок у зображення, друк, відкриття документа у зовнішньому переглядачі, а також індикатори поточної сторінки та загальної кількості сторінок. Окремо реалізовано контроль пошуку за текстовими фрагментами PDF, що активує алгоритм текстової індексації, якщо PDF містить текстові шари. При відсутності таких шарів сторінка надає попередження про неможливість повнотекстового пошуку.

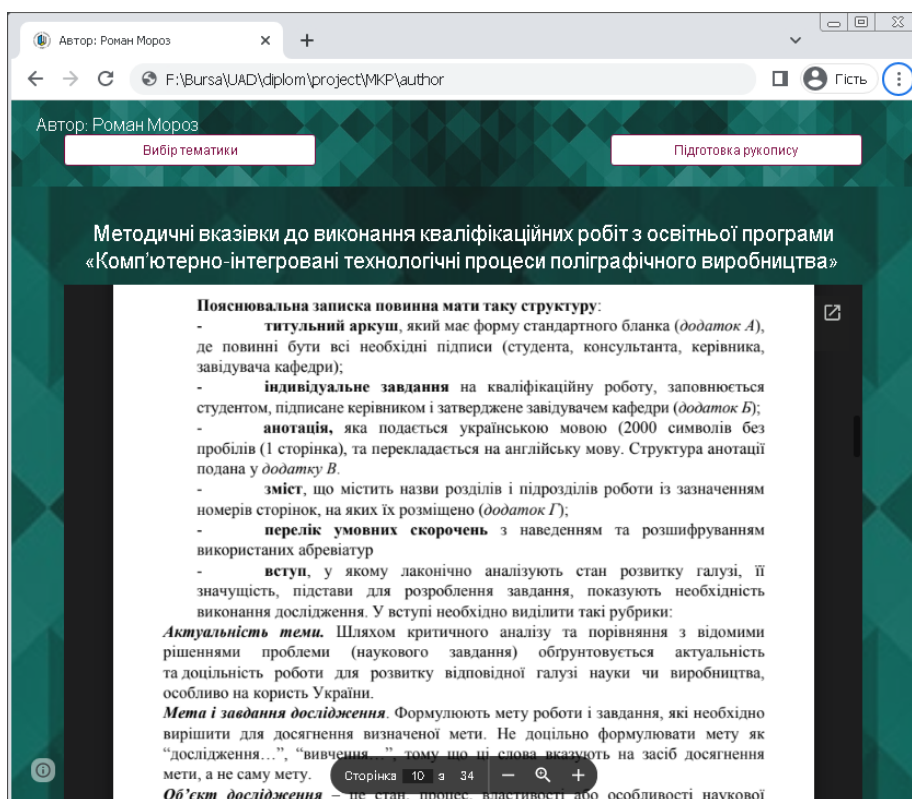


Рисунок 1 – Завантаження вебсторінки з наданням вимог до оформлення та подання наукової праці

Додатково у проекті реалізований модуль динамічних підказок, який вбудовується до елементів навігації та інструментів, забезпечуючи користувача контекстними поясненнями щодо відповідних нормативних положень. Так, наведення на інструмент "масштаб 100%" реалізує перегляд ілюстрацій у натуральному розмірі, а наведення на контрол "структура публікації" містить стислий екстракт вимог щодо побудови вступу, основних розділів і висновків з актуальним посиланням на кросплатформові шаблони зі стильовим оформленням рукопису.

Сторінка функціонує як важливий елемент комунікаційного супроводу автора, оскільки забезпечує не лише пасивний перегляд нормативного документа, але й активну взаємодію з інформаційною моделлю вимог. Це підсилює відповідність поданих рукописів редакційним стандартам і мінімізує обсяг повторних відправлень на доопрацювання. Завдяки інтеграції

з іншими модульними компонентами платформи сторінка може синхронізуватися з робочим кабінетом автора, рецензента та модулем маркування метаданих, забезпечуючи єдине інформаційне середовище для підготовки та супроводу наукової праці.

Маркування метаданих та індикація етапів підготовки структурних компонентів наукової публікації (рис. 2) у профілі автора проєктованої платформи реалізоване як взаємопов'язані процеси семантичного анотування та подієвого моделювання, коли події перебувають у певному стані: «не розпочато», «в роботі», «завершено» [2]. Визначення метаданих на кожній стадії підготовки рукопису виконане на механізмах взаємодії кінцевого користувача з опрацьовуваним контентом структурного компонента у середовищі contenteditable, де фрагменти тексту локалізуються через Selection API та Range API.

Виділена користувачем текстова підпоследовність інкапсулюється у спеціальний елемент span, який отримує відповідний стилізований індикатор категорії метаданих. Такий span несе функцію семантичного тегування, оскільки визначає типологічну належність текстового фрагмента до однієї з базових дескриптивних секцій наукової публікації, зокрема актуальності, мети, об'єкта, предмета, методів дослідження, наукової новизни, практичної цінності, апробації, публікаційного доробку та обсягу. Кожний маркер, крім візуальної індикації, становить структурну одиницю, що може бути автоматично проаналізована, вилучена або трансформована у стандартизовані формати зберігання, наприклад у JSON-структури або масиви тегованих сегментів.

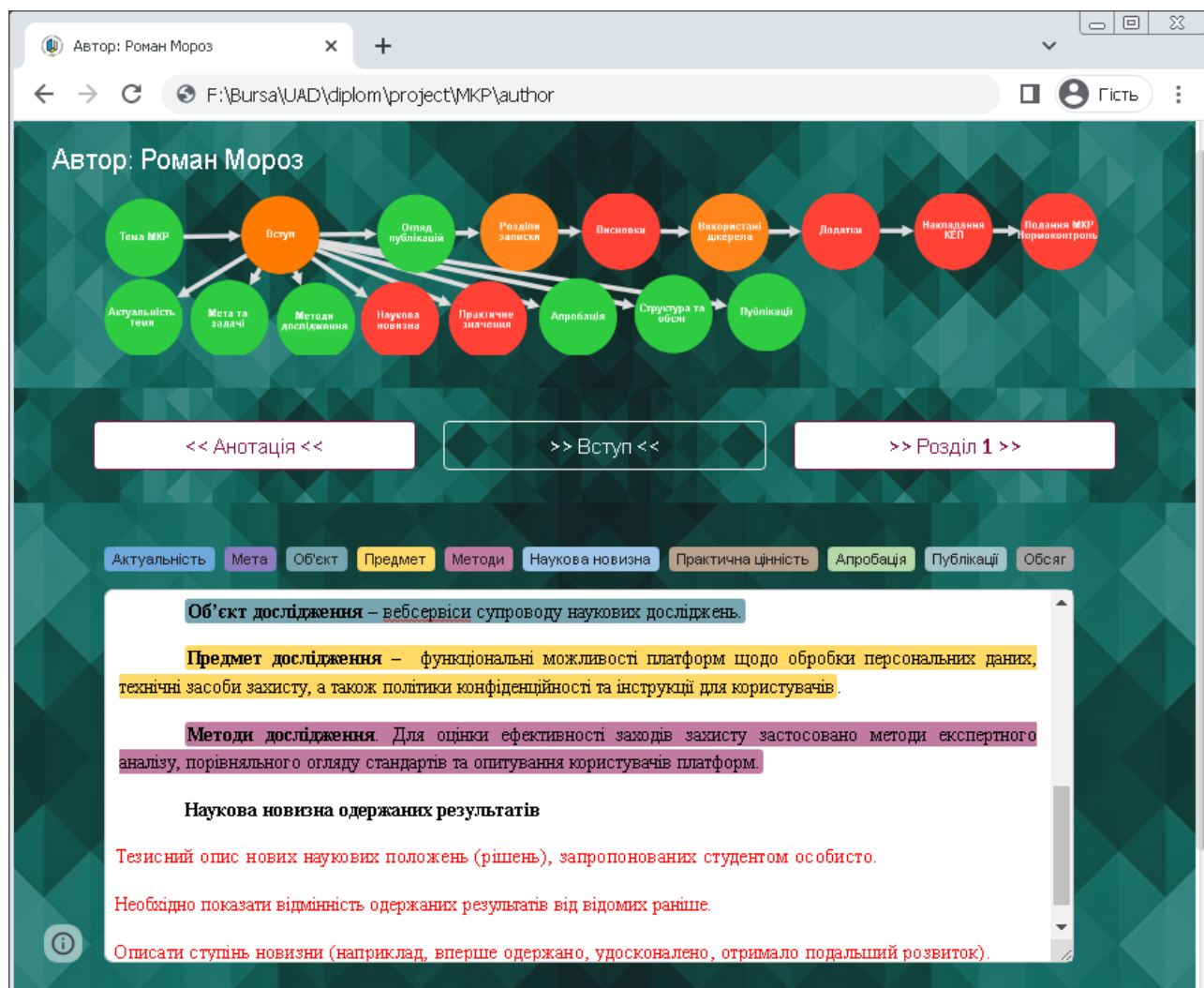


Рисунок 2 – Маркування метаданих та індикація етапів підготовки структурних компонентів наукової праці

Індикація етапів підготовки структурних компонентів ґрунтується на концепції станів та переходів у межах фронтенту користувацького інтерфейсу. Кожна завершена операція маркування розглядається як зміна статусу відповідного компонента поданої публікації. У вебінтерфейсі це реалізовано через візуальні маркери прогресу та колірні схеми динамічних бейджів, що сигналізують про ступінь опрацювання окремих фрагментів контенту. Представлена публікаційна модель виконує функцію інтерактивного контролю відповідності, оскільки дозволяє користувачеві відстежувати рівень структурної завершеності тексту, виявляти пропущені елементи та своєчасно звертати увагу на неатрибутовані частини анотації чи основного змісту. Локалізація маркованих ділянок у DOM-дереві забезпечує можливість алгоритмічного аналізу та подальшого агрегування відомостей, що є ключовим для автоматизованого формування метаданих у видавничих інформаційних платформах.

Впровадження автоматизованого формування стандартизованих метаданих відкриває низку нових можливостей для підвищення видимості та просування наукових публікацій у цифровому середовищі. Передусім, структуровані метадані дозволяють забезпечити оптимізацію для систем академічного пошуку та пошукових платформ загального призначення, що підвищує доступність і цитованість досліджень. Відтак, стандартизовані теги надають стороннім академічним порталам цільові дескриптори для агрегації тематичних публікацій, формуючи каталоги або добірки за ключовими напрямками наукової діяльності, що стимулює міждисциплінарні зв'язки та розширює аудиторію. Автоматизоване генерування аналітичних звітів щодо результатів і трендів у науковій сфері та динаміки цитування можуть використовуватися як авторами, так і видавництвами для стратегічного планування публікацій. Запропонована гнучка структура публікаційних метаданих придатна до алгоритмічного опрацювання та спрощує інтеграцію з репозиторіями відкритого доступу, платформами DOI та системами академічної ідентифікації, забезпечуючи оперативне розповсюдження матеріалів та підвищуючи вплив наукових результатів у глобальному інформаційному просторі. Таким чином, представлені вебмеханізми не лише оптимізують внутрішні процеси підготовки рукописів, а й значно розширюють можливості їхнього цифрового поширення та аналітичного використання.

У результаті проведеного дослідження та розробки вебплатформи для супроводу наукових публікацій було підтверджено ефективність інтегрованого підходу до організації процесів підготовки рукописів. Реалізація функціональності динамічної навігації, адаптивного перегляду нормативних документів, інтерактивного маркування метаданих та індикації етапів підготовки забезпечує комплексний контроль цілісності поданого контенту, підвищує відповідність рукописів встановленим редакційним стандартам та мінімізує кількість повторних доопрацювань. Впровадження модульної архітектури та інтеграція платформи з робочими кабінетами авторів і рецензентів дозволяє створити єдине інформаційне середовище для координації діяльності всіх учасників публікаційного процесу. Семантичне маркування текстових фрагментів і структурне тегування контенту забезпечують можливість алгоритмічного аналізу, агрегування даних та автоматизованого формування метаданих, що є важливим для автоматизації публікаційних процесів та підвищення ефективності інформаційних платформ видавничої сфери. Таким чином, представлений прототип публікаційної платформи сприяє стандартизації та підвищенню якості наукових видань і надає базу для подальшого розвитку інтерактивних інструментів аналітики та моніторингу в контексті цифрової академічної комунікації.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Мороз Р. Підвищення ефективності інформаційної взаємодії у веб-платформах видавничої інфраструктури. *Сучасна молодь в світі інформаційних технологій*, №7, 2025. С. 83-88.
2. Нерода Т. Мережево-комунікаційна модель візуалізації результатів студентських дослідницьких ініціатив. *Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ та управління*. №16, 2025. С. 222-224.

## ІНТЕГРАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ У СТРУКТУРУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ПРОБЛЕМИ КІБЕРЗАХИСТУ

*Вступ.* Автоматизовані системи управління (АСУ) та SCADA-системи формують технологічний хребет сучасного промислового виробництва. Їхня ефективність критично залежить від якості мережевої інфраструктури, що забезпечує передачу даних у режимі реального часу [1]. Стрімке впровадження Industrial Internet of Things (IIoT) докорінно змінює архітектуру промислових мереж: кількість підключених пристроїв невпинно зростає, топологія ускладнюється, а вимоги до затримки та доступності стають дедалі жорсткішими [2] (рис. 1). У цих умовах традиційні підходи до ізольованих мережевих сегментів поступаються конвергентним рішенням, що органічно поєднують операційний (OT) та інформаційний (IT) рівні в єдиний керований комплекс.

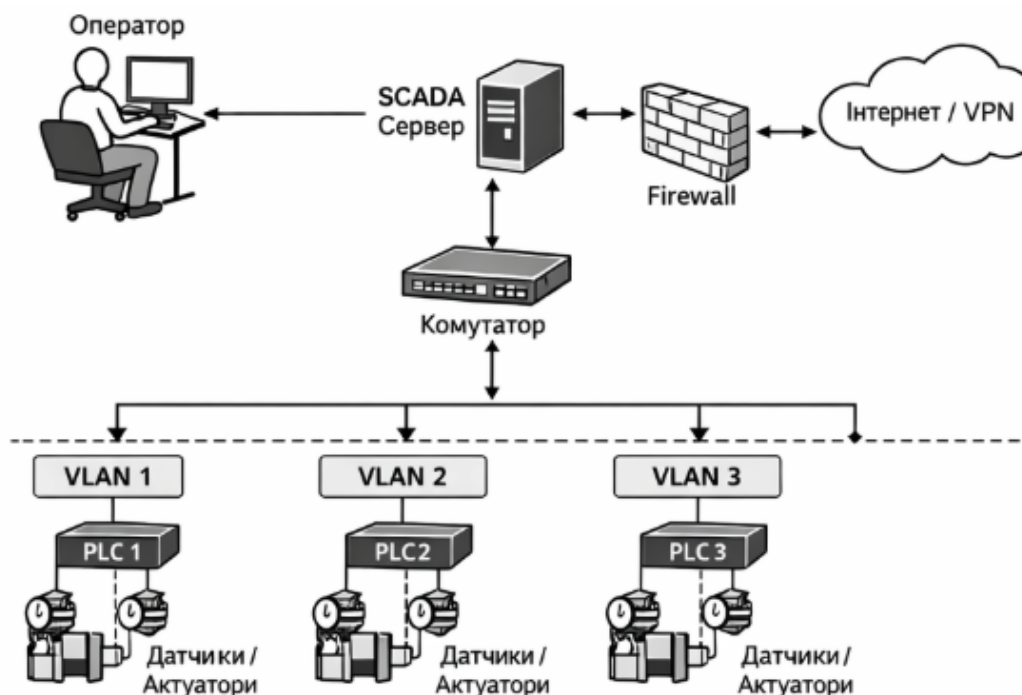


Рисунок 1 – Структура інтегрованої мережі АСУ та SCADA

*Метою дослідження* є розробка та обґрунтування підходів до побудови інтегрованої мережевої інфраструктури для АСУ і SCADA-систем, яка забезпечує централізоване адміністрування, автоматичне конфігурування, керування трафіком і підвищений рівень кіберзахисту в умовах конвергентного середовища IT/OT [3].

*Огляд існуючих рішень.* Сучасна практика побудови промислових мереж спирається на низку усталених технологій та підходів:

- VLAN-сегментація дає змогу логічно розмежовувати трафік між технологічними рівнями та ізолювати критичні сегменти без фізичної реконфігурації [4];
- механізми QoS забезпечують детермінований пріоритет для чутливих до затримок потоків даних SCADA, що є обов'язковою умовою надійного керування в реальному часі [5];

- протокол SNMP разом із Web- і CLI-інтерфейсами залишається основним інструментом моніторингу та управління мережевим обладнанням [6];
- технології мережевої автоматизації та SDN-підходи дозволяють мінімізувати помилки ручного налаштування й прискорити розгортання конфігурацій [7];
- інтеграція польового рівня з диспетчерським здійснюється через промислові протоколи – Modbus TCP, OPC UA, DNP3, що визначає особливі вимоги до QoS та безпеки [8] (рис. 2).

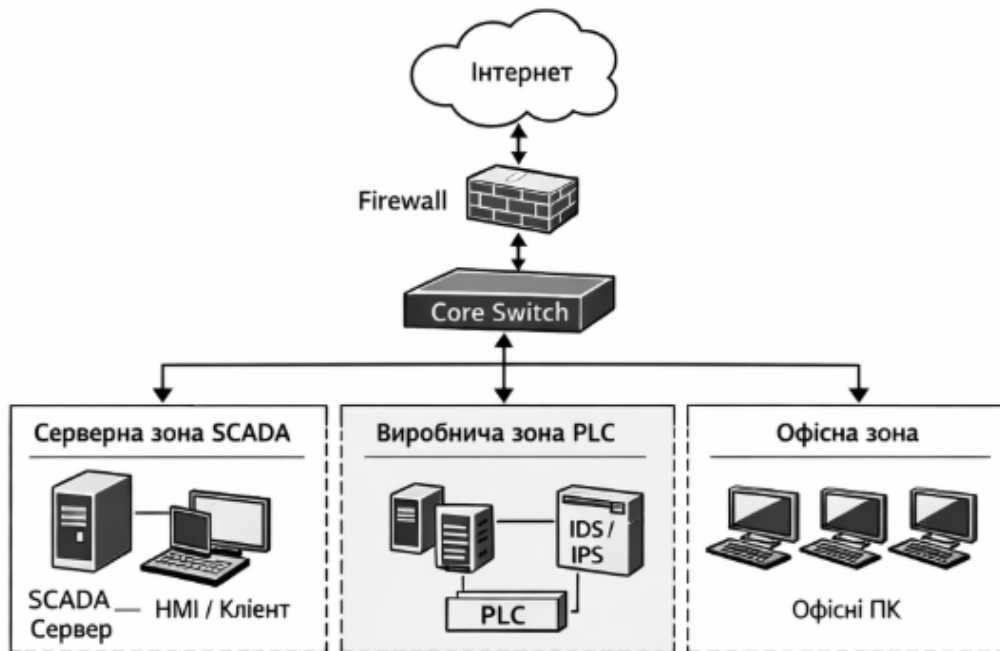


Рисунок 2 – Сегментація мережі в системах АСУ

*Нерозв'язана проблематика.* Незважаючи на зрілість окремих технологій, комплексна інтеграція мережевої інфраструктури із сучасними АСУ залишається предметом активних досліджень. Серед ключових невирішених проблем:

- відсутність уніфікованої моделі конвергентної ІТ/ОТ-мережі для промислових об'єктів різних галузей [2];
- висока складність і ризики ручного конфігурування на масштабованих розподілених об'єктах [7];
- недостатній рівень наскрізного моніторингу трафіку в гетерогенних середовищах, де суміщені різні промислові протоколи [5; 8];
- підвищена вразливість промислових протоколів і SCADA-систем до сучасних кіберзагроз, зокрема цільових атак типу APT [9].

Остання проблема набуває особливої гостроти: збій SCADA-системи може спричинити не лише значні економічні втрати, а й техногенні катастрофи, що визначає стратегічну важливість кіберзахисту промислової інфраструктури [9].

*Кібербезпека мереж АСУ та SCADA.* Конвергенція ІТ та ОТ суттєво розширює поверхню атаки промислових систем. Ефективна стратегія захисту має поєднувати кілька взаємодоповнювальних механізмів [9]:

- глибока VLAN-сегментація з виділеною DMZ-зоною між ІТ- і ОТ-рівнями;
- застосування захищених протоколів управління та шифрування трафіку на каналах SCADA;
- системи виявлення аномалій (IDS/IPS), адаптовані до специфіки промислових протоколів;
- суворий контроль доступу на основі принципу найменших привілеїв (Least Privilege) та багатофакторна автентифікація.

Комплексне застосування зазначених заходів, узгоджене зі стандартом ІЕС 62443, суттєво знижує ймовірність та наслідки цільових кібератак на технологічну інфраструктуру підприємства.

*Запропонований підхід.* Для усунення виявлених проблем пропонується багаторівнева архітектура інтегрованої мережі АСУ, що включає такі ключові компоненти:

- централізована система моніторингу з єдиною панеллю керування (Network Operations Center), яка забезпечує видимість усіх сегментів у реальному часі [6];
- засоби автоматизованого конфігурування обладнання на основі шаблонів (Infrastructure as Code) та SDN-принципів, що мінімізує вплив людського чинника [7];
- диференційоване керування трафіком через QoS-профілі, оптимізовані для кожного типу промислового протоколу [5];
- захищені OPC UA-канали для інтеграції SCADA та польових пристроїв із наскрізним шифруванням [8];
- вбудовані механізми кіберзахисту відповідно до вимог стандарту ІЕС 62443 [9].

Запропонована архітектура реалізується та верифікується на лабораторному стенді кафедри на модельних задачах автоматизованого управління, що забезпечує відтворюваність результатів.

*Висновки.* Інтеграція комп'ютерних мереж і АСУ в єдиний програмно-апаратний комплекс є необхідною умовою відповідності сучасних промислових систем вимогам Industry 4.0. Застосування VLAN, QoS, SNMP та засобів мережевої автоматизації у комплексі із захищеними промисловими протоколами дозволяє побудувати інфраструктуру з прогнозованою продуктивністю, гнучким масштабуванням і підвищеною кіберстійкістю [4–8]. Напрямок подальших досліджень є відпрацювання методики розгортання запропонованої архітектури та кількісна оцінка її стійкості до актуальних кіберзагроз.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі : навчальний посібник. Львів : Магнолія 2006, 2013. 256 с.
2. Гужва В. М. Інформаційні системи і технології на підприємствах : навчальний посібник. Київ : КНЕУ, 2017. 400 с.
3. Пупена О. М., Ельперін І. В., Луцька Н. М., Ладанюк А. П. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах : навчальний посібник. Київ : Ліра-К, 2011. 552 с.
4. Інформаційні технології. Кабельні системи загального призначення. Частина 1. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
5. ДСТУ ІЕС 61850-8-1:2014. Комунікаційні мережі та системи для автоматизації електроенергетичних підприємств. Частина 8-1. Визначене відображення комунікаційних сервісів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2014.
6. Коначович Г. Ф., Пузиренко О. Ю. Комп'ютерні мережі : підручник. Київ : Видавництво «Ліра-К», 2020. 440 с.
7. Таненбаум Е. С., Везеролл Д. Дж. Комп'ютерні мережі. 5-те вид. Київ : Вільямс, 2013. 960 с.
8. Невлюдов І. Ш., Новоселов С. П., Сичова О. В. Технологія програмування промислових контролерів в інтегрованому середовищі CODESYS : навчальний посібник. Харків : ХНУРЕ, 2019. 264 с.

## ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІДОБРАЖЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ У СИСТЕМАХ КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ

Упродовж останніх років вимоги до якості зображень у системах комп'ютерної графіки суттєво зросли. Це зумовлено як розвитком мультимедійних технологій, так і поширенням високоякісних дисплеїв, здатних відтворювати складні візуальні сцени з високою деталізацією. Водночас традиційні методи обробки зображень, що базуються на класичних алгоритмах інтерполяції та фільтрації, не завжди забезпечують необхідний рівень якості, особливо у випадках, коли потрібно відновити дрібні деталі або усунути шуми без втрати структури зображення. Саме тому в останні роки все більшої уваги набуває застосування алгоритмів штучного інтелекту.

Одним із найбільш досліджуваних напрямів є підвищення роздільної здатності зображень, або *super-resolution*. Сучасні підходи на основі згорткових нейронних мереж дозволяють ефективно відновлювати структуру зображення та локальні деталі, що підтверджується результатами досліджень у галузі глибинного навчання [4]. Водночас орієнтація виключно на піксельні метрики часто призводить до надмірного згладжування зображень і втрати дрібних текстур.

Для подолання цих обмежень активно використовуються генеративно-змагальні мережі, які дозволяють формувати більш реалістичні зображення. Зокрема, підходи, запропоновані у роботах [1] та [2], демонструють значне покращення перцептивної якості за рахунок використання спеціальних функцій втрат, орієнтованих на людське сприйняття. Це дозволяє отримувати більш чіткі та деталізовані результати навіть за умов обмеженої роздільної здатності вихідного зображення.

Подальший розвиток методів підвищення якості зображень пов'язаний із впровадженням трансформерних архітектур. Моделі такого типу, зокрема представлені у роботах [3] та [7], дозволяють враховувати як локальні, так і глобальні залежності в зображенні, що позитивно впливає на якість відновлення складних структур і текстур. Поєднання трансформерів із класичними згортковими підходами дає змогу досягти більш збалансованих результатів.

Крім того, сучасні дослідження приділяють значну увагу компромісу між спотворенням і сприйняттям якості зображення. Як показано у роботі [5], підвищення об'єктивних метрик не завжди відповідає покращенню суб'єктивного сприйняття користувачем, що вимагає використання більш комплексних підходів до оцінювання якості.

Перспективним напрямом також є застосування дифузійних моделей та ітеративних методів відновлення зображень, які демонструють високу якість результатів за рахунок поетапного уточнення зображення [6]. Такі підходи відкривають нові можливості для підвищення якості візуалізації у складних умовах.

Важливим аспектом є також використання попередньо навчених моделей і підходів типу «*plug-and-play*», які дозволяють інтегрувати глибинні нейронні мережі в класичні алгоритми обробки сигналів. Як показано у [8], це дозволяє підвищити гнучкість і ефективність систем обробки зображень.

Практичне застосування розглянутих підходів охоплює широкий спектр задач, включаючи рендеринг у реальному часі, покращення якості відео, медичну візуалізацію та системи відеоспостереження. У кожній із цих сфер використання алгоритмів штучного інтелекту дозволяє суттєво підвищити якість відображення інформації.

Подальшого розгляду потребує питання застосування алгоритмів штучного інтелекту в умовах обмежених обчислювальних ресурсів, що є характерним для мобільних пристроїв та вбудованих систем. У таких випадках використання повноцінних глибинних моделей може

бути ускладненим через високе енергоспоживання та вимоги до пам'яті. У зв'язку з цим активно досліджуються методи оптимізації моделей, зокрема квантування, прунинг та дистиляція знань. Зазначені підходи дозволяють зменшити розмір моделей без суттєвої втрати якості відновлення зображень, що підтверджується сучасними дослідженнями у сфері ефективного глибинного навчання [8].

Не менш важливим є питання інтеграції алгоритмів штучного інтелекту у системи обробки відео в реальному часі. На відміну від статичних зображень, відеопотік характеризується часовою залежністю між кадрами, що потребує врахування додаткових факторів при обробці. Сучасні підходи передбачають використання рекурентних нейронних мереж або спеціалізованих архітектур, які здатні аналізувати послідовності кадрів і забезпечувати узгодженість між ними. Це дозволяє уникнути ефекту мерехтіння та інших візуальних артефактів, що можуть виникати при незалежній обробці кожного кадру [6].

Окрему увагу слід приділити застосуванню алгоритмів штучного інтелекту в системах потокового передавання відео. У таких системах важливо забезпечити баланс між якістю зображення та пропускнуою здатністю каналу зв'язку. Використання інтелектуальних методів масштабування та відновлення зображень дозволяє передавати відео з нижчою роздільною здатністю, а потім покращувати його якість на стороні користувача. Такий підхід вже активно використовується у сучасних мультимедійних сервісах і демонструє високу ефективність у зменшенні навантаження на мережу при збереженні прийнятної рівня якості [1].

Ще одним перспективним напрямом є використання алгоритмів штучного інтелекту для адаптивного налаштування параметрів відображення зображень залежно від умов перегляду. Зокрема, врахування освітлення, типу дисплея та індивідуальних особливостей користувача дозволяє оптимізувати параметри яскравості, контрастності та кольоропередачі. Такі підходи базуються на аналізі даних із сенсорів і можуть реалізовуватися у вигляді інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Водночас розвиток технологій штучного інтелекту у сфері обробки зображень супроводжується появою нових викликів, зокрема пов'язаних із достовірністю отриманих результатів. Генеративні моделі здатні створювати зображення, які виглядають реалістично, але не відповідають дійсності. Це створює ризики для сфер, де точність інформації є критично важливою, наприклад у медицині або системах безпеки. У зв'язку з цим актуальним є розроблення методів контролю якості та верифікації результатів роботи алгоритмів [5].

Крім того, значний інтерес викликає поєднання алгоритмів штучного інтелекту з класичними методами комп'ютерної графіки. Такий гібридний підхід дозволяє використовувати переваги обох напрямів: високу швидкість традиційних алгоритмів і адаптивність моделей глибинного навчання. Наприклад, попередня обробка зображень може виконуватися класичними методами, тоді як фінальне покращення якості здійснюється за допомогою нейронних мереж. Це дозволяє досягти оптимального балансу між якістю та швидкодією.

Таким чином, сучасні дослідження у сфері використання алгоритмів штучного інтелекту для підвищення якості відображення зображень демонструють стійку тенденцію до інтеграції різних підходів і технологій. Поєднання методів оптимізації, аналізу часових залежностей, адаптивної обробки та гібридних моделей відкриває нові можливості для розвитку систем комп'ютерної графіки. Це, у свою чергу, створює передумови для підвищення якості візуального контенту в широкому спектрі практичних застосувань. Подальші дослідження у цьому напрямі мають бути спрямовані на зменшення обчислювальної складності моделей та підвищення їх адаптивності до реальних умов використання.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Ledig C. et al. Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network. 2017.
2. Wang X. et al. ESRGAN: Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Networks. 2018.
3. Liang J. et al. SwinIR: Image Restoration Using Swin Transformer. 2021.
4. Dong C. et al. Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks. 2016.
5. Blau Y., Michaeli T. The Perception-Distortion Tradeoff. 2018.
6. Saharia C. et al. Image Super-Resolution via Iterative Refinement. 2021.
7. Zamir S. et al. Restormer: Efficient Transformer for Image Restoration. 2022.
8. Zhang K. et al. Plug-and-Play Image Restoration with Deep Denoiser Prior. 2021.

## ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ВЕБСЕРВІСУ АНАЛІЗУ КОДУ

Стрімкий розвиток ІТ-індустрії супроводжується постійним ускладненням архітектури програмних систем та зростанням обсягів вихідного коду, що потребує впровадження ефективних засобів контролю якості. Однією з найбільш гострих проблем сучасної інженерії ПЗ є накопичення технічного боргу через ігнорування стандартів кодування, що призводить до критичного зростання витрат на супровід та підвищення ризиків виникнення вразливостей [1]. Традиційні інструменти статичного аналізу, хоч і забезпечують високу точність виявлення синтаксичних відхилень, часто вимагають складного ручного налаштування та генерують технічні звіти, які важко інтерпретувати розробникам-початківцям [2]. Водночас спроби інтеграції публічних хмарних сервісів на базі штучного інтелекту для аналізу пропріетарного коду створюють суттєві загрози для корпоративної безпеки, оскільки передача вихідних файлів на сторонні сервери суперечить політиці конфіденційності. Саме тому розроблення інтелектуальної платформи, яка поєднує детерміновані методи перевірки з можливостями локально розгорнутих великих мовних моделей, є критично актуальним завданням для автоматизації процесів рецензування коду в безпечному контурі підприємства. Такий підхід дозволяє не лише ідентифікувати дефекти, а й надавати розробникам адаптивні контекстні рекомендації, що значно прискорює процес навчання та рефакторингу.

Головною метою проекту є створення комплексного інтелектуального веб-сервісу для автоматизованого аудиту Java-проектів [3], який забезпечує поєднання класичних метрик якості з генеративними поясненнями від штучного інтелекту. Розробка спрямована на суттєве підвищення швидкості проведення Code Review та зменшення трудовитрат фахівців на інтерпретацію технічних помилок. Досягнення цієї мети передбачає реалізацію низки завдань: впровадження механізмів асинхронної обробки великих репозиторіїв, створення математичної моделі для розрахунку агрегованої оцінки якості та забезпечення повної конфіденційності даних користувачів. Платформа має стати універсальним інструментом як для комерційних команд, що прагнуть автоматизувати рутинні перевірки, так і для освітніх закладів, які потребують засобів об'єктивного оцінювання студентських робіт. Кінцевий продукт повинен забезпечувати інтерактивну взаємодію з користувачем через сучасний веб-інтерфейс, адаптуючи складність наданих рекомендацій під професійний рівень розробника.

Програмна архітектура розробленого сервісу базується на принципах мікросервісної ізоляції та контейнеризації, що гарантує стабільність та масштабованість системи під навантаженням (рис.1). Бекенд-частина реалізована з використанням фреймворку Spring Boot, який виступає оркестратором усіх обчислювальних процесів та забезпечує безпеку доступу через механізм JWT-токенів. Для зберігання результатів аналізу та керування профілями користувачів інтегровано реляційну СУБД PostgreSQL, а для прискорення повторних запитів застосовано систему кешування Redis, яка працює в оперативній пам'яті. Особливістю технічної реалізації є використання брокера повідомлень RabbitMQ, що дозволяє виконувати ресурсомісткі завдання, такі як клонування репозиторіїв та запуск аналізаторів, у фонових потоках без блокування інтерфейсу. Процес статичної перевірки базується на агрегації результатів двох незалежних інструментів: Checkstyle (аналіз стилістики на базі абстрактних синтаксичних дерев) та PMD (пошук логічних вразливостей через аналіз потоку даних). Математичне ядро системи розраховує підсумковий показник Quality Score на основі щільності дефектів та їхніх вагових коефіцієнтів критичності, трансформуючи множину зауважень у зрозумілий числовий індикатор. Інтелектуальний модуль системи реалізовано на базі платформи Ollama, що забезпечує виконання великої мовної моделі LLaMA 3 безпосередньо на сервері. Взаємодія між основним кодом застосунку та нейромережею здійснюється за допомогою бібліотеки LangChain4j, яка дозволяє динамічно формувати

контекстні запити. Система автоматично вилучає фрагмент коду довжиною 10 рядків навколо помилки та передає його моделі разом із технічним описом дефекту та рівнем експертності розробника. Клієнтська частина, побудована на React та TypeScript, забезпечує візуалізацію результатів у реальному часі за допомогою протоколу WebSockets, що дозволяє користувачу спостерігати за кожним етапом аудиту.

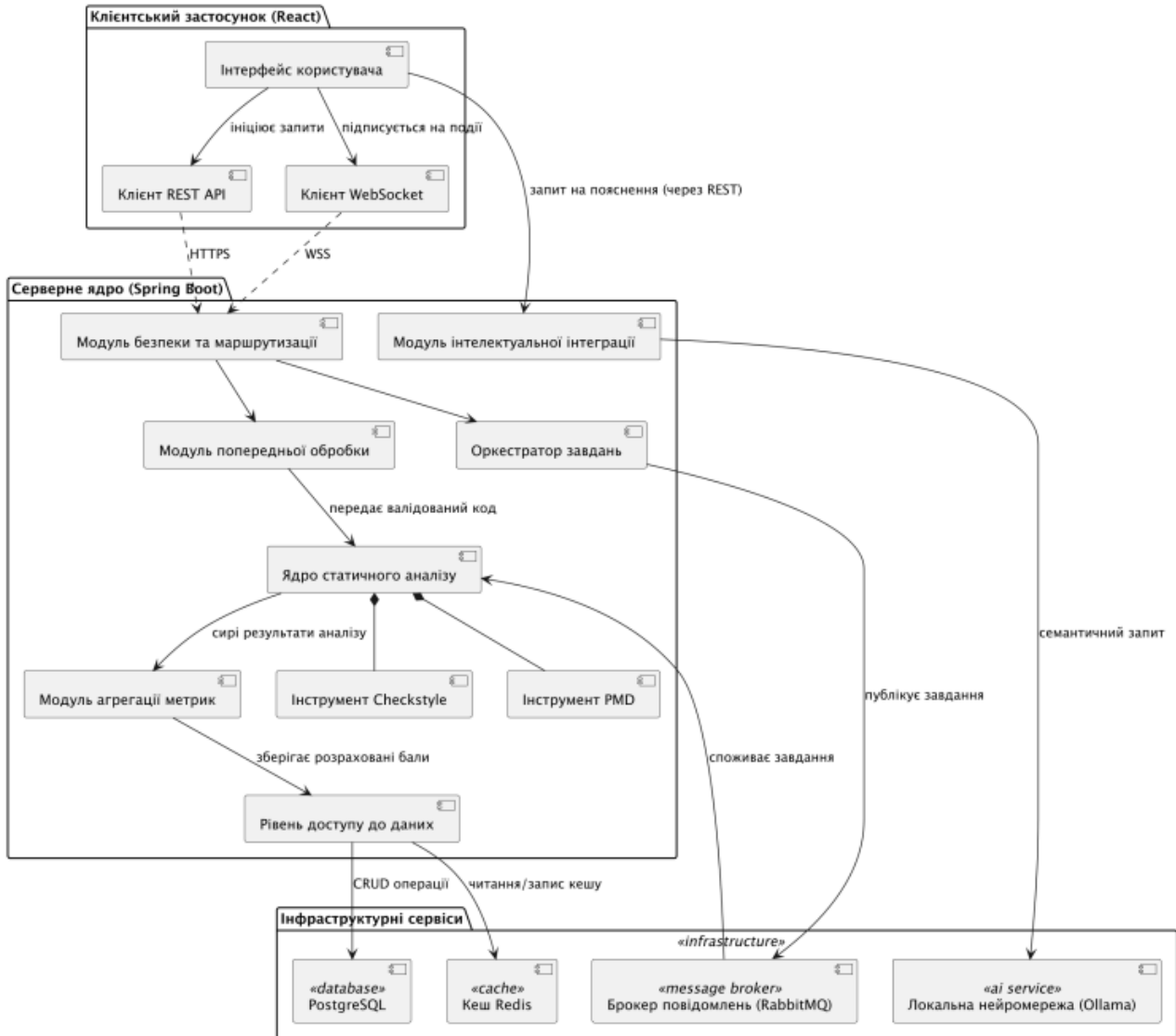


Рисунок 1 – Архітектура веб-сервісу

Експериментальна валідація розробленого інтелектуального веб-сервісу підтвердила його високу ефективність у задачах автоматизованого контролю якості програмного забезпечення. Застосування гібридного підходу, що поєднує детерміновані аналізатори з генеративним штучним інтелектом, дозволило досягти якісно нового рівня інформативності звітів. Тестування показало, що система успішно адаптує складність рекомендацій: студенти отримують розгорнуті теоретичні пояснення, тоді як професійні розробники – лаконічні приклади рефакторингу (рис.2).

Практичне значення розробки полягає у можливості її розгортання в ізольованих корпоративних мережах, що повністю знімає ризики витоку інтелектуальної власності. Використання механізмів асинхронної обробки та кешування результатів забезпечило високу швидкодію системи навіть при роботі з масштабними репозиторіями.

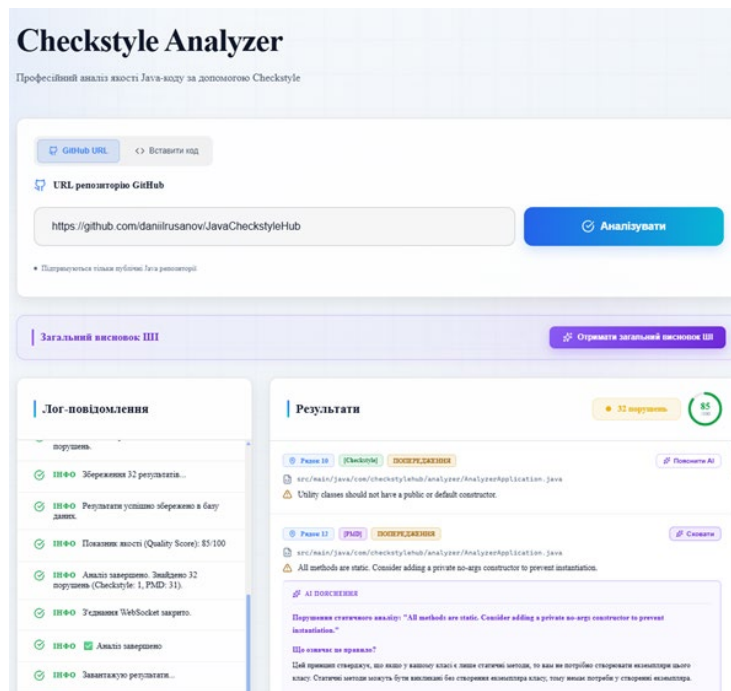


Рисунок 2 – Результати аналізу з детальними поясненнями виявлених помилок та дефектів програмного коду

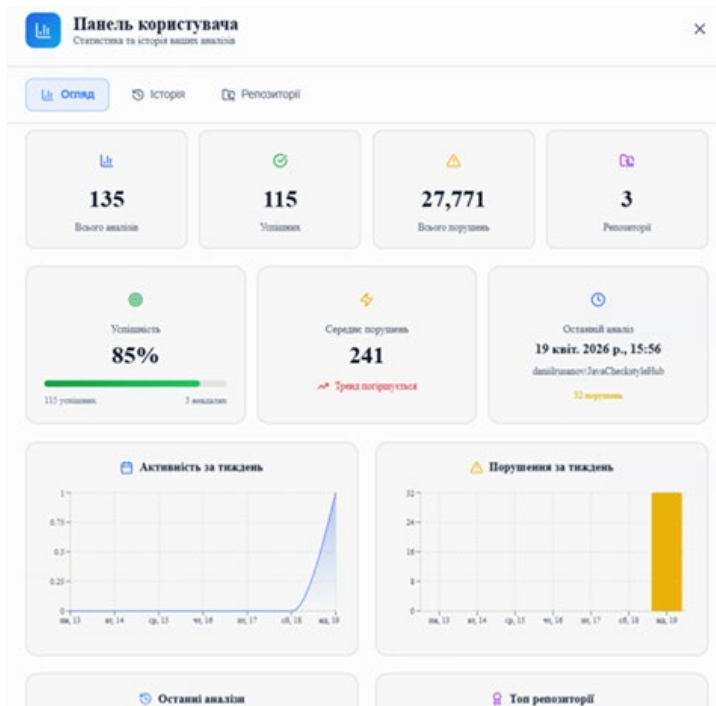


Рисунок 3 – Панель користувача зі зведеними даними аналізу

Створена платформа є готовим інструментом для інтеграції в процеси безперервної розробки (CI/CD) та освітні платформи онлайн-навчання. Подальші перспективи розвитку проєкту вбачаються у розширенні підтримки інших мов програмування та впровадженні функціоналу автоматичного створення Pull Requests із виправленим кодом.

ЛІТЕРАТУРА:

1. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – System and software quality models. 2011. 34 p.
2. Fowler M. Refactoring: Improving the Design of Existing Code. Addison-Wesley Professional, 2018. 448 p.
3. Flanagan D. JavaScript: The Definitive Guide. O'Reilly Media, 2020. 706 p.

## ЦИФРОВІ ПАНЕЛІ МОНІТОРИНГУ (DASHBOARDS) У СИСТЕМІ КОНТРОЛІНГУ ТА ВНУТРІШНЬОГО АУДИТУ

Цифрові панелі моніторингу (dashboards) відіграють ключову роль у сучасній інформаційно-аналітичній інфраструктурі підприємств, забезпечуючи інтеграцію, обробку та зручну візуалізацію великих масивів даних. У контексті цифрової трансформації бізнесу, зростання конкуренції та підвищення вимог до прозорості управління, їх значення стає ще вагомішим. Ці інструменти дозволяють здійснювати безперервний моніторинг операцій, оперативно виявляти відхилення та приймати обґрунтовані управлінські рішення. На відміну від класичної звітності, що зосереджена на аналізі минулих подій, dashboards акцентують увагу на оперативному аналізі та прогнозуванні, що робить їх надзвичайно корисними у процесах контролінгу. У системах контролінгу ці панелі виконують ключові функції із забезпечення інформацією для планування, контролю та аналітики. Вони допомагають синхронізувати стратегічні та операційні цілі організації, наочно відображаючи ключові показники ефективності (KPI) у режимі реального часу. Це дає змогу керівництву постійно стежити за виконанням планів, дотриманням бюджету та станом бізнес-процесів. Інтеграція з ERP-, CRM- та іншими корпоративними системами формує єдине інформаційне середовище, де дані оновлюються автоматично. Такий підхід мінімізує вплив людського фактора, знижує ризик помилок і підвищує точність аналітичної інформації, сприяючи прийняттю ефективніших управлінських рішень. У внутрішньому аудиті цифрові панелі моніторингу істотно змінюють звичні підходи до виконання контрольних функцій, пропонуючи перехід від періодичних перевірок до концепції безперервного аудиту. Вони автоматизують процеси ідентифікації ризиків, аналізу транзакцій і виявлення аномалій, що суттєво підвищує якість аудиторської діяльності. Завдяки цим панелям вчасно виявляються порушення, випадки шахрайства і неефективного використання ресурсів – це набуває особливої значущості в умовах збільшення складності бізнес-процесів [1-5]. Крім того, графічна візуалізація аудиторських результатів у вигляді діаграм чи індикаторів значно полегшує сприйняття інформації та сприяє ефективній комунікації між аудиторами й керівництвом. Важливою перевагою цифрових панелей є їх гнучкість і можливість налаштування під індивідуальні потреби користувачів. Вони дають змогу обирати релевантні показники, визначати рівень деталізації та формат подання інформації, що забезпечує високий рівень персоналізації. Завдяки цьому різні рівні управління отримують необхідні інструменти для досягнення власних цілей: топ-менеджмент використовує зведені показники для стратегічного планування, середній менеджмент аналізує результати діяльності підрозділів, а операційні працівники мають змогу контролювати виконання щоденних завдань. Особливе значення слід надавати технологічним аспектам впровадження інформаційно-аналітичних панелей (dashboards), які є ключовим компонентом сучасних систем підтримки управлінських рішень. Ці панелі базуються на використанні передових інструментів бізнес-аналітики (Business Intelligence, BI), що включають технології обробки великих даних, інтерактивної візуалізації та аналізу з елементами прогнозування. Застосування таких рішень сприяє не лише детальному аналізу поточного стану підприємства, але й моделюванню ймовірних сценаріїв його розвитку, оцінці впливу менеджерських рішень на організаційні процеси та прогнозуванню майбутніх результатів діяльності. Інтеграція цих технологій із можливостями штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (ML) відкриває нові горизонти для автоматизованого виявлення закономірностей, ідентифікації потенційних ризиків та розробки управлінських рекомендацій [5-7]. Проте високий рівень ефективності використання цифрових інформаційно-аналітичних панелей значною мірою залежить від якості вхідних

даних і належної організації інформаційних потоків. Наявність неструктурованих, неповних або недостовірних даних може зумовити викривлення результатів аналітики й, відповідно, прийняття неадекватних управлінських рішень. У цьому контексті вирішальне значення набуває впровадження ефективної системи управління даними (data governance), що передбачає стандартизацію процесів обробки інформації, її очищення від похибок та забезпечення належного контролю якості. Окремо стоїть питання інформаційної безпеки, оскільки, враховуючи характер даних, що обробляються на таких платформах, необхідно встановлювати чіткі протоколи доступу до конфіденційної інформації. Серед основних переваг впровадження цифрових панелей моніторингу можна виділити підвищення оперативності прийняття рішень, покращення якості функцій контролю, зниження витрат на обробку великих обсягів даних, а також підвищення прозорості діяльності підприємства. Однак існують і певні труднощі, зокрема високі витрати на розробку та інтеграцію таких рішень, необхідність проведення навчання персоналу для роботи з новітніми інструментами та технічну складність інтеграції із наявними інформаційними системами. Попри це, довгострокова перспектива демонструє доцільність цих інвестицій шляхом значного підвищення ефективності управління й оптимізації бізнес-процесів, а також шляхом мінімізації управлінських ризиків [8-15].

Отже, цифрові панелі моніторингу є ключовим елементом сучасних систем контролінгу та внутрішнього аудиту. Їхня інтеграція дозволяє здійснювати перехід від традиційних підходів до аналізу даних на основі інтеграції штучного інтелекту і математичного моделювання, що значно підвищує точність прийняття управлінських рішень. Впровадження таких систем сприяє створенню гнучких, адаптивних і прозорих моделей управління підприємствами, здатних ефективно відповідати на виклики динамічного бізнес-середовища. Подальший розвиток інформаційно-аналітичних панелей спрямований на розширення їхніх функціональних можливостей, вдосконалення алгоритмів аналітики та посилення інтеграції із сучасними цифровими технологіями, що формують базис для побудови інноваційних інтелектуальних систем управління організаціями.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Друкер П. Ф. Менеджмент у XXI столітті. К.: Видавництво «КМ-Букс», 2019. 320 с.
2. Хорнгрен Ч. Т., Фостер Дж., Датар С. Управлінський облік. К.: Основи, 2018. 1008 с.
3. Каплан Р. С., Нортон Д. П. Збалансована система показників. Від стратегії до дії. К.: Олімп-Бізнес, 2020. 320 с.
4. Савицька Г. В. Економічний аналіз діяльності підприємства. К.: Знання, 2017. 668 с.
5. Іващенко А. І. Контролінг: теорія і практика. К.: Центр учбової літератури, 2021. 256 с.
6. Бутинець Ф. Ф. Внутрішній аудит: навчальний посібник. Житомир: ПП «Рута», 2019. 512 с.
7. Davenport T. H. Big Data at Work: Dispelling the Myths. Boston: Harvard Business Review Press, 2014. 240 p.
8. Few S. Information Dashboard Design: Displaying Data for At-a-Glance Monitoring. Burlingame: Analytics Press, 2013. 224 p.
9. Power B. J. Analytics and Business Intelligence. Harvard Business Review, 2016. № 94(12). P. 78–85.
10. ISO 19011:2018. Guidelines for Auditing Management Systems. Geneva: ISO, 2018.
11. ISACA. COBIT 2019 Framework: Governance and Management Objectives. ISACA, 2019.
12. Microsoft Corporation. Power BI Documentation. URL: <https://learn.microsoft.com>
13. Tableau Software. Tableau User Guide. URL: <https://www.tableau.com>
14. Gartner. Business Intelligence and Analytics Platforms Report. 2022. URL: <https://www.gartner.com>
15. Kimball R., Ross M. The Data Warehouse Toolkit. 3rd ed. Wiley, 2013. 600 p.

УДК 629.31

М.О. Федотова, Д.В. Трушаков, Р.С. Заворуєв, О.П. Голик, О.К. Дідик

Центральноукраїнський національний технічний університет  
skrynnik\_2002@ukr.net

### СИНТЕЗ БАГАТОВИМІРНОГО СПОСТЕРІГАЧА ВИХІДНИМИ СИГНАЛАМИ ТЕПЛОВОГО ОБ'ЄКТУ

Відомо, що висоту дисперсного матеріалу на каскадах в сушильній камері зерносушарки можливо оцінити за рахунок використання наперед відомого зв'язку зміни кінцевої вологості матеріалу із зміною висоти киплячого шару на кожному з каскадів. Для цього застосуємо відомий алгоритм синтезу оптимальних структур і параметрів матриці передаточних функцій спостерігача, наведений в монографії [1].

Необхідно визначити таку структуру і параметри матриці передаточних функцій (МПФ) системи спостереження  $F_k$ , яка б, вимірюючи лише зміну кінцевої вологості матеріалу, давала оцінку зміни висоти киплячого шару з мінімальною дисперсією похибки на  $k$ -тому каскаді. Критерій точності  $e^k_0$  оцінювання вихідних сигналів для  $k$ -того каскаду системою спостереження виражається через дисперсію похибки оцінювання і описується так:

$$e^k_0 = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr}((S^k_{\varepsilon\varepsilon})' R_k) ds, \quad (1)$$

де  $(S^k_{\varepsilon\varepsilon})'$  – транспонована матриця спектральних щільностей (МСЩ) похибок оцінювання вихідних сигналів ЗКШ, що розраховується за формулами

$$(S^k_{\varepsilon\varepsilon})' = F_k (S^k_{\psi_0\psi_0})' F_{k*} - F_k (S^k_{\psi\psi_0})' (P_{k*})^{-1} - (P_k)^{-1} (S^k_{\psi_0\psi})' F_k + (P_k)^{-1} (S^k_{\psi\psi})' (P_{k*})^{-1}, \quad (2)$$

$$(S^k_{\psi_0\psi_0})' = K (P_k)^{-1} (S^k_{\psi\psi})' (P_{k*})^{-1} K_* + S_{\phi\phi}', \quad (3)$$

$$(S^k_{\psi\psi_0})' = K (P_k)^{-1} (S^k_{\psi\psi})', \quad (4)$$

$$(S^k_{\psi_0\psi})' = (S^k_{\psi\psi})' (P_{k*})^{-1} K_*, \quad (5)$$

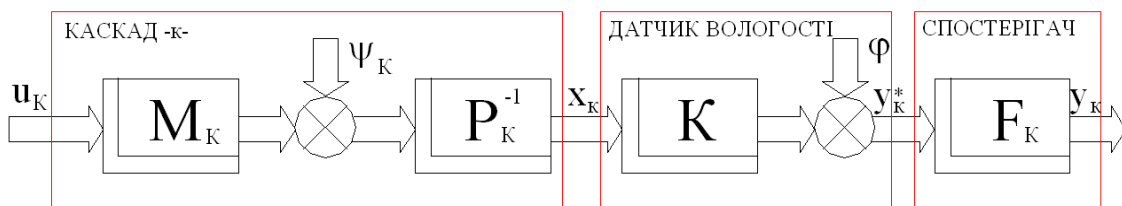


Рисунок 1 – Структурна схема системи оцінювання вихідних сигналів  $k$ -того каскаду при неможливості їх повного вимірювання

Відповідно обраному методу [1], МПФ оптимальної системи спостереження може бути відшукана як:

$$F_k = -G_k^{-1} (T_0 + T_+)_k D_k^{-1}, \quad (6)$$

де  $G_k$  – результат лівосторонньої [2] факторизації матриці

$$G_{k*}G_k = R_k \quad (7)$$

$D_k$  – результат правосторонньої [2] факторизації матриці

$$(S^k_{\psi_0\psi_0})' = D_k D_{k*}; \quad (8)$$

$(T_0 + T_+)_k$  – результат сепарації матриці

$$T_k = (T_0 + T_+)_k + T_{k-} = -G_k P_k^{-1} (S^k_{\psi_0\psi_0})' D_{k*}^{-1}. \quad (9)$$

Згідно описаної методики можна сформулювати наступну технологію визначення структури і параметрів МПФ спостерігача  $F_k$ , який, вимірюючи кінцеву вологість на виході з сушарки, дає оцінку висоти киплячого шару на  $k$ -тому каскаді:

1. Формуємо матрицю  $(S^k_{\psi_0\psi_0})'$  згідно (3).
2. Факторизуємо матрицю  $(S^k_{\psi_0\psi_0})'$  і визначаємо матрицю  $D_k$  (8).
3. Визначаємо матрицю  $T_k$ , використовуючи співвідношення (9).
4. Сепаруємо матрицю  $T_k$  і отримаємо  $(T_0+T_+)_k$ .
5. Визначимо структуру і параметри МПФ спостерігача для  $k$ -того каскаду  $F_k$ , використовуючи формулу (6).
6. Виконуємо алгоритм для всіх каскадів об'єкту, повторюючи п.1-п.5.
7. Вивести загальну для всіх каскадів структуру системи спостереження  $F_k$ , а зміну коефіцієнтів звести до таблиці

Каскад	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
коефіцієнт							
$k_{11}$							

8. За формулою (1) виконаємо аналіз якості оцінювання зміни висоти киплячого шару на кожному з семи каскадів по значенню вологості на виході із сушарки.
9. Порівняти отримані похибки оцінювання вологості і висоти киплячого шару по каскадах у вигляді таблиці.
10. Обрати каскад, на якому оцінка зміни висоти киплячого шару мінімальна. Для визначеного каскаду розрахуємо оптимальну структуру і параметри системи спостереження  $F_k$ .
11. Спростимо структуру отриманої моделі спостерігача  $F_k$ , апроксимувавши його графіки дробово-раціональними функціями комплексного аргументу  $s = j\omega$

Наведена методика може бути використана для одного з етапів динамічного проектування – синтезу системи спостереження при неповних вимірюваннях вихідних сигналів зерносушарки з киплячим шаром.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Житецкий Л.С. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации. – монография. К.: НАУ, 2006. 438 с.
2. М.С. Davis, Factoring the spectral matrix, IEEE Trans. Automat. Control 8 (1963).

## ІНТЕГРАЦІЯ ІМЕРСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ У ЦИФРОВУ ПОЛІГРАФІЮ

Сучасна цифрова поліграфія активно трансформується під впливом новітніх інформаційних технологій. Традиційні методи представлення друкованої продукції поступово втрачають ефективність через недостатній рівень інтерактивності та обмежені можливості візуалізації цифрового контенту. Розвиток метавсесвіту та технологій віртуальної реальності відкриває нові можливості для створення інтерактивних цифрових просторів, у яких користувач може взаємодіяти з поліграфічною продукцією у режимі реального часу. Використання VR-технологій дозволяє створювати цифрові моделі друкованої продукції, інтерактивні каталоги, віртуальні виставки та рекламні середовища нового покоління. Це сприяє підвищенню ефективності цифрової комунікації, покращенню візуального сприйняття інформації та розширенню функціональних можливостей сучасної поліграфії. У роботі досліджено особливості інтеграції метавсесвіту та VR-технологій у сучасну цифрову поліграфію. Проаналізовано можливості використання віртуальних середовищ для інтерактивної візуалізації поліграфічної продукції, створення цифрових виставкових просторів та покращення взаємодії користувачів із мультимедійним контентом. Запропоновано структуру інтегрованого VR-середовища цифрової поліграфії, що поєднує технології тривимірної візуалізації, хмарної обробки даних та інтерактивної взаємодії користувача. Визначено перспективи використання метавсесвіту у сфері цифрового друку, реклами та віртуальних презентацій поліграфічної продукції.

Питання інтеграції VR-технологій у цифрові інформаційні системи активно досліджуються у сучасних наукових роботах. У праці [1] розглянуто перспективи використання віртуальної реальності у цифрових мультимедійних середовищах та визначено основні переваги інтерактивної взаємодії користувача з цифровим контентом. Автори роботи [2] досліджують застосування метавсесвіту у цифровій економіці та визначають перспективи створення інтерактивних віртуальних платформ для комунікації та презентації інформації. У дослідженні [3] проаналізовано використання VR-технологій для візуалізації тривимірних моделей та інтерактивних об'єктів у цифрових системах. Разом із тим питання інтеграції метавсесвіту та VR-технологій у сферу цифрової поліграфії залишаються недостатньо дослідженими та потребують подальшого розвитку.

Метою роботи є дослідження можливостей використання метавсесвіту та VR-технологій у сучасній цифровій поліграфії, а також розробка структури інтегрованого VR-середовища для інтерактивної взаємодії з поліграфічною продукцією.

Метавсесвіт являє собою інтегроване цифрове середовище, у якому користувачі можуть взаємодіяти між собою та з цифровими об'єктами у режимі реального часу. Поєднання метавсесвіту з VR-технологіями створює нові можливості для розвитку сучасної цифрової поліграфії та систем відображення інформації. Одним із перспективних напрямів є створення інтерактивних віртуальних просторів для презентації поліграфічної продукції. Використання VR дозволяє користувачам переглядати тривимірні моделі друкованих видань, упаковки, рекламної продукції та мультимедійних каталогів у цифровому середовищі. На відміну від традиційних способів представлення інформації, VR-засоби забезпечують ефект присутності та високий рівень інтерактивності.

Запропонована структура інтегрованого VR-середовища цифрової поліграфії наведена на рис. 1.

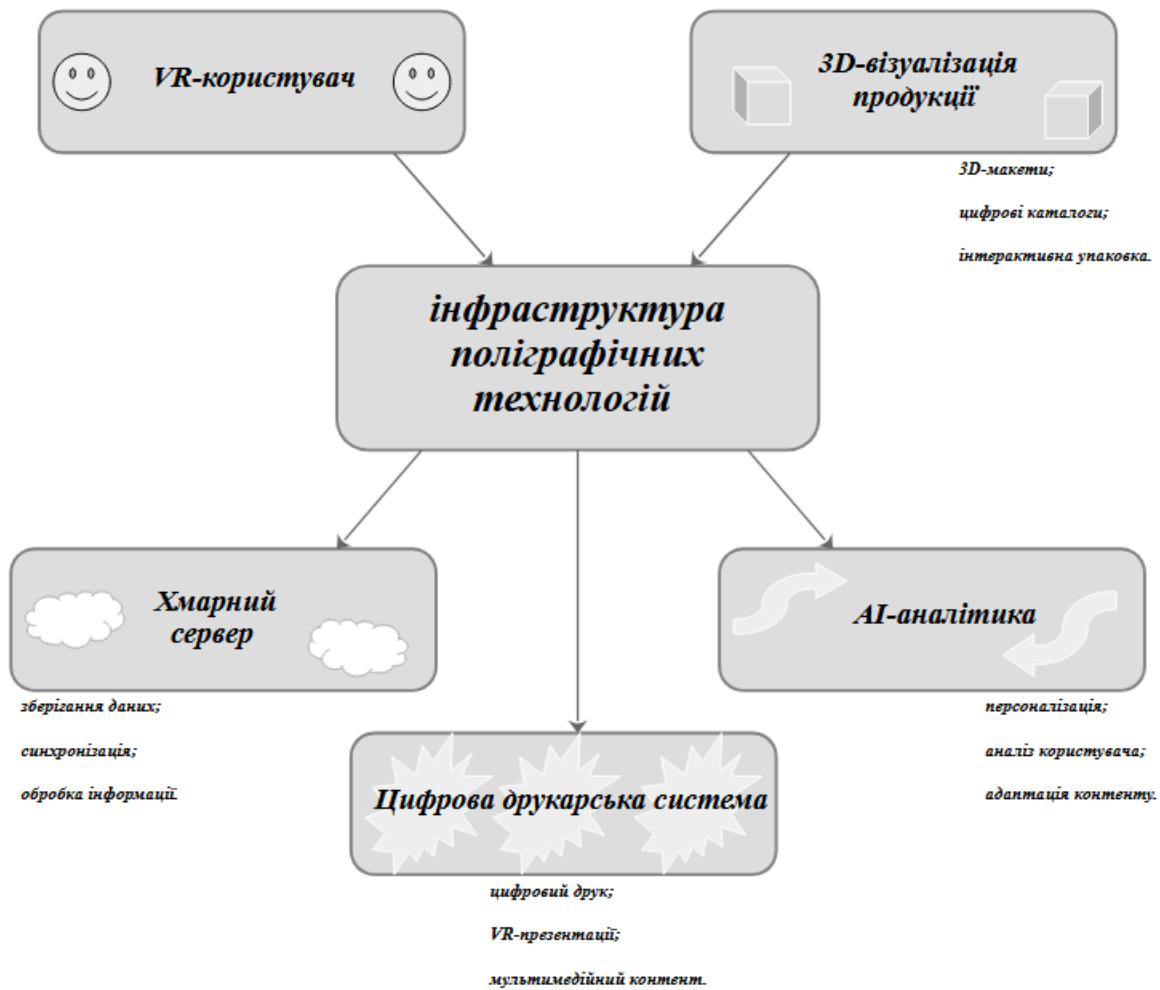


Рисунок 1 – Структура інтегрованого VR-середовища цифрової поліграфії у метавсесвіті

Центральним елементом системи є метавсесвіт цифрової поліграфії, який забезпечує інтеграцію всіх функціональних компонентів у єдине інформаційне середовище. За допомогою VR-окулярів та інтерактивних контролерів користувач може взаємодіяти з цифровими поліграфічними об'єктами, переглядати тривимірні моделі продукції та отримувати додаткову інформацію у режимі реального часу. Модуль 3D-візуалізації забезпечує формування цифрових моделей поліграфічної продукції та адаптацію контенту до VR-середовища. Використання сучасних графічних технологій дозволяє підвищити якість відображення інформації та створити реалістичні інтерактивні сцени. Хмарний сервер забезпечує зберігання, обробку та синхронізацію цифрових даних між усіма компонентами системи. Це дозволяє організувати спільну роботу користувачів у метавсесвіті та підтримувати інтерактивну взаємодію у режимі реального часу. Важливу роль у системі відіграє AI-аналітика, яка дозволяє аналізувати поведінку користувачів, формувати персоналізовані рекомендації та адаптувати цифровий контент відповідно до потреб аудиторії. Використання алгоритмів штучного інтелекту також сприяє автоматизації процесів цифрового проєктування та оптимізації поліграфічної продукції. Інтеграція метавсесвіту та VR-технологій у цифрову поліграфію відкриває нові можливості для розвитку інтерактивної реклами, цифрового маркетингу та мультимедійних платформ. Віртуальні виставкові простори дозволяють презентувати поліграфічну продукцію без фізичних обмежень, а цифрові VR-каталоги забезпечують більш ефективну взаємодію користувача з інформацією.

Серед основних переваг використання VR у поліграфії можна виділити: високий рівень інтерактивності, покращення візуалізації продукції, персоналізацію контенту, створення цифрових виставкових середовищ, інтеграцію мультимедійних елементів, підвищення

ефективності цифрових комунікацій. Разом із перевагами існують і певні обмеження, пов'язані з високими вимогами до апаратного забезпечення, необхідністю оптимізації VR-контенту та значними обчислювальними ресурсами. Проте розвиток хмарних технологій та сучасних графічних процесорів сприяє поступовому усуненню цих недоліків.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що інтеграція метавсесвіту та VR-технологій є перспективним напрямом розвитку сучасної цифрової поліграфії. Використання інтерактивних VR-середовищ забезпечує новий рівень візуалізації поліграфічної продукції, покращує взаємодію користувача з цифровим контентом та створює умови для розвитку цифрових мультимедійних платформ. Запропонована структура інтегрованого VR-середовища дозволяє поєднати технології тривимірної візуалізації, хмарної обробки даних та AI-аналітики у єдину інформаційну систему. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку адаптивних VR-платформ для цифрової поліграфії та інтеграцію технологій штучного інтелекту у метавсесвіт. Крім того, використання VR-технологій у цифровій поліграфії сприятиме підвищенню рівня інтерактивності цифрових комунікацій, розширенню можливостей мультимедійного контенту та створенню нових форматів віртуальної презентації поліграфічної продукції. Впровадження метавсесвіту у сферу поліграфії також дозволить формувати інтерактивні цифрові виставкові середовища, у яких користувачі зможуть взаємодіяти з віртуальними об'єктами у режимі реального часу незалежно від власного місцезнаходження. Це створює передумови для розвитку нових цифрових сервісів, удосконалення рекламних технологій та оптимізації процесів представлення друкованої продукції у мережевому середовищі. Важливою перевагою інтеграції VR-технологій є можливість персоналізації контенту відповідно до потреб користувача, що підвищує ефективність сприйняття інформації та рівень залученості аудиторії. Також перспективним напрямом є використання метавсесвіту для створення віртуальних поліграфічних студій, цифрових рекламних платформ та інтерактивних мультимедійних просторів нового покоління. Розвиток сучасних графічних процесорів, хмарних технологій та систем штучного інтелекту сприятиме подальшому поширенню VR-рішень у поліграфічній галузі та забезпечить формування інноваційних підходів до створення, візуалізації та представлення цифрової поліграфічної продукції.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Sherman W. R., Craig A. B. *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. San Francisco : Morgan Kaufmann, 2018. 960 p.
2. Dionisio J. D. N., Burns W. G., Gilbert R. 3D Virtual Worlds and the Metaverse: Current Status and Future Possibilities. *ACM Computing Surveys*. 2013. Vol. 45, № 3. Article 34.
3. Burdea G., Coiffet P. *Virtual Reality Technology*. New Jersey : Wiley-IEEE Press, 2017. 464 p.
4. Lee L.-H., Braud T., Zhou P. et al. All One Needs to Know about Metaverse: A Complete Survey on Technological Singularity, Virtual Ecosystem, and Research Agenda. *IEEE Open Journal of the Computer Society*. 2022. Vol. 3. P. 1–66.
5. Бондаренко А. О., Лисенко Д. М. Використання VR-технологій у цифрових мультимедійних системах. *Сучасні інформаційні технології*. 2023. № 2. С. 44–51.
6. Кравченко О. В. Інтерактивні цифрові середовища у сучасній поліграфії. *Поліграфія і видавнича справа*. 2022. № 1. С. 58–64.
7. Kühne O., Edler D., Jenal C. A Multi-Perspective View on Immersive Virtual Environments (IVEs). *ISPRS International Journal of Geo-Information*. 2021. Vol. 10, № 8. Article 518.
8. Wilkinson M., Brantley S., Feng J. A Mini Review of Presence and Immersion in Virtual Reality. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2021. Vol. 65, № 1. P. 125–129.
9. Чінкує П., Чінкує К. Інтерактивне AI-середовище як засіб оптимізації навчання поліграфічних спеціальностей. *Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації – 2025* : матеріали конференції. Одеса, 2025. С. 409–410. URL: [https://ontu.edu.ua/download/konfi/2025/Abstracts\\_Computer\\_games\\_and\\_multimedia\\_innovative\\_approach\\_electronic\\_communication\\_2025.pdf](https://ontu.edu.ua/download/konfi/2025/Abstracts_Computer_games_and_multimedia_innovative_approach_electronic_communication_2025.pdf)

## CRITICAL PREDICTION HORIZON THRESHOLD IN DELAY-AWARE KUBERNETES AUTOSCALING

Proactive Kubernetes autoscalers predict future workload and add pods in advance to prevent Service Level Agreement (SLA) violations. Systems such as AHPA [1], DeepScaler [2], TempoScale [3], and others compute the required replica count as  $\lceil \widehat{w}/\mu \rceil$ , where  $\widehat{w}$  is the forecasted workload and  $\mu$  is the per-pod throughput. This computation implicitly assumes that new pods become available instantly after a scaling decision is made.

In practice, this assumption is false. Pod startup time in Kubernetes comprises scheduling, image pulling, init containers, application startup, and readiness probes, and varies from a few seconds to 30+ seconds [4, 5]. In polyglot microservice architectures, this heterogeneity creates a fundamental problem: a prediction horizon sufficient for a fast service may be entirely insufficient for a slow one. We demonstrate the existence of a critical threshold on the prediction horizon, below which proactive autoscaling completely loses its effectiveness.

Consider a service  $i$  in a Kubernetes cluster. Time is discrete with control interval  $\Delta t$ . At step  $t$ , the controller selects the number of new pods to launch:  $\Delta_i \in \{0, 1, \dots, \Delta_{max}\}$ . The effective capacity of the service at future step  $t + k$  is defined as:

$$C_i(t + k | \Delta_i) = \left[ n_i(t) + \Delta_i \cdot \mathbb{1}[k \geq \widehat{\delta}_i] \right] \cdot \mu_i \quad (1)$$

where:

- $n_i(t) \geq 1$  is the number of ready replicas of service  $i$  at step  $t$ ;
- $\Delta_i$  is the number of new pods being launched;
- $\widehat{\delta}_i$  is the estimated startup delay in steps ( $\widehat{\delta}_i = \lceil d_i/\Delta t \rceil$ , where  $d_i$  is the delay in seconds);
- $\mu_i > 0$  is the per-pod throughput (RPS/pod);
- $\mathbb{1}[\cdot]$  is the indicator function (equals 1 when the condition holds, 0 otherwise).

New pods contribute zero capacity for the first  $\widehat{\delta}_i$  steps and full capacity thereafter. This dead-time constraint is the defining feature of the problem. The controller minimizes an objective function that balances SLA violations and resource cost over a prediction horizon of  $H$  steps:

$$J_i(\Delta_i) = \sum_{k=1}^H \left[ \lambda_V \cdot \max(0, \widehat{w}_i(t + k) - C_i(t + k | \Delta_i)) + \lambda_R \cdot (n_i + \Delta_i) \cdot \mu_i \right] \quad (2)$$

where:

- $\widehat{w}_i(t + k)$  is the forecasted workload (RPS) at step  $t + k$ ;
- $\lambda_V > 0$  is the weight for penalizing demand exceeding capacity (SLA violations);
- $\lambda_R > 0$  is the weight for resource cost;
- $H$  is the prediction horizon in steps.

The first term measures the capacity deficit; the second measures total provisioned capacity as a proxy for resource cost. When  $H \leq \widehat{\delta}_i$ , the entire prediction horizon falls within the dead zone where new pods contribute no capacity. In this case, for any  $\Delta_i > 0$ :

- The violation term  $\max(0, \widehat{w}_i(t + k) - C_i(t + k | \Delta_i))$  does not decrease compared to  $\Delta_i = 0$ , since  $\mathbb{1}[k \geq \widehat{\delta}_i] = 0$  for all  $k \leq H$ , and the capacity  $C_i$  does not increase from adding pods;
- The cost term  $(n_i + \Delta_i) \cdot \mu_i$  increases with each additional pod.

Therefore,  $J_i(\Delta_i) > J_i(0)$  for all  $\Delta_i > 0$ , and the optimizer rationally chooses  $\Delta_i^* = 0$  — i.e., it does not scale at all. This is not a malfunction — it is mathematically correct behavior under the given constraints: scaling only adds cost without any reduction in violations.

A simulation was conducted with 5 microservices with startup delays  $\delta \in \{1, 2, 3, 4, 6\}$  steps (5–30 s at  $\Delta t = 5$  s), per-pod throughput of 50–100 RPS, under a sinusoidal workload (peak  $\approx 3x$  baseline). Optimizer parameters:  $\lambda_V = 100$ ,  $\lambda_R = 1$ ,  $\Delta_{max} = 3$ . The workload forecaster has access to the true future demand, isolating the effect of the optimizer's delay awareness from the effect of any specific forecasting model.

Table 1 – SLA violation rate (%) by startup delay  $\delta$  (steps) and prediction horizon  $H$  (steps)

$\delta$ (steps)	H=4	H=6	H=8	H=10	H=15	H=20
1	0.2	0.3	0.3	0.2	1.3	1.3
4	61.2	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
6	61.2	61.2	1.0	1.0	1.0	1.0
8	61.2	61.2	61.2	1.3	1.3	1.3

The results demonstrate three key observations:

- The threshold is sharp. When  $H \leq \delta$ , SLA violations reach 61%. When  $H = \delta + 1$ , violations drop to  $< 1\%$ . The transition is binary with no intermediate zone.
- The threshold is universal. It occurs for all values of  $\delta$  and does not depend on the specific workload pattern or  $\lambda_V/\lambda_R$  parameters (provided  $\lambda_V/\lambda_R \geq 10$ ).
- No prior autoscaler accounts for this constraint. The prediction horizon  $H$  is chosen based on workload periodicity or forecasting model architecture, without reference to the startup delay  $\delta$ .

Therefore, for each service  $i$ , the prediction horizon must satisfy:

$$H_i \geq \delta_i + H_{\text{benefit}} \quad (3)$$

where:

- $H_i$  is the prediction horizon for service  $i$  (in steps);
- $\delta_i$  is the startup delay of service  $i$  (in steps);
- $H_{\text{benefit}}$  is the minimum number of post-ready steps required for the benefit of additional pod capacity to justify the cost of launching them.

In practice,  $H_{\text{benefit}} \geq 2$  is sufficient when  $\lambda_V/\lambda_R \geq 10$ . Implementing rule (3) is straightforward: one estimates  $\delta_i$  for each service and ensures that the forecasting model produces predictions over the corresponding horizon.

The existence of a critical threshold  $H > \delta$  for proactive delay-aware autoscaling has been demonstrated. Below the threshold, the optimizer rationally refuses to scale, and SLA violations reach 61%. Above the threshold, they drop below 1%. The threshold is sharp, binary, and independent of the specific forecasting model. None of the existing proactive Kubernetes autoscalers account for this constraint, choosing the prediction horizon without reference to service startup time. A practical rule  $H_i \geq \delta_i + H_{\text{benefit}}$  is formulated that ensures correct optimizer operation.

#### REFERENCES:

1. Zhou, Z. et al. AHPA: Adaptive Horizontal Pod Autoscaling Systems on Alibaba Cloud Container Service for Kubernetes. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2023.
2. Meng, C. et al. DeepScaler: Holistic Autoscaling for Microservices Based on Spatiotemporal GNN with Adaptive Graph Learning. Proceedings of the 38th IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE). 2023.
3. Wen, L. et al. TempoScale: A Cloud Workloads Prediction Approach Integrating Short-Term and Long-Term Information. IEEE International Conference on Cloud Computing. 2024.
4. Medel, V. et al. Characterising Resource Management Performance in Kubernetes. 2024. arXiv:2401.17125.
5. Khan, S. Decomposing Docker Container Startup Performance: A Three-Tier Measurement Study on Heterogeneous Infrastructure. 2026. arXiv:2602.15214.

**СЕКЦІЯ**  
**«ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ**  
**ТА КЕРУЮЧІ СИСТЕМИ:**  
**МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ»**

## ФІЗИЧНО-ІНФОРМОВАНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ В ДОДАТКАХ ІДЕНТИФІКАЦІІ ПРОЦЕСІВ ОПАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ

На актуальний час опалення більшої частини громадських будівель здійснюється від мережі центрального тепlopостачання під керуванням автоматизованих тепlopунктів. Також зустрічаються схеми, що додатково застосовують для опалення будівель альтернативні джерела теплової енергії: електричні, газові та твердопаливні бойлери, теплові насоси, сонячні колектори. Опалення будівель – це енергоємний процес, керування яким є ускладненим і його оптимізація має значний економічний ефект [1, 2].

Використання математичного моделювання процесів теплопередачі є базовим інструментом для оптимізації енерговитрат у будівлях. Такі моделі забезпечують пошук екстремуму критеріїв оптимальності на основі динаміки теплообміну. Будівлі з системами опалення є складними об'єктами керування, характеризуються як нелінійні та нестационарні системи. Їх термічна реакція суттєво залежить від мінливих зовнішніх кліматичних факторів, що обмежує ефективність типових лінійних регуляторів.

В результаті критичного огляду результатів досліджень цього питання, можна зробити висновок, що роль обчислювальних моделей стає ключовою. Існує потреба в автоматизованих технологіях налаштування моделей, які здатні прогнозувати внутрішню температуру з похибкою не більше  $\pm 0,8$  °C на горизонті планування до 72 годин.

*Мета роботи.* Підвищення ефективності синтезу обчислювальної моделі процесу опалення будівель шляхом застосування технології штучних нейронних мереж.

*Матеріали дослідження.* Для відтворення процесів реального світу використовується технологія фізично-інформованих нейронних мереж (PINN). Концепція PINN полягає в тому, що на відміну від класичних нейромереж («чорних скриньок»), навчання PINN базується на гібридному підході: мінімізації відхилення від реальних даних та одночасному дотриманні фундаментальних фізичних законів. В роботі [3] використані нейронні мережі для відтворення еквівалентних теплових параметрів (наприклад, опір, теплоємність) житлової будівлі під час опалювального періоду з електричним нагріванням. Механізм навчання має особливість – у структуру функції втрат (loss function) інтегровані компоненти, що штрафують модель за порушення диференціальних рівнянь теплообміну. Зокрема, враховується баланс теплової енергії:

$$C \frac{dT_{in}}{dt} = Q - \frac{(T_{in} - T_{out})}{R} \quad (1)$$

де  $C$  – теплоємність,  $R$  – тепловий опір,  $Q$  – теплове навантаження,  $T_{in}$  та  $T_{out}$  – внутрішня та зовнішня температура.

Особливості архітектури:

- використовується повнозв'язна мережа прямого поширення (feed-forward).
- вхідні параметри: часова мітка, зовнішні метеоумови, потужність системи опалення.
- вихід: прогнозоване значення  $T_{pred}(t)$ .
- ідентифікація параметрів: Фізичні характеристики будівлі ( $\$R\$$  та  $\$C\$$ ) не є константами, а виступають як навчальні змінні, що уточнюються оптимізатором безпосередньо в процесі тренування мережі;

- мережа містить 4–8 прихованих шарів, 20–50 нейронів на шар, функція активація типу  $\tanh()$ ;
- загальна функція втрат:  $L=L_{data}+\lambda L_{physics}$  ;
- помилка щодо реальних даних:  $L_{data}=\|T_{pred}(t)-T_{meas}(t)\|^2$ .

Показано, що PINN в додатках моделювання опалення має такі основні переваги: не потребує великого масиву історичних даних, дозволяє точно оцінювати приховані параметри ( $R$  і  $C$ ), узгоджується з фізикою системи (розв’язання інтерпретоване, на відміну від “чорної скриньки” звичайних мереж), може працювати з реальними “шумними” вимірюваннями.

В результаті власних досліджень було з’ясовано, що достатню якість прогнозу зміни температури внутрішнього повітря будівлі  $T$  забезпечує імітаційна модель на основі передавальних функцій, яка має структуру, зображену на рис. 1.



Рисунок 1 – Схема обчислення динамічного процесу нагрівання та охолодження фізичного середовища будівлі

Подібні структури до рис. 1 [4] необхідно створити для внутрішнього повітря, огорожуваних конструкцій, несучих елементів. Після ідентифікації динамічних залежностей надходження і витрат теплової потужності до кожного середовища, стає можливим розрахувати зміну температур. Слід враховувати, що існує декілька нестационарних каналів тепловтрат, які теж слід апроксимувати складними залежностями.

В процесі досліджень була запропонована структура нейромережевої моделі (рис. 2), яка спрощує процес ідентифікації. Нейронна мережа фактично відтворює величину загальної потужності тепловтрат.

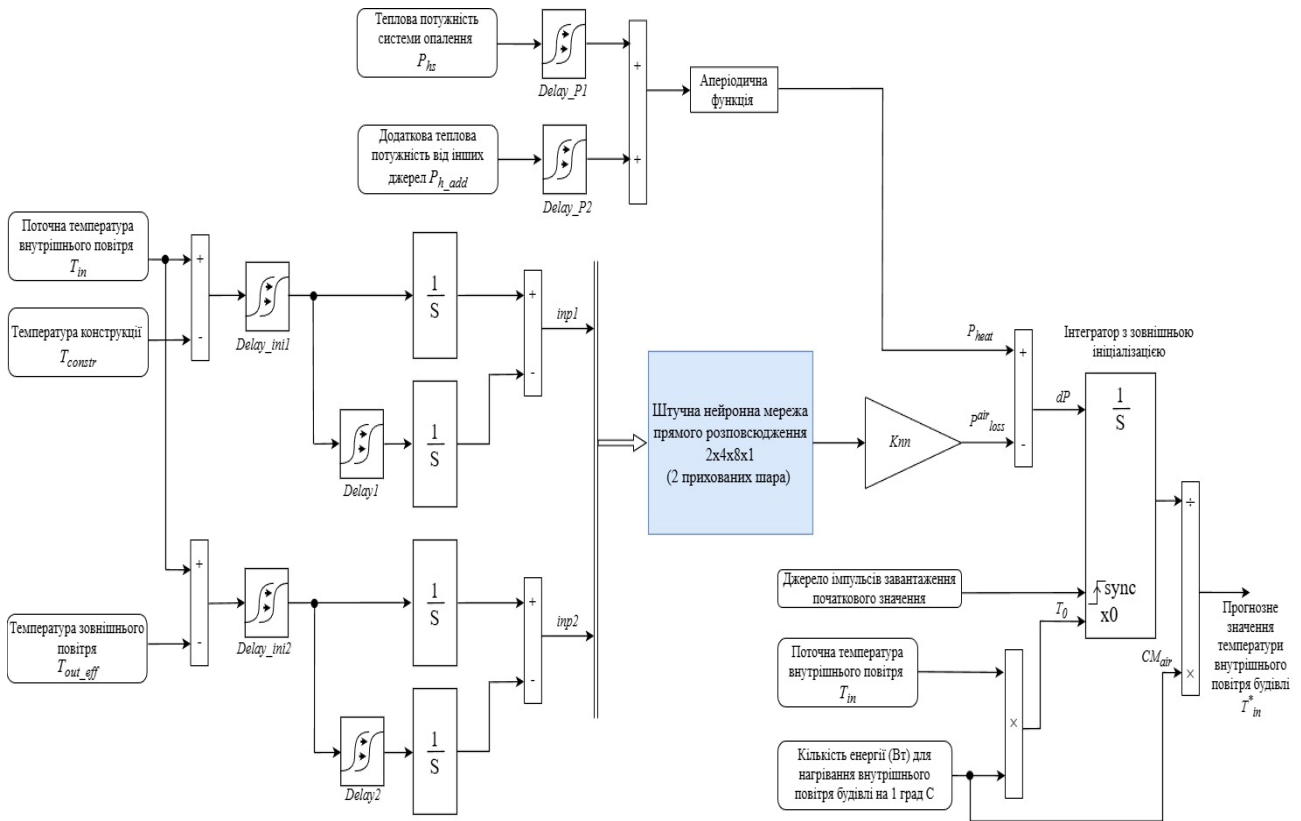


Рисунок 2 – Нейромережева модель процесу опалення будівлі з ідентифікацією потужності теплових втрат

Для отримання цільових даних для навчання PNN необхідно обробити експериментальні дані і визначити потужність теплових втрат для внутрішнього повітря ( $P_{loss}^{air}$ ) в кожну годину спостереження через зворотні перетворення:

$$P_{loss}^{air} = \frac{1}{K_{nn}} \left( \frac{(P_{heat} e^{-\tau_1 s} + P_{add} e^{-\tau_2 s})}{T_{const} s + 1} - \frac{d(T_{in} \cdot C M_{air})}{dt} \right) \quad (2)$$

де  $C M_{air}$  – коефіцієнт визначення кількості теплової енергії для зміни температури повітря в будівлі на 1 °C;  $\tau_1, \tau_2$  – час затримки в каналах надходження теплової енергії до внутрішнього повітря (блоки  $Delay\_P1, Delay\_P2$  на рис. 2);  $T_{const}$  – постійна часу нагрівання повітря будівлі.

Синтезована модель PNN демонструє достатню точність прогнозування на інтервалі в 5 годин.

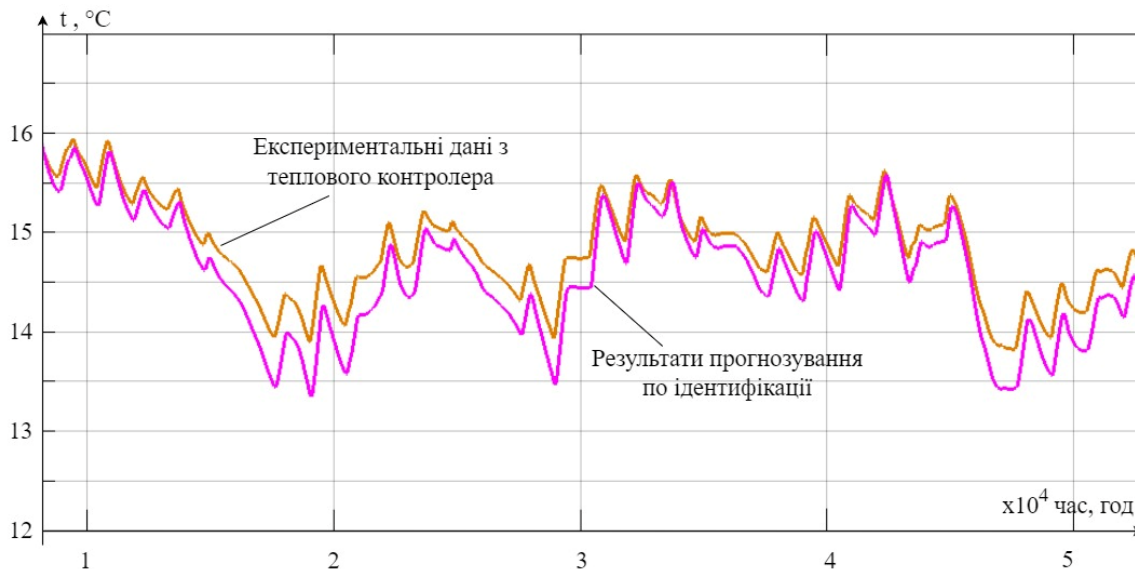


Рисунок 3 – Результати дослідження якості прогнозування зміни внутрішньої температури будівлі

*Висновки.* Обґрунтовано ефективність ідентифікації прихованих фізичних параметрів будівлі в процесі навчання мережі. Встановлено, що параметри теплового опору та теплоємності можуть бути визначені як внутрішні змінні оптимізатора. Це усуває необхідність проведення складних натурних теплотехнічних обстежень об'єкта, оскільки модель самостійно адаптується до реальних характеристик будівлі під час тренування.

Експериментально підтверджено працездатність запропонованої нейромережевої структури. Використання зворотних перетворень динамічного балансу (рівняння 2) дозволяє виділити цільову величину потужності втрат як навчальний сигнал. Запропонована схема (рис. 2) з блоками затримки та врахуванням інерційності забезпечує коректне відтворення перехідних процесів нагрівання та охолодження повітряного середовища.

Синтезована модель відповідає вимогам щодо точності та горизонту прогнозування. Отримані результати підтверджують можливість прогнозування температурного режиму будівлі на короткострокових інтервалах, що є базовою умовою для розробки систем оптимального керування автоматизованими тепловими пунктами в реальному часі.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Li X., Wen J. Review of building energy modeling for control and operation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 37. P. 517–537. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.056>
2. Deb C., Schlueter A. Review of data-driven building energy consumption prediction studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 81. P. 1192–1205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.095>
3. Liu, S., An, Q., Yuan, Z., & Lei, P. (2025). Physics-Informed Neural Networks for Parameter Identification of Equivalent Thermal Parameters in Residential Buildings During Winter Electric Heating. *Processes*, 13(9), 2860
4. Енергоефективність будівель. Метод розрахунку проектного теплового навантаження. Частина 1. Теплове навантаження на опалення приміщень, модуль М3-3 : ДСТУ EN 12831-1:2017 (EN 12831-1:2017, IDT). [Чинний від 2018-05-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. 164 с. (Національний стандарт України).

УДК 004.8:336.76

Д.Ю. Білий, О.М. Шушура

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"  
danil22344bel@gmail.com

## СИСТЕМА ТОРГІВЛІ Ф'ЮЧЕРСАМИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ НОВИН ІЗ TWITTER З ВИКОРИСТАННЯМ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ

У сучасних фінансових ринках швидкість поширення інформації відіграє критично важливу роль у формуванні короткострокових цінових рухів. Соціальна мережа Twitter (X) стала одним із ключових джерел новин у режимі реального часу, здатних миттєво впливати на ринкові настрої. Традиційні системи алгоритмічної торгівлі здебільшого орієнтовані на технічний аналіз і не повною мірою враховують семантичний зміст інформаційного потоку. Із стрімким розвитком великих мовних моделей (LLM) з'явилися нові можливості для глибокого автоматизованого аналізу текстових даних та їх використання у процесі прийняття торгових рішень. Тому розробка інтелектуальної системи торгівлі ф'ючерсами на основі аналізу новин із Twitter є актуальним науковим і прикладним завданням [1].

Сучасні дослідження у сфері алгоритмічної торгівлі демонструють зростаючий інтерес до використання альтернативних джерел даних, зокрема соціальних мереж. Існуючі підходи часто ґрунтуються на базовому аналізі настроїв, який не здатний повною мірою враховувати контекст і смислові нюанси новинних повідомлень. Досягнення у сфері великих мовних моделей продемонстрували високу ефективність у задачах розуміння природної мови, однак їх інтеграція в системи реального часу або високочастотної торгівлі залишається недостатньо дослідженою. Це створює наукову прогалину у поєднанні семантичного аналізу на основі LLM з автоматизованими торговими системами [1, 2].

Метою цієї роботи є розробка концептуального проекту системи алгоритмічної торгівлі ф'ючерсами на основі аналізу новин із Twitter із використанням великих мовних моделей. Для досягнення поставленої мети необхідно запропонувати архітектуру системи, визначити підходи до обробки текстових даних та описати механізм формування торгових сигналів.

Запропонована система має модульну та масштабовану архітектуру й включає такі основні компоненти: модуль збору даних із Twitter, модуль попередньої обробки тексту, модуль семантичного аналізу на основі LLM, модуль оцінювання ринкового впливу та модуль виконання торгових операцій із ф'ючерсними контрактами. Загальна архітектура запропонованої системи наведена на рис. 1. Модульний дизайн забезпечує можливість незалежного вдосконалення окремих компонентів і спрощує адаптацію системи до різних класів активів та ринкових умов [3, 4].

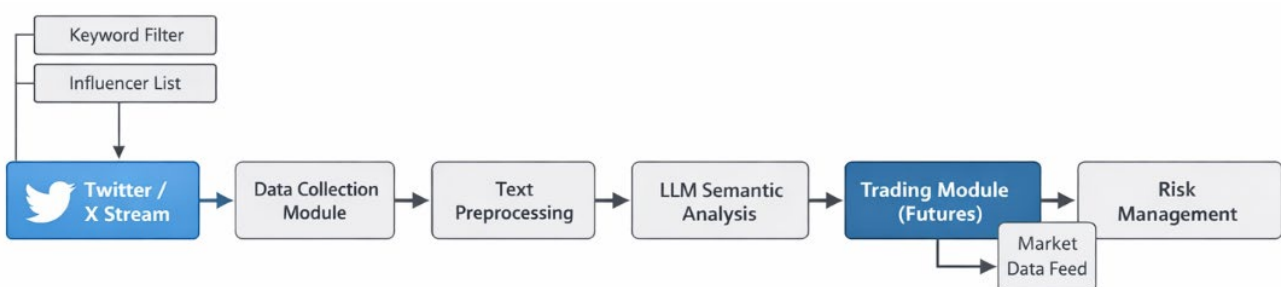


Рисунок 1 – Архітектура запропонованої системи торгівлі ф'ючерсами

Модуль збору даних безперервно відстежує релевантні повідомлення Twitter за допомогою фільтрів ключових слів, спеціально відібраних списків акаунтів і тематичних потоків. Етап попередньої обробки виконує очищення тексту, фільтрацію шуму, нормалізацію мови та розпізнавання іменованих сутностей. Цей крок є важливим для підвищення якості подальшого аналізу.

Велика мовна модель виступає центральним аналітичним компонентом системи. На відміну від традиційних класифікаторів настроїв, LLM здатна до контекстного розуміння змісту новин. Вона виконує класифікацію новин, оцінювання настроїв щодо конкретних активів та визначення сили інформаційного імпульсу. Результат роботи моделі перетворюється на структурований числовий сигнал, придатний для алгоритмічного прийняття рішень.

Крім того, використання *prompt engineering* та спеціалізованого донавчання на фінансових даних може додатково підвищити стійкість моделі під час обробки фінансових новин. Це робить запропонований підхід більш гнучким порівняно з традиційними системами аналізу настроїв, заснованими на правилах.

На основі оціненого сигналу торговий модуль формує дії для торгівлі ф'ючерсами. Позитивний інформаційний імпульс призводить до відкриття довгої позиції, тоді як негативний імпульс ініціює коротку позицію. Якщо впевненість моделі є низькою, система утримується від торгівлі. Окремий модуль управління ризиками контролює розмір позиції, кредитне плече та захисні ордери, такі як *stop-loss* і *take-profit*.

Запропонований підхід має низку потенційних переваг: швидка реакція на ринково значущі новини; глибше семантичне розуміння порівняно з базовими моделями аналізу настроїв; зменшення людської упередженості під час прийняття рішень; масштабованість для різних ринків і активів; а також адаптивність до змін інформаційного середовища.

Крім того, використання великих мовних моделей дозволяє системі виявляти складні контекстні зв'язки у потоках новин, що може покращити своєчасність і якість сформованих торгових сигналів порівняно з традиційними стратегіями, заснованими лише на аналізі настроїв.

Попри свій потенціал, система стикається з низкою викликів: можливі затримки або обмеження доступу до даних Twitter; наявність шуму, дезінформації чи ринкових маніпуляцій; ризик перенавчання моделі; транзакційні витрати на ф'ючерсних ринках; а також необхідність масштабного бек-тестування та валідації.

Крім того, обчислювальні витрати на використання великих мовних моделей у середовищах, близьких до реального часу, можуть стати практичним обмеженням. Тому важливими напрямками подальшої реалізації є оптимізація моделей та проектування ефективної інфраструктури.

*Висновки.* У роботі запропоновано концептуальну архітектуру інтелектуальної системи торгівлі ф'ючерсами на основі аналізу новин із Twitter із використанням великих мовних моделей. Запропонований підхід поєднує сучасні методи обробки природної мови з логікою автоматизованої торгівлі.

Подальші дослідження мають бути зосереджені на масштабному бек-тестуванні, калібруванні моделей, оцінюванні продуктивності в реальному часі та інтеграції додаткових мультимодальних джерел даних. Очікується, що подальший розвиток технологій LLM сприятиме підвищенню ефективності новинно-орієнтованих систем алгоритмічної торгівлі.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Bollen J., Mao H., Zeng X. Twitter mood predicts the stock market. *Journal of Computational Science*. 2011. Vol. 2, No. 1. P. 1–8.
2. Mittal A., Goel A. Stock prediction using Twitter sentiment analysis. *Stanford University Technical Report*. 2012.
3. Fischer T., Krauss C. Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions. *European Journal of Operational Research*. 2018. Vol. 270. No. 2. P. 654–669.
4. Yang X., Wu H., Huang J. FinBERT: A pretrained language model for financial communications. *Proceedings of the ACL Workshop on Financial Technology and NLP*. 2020.

## АНАЛІЗ МАРКЕТИНГОВИХ ТЕКСТОВИХ ДАНИХ ЗАСОБАМИ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ

Сучасні підприємства щоденно генерують колосальні обсяги інформації, проте понад 80% цих даних залишаються неструктурованими – це відгуки клієнтів, коментарі у соціальних мережах та повідомлення у месенджерах. Традиційні методи ручної обробки таких масивів є надзвичайно ресурсозатратними та суб'єктивними, що призводить до втрати оперативності при прийнятті рішень. Особливою проблемою є фрагментація даних між різними рекламними платформами та відсутність автоматизованого зв'язку між емоційним забарвленням відгуків і конкретними маркетинговими кампаніями. Наскрізна аналітика вимагає не просто підрахунку кількісних показників, а побудови повного циклу атрибуції, який би враховував якісні характеристики взаємодії користувача з брендом. Таким чином, розробка інтелектуальних систем на основі методів обробки природної мови (NLP) для автоматизованого аудиту маркетингових текстів є критично важливою для підвищення ефективності рекламних інвестицій та оптимізації ROI.

Розроблена система спрямована на автоматизацію збору даних, ідентифікацію тональності відгуків та розрахунок багатоканальної атрибуції, що дозволяє забезпечити розмовну аналітику природною мовою для нетехнічних користувачів. В основі роботи системи лежить гібридний NLP-підхід, який демонструє високу ефективність в умовах обмежених обчислювальних ресурсів. Для векторизації тексту використано міру TF-IDF, яка оцінює статистичну важливість слів у корпусі маркетингових відгуків. Математична модель класифікації базується на логістичній регресії, що моделює ймовірність належності відгуку до класів (позитивний, негативний, нейтральний) на основі вектора ознак.

У випадках недостатньої впевненості моделі застосовується резервний механізм на основі доменних регулярних виразів, що дозволяє точно ідентифікувати критичні бізнес-проблеми, такі як помилки трекінгу або низька якість лідів. Резервний механізм на основі доменних регулярних виразів виконує роль підстраховки для випадків, коли основна модель машинного навчання не може впевнено визначити категорію або емоційне забарвлення тексту. Цей інструмент дозволяє системі ефективно працювати в умовах дефіциту даних або при появі специфічних запитів, для яких статистичний алгоритм ще не має достатньо прикладів для навчання. Технічно він реалізований за допомогою стандартних програмних засобів обробки текстових шаблонів, що робить його легким і автономним компонентом системи. Основний принцип роботи цього механізму полягає у скануванні маркетингових відгуків на наявність заздалегідь визначених ключових слів та словосполучень, що вказують на конкретні бізнес-ситуації. Завдяки цьому система здатна безпомилково ідентифікувати важливі сигнали, наприклад, повідомлення про проблеми з технічним відстеженням рекламних параметрів або скарги на низьку ефективність продажів. Суттєвою перевагою є те, що цей модуль можна швидко оновлювати: розробник може додати нові правила реагування на актуальні маркетингові тренди, не витрачаючи час на тривале перенавчання всієї інтелектуальної моделі. У загальному процесі аналізу цей модуль вступає в дію тоді, коли впевненість основного алгоритму в правильності класифікації є недостатньою. Коли система застосовує цей резервний шлях, вона інформує про це користувача, вказуючи рівень вірогідності отриманого результату.

Архітектура системи реалізована на платформі Google Cloud Platform за принципом серверлес-обчислень (рис.1). Дані акумулюються у сховищі BigQuery, де за допомогою сервісу Dataform виконуються складні SQL-трансформації та розрахунок атрибуції. Особливістю реалізації є використання MCP-сервера, розгорнутого у Cloud Run, який виступає посередником між великою мовною моделлю (Claude) та базою даних. Це дозволяє

системі динамічно транслювати запити користувача у структурований SQL-код, забезпечуючи практично миттєве отримання аналітичних висновків.

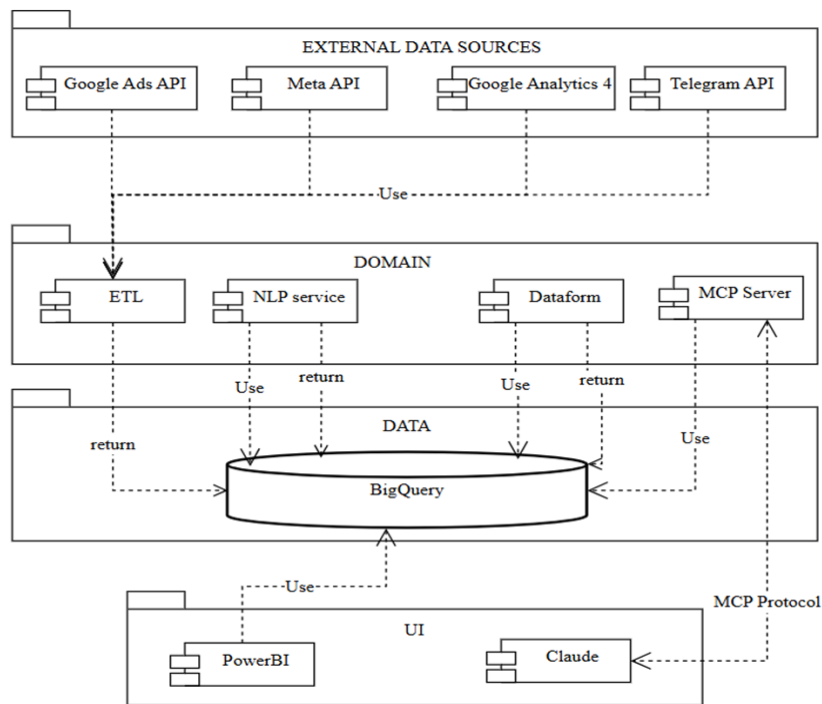


Рисунок 1 – Архітектура системи

Експериментальна перевірка системи на вибірці з маркетингових відгуків підтвердила її працездатність. Модель класифікації тональності досягла точності Accuracy=94%. Важливим бізнес-показником є відсутність помилково негативних спрацювань (FN=0), що гарантує повне виявлення критичних сигналів про проблеми в рекламних кампаніях. Час повного циклу обробки пакету даних склав лише 8,48 секунди, що значно перевищує встановлені вимоги до продуктивності. Інтеграція з Power BI забезпечила візуалізацію результатів у реальному часі, дозволяючи маркетологам порівнювати ефективність каналів за різними моделями атрибуції. Використання гібридного підходу дозволило досягти високої точності при мінімальних витратах на інфраструктуру, а впровадження AI-агента на базі MCP суттєво знизило поріг входу для нетехнічних спеціалістів. Система забезпечує повну автоматизацію рутинних операцій збору та обробки даних, що дозволяє скоротити час на прийняття управлінських рішень.

Перспективи подальшого розвитку проекту полягають у інтеграції контекстних мовних моделей для розпізнавання іронії та сарказму у відгуках, розширенні набору інструментів для роботи з додатковими платформами (TikTok, LinkedIn Ads) та впровадженні модулів прогнозування ефективності майбутніх рекламних кампаній.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Hartmann J., Netzer O. Natural language processing in marketing. Semantic Scholar. 2023. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/5603eafa5e244d601aa2f794850d460084298391>.
2. Anthropic. What is the Model Context Protocol (MCP)? 2024. URL: <https://modelcontextprotocol.io/>.
3. Aditiawan F. Logistic Regression Classification with TF-IDF and FastText for Sentiment Analysis of LinkedIn Reviews. ResearchGate. 2024. URL: <https://www.researchgate.net/publication/383378392>.
4. Brown I. Mastering Marketing Data Science. Wiley, 2024. 320 p.
5. Silver D. et al. Mastering Chess and Shogi by Self-Play with a General Reinforcement Learning Algorithm. Science. 2018. Vol. 362. P. 1140–1144.
6. Martin R. C. Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design. Prentice Hall, 2017. 432 p.

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОШИРЕННЯ НОВИН У TELEGRAM-КАНАЛАХ

Глобальний медіапростір зазнає фундаментальних змін під впливом цифрової трансформації та переходу до нових моделей споживання контенту через соціальні платформи. В українському сегменті мережі особливу роль відіграє месенджер Telegram, який став домінуючим каналом для швидкого отримання та поширення новин завдяки простоті ретрансляції та великій аудиторії. Проте така динамічність створює серйозні виклики для аналітиків, оскільки новини часто перефразовуються, скорочуються або модифікуються, що ускладнює відстеження першоджерел за допомогою традиційних методів.

Ситуація загострюється в умовах гібридних конфліктів, коли Telegram-канали використовуються для реалізації інформаційно-психологічних операцій без декларування внутрішніх зв'язків між джерелами. Ручний моніторинг таких масивів даних є надзвичайно трудомістким, суб'єктивним і практично не піддається масштабуванню. Це зумовлює гостру потребу в розробці інтелектуальних систем, здатних автоматизовано реконструювати приховані інформаційні ланцюжки, ідентифікувати ролі окремих медіа-ресурсів та візуалізувати маршрути розповсюдження новинних сюжетів.

Представлений в роботі проєкт має на меті для автоматизоване виявлення та візуалізацію ланцюгів поширення новин у Telegram-каналах і спрямований на інтеграцію методів семантичного аналізу текстів, графового моделювання та мережевої аналітики для забезпечення об'єктивного моніторингу цифрового медіапростору. Кінцевий результат має забезпечувати аналітиків інструментарієм для визначення першоджерел, ретрансляторів та вузлових точок впливу в інформаційних мережах.

Для досягнення поставленої мети було визначено наступні завдання:

- системний аналіз предметної області та формалізація бізнес-процесів виявлення інформаційних зв'язків у Telegram-медіапросторі;
- дослідження та вибір методів семантичного подання текстових даних, кластеризації повідомлень та графової аналітики;
- розробка математичної постановки задачі, що включає правила нормалізації текстів, умови встановлення семантичних зв'язків та метрики оцінки ланцюжків;
- проектування архітектури системи та інфологічної моделі бази даних для збереження результатів багатовимірної аналізу;
- програмна реалізація модулів збору даних, NLP-обробки, виявлення сюжетів та інтерактивної візуалізації результатів;
- валідація розробленої системи через проведення контрольних запусків та аналіз точності виявлених семантичних ланцюжків.

Програмна реалізація системи базується на модульному Python-пайплайні, що охоплює повний цикл обробки даних – від збору сирих повідомлень до генерації аналітичних звітів (рис.1). На першому етапі за допомогою бібліотеки Telethon здійснюється автоматизований збір публікацій із заданих Telegram-каналів у межах визначеного часового вікна. Отримані дані піддаються глибокій очистці від технічного шуму, URL-посилань та емодзі, що готує їх до семантичного зіставлення. Ядром інтелектуальної обробки є використання моделі SentenceTransformer (зокрема paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2), яка трансформує тексти у 384-вимірні вектори (ембеддинги). Це дозволяє системі порівнювати повідомлення на рівні змісту, а не лише за лексичними збігами. Для встановлення зв'язків між повідомленнями застосовується поєднання косинусної схожості та часових обмежень: зв'язок фіксується лише тоді, коли схожість перевищує заданий поріг (наприклад, 0.8), а часовий розрив не виходить за межі допустимого інтервалу.

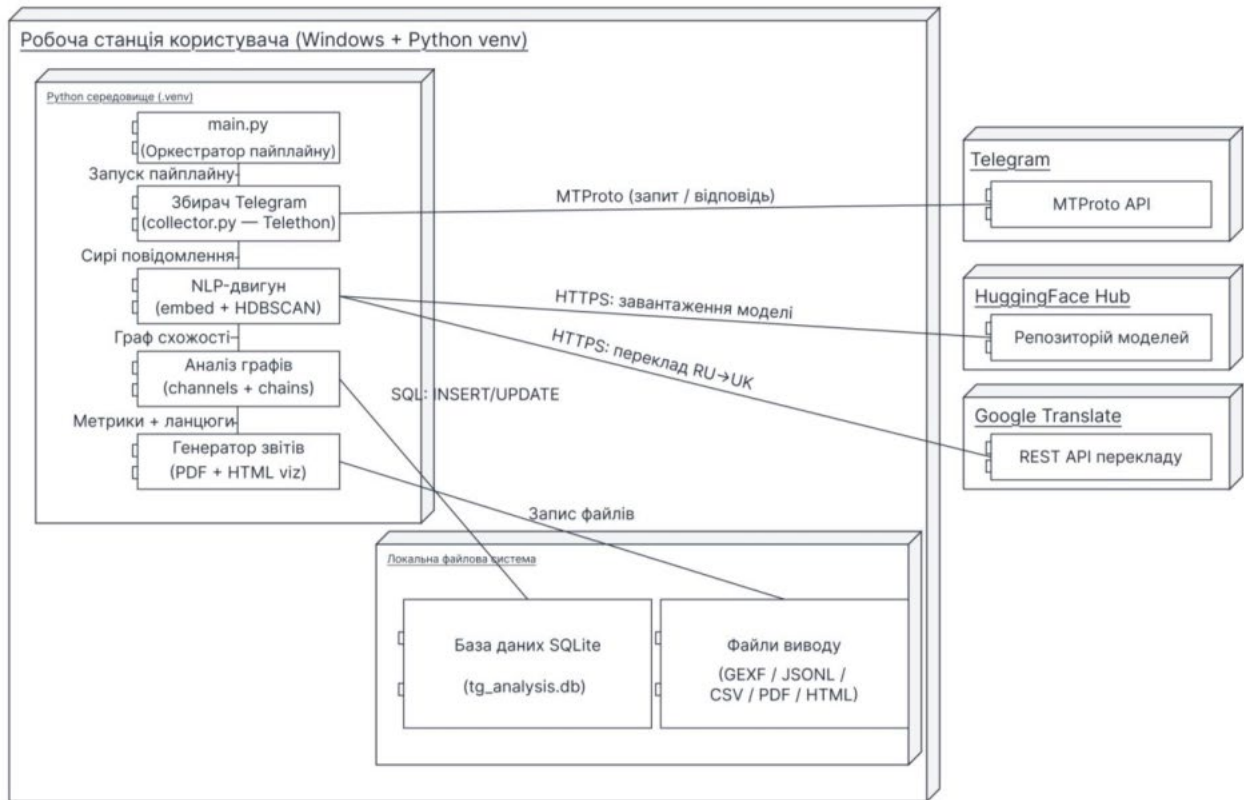


Рисунок 1 –Пайплайн системи

Для виділення тематичних сюжетів у новинному потоці впроваджено алгоритм HDBSCAN, який ефективно працює з даними нерівномірної щільності та дозволяє відокремлювати шумовий контент від стійких інформаційних хвиль. У результаті кластеризації формуються групи повідомлень, що описують одну подію, кожна з яких отримує набір ключових слів для автоматичного найменування сюжету.

Значний акцент в роботі зроблено на візуалізації та мережевій аналітиці. Побудований граф повідомлень агрегується до рівня графа каналів, що дозволяє досліджувати структуру взаємодії медіа-ресурсів (рис.2).



Рисунок 2 – Результати візуалізації графу поширення новин

Додатково система надає можливість експертної перевірки семантично близьких повідомлень (рис.3).

Експертна перевірка вибірки пар семантично близьких повідомлень							
Сесія №12 - Стратифікована вибірка з файлу деталей ребер - Поріг схожості ≥ 0,80							
Переглянуто пар: 12 <b>Коректних: 9</b> <b>Сумнівних: 3</b> <b>Хибних: 0</b>							
№	Бакет	Схож.	Джерело — repost	Фрагмент тексту джерела	Фрагмент тексту репосту	Вердикт	Коментар експерта
1	Б3	0.964	@insiderUKR + @uanova	Новые выплаты и контракты для военных. Военным начали рассылать проект новых контрактов, — нардепы. Что предлагают: • базовая вы...	Нові контракти для військових підвищення виплат та відстрочка мобілізації ЗСУ пропонують нові умови контрактів, зокрема: ↑ базове...	КОРЕКТНО	Та сама подія - нові виплати/контракти для військових; українська переформулювання збігається повністю.
2	Б2	0.890	@publicreservestugna + @uanova	«Не буде масованої ракетної атаки по Києву, адже ударів по Червоній площі 9 травня не було», — заявив радник путіна Ушаков Під...	Ушаков: "Відповідного ракетного удару по Києву не буде" Помічник путіна Ушаков заявив, що не було ударів по Красній площі, тому в...	КОРЕКТНО	Та сама заява Ушакова, переказ із збереженням ключових тез.
3	Б2	0.889	@JaeOnIii + @times_ukraine	Повяа Білєцького у КІЛЛХАУС У фільмі бригадний генерал, командир Третього армійського корпусу грає самого себе — командує підрозд...	Андрій Білєцький — у кадри фільму «Кіллхаус» Бригадний генерал з'явився у кількох сценах і зіграв самого себе — командира Тр...	КОРЕКТНО	Повяа А. Білєцького у фільмі КІЛЛХАУС - подія, акценти, факти збігаються.
4	Б2	0.883	@publicreservestugna + @uanova	Військовим, навіть рядовим, готують нові контракти з виплатами від 30 тис. грн на місяць і 250 тис. грн за полоненого, — нарде...	Нові контракти для військових підвищення виплат та відстрочка мобілізації ЗСУ пропонують нові умови контрактів, зокрема: ↑ базове...	КОРЕКТНО	Та сама заява Ушакова, переказ із збереженням ключових тез.
5	Б2	0.860	@insiderUKR + @uanova	Ответного ракетного удара по Киеву	Ушаков: "Відповідного ракетного удару	КОРЕКТНО	Та сама подія - нові виплати/контракти для

Рисунок 3 – Фрагмент таблиці з результатами експертної перевірки повідомлень

Для оцінювання ролі кожного каналу система розраховує комплекс метрик: Source Score: авторський показник, що визначає ступінь «джерельності» каналу на основі співвідношення вихідних та вхідних зв'язків; PageRank та HITS: для оцінки структурної ваги, авторитетності та ролі вузлів як інформаційних хабів; Louvain Community Detection: для виявлення закритих спільнот каналів, що мають схожі патерни ретрансляції. Інтерфейс системи реалізовано у вигляді інтерактивної HTML-візуалізації, де користувач може динамічно взаємодіяти з графом, переглядати статистику окремих каналів та деталізувати кожен крок у ланцюжку поширення новини.

Кожен зв'язок супроводжується «пояснюваністю»: аналітик може бачити конкретні пари подібних повідомлень із зазначенням семантичної дистанції та часової затримки. Під час тестування система успішно ідентифікувала складні ланцюжки з 5-6 переходів між каналами, що відбувалися протягом лічених хвилин, підтверджуючи високу швидкість розповсюдження контенту в сучасному медіасередовищі.

Практичне значення розробки полягає у можливості її застосування OSINT-фахівцями, журналістами та аналітиками інформаційної безпеки для відстеження координації публікацій та виявлення вузлів впливу. Перспективи подальшого розвитку проєкту пов'язані з переходом до архітектури вебзастосунку, впровадженням інкрементального оновлення даних та розширенням аналізу на інші соціальні платформи.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Reimers N., Gurevych I. Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks. EMNLP-ICNLP. 2019. P. 3982–3992.
2. McInnes L., Healy J., Astels S. hdbSCAN: Hierarchical density based clustering. *Journal of Open Source Software*. 2017. Vol. 2, № 11. P. 205.
3. Brin S., Page L. The Anatomy of a Large-Scale Hypertextual Web Search Engine. *Computer Networks*. 1998. Vol. 30. P. 107–117.
4. Kleinberg J. M. Authoritative Sources in a Hyperlinked Environment. *Journal of the ACM*. 1999. Vol. 46, № 5. P. 604–632.
5. Shannon C. E. Programming a Computer for Playing Chess. *Philosophical Magazine*. 1950. Vol. 41, No. 314. P. 256–275.
6. Sentence Transformers. paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2. Hugging Face. URL: <https://huggingface.co/sentence-transformers/>.

## АВТОМАТИЗАЦІЯ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ НА ПІДПРИЄМСТВІ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Системи водопостачання належать до об'єктів критичної інфраструктури, безперерйне функціонування яких є невід'ємною умовою забезпечення потреб населення та сталого розвитку суспільства. В умовах повномасштабного збройного вторгнення Росії в Україну підприємства водопостачання стикаються з безпрецедентними викликами: руйнуванням інфраструктури внаслідок ракетних обстрілів, системними перебоями в електропостачанні, дефіцитом кваліфікованого персоналу та необхідністю підтримання роботи об'єктів в умовах підвищеного ризику [1]. За оцінками фахівців, значна частина водопровідних мереж, насосних станцій і очисних споруд на постраждалих територіях отримала пошкодження різного ступеня тяжкості, що вимагає системного підходу до підвищення стійкості галузі.

Насосні станції є ключовими елементами систем водопостачання, що забезпечують транспортування та подачу води під необхідним тиском до споживачів. При цьому насосне обладнання належить до найбільш енергоємних споживачів комунального господарства – за різними оцінками, на частку насосів і вентиляторів припадає до 60 % електроенергії, що споживається приводами у промисловості та житлово-комунальному господарстві [2]. В умовах дефіциту та зростаючої вартості електроенергії питання енергоефективного керування насосними агрегатами набуває особливої актуальності.

Важливим аспектом підвищення стійкості систем водопостачання є забезпечення можливості дистанційного моніторингу та керування насосними станціями. Впровадження сучасних систем телеметрії і дистанційного керування дозволяє мінімізувати необхідність постійної присутності персоналу на потенційно небезпечних або важкодоступних об'єктах, забезпечити оперативне реагування на позаштатні ситуації, підвищити живучість системи завдяки можливості керування з резервних диспетчерських пунктів [3]. Технології промислового інтернету речей (IIoT) відкривають нові можливості для інтеграції насосних станцій у єдину SCADA-систему, що суттєво підвищує ефективність і надійність експлуатації [4].

Таким чином, автоматизація насосних станцій водопостачання з урахуванням сучасних тенденцій у сфері промислової автоматизації, енергоефективності та захищених комунікаційних технологій є вкрай актуальною задачею, вирішення якої матиме значний практичний ефект для підвищення якості послуг водопостачання, живучості системи та зниження операційних витрат.

*Метою даної роботи є* розроблення системи автоматизованого моніторингу та керування насосною станцією підприємства водопостачання, яка забезпечує підтримання заданого тиску в розподільній мережі, енергоефективне регулювання частоти обертання насосних агрегатів та можливість дистанційного контролю й керування через сучасні засоби промислового зв'язку.

*Основний матеріал.* Регулювання режимів роботи насосних установок є ключовим завданням автоматичної системи керування водопостачанням. Для насосних установок відцентрового типу застосовуються такі основні способи регулювання подачі та тиску [5]:

1. Дроселювання трубопроводу є найпростішим у реалізації методом, однак характеризується суттєвими втратами енергії: додатковий гідравлічний опір регулюючого органу перетворюється на теплові втрати. Це зумовлює низьку енергетичну ефективність даного підходу при глибокому регулюванні подачі. Крім того, зростання тиску на виході насоса при закритті засувки призводить до скорочення ресурсу ущільнень і запірних пристроїв, а також до збільшення витоків рідини.

2. Ступінчасте регулювання шляхом увімкнення або вимкнення насосних агрегатів характеризується простотою керування, проте не дозволяє забезпечити неперервну і якісну підтримку тиску при зміні водоспоживання та призводить до частих пусків двигунів, що скорочує ресурс обладнання і вимагає наявності акумулюючих резервуарів для згладжування коливань подачі.

3. Найбільш перспективним та енергоефективним є метод регулювання шляхом зміни частоти обертання робочого колеса насоса. Відповідно до законів подоби для відцентрових насосів, подача змінюється пропорційно частоті обертання, напір – пропорційно квадрату, а потужність – пропорційно кубу частоти обертання [5]. Це означає, що навіть незначне зниження частоти обертання дає суттєве зниження споживаної потужності. За різними даними, застосування регульованого електропривода на насосних установках забезпечує економію електроенергії на рівні 25–60 % залежно від режиму водоспоживання [2].

Реалізація частотного регулювання здійснюється за схемою «перетворювач частоти – асинхронний двигун» (ПЧ–АД). Сучасні транзисторні перетворювачі частоти на IGBT-транзисторах із ШІМ-модуляцією та мікропроцесорними системами керування забезпечують: плавний пуск без гідравлічних ударів; широкий діапазон регулювання швидкості; вбудований ПІД-регулятор тиску/напору із змінними параметрами; розвинену систему захистів (від коротких замикань, перевантажень за струмом, перегріву, зникнення і перекосу фаз) і самодіагностику.

Структурна схема автоматизованої насосної станції (рис. 1) відображає основні функціональні підсистеми, взаємодія яких забезпечує повний цикл керування технологічним процесом водопостачання.

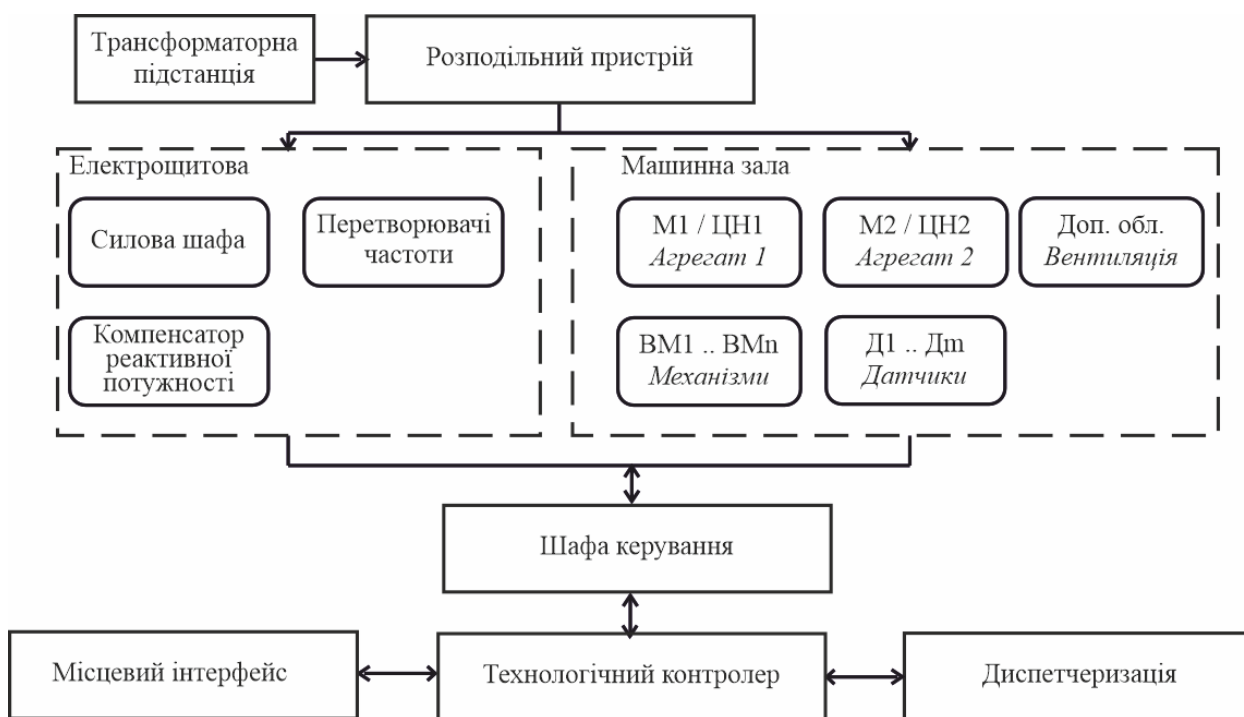


Рисунок 1 – Структурна схема автоматизованої насосної станції

Система включає такі ключові компоненти: розподільний пристрій (РП), що забезпечує електропостачання всього обладнання станції від трансформаторної підстанції; силові шафи керування (СШК) з перетворювачами частоти (ПЧ), що реалізують регульований електропривод насосних агрегатів; насосні агрегати (ЦН1, ЦН2) з електроприводами (М1, М2) – основне технологічне обладнання; датчики технологічних параметрів (тиску, витрати, рівня); технологічний контролер (ТК), що реалізує алгоритм керування та обмінюється даними

з АСУ ТП; шафу керування (ШК) із SCADA-інтерфейсом – для диспетчерського моніторингу і дистанційного керування.

В основу алгоритму керування покладено одноконтурну систему стабілізації тиску з ПІД-регулятором. Задане значення тиску порівнюється з поточним, отриманим від датчика (уніфікований струмовий сигнал 4–20 мА), і відхилення подається на вхід регулятора. Вихідний сигнал ПІД-регулятора задає частоту живлення електродвигуна насоса через перетворювач частоти, змінюючи таким чином частоту обертання і, відповідно, подачу та напір насосного агрегату. Синтез регулятора здійснюється методом послідовної корекції з налаштуванням на модульний оптимум, що забезпечує нульову статичну похибку та нормоване перерегулювання.

Система передбачає кілька рівнів керування: автоматичний (за технологічними параметрами), дистанційний (з диспетчерського пункту через захищений канал зв'язку GSM/Ethernet) та місцевий (для обслуговування і налагодження). Реалізація дистанційного моніторингу на базі SCADA забезпечує цілодобовий контроль стану обладнання, реєстрацію подій та оперативне реагування на аварійні ситуації без постійної присутності персоналу на об'єкті [4].

Дослідження динамічних режимів системи керування виконане шляхом математичного моделювання у середовищі MATLAB/Simulink. Результати моделювання підтверджують, що система забезпечує задані показники якості [6]: статична похибка в усталених режимах дорівнює нулю, перерегулювання при пуску не перевищує 5 %, час відновлення тиску при збільшенні навантаження – не більше 2 с.

*Висновки та перспективи розвитку.* В умовах воєнного стану автоматизація насосних станцій водопостачання є пріоритетним напрямом підвищення стійкості критичної інфраструктури, оскільки дозволяє забезпечити безперебійну подачу води при мінімальній залежності від постійної присутності персоналу на об'єкті.

Аналіз методів регулювання насосних агрегатів показав, що найбільш енергоефективним є частотне регулювання за схемою ПЧ–АД, яке забезпечує економію електроенергії 25–60 %, відсутність гідравлічних ударів та плавний пуск обладнання, що суттєво продовжує ресурс насосно-силового обладнання і трубопроводів.

Розроблена структура автоматизованої системи на базі регульованого електропривода, ПІД-регулятора тиску та SCADA-інтерфейсу з підтримкою дистанційного моніторингу відповідає сучасним вимогам до надійності, енергоефективності та захищеності об'єктів водопостачання.

Результати математичного моделювання підтверджують відповідність синтезованої системи стабілізації тиску заданим технічним вимогам за якістю перехідних процесів і точністю регулювання.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Повоєнне відновлення економіки України: проблеми та напрямки вирішення : кол. моногр. / за ред. В. Є. Хаустової. Харків : ФОП Лібуркіна Л. М., 2023. 240 с.
2. Saidur R., Mekhilef S., Ali M.B., Safari A., Mohammed H.A. Applications of variable speed drive (VSD) in electrical motors energy savings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012. Vol. 16, No. 1. P. 543–550. DOI: 10.1016/j.rser.2011.08.020.
3. Zhong D., Xia Z., Zhu Y., Duan J. Overview of predictive maintenance based on digital twin technology. *Heliyon*. 2023. Vol. 9, No. 4. e14534. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14534.
4. Gonçalves F., Belo O., Mendes J. Towards an IIoT-Based Architecture for Remote Monitoring and Control of Water Pumping Stations. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 52496–52509. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3175001.
5. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: підручник. 2-ге вид., випр. Київ: Либідь, 2007. 656 с.
6. Коренькова Т.В., Михайличенко Д.А. Дослідження системи ПЧ–АД–Насос–Гідромережа. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. 2023. Вип. 2(19). С. 377–383.

УДК 004.942:628.16:66.067.3

Є.Г. Костенко, О.В. Сангінова, С.Г. Бондаренко, Н.М. Толстопалова

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
sanginova.olga@edu.kpi.ua

## ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ АДСОРБЦІЙНИХ УСТАНОВОК У СКЛАДІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ВОДООЧИЩЕННЯ

Постійне зростання обсягів споживання води промисловістю та сільським господарством при обмеженій кількості водних ресурсів, посилення екологічних вимог і законодавства у водній галузі потребують постійного удосконалення методів і технологічних схем водоочищення, а також оптимізації технологічних процесів. Програмні системи підтримки прийняття рішень є потужним інструментом для обґрунтування вибору методів і технологічних схем під час реконструкції або модернізації існуючих очисних споруд, а також при попередній оцінці проєктних рішень для нових станцій водоочищення.

Розроблення математичних моделей і алгоритмів для інтерактивної системи прийняття рішень в галузі водоочищення виконується авторами в рамках НДР 0124U001966 «Удосконалення технологій водоочищення промислових виробництв із застосуванням штучних нейромереж». У попередніх роботах опубліковано результати оціночних розрахунків технологічних схем очищення стічних вод [1], а також розглянуто особливості застосування штучних нейромереж у технологіях водоочищення [2]. У роботі представлені результати з розробки програмного модуля для розрахунку адсорбційної установки.

Мета роботи – розробка програмного модуля для моделювання й оптимізації процесів адсорбційного очищення води, призначеного для використання у складі інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень при проєктуванні, реконструкції та модернізації очисних споруд.

Алгоритм розрахунку реалізовано відповідно до [3]:

1. Розрахувати витрату сорбенту  $G_{\text{сорб}}$ , кг/год, якщо очищення води здійснюється в один ступінь:

$$G_{\text{сорб}} = Q \cdot D_{\text{сорб}}, \quad (1)$$

де  $Q$  – потужність відділення адсорбційного очищення води, м<sup>3</sup>/год;  $D_{\text{сорб}}$  – доза сорбенту, кг/м<sup>3</sup>.

2. Розрахувати концентрацію сорбату в очищеній воді  $C_{\text{зал}}^1$ , мг/дм<sup>3</sup>, після першого ступеня очищення:

$$C_{\text{зал}}^1 = \frac{Q}{Q + K_{\text{адс}} \cdot G_{\text{сорб}}} C_{\text{поч}}, \quad (2)$$

де  $K_{\text{адс}}$  – константа адсорбційного розподілення сорбату між сорбентом і розчином, кг/кг;  $C_{\text{поч}}$  – початкова концентрація сорбату у вихідній воді, мг/дм<sup>3</sup>;

3. Розрахувати витрату сорбенту  $G_n$ , кг/год, якщо очищення здійснюється у декілька ступенів ( $n$ ):

$$G_n = \frac{G_{\text{сорб}}}{n}, \quad (3)$$

4. Розрахувати залишкову концентрацію сорбату  $C_{\text{зал}}^n$ , мг/дм<sup>3</sup>, після  $n$ -ступеневого очищення:

$$C_{\text{зал}}^n = \frac{Q}{Q + K_{\text{адс}} \cdot G_{\text{сорб}}} C_{\text{поч}}^{n-1}, \quad (4)$$

де  $C_{\text{поч}}^{n-1}$  – концентрація сорбату в очищеній воді після попередньої ступені очищення.

5. Розрахувати ступінь очищення води  $X$ , %:

$$X = \frac{C_{\text{поч}} - C_{\text{зал}}^n}{C_{\text{поч}}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Наведений алгоритм покладений в основу програмного модуля, розробленого у MS Excel у середовищі Visual Basic на мові програмування Visual Basic for Application. Після запуску програми перед користувачем відкривається вікно форми, куди слід ввести дані, що необхідні для виконання розрахунку (рис. 1а). Вихідні дані підготовлено за результатами експериментальних досліджень, виконаних у рамках НДР 0124U002058 «Вилучення поллютантів різної природи з багато компонентних водних розчинів методами адсорбції та флоатації».

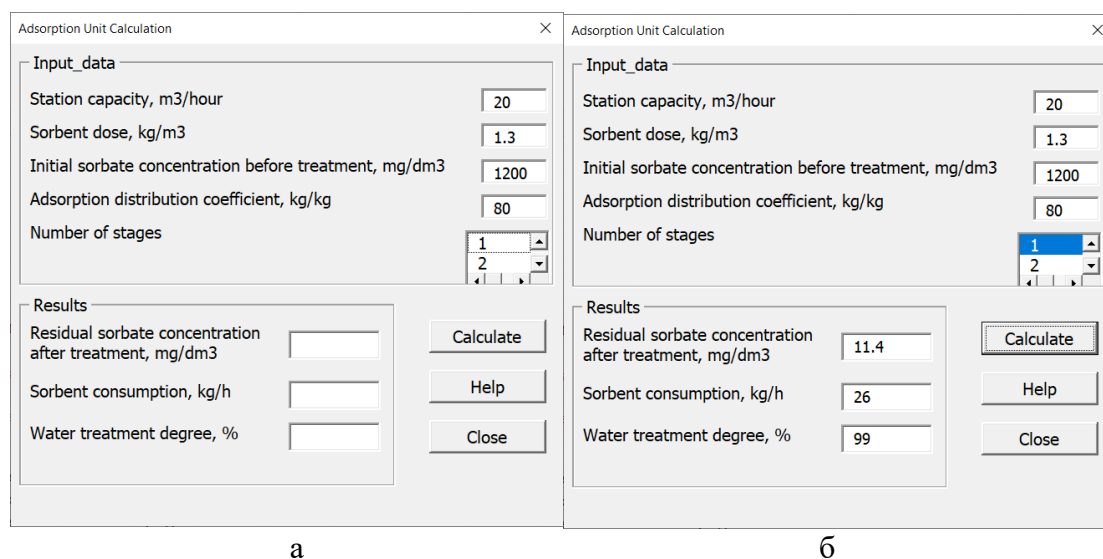


Рисунок 1 – Вікно розрахунку адсорбційної установки: а – вихідні дані; б – результати

Запуск програми на виконання здійснюється кнопкою Calculate. Після виконання всіх розрахунків результати виводяться у вікно тієї ж форми в область Results (рис. 1б). Для допомоги при роботі з програмою передбачена довідка, яка викликається натисканням на кнопку Help.

Розроблений програмний модуль дозволить скоротити час технологічних розрахунків та дозволить робити швидкий аналіз впливу вихідних даних на результати процесу адсорбційного очищення води.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Tolstopalova N., Sanginova O., Bondarenko S., Obushenko T., Hrushevskiy O. Calculation of technological equipment for water treatment systems. *Матеріали X Всеукраїнської науково-методичної конференції: освіта, наука та виробництво: розвиток та перспективи*, м. Шостка, 24 квітня 2025 року. Суми : Сумський державний університет, 2025. С. 131-132.
2. Sanginova O.V., Shakhnovsky A.M., Bondarenko S.G., Kostenko E.G. Some aspects of the application of artificial neural networks in water treatment technologies. *Матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти присвяченої Дню науки: сучасна молодь в світі інформаційних технологій* м. Херсон-Кропивницький, 2025. С. 124–127.
3. Толстопалова, Н. М., Обушенко Т. І., Сангінова О. В. Теоретичні основи хімії та технології водопідготовки: підруч. для здобувачів ступеня бакалавра за спец. 161 Хімічні технології та інженерія. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 4,8 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 256 с.

## БЕНЧМАРКІНГ ЯК ІНСТРУМЕНТ РОЗВИТКУ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

У сучасних умовах господарювання підприємства функціонують у середовищі постійної конкуренції, швидких технологічних змін та високої динаміки споживчого попиту. За таких обставин здатність компанії оперативного адаптуватися до ринкових змін і впроваджувати ефективні управлінські рішення стає одним із ключових чинників забезпечення її стабільного розвитку та довгострокової конкурентоспроможності. Саме тому все більшої актуальності набувають сучасні інструменти стратегічного аналізу, серед яких особливе місце займає бенчмаркінг.

Бенчмаркінг слід розглядати як усвідомлену, системну практику вивчення та інтеграції еталонного досвіду провідних гравців ринку. Його концептуальна суть далека від примітивного копіювання чужих напрацювань. Навпаки, це глибока інтелектуальна робота з деконструкції факторів успіху лідерів і подальша творча адаптація цих знань до унікального контексту власної організації [1]. У сучасному менеджменті цей підхід визнано одним із найпотужніших важелів для оптимізації бізнес-процесів та кристалізації конкурентних переваг.

Доцільність бенчмаркінгу зумовлена обмеженістю класичних методів управління, які часто виявляються занадто інертними для турбулентних ринків. Організації, замкнені у власному внутрішньому просторі, ризикують опинитися в стані стратегічної сліпоти, втрачаючи актуальні галузеві орієнтири. Бенчмаркінг, натомість, стає «зовнішнім дзеркалом», що дозволяє об'єктивно оцінити власну ефективність на тлі досягнень лідерів і чітко розставити пріоритети для вдосконалення.

Фундаментальною метою бенчмаркінгового процесу є діагностика «вузьких місць» в архітектурі підприємства та розробка сценаріїв їх усунення. Завдяки такому аналізу компанія отримує реальний шанс не лише збалансувати витрати чи покращити якісні характеристики продукту, а й вибудувати якісно нову модель комунікації з клієнтом. Важливо, що бенчмаркінг масштабує мислення керівництва: фокус уваги зміщується з гасіння поточних «пожеж» на превентивне відстеження глобальних трендів [2].

Механіка впровадження бенчмаркінгу охоплює кілька послідовних етапів. Усе починається з ідентифікації проблемної зони, яка потребує модернізації. Наступним кроком стає пошук «партнерів по еталону», ними можуть бути як прямі конкуренти, так і компанії з абсолютно інших індустрій, що демонструють досконалість у конкретних операційних процесах. Завершується цикл збором даних, їх критичним осмисленням та формуванням дорожньої карти змін [3]. Успіх тут прямо залежить від гнучкості корпоративної культури та готовності лідерів до трансформацій.

У сучасній практиці виділяють декілька основних видів бенчмаркінгу. Внутрішній бенчмаркінг ґрунтується на порівнянні результатів діяльності між структурними підрозділами однієї компанії та сприяє поширенню ефективних управлінських практик усередині організації. Конкурентний бенчмаркінг передбачає аналіз діяльності безпосередніх конкурентів з метою визначення їх сильних сторін і формування власних конкурентних переваг. Функціональний бенчмаркінг орієнтується на вивчення досвіду підприємств з інших галузей, які мають подібні бізнес-процеси або застосовують інноваційні методи управління [4].

Практична цінність даного підходу полягає у здатності підприємства значно прискорювати процес організаційного розвитку за рахунок використання вже перевірених і результативних рішень. Замість витрачання значних ресурсів на тривалі експериментальні пошуки компанія отримує можливість орієнтуватися на практики, ефективність яких уже

підтверджена ринковим досвідом. Такий механізм дозволяє скоротити часові витрати на прийняття управлінських рішень, знизити рівень стратегічної невизначеності та уникнути значної частини помилок, пов'язаних із неефективним плануванням. Водночас адаптація успішних управлінських моделей сприяє підвищенню продуктивності персоналу, удосконаленню внутрішніх бізнес-процесів і покращенню якості взаємодії з клієнтами, що в підсумку позитивно впливає на конкурентоспроможність підприємства [5].

Одним із вдалих прикладів формування сучасної брендової стратегії на українському ринку є бренд доглядової косметики RE.CARE, який обрав концепцію професійно орієнтованого та персоналізованого підходу до догляду за шкірою. Компанія сфокусувала свою діяльність на розробленні засобів для вирішення конкретних дерматологічних проблем, формуючи у споживача уявлення про косметику не як про масовий продукт, а як про елемент усвідомленої системи щоденного догляду. Стратегічною основою розвитку бренду стало поєднання наукового підходу до створення косметичних формул із глибоким розумінням поведінкових та емоційних потреб цільової аудиторії [6].

Продуктова лінійка RE.CARE фокусується на роботі з такими станами шкіри, як гіперчутливість, акне чи порушення гідроліпідного бар'єру. Конструктор засобів, який пропонує бренд, дозволяє споживачу створювати персоналізовані схеми догляду. З точки зору бенчмаркінгу, цей кейс є цікавим для аналізу в контексті асортиментної політики, побудови експертної комунікації та створення високої доданої вартості за рахунок інноваційних компонентів.

Вагомою перевагою регулярного проведення порівняльних досліджень є формування всередині компанії екосистеми постійного самовдосконалення. Організації, що тримають руку на пульсі ринкових стандартів, швидше освоюють інновації та демонструють вищу лояльність персоналу, оскільки працівники бачать чіткі орієнтири професійної майстерності.

У добу тотальної цифровізації інструментарій бенчмаркінгу виходить на новий рівень. Технології Big Data та алгоритми реального часу дозволяють проводити моніторинг конкурентного середовища майже миттєво, перетворюючи статичні звіти на динамічні стратегічні панелі [2].

Необхідно зазначити, що в сучасній практиці управління бенчмаркінг уже не обмежується функцією звичайного порівняння результативності діяльності підприємств. Його роль значно ширша, оскільки він перетворився на важливий елемент управлінської культури, орієнтованої на безперервний розвиток, стратегічну гнучкість та здатність організації до самовдосконалення. Сьогодні підприємства використовують бенчмаркінг не лише для оцінювання власних позицій на ринку, а й для глибшого осмислення тенденцій розвитку галузі, змін у поведінці споживачів та особливостей конкурентного середовища.

Цінність цього підходу полягає насамперед у тому, що він дає змогу трансформувати зовнішній досвід у внутрішній потенціал розвитку. Вивчаючи діяльність компаній-лідерів, організація не здійснює механічного копіювання окремих рішень чи моделей поведінки. Натомість відбувається адаптація найбільш ефективних практик з урахуванням власної ресурсної бази, стратегічних пріоритетів, корпоративної культури та специфіки ринку. Саме така інтеграція кращого досвіду сприяє формуванню унікальних конкурентних переваг і підвищує стійкість підприємства до зовнішніх викликів.

В умовах високої мінливості економічного середовища бенчмаркінг набуває особливого значення як інструмент стратегічної трансформації. Постійні технологічні зміни, цифровізація бізнес-процесів, трансформація споживчих очікувань та поява нових моделей ведення бізнесу вимагають від підприємств здатності швидко переосмислювати власні підходи до управління. У цьому контексті систематичний аналіз успішних практик дозволяє своєчасно виявляти перспективні напрями розвитку, впроваджувати інноваційні рішення та підтримувати належний рівень конкурентоспроможності.

Крім того, бенчмаркінг позитивно впливає на внутрішній розвиток організації. Він стимулює формування середовища, орієнтованого на навчання, професійне вдосконалення персоналу та розвиток інноваційного мислення. Працівники отримують можливість

переймати сучасні підходи до організації праці, комунікації та прийняття управлінських рішень, що в перспективі сприяє підвищенню загальної ефективності діяльності підприємства.

Не менш важливим є й те, що використання бенчмаркінгу дозволяє мінімізувати ризики управлінських помилок. Орієнтація на практики, ефективність яких уже підтверджена досвідом інших компаній, забезпечує більш обґрунтований характер стратегічних рішень, допомагає раціональніше використовувати ресурси та скорочує витрати часу на пошук оптимальних управлінських механізмів.

Отже, бенчмаркінг доцільно розглядати як комплексний інструмент організаційного розвитку, який поєднує аналітичний, стратегічний та інноваційний компоненти. Його впровадження створює умови не лише для адаптації підприємства до сучасних ринкових реалій, а й для формування власної моделі сталого розвитку, заснованої на поєднанні міжнародного досвіду, інноваційних підходів та унікальної ідентичності компанії. Саме тому у сучасній економічній системі бенчмаркінг дедалі частіше розглядається як один із ключових чинників довгострокової ефективності та стабільності бізнесу.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Camp R. C. Benchmarking: The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance. Milwaukee: ASQC Quality Press, 1989. 299 p.
2. Балабанова Л. В. Маркетинг : підручник. Київ : КНЕУ, 2011. 543 с.
3. Harrington H. J., Harrington J. S. Benchmarking: The Definitive Guide. New York : McGraw-Hill, 1996. 368 p.
4. Watson G. H. Strategic Benchmarking Reloaded with Six Sigma: Improving Your Company's Performance Using Global Best Practice. New York : John Wiley & Sons, 2007. 400 p.
5. Spendolini M. J. The Benchmarking Book. New York : AMACOM, 1992. 224 p.
6. RE.CARE : офіційний сайт українського бренду доглядової косметики. URL: <https://re-care.com.ua> (дата звернення: 10.05.2026).

## ARCHITECTURE OF AN ANOMALY DETECTION SYSTEM BASED ON METHODS FOR FUZZY ANALYSIS OF MULTIMODAL DATA

*Problem Statement and Relevance.* Ensuring the reliability of modern distributed systems requires the prompt detection of anomalies in metric and log streams generated by various components. The primary drawback of existing monitoring tools is the lack of mechanisms for the joint processing of such heterogeneous data, which limits the accuracy of system state diagnostics. The relevance of this work is driven by the need to develop an architectural solution that integrates multimodal telemetry streams into a unified information space. This approach will ensure minimal real-time processing latency and facilitate the implementation of transparent decision-making algorithms, which is critical for rapid incident resolution in high-load systems.

*Analysis of Recent Research.* A survey of 312 SRE specialists confirms that despite 74% of respondents having access to various types of telemetry, most tools do not facilitate their joint analysis [3]. Popular solutions, such as Prometheus for metrics and OpenSearch for logs, operate as isolated ecosystems relying on static thresholds or predefined search rules [1, 2]. This limits the ability to detect complex, previously unknown anomalies.

While deep learning methods demonstrate high efficiency in analyzing multidimensional data, they face the "black box" problem, which prevents rapid interpretation of the reasons behind decisions by an operator [5]. Conversely, the use of neuro-fuzzy networks (ANFIS) allows for the combination of neural network adaptability with the transparency of fuzzy logic, which is critical for ensuring the explainability of conclusions [6, 7]. Research proves that analyzing metrics and logs as a single entity within microservice infrastructures significantly increases the accuracy of root-cause identification for failures [4]. Consequently, the lack of integrated platforms for the formalized processing and fuzzy analysis of multimodal data necessitates the development of a new unified monitoring architecture.

*Objective Formulation.* The objective of this study is to develop and describe an architecture for an anomaly detection system in computer systems operation, intended to provide a complete processing cycle from the collection of metric and log streams to the generation of a final decision regarding state abnormality using fuzzy inference. To achieve this, the following tasks must be addressed:

- define functional and non-functional requirements for the computer system anomaly detection system;
- identify the core system components and establish the relationships between them;
- develop a system architecture that satisfies the specified requirements.

*Main Body.* The anomaly detection system must function as an autonomous service capable of integration into the enterprise monitoring infrastructure. The collection of logs and metrics from components is delegated to specialized tools. Input stream acquisition is implemented via standard APIs, resulting in a final decision regarding the node's state.

Functional requirements for the system include:

- collection and aggregation of logs and metrics into a single feature vector of fixed dimensionality;
- quantitative assessment of node abnormality using a neuro-fuzzy model and automated classification of their state;
- automated notification of deviations and storage of results for incident investigation.

Non-functional requirements:

- scalability: the ability to connect new nodes via configuration files without modifying the source code or retraining models;

- integrability: operation on top of the existing monitoring infrastructure via standard HTTP APIs;
- output transparency: ensuring the transparency and interpretability of the system's decisions for a specialist.

A system architecture has been developed, consisting of four primary functional levels as illustrated in Figure 1:

1. Node telemetry collection.
2. Centralized storage of metrics and logs.
3. Anomaly detection based on neuro-fuzzy logic.
4. Alerting and visualization.

The architecture is designed according to the principle of decomposition: a separate node  $c \in C$  is analyzed, where  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$  represents the set of system components. The detection method is applied to each node independently, ensuring horizontal scalability without the need for model reconfiguration.

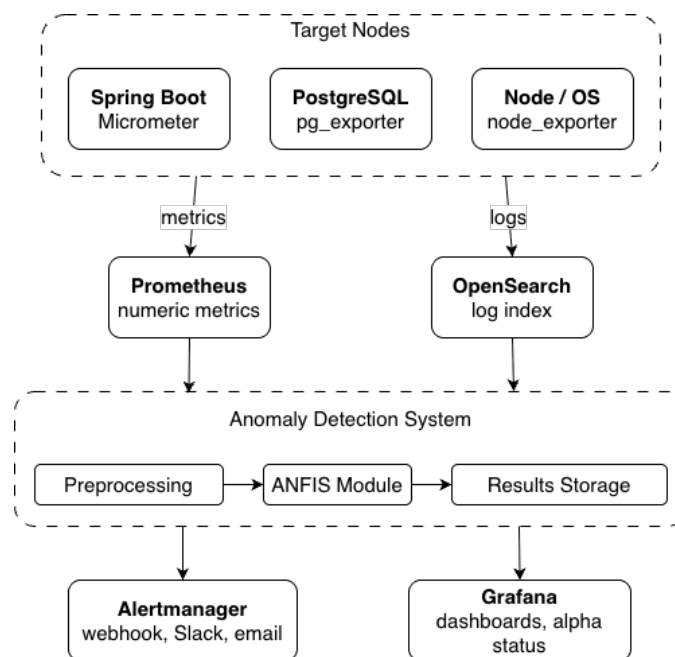


Figure 1 – Generalized architecture of the anomaly detection system

The first level facilitates data collection in two streams: metrics and logs. To unify metrics, a YAML adapter utilizing PromQL queries is employed to standardize data from diverse exporters into a consistent format based on semantic groups (CPU, RAM, I/O). Logs are gathered via standard tools (Filebeat, Logback) and indexed in OpenSearch as structured documents containing timestamp, severity level, and message text fields.

The anomaly detection system functions as a standalone service executed according to a predefined schedule with a time step of  $\Delta T$ . Each cycle involves the following iterations: data retrieval → preprocessing of heterogeneous data → application of the neuro-fuzzy model → results storage → results dispatching. Communication with external components is conducted via standard HTTP APIs.

The preprocessing module retrieves metrics via the Prometheus API and logs via the OpenSearch API as inputs. As a result, a feature vector  $\mathbf{x}_k$  of fixed dimensionality is generated. The process involves metric normalization, log parsing into a unified template using the Drain algorithm, and weighting according to severity levels.

In the next step, vector  $\mathbf{x}_k$  is passed to the fuzzy inference model, which implements a neuro-fuzzy network to perform node state classification. The operational scheme is illustrated in Figure 2.

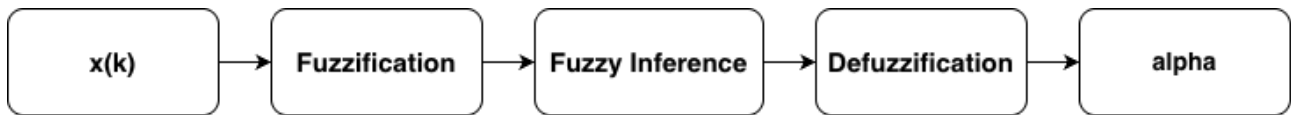


Figure 2 – Fuzzy inference module scheme

Fuzzification transforms the vector components into the corresponding values of linguistic terms using membership functions. Subsequently, an IF-THEN rule base is applied. During the final stage, defuzzification is employed to generate a scalar value representing the degree of abnormality  $\alpha \in [0,1]$ . The results of each cycle are recorded in OpenSearch as  $\langle t_k, id(c), \alpha, x_k \rangle$  for retrospective incident analysis and for constructing the time series of  $\alpha$  values in Grafana. The scale  $S(c, t_k)$  is utilized to classify the resulting  $\alpha$  value:

$$S(c, t_k) = \begin{cases} NORMAL, & \alpha < \theta_1, \\ WARNING, & \theta_1 \leq \alpha < \theta_2, \\ ANOMALY, & \alpha \geq \theta_2 \end{cases}$$

where  $\theta_1, \theta_2 \in (0,1), \theta_1 < \theta_2$  are threshold values defined by the administrator, with defaults set at  $\theta_1 = 0.3, \theta_2 = 0.7$ .

In the NORMAL state, the result is stored; in the WARNING state, an alert containing relevant information is dispatched to the Alertmanager service, facilitating the rapid localization of the causes of the deviation; in the ANOMALY state, a notification with escalation is transmitted.

Grafana facilitates concurrent data visualization from two primary sources: node metrics from Prometheus and the calculated abnormality degree  $\alpha(t)$ , displayed on a unified dashboard. Log analytics are performed using Kibana, which enables analysis of event distribution by templates, ranking of critical records, and inspection of events within time windows where  $\alpha$  reached threshold levels. The integration of both tools supports a comprehensive monitoring cycle: once an anomaly is detected in Grafana, its root causes can be rapidly localized using Kibana.

*Conclusions.* The developed architecture provides a comprehensive multimodal data processing cycle utilizing a neuro-fuzzy model for analysis. It comprises four functional levels and implements a monitoring task decomposition approach to perform independent analysis for each node, thereby ensuring horizontal scalability. A metric export adapter is proposed to standardize data from diverse nodes into a unified format. At the preprocessing stage, a unified feature vector of fixed dimensionality is generated. This vector is processed by the neuro-fuzzy analysis module, which produces a continuous quantitative assessment of the node's state abnormality. The degree of abnormality is stored in OpenSearch for retrospective incident analysis. At the response level, notifications are dispatched via Alertmanager. The proposed architecture can be integrated into existing monitoring infrastructures without necessitating changes to current tools.

## REFERENCES:

1. Anupam Chansarkar. OpenSearch at Scale: Architecting High-Performance Distributed Search Solutions for Enterprise Data Retrieval. World Journal of Advanced Research and Reviews. 2025. Vol. 26, no. 2. P. 2088–2095. URL: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.26.2.1851>.
2. Elradi M. D. Prometheus & Grafana: A Metrics-focused Monitoring Stack. Journal of Computer Allied Intelligence. 2025. Vol. 3, no. 3. P. 28–39. URL: <https://doi.org/10.69996/jcai.2025015>.
3. Ma X., Li Y., Keung J. et al. Practitioners' Expectations on Log Anomaly Detection. arXiv preprint arXiv:2412.01066. 2024. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.01066>.
4. Wang L., Zhao N., Chen J. et al. Root-Cause Metric Location for Microservice Systems via Log Anomaly Detection. IEEE ICWS. 2020. URL: <https://doi.org/10.1109/icws49710.2020.00026>.
5. A Survey of Deep Anomaly Detection in Multivariate Time Series: Taxonomy, Applications, and Directions / F. Wang et al. Sensors. 2025. Vol. 25, no. 1. P. 190. URL: <https://doi.org/10.3390/s25010190>.
6. Комп'ютеризована система комплексного моніторингу й керування мікрокліматом промислових теплиць на базі нечіткої логіки / І. Лактіонов та ін. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2019. С. 120–129. URL: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2019.3.120-129>.
7. Rishniak M., Oprisky I. R. Hybrid Behavioural Analysis Method for Early Detection of Anomalous Activity in Web Applications. Advances in Cyber-Physical Systems. 2025. Vol. 10, no. 2. P. 178–183. URL: <https://doi.org/10.23939/acps2025.02.178>.

## ПЕРСПЕКТИВИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО БЛОКУВАННЯ З ТОНАЛЬНИМИ РЕЙКОВИМИ КОЛАМИ НА ОСНОВІ ЦИФРОВОГО МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДМОВ

Системи автоматичного блокування є важливою складовою забезпечення безпеки руху поїздів та організації інтервального регулювання на залізничному транспорті. Одним із сучасних рішень у даній сфері є автоматичне блокування з тональними рейковими колами та централізованим розміщенням апаратури (АБТЦ), яке забезпечує підвищення надійності функціонування пристроїв, зменшення кількості польового обладнання та покращення умов технічного обслуговування [1, 2].

Використання тональних рейкових кіл у системах АБТЦ дозволяє знизити залежність роботи системи від стану ізолюючих стиків, підвищити завадостійкість та забезпечити стабільну передачу сигнальної інформації на значні відстані. Завдяки централізованому розміщенню апаратури спрощується доступ до обладнання, знижується трудомісткість обслуговування та скорочуються експлуатаційні витрати [2].

Сучасні системи АБТЦ уже мають засоби диспетчерського контролю, які дозволяють контролювати стан блок-ділянок, сигнальних показань та фіксувати виникнення окремих відмов. Однак існуючі рішення переважно орієнтовані на контроль дискретних станів системи та реєстрацію факту несправності після її виникнення [2].

Перспективним напрямом розвитку АБТЦ є розширення функціоналу систем контролю за рахунок безперервного моніторингу технічних параметрів тональних рейкових кіл. До таких параметрів можуть належати амплітуда сигналу, рівень сигнального струму, частотні характеристики, опір ізоляції та параметри живлення. Аналіз зміни цих показників у часі дозволяє виявляти тенденції до погіршення технічного стану окремих елементів системи [2, 3].

На основі накопичення експлуатаційних даних можливе впровадження алгоритмів аналізу технічного стану, спрямованих на прогнозування передвідмовних режимів роботи обладнання. Такий підхід дає змогу переходити від планово попереджувального технічного обслуговування до обслуговування за фактичним технічним станом, що сприяє підвищенню надійності роботи пристроїв залізничної автоматики та оптимізації витрат на їх експлуатацію [2, 3].

Таким чином, подальший розвиток систем АБТЦ доцільно пов'язувати не лише з підтриманням існуючого рівня диспетчерського контролю, а й із впровадженням цифрових засобів аналізу технічних параметрів та прогнозування відмов. Це відповідає сучасним тенденціям цифровізації залізничної інфраструктури та підвищення ефективності функціонування транспортних систем [2, 3].

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Мойсеєнко В. І., Курцев М. С., Лазарєв О. В. Технології та технічні засоби систем керування рухом поїздів: Навч. посібник. Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 4-11.
2. Бойнік А.Б., Чуднецов В.В. Аналіз методів синтезу тональних рейкових кіл системи АБТЦ. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*, 2014, вип. 144. С. 84-88.
3. Штучний інтелект і нейромережі: від теорії до практики на залізничному транспорті: Навч. посібник / В. О. Сотник, С. О. Змій, А. С. Панченко та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2025. 206 с.

## НЕЙРОМЕРЕЖЕВА ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ПОШУКУ В ШАХОВИХ РУШІЯХ

Сучасний етап розвитку систем штучного інтелекту характеризується докорінною зміною парадигми в алгоритмах аналізу стратегічних ігор, де класичні лінійні математичні оцінки поступово витісняються технологіями глибокого навчання. Традиційні шахові рушії, що базуються на жорстко закодованих евристичних, досягли свого технологічного плато, оскільки подальше ускладнення ручних правил призводить до критичного сповільнення обходу дерева варіантів без суттєвого приросту точності. Водночас впровадження масивних нейромережових архітектур, здатних до нелінійного розуміння позиції, створює нову проблему – надмірну вимогливість до апаратних ресурсів, зокрема необхідність використання потужних графічних прискорювачів (GPU). Для більшості кінцевих користувачів, які використовують мобільні пристрої або персональні комп'ютери без спеціалізованих тензорних ядер, такі рішення залишаються непрактичними через низьку швидкість інференсу. Відтак, розробка та оптимізація компактних локальних архітектур, що здатні ефективно розпізнавати складні просторові патерни безпосередньо на центральних процесорах (CPU) без втрати глибини аналізу, є надзвичайно актуальним науково-прикладним завданням. Шахові системи продовжують виступати ключовим полігоном для апробації методів стиснення моделей та пошуку рішень у надвеликих просторах станів, що згодом знаходять застосування у логістиці та системах підтримки прийняття рішень.

Метою роботи є розробка інтелектуальної аналітичної системи, яка забезпечує підвищення точності та продуктивності шахового рушія на центральних процесорах загального призначення. Це досягається шляхом заміни застарілих лінійних евристичних функцій оцінки на компактну згорткову нейронну мережу (CNN), що пройшла процедуру 8-бітної квантизації.

Результатом є програмний продукт, який демонструє оптимальний баланс між швидкістю інференсу (не більше 5 мікросекунд на позицію) та якістю стратегічного аналізу, порівнянню з промисловими стандартами. В основі розробленого рішення лежить представлення шахової позиції як цифрового багатоканального зображення. Дошка розглядається не як текстовий рядок, а як тривимірний бінарний тензор розміром  $12 \times 8 \times 8$ , де кожен канал відповідає розташуванню конкретного типу фігур одного з кольорів. Таке моделювання дозволяє матричним згорткам виявляти складні взаємозв'язки між клітинами, зберігаючи просторову ієрархію, що принципово неможливо при використанні повнозв'язних шарів.

У ході дослідження було розроблено та протестовано три групи архітектур. Група А (ResNetSE) базувалася на залишкових блоках із механізмом уваги до каналів. Група В (MBConv) використовувала інвертовані блоки з глибинно-роздільними згортками, проте показала нестабільність навчання на малих просторових картах  $8 \times 8$  через розбіжність градієнтів. Найкращі результати продемонструвала група С (FusedMBConv), де операції розширення та просторової фільтрації об'єднані в одну стандартну згортку. Використання функції активації Swish замість ReLU дозволило уповільнити деградацію сигналу в глибоких стеках і забезпечити приріст якості без збільшення кількості параметрів.

Для забезпечення стабільності регресійної моделі було впроваджено авторський алгоритм адаптивної нелінійної нормалізації на основі арктангенса. Суть алгоритму полягає у розв'язанні критичної проблеми нестабільності градієнтного спуску, що виникає при спробі прямого прогнозування необмежених числових значень оцінки переваги. Оскільки традиційні шахові рушії оперують величинами в сантіпішаках, які у випадку матових позицій можуть сягати екстремальних значень ( $\pm 15000$  і більше), використання «сирих» даних призводить до

вибуху помилки та деградації градієнтів під час навчання регресійної моделі. Запропонований підхід передбачає двостадійну нелінійну трансформацію: для більшості ігрових станів використовується арктангенсне перетворення з коефіцієнтом масштабування  $c=800$ , що забезпечує максимальну роздільну здатність і чутливість нейромережі до мінімальних матеріальних або позиційних змін поблизу нульової відмітки. Водночас для критично виграшних або матових станів впроваджено зону лінійного насичення у вузькому діапазоні  $[0,95;1,0]$ , що дозволяє системі математично розрізнати «ступінь мату» (швидкість досягнення перемоги) без ризику виходу значень за межі стабільного інтервалу. Таке моделювання цільової функції гарантує стабільність процесу навчання глибоких згорткових архітектур та високу точність денормалізації результатів безпосередньо в ігровому циклі рушія. Алгоритм дозволяє ефективно трансформувати оцінки Stockfish, що варіюються від невеликих переваг до матових значень ( $\pm 15\ 000$  сантипішаків), у компактний інтервал  $[-1; 1]$ , зберігаючи високу роздільну здатність у критичних зонах. Математично це запобігає вибуху градієнтів та дозволяє мережі розрізнати «швидкість матування».

Програмна реалізація системи виконана у двокомпонентному форматі: тренувальний пайплайн на Python/PyTorch та високопродуктивний рушій на Rust 1.85. Вибір Rust обумовлений необхідністю детермінованого керування пам'яттю та забезпечення низького часу відповіді при рекурсивному переборі дерева варіантів. Для прискорення роботи було реалізовано післятренувальну квантизацію INT8, що дозволило зменшити розмір моделей (наприклад, v15\_ext) до 352 КБ, забезпечуючи їх повне розміщення у кеш-пам'яті процесора. Додаткову продуктивність гарантує використання таблиць транспозицій на основі хешування Zobrista, що повністю виключає повторні виклики нейромережі для ідентичних позицій. Порівняльні метрики підтвердили, що нейромережевий підхід (MAE  $\approx 0.068$ ) значно перевершує класичні матеріальні оцінки (MAE  $\approx 0.113$ ) у точності відтворення стратегічних нюансів гри в шахи.

Результати проведеного дослідження підтверджують гіпотезу про те, що інтеграція компактних згорткових архітектур із механізмами квантизації дозволяє створити високоефективний шаховий рушій, незалежний від графічних прискорювачів. Розроблена система поєднує точність сучасних методів глибокого навчання зі швидкістю, необхідною для глибокого альфа-бета пошуку на побутових обчислювачах. Практичне значення роботи полягає у можливості комерційного впровадження розроблених алгоритмів як аналітичного ядра для мобільних застосунків та освітніх шахових платформ, де критичним є обмеження споживання енергії. Перспективи подальших досліджень вбачаються у переході до архітектур з інкрементальним оновленням ознак (на кшталт NNUE), що дозволить ще більше знизити обчислювальні витрати при мінімальних змінах позиції, а також у розширенні навчального датасету до кількох мільйонів зразків для покращення якості гри у фінальних стадіях партії. Створена методологія оптимізації може бути масштабована на інші галузі, наприклад, комп'ютерного зору та логістики, де вимагається швидкий інтелектуальний аналіз просторових станів на малопотужних пристроях.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Silver D. et al. Mastering Chess and Shogi by Self-Play with a General Reinforcement Learning Algorithm. Science. 2018. Vol. 362. P. 1140–1144.
2. Tan M., Le Q. V. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks. International Conference on Machine Learning (ICML). 2019.
3. Gholami A. et al. A Survey of Quantization Methods for Efficient Neural Network Inference. 2021.
4. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2016.
5. Shannon C. E. Programming a Computer for Playing Chess. Philosophical Magazine. 1950. Vol. 41, No. 314. P. 256–275.
6. Nasu Y. Efficiently Updatable Neural Network (NNUE) evaluation functions for computer shogi. 2018.

## МОДЕЛЮВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО РЕЖИМУ КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ В ПРОЦЕСІ АДАПТУВАННЯ ДО ПАРАМЕТРІВ ПРОДУКЦІЇ

Ефективність сучасного промислового сектора залежить від інтеграції галузевих ІТ-рішень у структуру управління виробничими циклами. Основним завданням таких систем є переведення складних технологічних процесів у формат керованих інформаційних моделей, що дозволяє мінімізувати вплив випадкових чинників на кінцевий результат. Впровадження аналітичних інструментів забезпечує синхронізацію роботи обладнання з економічними показниками підприємства, трансформуючи технічні параметри у потоки даних для операційного аналізу. Це створює умови для переходу від дискретного налаштування окремих вузлів до комплексного моніторингу всього виробничого ланцюга. Зокрема, оптимізація керуючих систем є інструментом прямого впливу на рентабельність активів: Через алгоритмізацію керуючих впливів досягається скорочення витрат ресурсів, зниження енергоємності процесів та оптимізація робочого часу. Моделювання режимів керування дозволяє ідентифікувати межі стабільності технологічних операцій, що є необхідною умовою для прогнозування собівартості продукції та планування логістичних циклів. Таким чином, розвиток підходів автоматизованого контролю забезпечує прозорість виробництва, дозволяючи приймати обґрунтовані рішення на основі об'єктивних показників функціонування технічних систем. Стабілізація режимів є чинником підтримки конкурентоздатності в умовах динамічної зміни ринкових вимог до якості та термінів виготовлення продукції.

Розвиток концепції Industry 4.0 зумовлює перехід від ізольованих механізмів до кіберфізичних систем, де ключову роль відіграє інформаційна інтеграція всіх рівнів виробництва. У межах цієї парадигми управління технологічними циклами базується не на статичних регламентах, а на здатності системи до самоорганізації та адаптації. Основною перешкодою для такої трансформації є складність формалізації процесів, які мають високий рівень невизначеності та потребують постійної корекції керуючих впливів. Це обумовлює необхідність моделювання комплексного режиму керуючої системи як цілісного інформаційного об'єкта. Побудова оптимізованих моделей дозволяє трансформувати складні операційні цикли у керовані алгоритми. Такий підхід дозволяє стабілізувати вихідні показники незалежно від зовнішніх факторів, в подальшому забезпечуючи можливість предиктивного аналізу [1]. Таким чином, моделювання комплексних режимів керування стає необхідним етапом для розробки сучасних ІТ-рішень, що забезпечують сталість економічних та технологічних результатів виробництва.

Для дослідження технологічних режимів виготовлення пакувальної продукції була проаналізована кінематика преса Yawa MW790 [2]: максимальне зусилля вирубки упаковки становить 120–150 тонн, що забезпечує прорізання складних контурів з великою сумарною довжиною ножів. Секція подачі оснащена вакуумною головкою з можливістю тонкого налаштування кута нахилу присосів, що мінімізує ризик перекошу аркуша при роботі на високих швидкостях (до 5500–6500 аркушів/год). Особливу увагу привертає вузол бокового та переднього вирівнювання, оскільки саме тут закладається точність суміщення висікання з друкованим відбитком при моделюванні комплексного режиму керуючої системи.

Секція висікання споживчої упаковки обладнана системою швидкої фіксації штанцформи, що гарантує повторюваність результатів при повторних накладках. Особливу цінність для аналізу причин виникнення браку становить механізм мікрометричного регулювання тиску. Оператор має можливість коригувати положення верхньої статичної плити з точністю до 0,01 мм, що дозволяє досліджувати межу між «недорізом» та руйнуванням структурної цілісності картону, тобто продавлювання. Використання змінних сталевих контрплит різної твердості дозволяє змінювати умови формування біговальних каналів, що є

ключовим фактором при оптимізації режиму висікання для матеріалів із різним вмістом вологи. Автоматизований вузол видалення відходів у даній моделі реалізований через систему верхніх та нижніх рамок з голчастими або профільними виштовхувачами. Ефективність роботи цієї секції безпосередньо корелює зі швидкістю руху транспортувальних штанг. У процесі дослідження режимів роботи саме синхронізація зусилля виштовхування та швидкості проходження розгортки дозволяє визначити оптимальну точку, за якої відходи видаляються повністю без пошкодження цілісності перемичок заготовки. Модель MW790 також оснащена частотним інвертором головного двигуна, що дає змогу плавно змінювати тривалість фази вистою плит у точці максимального тиску, забезпечуючи якісне формування згинів на жорстких макулатурних картонах.

Безпека та стабільність процесу контролюються системою електронних датчиків, що відстежують подвійний аркуш, затримку аркуша або його зміщення під час транспортування грейферними планками. Наявність інтегрованого сенсорного дисплея з індикацією поточного навантаження та помилок дозволяє проводити моніторинг стабільності режиму в реальному часі. Таким чином, технічні характеристики та конструктивне виконання преса Yawa MW790 створюють належне підґрунтя для експериментального визначення раціональних параметрів висікання, аналізу впливу зносу інструменту на якість продукції та розробки методики оптимізації виробничих циклів для ПП «Лата».

Подальше дослідження роботи преса для визначення взаємозв'язку режимів виготовлення пакувальної продукції охоплює аналіз динамічних характеристик циклу, детермінацію зусилля притиску, швидкісних показників та часових інтервалів контакту штанцформи з картонною поверхнею (рис. 1), дозволяючи визначити межі стабільності виробничого процесу та встановити передумови для його подальшої оптимізації в умовах серійного виробництва споживчої упаковки. Основним інструментом керування в моделі MW790 виступає інтегрована система контролю тиску та швидкості, яка забезпечує можливість гнучкого реагування на зміну структури матеріалу, зокрема при переході від целюлозних картонів до мікрографокартону профілів E та F.



Рисунок 1 – Взаємозв'язок технологічних режимів виготовлення пакувальної продукції

Першочерговим об'єктом дослідження в межах даного пункту є режим силової взаємодії робочих плит преса, що виражається через параметр зусилля висікання. У моделі Yawa MW790 цей параметр регулюється через мікрометричне зміщення верхньої статичної плити відносно нижньої рухомої частини, що дозволяє встановлювати глибину занурення ріжучих ножів у контрплиту з прецизійною точністю. Дослідження показує, що для забезпечення повного розділення матеріалу по всьому контуру розгортки необхідно враховувати сумарну довжину ріжучих ліній та питомий опір картону різанню. Встановлений режим тиску повинен

корелювати з показником щільності та вологості сировини, оскільки ці фактори безпосередньо впливають на величину напруження, що виникає в зоні контакту. Раціональний режим роботи передбачає встановлення мінімально достатнього зусилля, яке гарантує чистоту зрізу без надмірного деформування внутрішніх шарів матеріалу та передчасного затуплення ріжучих крайок штанцформи.

Важливим складником дослідження є швидкісний режим, який визначає темп роботи каскадного самонакладу та частоту циклів висікання. Для преса Yawa MW790 швидкість роботи не є статичною величиною і варіюється залежно від інерційних властивостей аркуша та складності траєкторії його переміщення через грейферну систему. Дослідження динаміки руху грейферних планок вказує на необхідність синхронізації швидкості з часом вистою плити в мертвій точці, де відбувається безпосереднє формування біговальних каналів. При роботі зі складними конструкціями, що мають велику кількість замкових елементів, швидкість повинна бути оптимізована таким чином, щоб забезпечити надійне утримання заготовки в затискачах без розриву технологічних перемичок. Режим швидкості також безпосередньо впливає на точність позиціонування аркуша на столі рівняння, де механізми бокового та переднього вирівнювання повинні встигати фіксувати матеріал до моменту закриття тигля.

Окремим аспектом виступає дослідження режимів формування біговальних ліній, що є критичним для забезпечення функціональності майбутньої упаковки. У процесі роботи преса MW790 параметри біговки визначаються взаємодією біговального елемента штанцформи та відповідного каналу на контрплиті. Дослідження режимів бігування спрямоване на встановлення оптимального співвідношення глибини занурення та ширини каналу відповідно до товщини картону. Враховуючи конструктивні особливості обладнання Yawa, режим біговки тісно пов'язаний із загальним тиском висікання, проте може коригуватися шляхом використання приправки під окремими елементами форми. Дослідження цього процесу дозволяє визначити умови, за яких досягається необхідний кут згину клапанів упаковки при мінімальному навантаженні на розрив зовнішнього лайнера.

Дослідження режиму роботи секції автоматичного видалення відходів базується на аналізі траєкторії руху штанцформних рамок і зусилля виштовхування обрізків. У моделі MW790 цей процес синхронізований із головним валом, що вимагає ретельного налаштування моменту входу голок або профільних штовхачів у площину розгортки. Експериментальне спостереження за роботою стріпінг-системи дозволяє виявити закономірності впливу швидкості циклу на чистоту видалення технологічної решітки. Досліджуваний режим повинен забезпечувати повне відокремлення відходів без зміни геометричних параметрів основної заготовки, що особливо важливо при виготовленні упаковки з внутрішніми вікнами або складними перфораціями. Взаємодія всіх елементів секції видалення відходів розглядається як єдина система, де час контакту та вектор прикладання сили визначають стабільність виходу готової продукції.

Система режимів автоматичного плоско-висікального преса Yawa MW790 класифікується за характером фізичного впливу на об'єкт обробки та ступенем керованості параметрів у межах виробничого циклу. До першої групи — динамічної стабільності — належать частота циклу висікання та швидкість каскадної подачі аркушів. Ці параметри визначають інерційні навантаження на грейферні планки та точність механічного позиціонування матеріалу відносно передніх і бокових марок. Оптимізація цих режимів спрямована на досягнення максимальної продуктивності без порушення допусків на суміщення висічки з друкованим зображенням. Особливе значення має мікрометричне налаштування плити, яке дозволяє компенсувати динамічні відхилення системи при зміні темпу роботи обладнання.

Група режимів силової взаємодії формалізує енергетичні аспекти процесу поділу матеріалу та формування ліній згину. Ключовими змінними тут виступають сумарне зусилля висікання та час вистою рухомої плити в точці максимального тиску. Ці показники обґрунтовуються через питомий опір картону різанню та необхідність релаксації внутрішніх напружень у зоні біговки. Правильно встановлений силовий режим гарантує повний поділ

волокон по всьому контуру штанцформи при збереженні ресурсу ріжучих ножів та контрплити. Важливим є також параметр сили захвату грейферів, який повинен бути достатнім для утримання аркуша під час фази розмикання плит, коли виникають сили адгезійного відриву.

Конструктивно-технологічні або інструментальні режими визначаються конфігурацією конкретного замовлення та параметрами оснащення. До них належать геометричні характеристики біговальних каналів, схема розташування технологічних перемичок та налаштування секції стріпінгу. Ці режими є умовно статичними для одного накладу, проте їх вибір безпосередньо впливає на стабільність видалення відходів та якість складання майбутньої упаковки. Коректне поєднання параметрів інструменту з налаштуваннями виштовхувальних елементів у секції видалення обрізків забезпечує безперервність процесу та мінімізує кількість зупинок машини через затори в робочій зоні.

Експлуатаційні режими та умови робочого середовища становлять групу фонових факторів, що впливають на стабільність основних технологічних процесів. Ступінь зносу ножів, наявність мастила в механізмах преса, а також температура та вологість повітря в цеху визначають пружно-пластичні властивості картону та тертя в кінематичних парах обладнання. Хоча ці параметри не завжди піддаються миттєвому коригуванню оператором, їх врахування є обов'язковим при формалізації математичних моделей оптимізації. Системний опис зазначених груп режимів дозволяє ідентифікувати найбільш впливові незалежні змінні, що будуть використані як об'єкти експериментального дослідження впливу на якісні показники готових заготовок.

Завершальним етапом дослідження режимів роботи обладнання є аналіз впливу допоміжних систем, таких як частотні перетворювачі привода та датчики контролю проходження аркуша. Регулювання частоти обертів головного двигуна дозволяє змінювати динаміку всього технологічного ланцюга, адаптуючи його до поточної маси та формату матеріалу. Дослідження показує, що стабільність режиму висікання на пресі Yawa MW790 значною мірою залежить від точності калібрування сенсорів подвійного аркуша та системи запобігання заторам. Інтеграція цих систем у загальний алгоритм керування машиною дозволяє підтримувати встановлені параметри протягом усього періоду виконання накладу.

Побудована модель взаємозв'язку технологічних параметрів для моделювання комплексного режиму керуючої системи дозволяє трансформувати розрізнені операційні етапи у цілісну структуру, де кожен фактор впливу стає контрольованою змінною. Такий підхід забезпечує перехід від інтуїтивного налаштування обладнання до алгоритмічного управління, що мінімізує ризики виникнення браку та підвищує загальну стабільність виробничого циклу. Впровадження представленого режиму комплексного керування забезпечує оперативне адаптування до властивостей субстрату і дає можливість точно прогнозувати використання ресурсів та оптимізувати витрати на одиницю продукції. Формалізація технологічних етапів дозволяє ідентифікувати межі стійкості процесу, що є важливим для операційного планування та контролю собівартості. В результаті стабілізація вихідних показників створює умови для предиктивного аналізу, дозволяючи приймати рішення на основі об'єктивних даних. Інтеграція результатів моделювання в загальну IT-інфраструктуру виробництва забезпечує прозорість усіх технологічних етапів обробки, дозволяючи не лише підтримувати високу якість продукції, а й гнучко адаптувати потужності до динамічних вимог ринку, сприяючи зростанню рентабельності активів, подовженню терміну експлуатації обладнання та зміцненню конкурентних позицій підприємства за рахунок стабільно високої ефективності виробництва.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Федюра В. Технічна конфігурація обладнання ПП «Лата» для виробництва споживчої тари. Друкарство молоде, № 26, 2026.
2. Pre-Owned YAWA MW790: Automatic Die Cutting Machine & Creasing Autoplaten. Manual, 2020

## МЕХАНІЗМИ ВЗАЄМОДІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ТА ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ У КЕРУЮЧИХ СИСТЕМАХ ПІДПРИЄМСТВ

Сучасний етап технологічного розвитку, зумовлений четвертою промисловою революцією Industry 4.0, вимагає фундаментальної трансформації стратегій управління виробничими системами. Динамічне ринкове середовище та жорсткі вимоги до ресурсоефективності зумовлюють перехід від дискретних методів контролю до інтегрованих інтелектуальних платформ. Провідну роль у цьому процесі відіграє конвергенція технологій Інтернету речей (ІоТ) та цифрових двійників (Digital Twin), що забезпечує безперервний моніторинг та високоточне моделювання фізичних активів у реальному часі.

Актуальність теми зумовлена тим, що окремо кожна з цих технологій вже довела свою ефективність, однак їх системна інтеграція як єдиної інформаційно-аналітичної та керуючої платформи залишається недостатньо дослідженою, особливо в контексті вітчизняної промисловості. Метою даної роботи є аналіз архітектурних принципів та практичних механізмів інтеграції ІоТ і цифрових двійників для побудови керуючих систем промислового підприємства, а також оцінка ефектів від їх впровадження.

Поняття «цифровий двійник» було введено Майклом Гривзом у 2002 році в контексті управління життєвим циклом продукту (Product Lifecycle Management) [1]. У сучасному трактуванні цифровий двійник – це динамічна комп'ютерна модель фізичного об'єкта, системи або процесу, яка в режимі реального часу відображає поточний стан свого фізичного прототипу та здатна прогнозувати його майбутню поведінку.

Відмінність ДТ від традиційних симуляційних моделей полягає в тому, що він не є статичним: двійник постійно «живе» завдяки безперервному потоку даних від реального об'єкта. Дослідники виділяють три базові компоненти цифрового двійника такі як, фізична сутність – реальний об'єкт або процес (верстат, виробнича лінія, цех); віртуальна сутність – цифрова модель із набором математичних, фізичних та поведінкових параметрів; інформаційний зв'язок – двоспрямований канал обміну даними між фізичним і віртуальним рівнями [2]. Саме третій компонент реалізується засобами ІоТ, що робить ці технології природно взаємодоповнюючими.

Залежно від рівня деталізації та охоплення розрізняють: двійника компонента (окремої деталі чи вузла), двійника активу (цілісного обладнання), двійника системи (виробничої лінії або цеху) та двійника процесу (технологічного або бізнес-процесу). Промислові керуючі системи, як правило, оперують двійниками активів та систем.

Інтернет речей забезпечує фізичний рівень збору та передачі даних, без якого існування «живого» цифрового двійника неможливе. У промисловому контексті говорять про Industrial ІоТ (ІоТ) – мережу промислових датчиків, виконавчих механізмів, програмованих логічних контролерів (PLC), систем SCADA та edge-пристроїв, об'єднаних єдиною комунікаційною інфраструктурою [3].

Типовий ІоТ-стек для промислового підприємства охоплює чотири рівні (рис 1). Рівень датчиків та виконавчих механізмів забезпечує вимірювання температури, тиску, вібрації, струму, витрати та інших параметрів. Сучасні ІоТ-датчики мають убудовані мікроконтролери та можуть виконувати первинну обробку сигналу безпосередньо на місці встановлення. Рівень edge-обчислень забезпечує агрегацію даних від множини датчиків, їх фільтрацію та первинну аналітику, знижуючи навантаження на канали зв'язку і забезпечуючи роботу в режимі низької затримки. Комунікаційна інфраструктура здійснює передачу даних за протоколами MQTT, OPC UA, AMQP – вибір визначається вимогами до надійності та безпеки. Хмарна платформа або корпоративний дата-центр забезпечує довготривале зберігання, навчання ML-моделей та інтеграцію з ERP/MES-системами підприємства.

Таким чином, ПоТ виступає «нервовою системою» промислового підприємства, а цифровий двійник – його «мозком», що інтерпретує отримані сигнали та формує відповідні управлінські рішення.

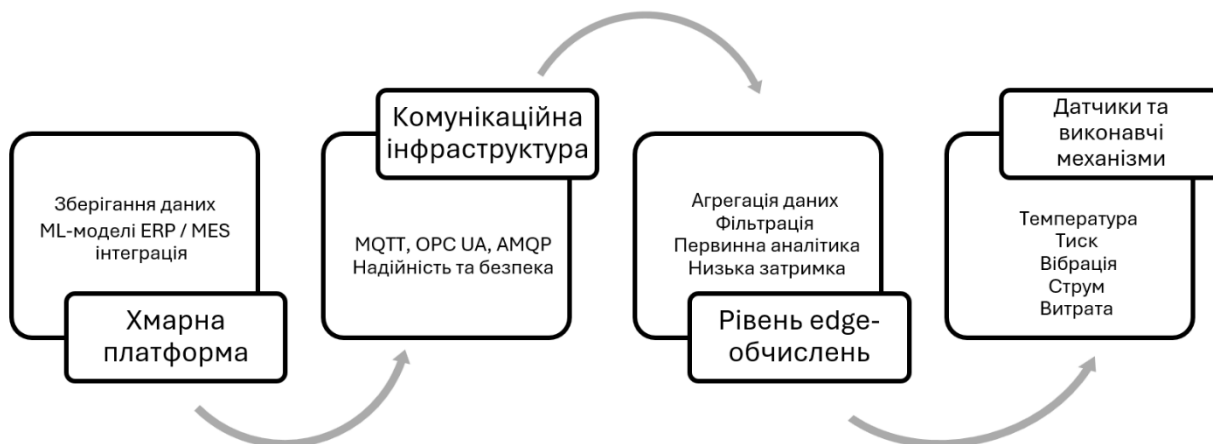


Рисунок 1 – Архітектура ПоТ-стеку промислового підприємства

Інтегрована інформаційно-аналітична та керуюча система на основі IoT і цифрових двійників представлена у вигляді чотирирівневої функціональної архітектури.

Рівень збору даних реалізується мережею ПоТ-пристроїв, що у безперервному режимі фіксують параметри роботи обладнання. Частота опитування датчиків варіюється від мілісекунд до хвилин. Рівень обробки та зберігання даних включає edge-вузли та хмарні платформи, де відбувається нормалізація, агрегація та зберігання потоків у форматах time-series, а також виявлення аномалій у режимі реального часу. Рівень цифрового двійника є ядром системи тут підтримується актуальна математична модель кожного фізичного активу, розраховується залишковий ресурс вузлів, прогнозується момент досягнення порогових значень та моделюються сценарії. Рівень керування та візуалізації забезпечує інтерфейс між системою та операторами або автоматичними виконавчими механізмами: формування сповіщень, автоматичне коригування технологічних параметрів через зворотний зв'язок до PLC/SCADA, ініціювання заявок на технічне обслуговування.

Інтеграція ПоТ і цифрових двійників у промисловості демонструє вимірювані результати в кількох напрямках.

Предиктивне технічне обслуговування забезпечує перехід від планово-попереджувального обслуговування за фіксованим графіком до обслуговування за станом. Двійник безперервно відстежує вібрацію підшипників, знос ріжучих інструментів, деградацію ізоляції електродвигунів і точно прогнозує момент необхідного втручання [6]. За даними McKinsey Global Institute, предиктивне обслуговування на основі IoT дозволяє скоротити незаплановані простої обладнання на 30-50% та знизити витрати на технічне обслуговування на 10–40% [4].

Оптимізація виробничих процесів досягається завдяки тому, що цифровий двійник виробничої лінії дозволяє в режимі симуляції тестувати зміни технологічних параметрів і обирати оптимальні режими до їх фактичного впровадження. Компанія Siemens на заводі реалізувала цифрових двійників для всього виробничого циклу, досягнувши рівня дефектності менше 12 одиниць на мільйон виробів [5]. IoT-моніторинг споживання енергоресурсів у поєднанні з аналітикою двійника дозволяє виявляти неефективні режими роботи та оптимізувати енергоспоживання: за оцінками MEA, такі рішення здатні знизити енергоємність виробництва на 10–20% [4].

Впровадження систем IoT+DT стикається з низкою суттєвих викликів. Інтеграція з успадкованим обладнанням вимагає значних витрат на модернізацію або встановлення адаптерів, а гетерогенність протоколів (Modbus, PROFIBUS, EtherNet/IP) ускладнює побудову

уніфікованої ПоТ-мережі. Підключення промислових систем до мереж передачі даних розширює поверхню кібератак, тому архітектура повинна включати сегментацію мережі, шифрування трафіку та механізми виявлення вторгнень [3]. Точність прогнозів двійника напряду залежить від якості вхідних даних, несправні датчики або систематичні похибки можуть призводити до хибних управлінських рішень.

В умовах повоєнного відновлення промисловості впровадження ПоТ+ДТ систем є стратегічним напрямом підвищення конкурентоспроможності вітчизняних підприємств. Особливо перспективними є застосування в машинобудуванні, харчовій промисловості та секторі відновлюваної енергетики. Державна підтримка цифровізації в рамках програм відновлення за стандартами ЄС створює додаткові можливості для залучення інвестицій у відповідну інфраструктуру.

Інтеграція цифрових двійників та ІоТ формує якісно новий клас інформаційно-аналітичних та керуючих систем, що забезпечують перехід промислових підприємств від реактивного до проактивного управління. Синергія цих технологій реалізується через чотирирівневу архітектуру: від збору даних засобами ПоТ через їх обробку на edge- та хмарних вузлах до побудови живої цифрової моделі та автоматизованого формування керуючих впливів. Світовий досвід підтверджує практичну ефективність таких систем: скорочення незапланованих простоїв на 30–50%, зниження витрат на обслуговування до 40%, підвищення енергоефективності на 10–20%. Для вітчизняної промисловості найважливішим завданням є розроблення уніфікованих архітектурних рішень з урахуванням наявної інфраструктури, забезпечення кіберзахисту та підготовка фахівців відповідного профілю.

Також варто зазначити, що успішна реалізація концепції вимагає не лише технічного переоснащення, а й докорінної зміни операційної стратегії підприємства. Перехід до використання динамічних моделей дозволяє створити єдиний інформаційний простір, де кожна одиниця обладнання стає частиною глобальної інтелектуальної мережі, здатної до самодіагностики. Це відкриває шлях до впровадження систем підтримки прийняття рішень на основі штучного інтелекту, які можуть моделювати сценарії без ризику для реального виробництва.

В умовах обмежених ресурсів та необхідності швидкого відновлення промислового потенціалу України, пріоритетним напрямом має стати розробка гнучких модульних платформ, які дозволяють поступово цифровізувати окремі вузли з подальшим об'єднанням у загальнозаводську систему. Такий еволюційний підхід знижує фінансове навантаження на підприємство та дозволяє отримати перші економічні результати вже на етапі пілотних проєктів. Підсумовуючи, можна стверджувати, що інтеграція ІоТ та цифрових двійників є не просто технічним вдосконаленням, а необхідним етапом цифрової трансформації, що забезпечує стійкість промислових систем до динамічних викликів сучасного ринку та створює фундамент для переходу до стандартів Industry 5.0.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Grieves M. *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication* : White Paper. 2014.
2. Tao F., Zhang H., Liu A., Nee A. Y. C. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art // *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2019. Vol. 15, no. 4. P. 2405–2415.
3. Serpanos D., Wolf M. *Internet-of-Things (IoT) Systems: Architectures, Algorithms, Methodologies*. Cham : Springer, 2018. 95 p.
4. McKinsey Global Institute. *The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype*. New York : McKinsey & Company, 2015. 144 p..
5. Python Rosen R., von Wichert G., Lo G., Bettenhausen K. D. About the Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. *IFAC-PapersOnLine*. 2015. Vol. 48, no. 3. P. 567–572.
6. Чинкує К. Імітаційний цифровий двійник поліграфічної установки з інтелектуальними алгоритмам. Молодіжна наука: інновації та глобальні виклики. №2, 2025. С. 300–302.

***СЕКЦІЯ***  
***«ЦИФРОВА ЕКОНОМІКА***  
***ТА ГАЛУЗЕВІ ІТ-РІШЕННЯ:***  
***НАУКА, ОСВІТА, ТРАНСПОРТ***  
***І СФЕРА ПОСЛУГ»***

## DEVELOPMENT OF A MULTI-AGENT CUSTOMER SUPPORT AUTOMATION SYSTEM BASED ON LARGE LANGUAGE MODELS AND RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION TECHNOLOGY

*1. Introduction.* Recent advances in artificial intelligence have led to the widespread adoption of large language models in intelligent conversational systems. Transformer-based architectures have demonstrated remarkable capabilities in natural language understanding, code generation, reasoning, and dialogue interaction. Nevertheless, practical deployment of LLMs in enterprise environments remains challenging because baseline models often generate factually incorrect information and lack access to private corporate knowledge bases.

One of the most promising approaches for overcoming these limitations is Retrieval-Augmented Generation (RAG). In RAG systems, external knowledge retrieval is combined with neural language generation, allowing conversational agents to access up-to-date corporate documents during response synthesis. This significantly reduces hallucinations and improves factual accuracy.

At the same time, modern customer support systems increasingly require natural voice interaction. Therefore, integration of speech-to-text (STT) and text-to-speech (TTS) technologies into RAG pipelines becomes an important research direction. Existing open-source solutions are often monolithic and difficult to scale, motivating the development of modular backend platforms based on microservice principles and Clean Architecture.

The purpose of this work is the development of a scalable backend platform for creating and managing AI agents capable of interacting with users through text and voice interfaces using corporate documents as knowledge sources.

*2. Retrieval-Augmented Generation Architecture.* Traditional large language models rely exclusively on parametric knowledge encoded in neural network weights during pre-training. As a result, they cannot dynamically access updated information and frequently generate hallucinated responses. RAG technology solves this problem by introducing an external knowledge retrieval stage before text generation.

The proposed system implements a classical RAG pipeline consisting of two major phases:

1. Data ingestion and indexing;
2. Retrieval and response generation.

During the ingestion phase, corporate documents are parsed, segmented into semantic chunks, transformed into embeddings, and stored in a vector database. The retrieval phase begins when a user submits a query. The query is converted into an embedding vector, and the system retrieves the most semantically similar text fragments from the vector storage. The retrieved context is then passed to the large language model for response generation.

Mathematically, the response generation process can be represented as:

$$\hat{Y} = \arg \max_Y P_\theta(Y | S, H, C_{retrieved}, X) \quad (1)$$

where  $X$  is the user query;  $S$  is the system instruction;  $H$  represents dialogue history;  $C_{retrieved}$  is the retrieved corporate context;  $P_\theta$  denotes the probability distribution modeled by the language model.

This formulation separates knowledge retrieval from neural language generation, significantly improving factual reliability.

*3. Multi-Agent System Architecture.* The developed platform follows a multi-agent architecture in which each AI assistant operates independently with its own isolated knowledge base. Such separation enables the deployment of multiple domain-specific agents within a single infrastructure.

The system architecture includes the following components (Fig.1)

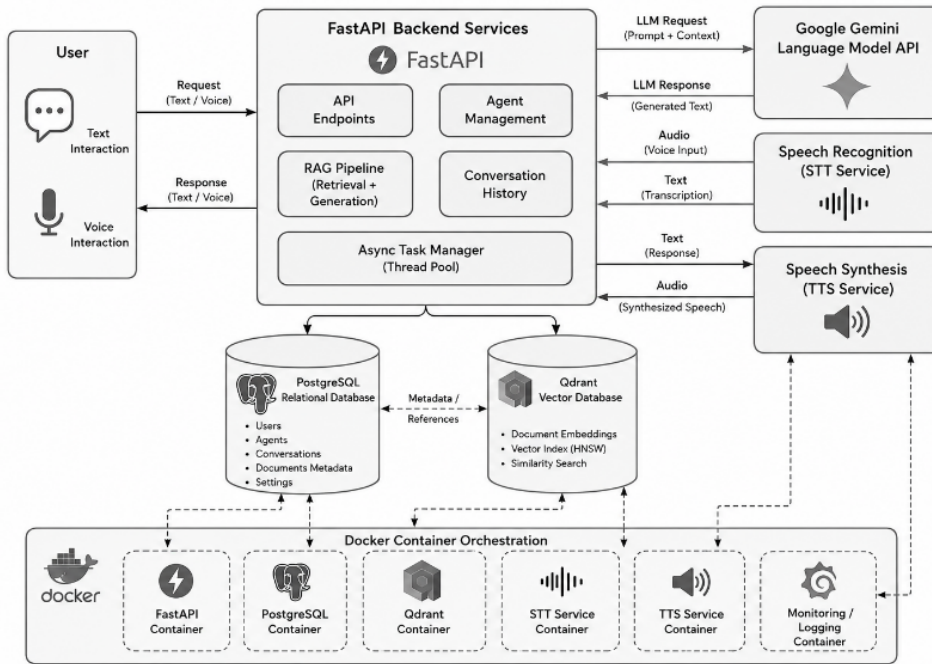


Figure 1 – Architecture of the Multi-Agent RAG-Based Conversational System with Voice Interaction and Containerized Deployment

Figure 1 illustrates the overall architecture of a multi-agent conversational system based on Retrieval-Augmented Generation (RAG) technology. The central component is the FastAPI backend service, responsible for API endpoints, agent management, dialogue history, and response generation. The platform integrates with the Google Gemini language model API as well as speech recognition (STT) and speech synthesis (TTS) services to support voice interaction. Structured data are stored in the PostgreSQL relational database, while semantic retrieval is implemented using the Qdrant vector database with document embeddings and HNSW indexing. The lower layer of the diagram represents the Docker-based containerized infrastructure, providing service isolation, scalability, and simplified deployment.

The backend was designed according to Clean Architecture principles. The system is divided into several layers:

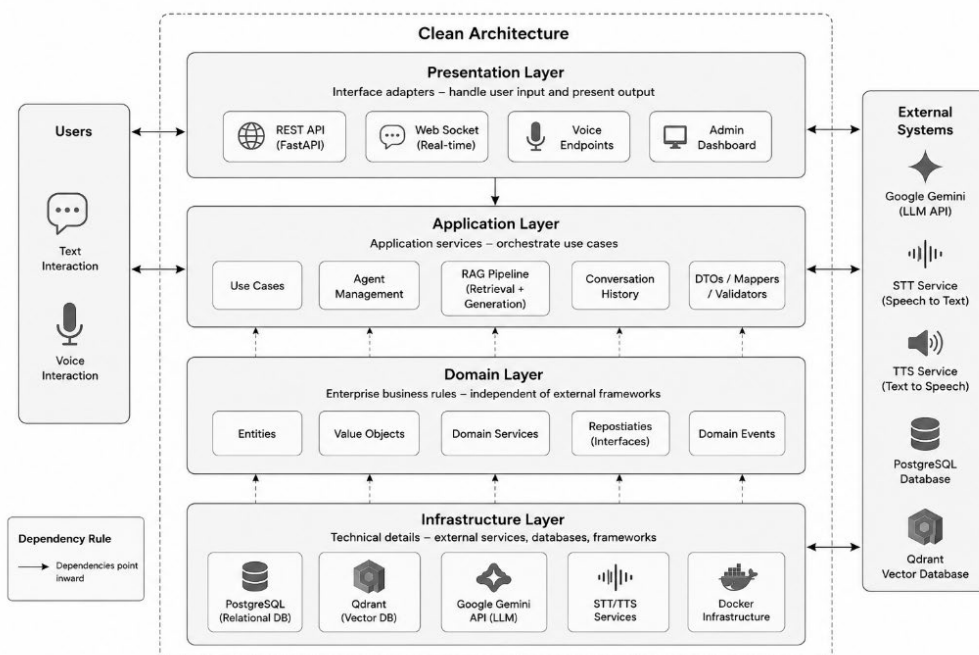


Figure 2 – Clean Architecture of the Multi-Agent RAG-Based Conversational Platform

This separation ensures low coupling between business logic and external services, allowing independent replacement of vector databases, language models, or speech providers without modification of core application logic.

Special attention was devoted to asynchronous processing. Since voice services and LLM APIs are synchronous and potentially slow, the platform delegates such operations to background thread pools within the asynchronous FastAPI environment. This approach significantly improves scalability and throughput under concurrent workloads.

*4. Semantic Search and Vector Representation.* Semantic retrieval is based on dense vector embeddings generated by neural embedding models. Unlike classical keyword-based search algorithms, embedding representations capture semantic similarity between texts even when exact words differ.

Each document chunk is transformed into a high-dimensional vector:

$$f_{\phi}: T \rightarrow \mathbb{R}^d \quad (2)$$

where  $T$  denotes textual input;  $d$  is embedding dimensionality;  $f_{\phi}$  is the embedding model parameterized by neural weights.

The similarity between user queries and stored document chunks is computed using cosine similarity:

$$\text{sim}(q, d) = \frac{q \cdot d}{\|q\| \|d\|} \quad (3)$$

where  $q$  is the query embedding;  $d$  is the document embedding.

To ensure efficient retrieval on large datasets, the system uses the Hierarchical Navigable Small World (HNSW) approximate nearest-neighbor algorithm implemented in Qdrant.

*5. Experimental Evaluation.* Experimental studies were conducted to evaluate retrieval relevance, generation quality, and response latency. The experiments compared different chunk sizes during document segmentation and analyzed the performance of Google Gemini and Gemma models.

The results demonstrated that chunk sizes of approximately 1000 characters provide the best balance between semantic completeness and retrieval precision. Smaller chunks frequently lost contextual information, while larger chunks reduced retrieval specificity.

Comparative analysis showed that the cloud-based Gemini model outperformed the locally deployed Gemma model in terms of:

- instruction following;
- response consistency;
- latency;
- resistance to hallucinations.

Gemini Flash provided near real-time interaction suitable for voice dialogue systems, while Gemma required substantially greater local GPU resources for comparable performance.

The voice interaction subsystem also demonstrated acceptable response latency for practical deployment. The total response time included:

- speech recognition;
- vector retrieval;
- LLM inference;
- speech synthesis.

The asynchronous architecture enabled stable operation even under concurrent request loads.

*6. Conclusion.* This paper presented the development of a multi-agent conversational platform for automated customer support based on Retrieval-Augmented Generation and neural speech technologies. The proposed architecture combines semantic retrieval, vector databases, large language models, and voice interfaces within a scalable microservice infrastructure.

The implementation based on FastAPI, Qdrant, and Docker demonstrates high modularity and scalability. Experimental evaluation confirmed the effectiveness of RAG technology in reducing

hallucinations and improving response relevance. The integration of STT and TTS modules enables natural human-computer interaction in both text and voice modes.

Future work will focus on:

- streaming response generation;
- advanced reranking algorithms;
- multimodal document processing;
- optimization of real-time voice interaction latency.

REFERENCES:

1. Ashish Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A.N. Gomez, Ł. Kaiser, I. Polosukhin, Attention Is All You Need, in: *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 2017, pp. 5998–6008. DOI: 10.48550/arXiv.1706.03762.
2. Patrick Lewis, E. Perez, A. Piktus, F. Petroni, V. Karpukhin, N. Goyal, H. Küttler, M. Lewis, W. Yih, T. Rocktäschel, S. Riedel, D. Kiela, Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks, in: *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, vol. 33, 2020, pp. 9459–9474. DOI: 10.48550/arXiv.2005.11401.
3. Jacob Devlin, M.W. Chang, K. Lee, K. Toutanova, BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding, in: *Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (NAACL-HLT)*, 2019, pp. 4171–4186. DOI: 10.48550/arXiv.1810.04805.
4. Tom Brown, B. Mann, N. Ryder, M. Subbiah, J. Kaplan, P. Dhariwal, A. Neelakantan, et al., Language Models are Few-Shot Learners, in: *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, vol. 33, 2020, pp. 1877–1901. DOI: 10.48550/arXiv.2005.14165.
5. Nils Reimers, Iryna Gurevych, Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks, in: *Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP)*, 2019, pp. 3982–3992. DOI: 10.48550/arXiv.1908.10084.
6. Jeff Johnson, M. Douze, H. Jégou, Billion-scale similarity search with GPUs, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 41 (2) (2019) 535–547. DOI: 10.1109/TPAMI.2018.2829477.
7. [FastAPI Documentation](#), accessed May 2026.
8. [Qdrant Vector Database Documentation](#), accessed May 2026.
9. [Google Gemini API Documentation](#), accessed May 2026.

## ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У ПРОФЕСІЙНІЙ ОСВІТІ

У сучасних умовах цифрової трансформації суспільства особливого значення набуває впровадження інноваційних технологій у сферу професійної освіти. Одним із найбільш перспективних напрямів є використання технологій віртуальної та доповненої реальності, які відкривають нові можливості для формування практичних компетентностей здобувачів освіти, підвищення ефективності навчального процесу та наближення його до реальних виробничих умов. Віртуальна реальність забезпечує повне занурення користувача у штучно створене середовище, тоді як доповнена реальність інтегрує цифрові об'єкти у фізичний простір, розширюючи можливості взаємодії з навчальним матеріалом.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підготовки конкурентоспроможних фахівців, здатних швидко адаптуватися до змін у професійному середовищі. Традиційні методи навчання не завжди забезпечують достатній рівень практичної підготовки, особливо у галузях, де доступ до реального обладнання обмежений або пов'язаний із підвищеними ризиками. У цьому контексті технології віртуальної та доповненої реальності виступають ефективним інструментом моделювання складних процесів, що дозволяє безпечно відпрацьовувати професійні навички [1].

Наукові дослідження останніх років демонструють значний інтерес до застосування VR та AR у навчанні. Зокрема, доведено, що використання інтерактивних середовищ сприяє підвищенню рівня залученості студентів, покращує розуміння складних концепцій і формує стійкі практичні навички [2]. Крім того, такі технології дозволяють реалізувати індивідуалізований підхід до навчання, враховуючи особливості сприйняття інформації кожним здобувачем освіти.

Особливе значення VR та AR мають у підготовці фахівців технічних спеціальностей, медицини, авіації, будівництва та інших галузей, де важливим є формування практичного досвіду. Наприклад, у медичній освіті віртуальні симулятори використовуються для відпрацювання хірургічних навичок, що дозволяє зменшити ризики під час роботи з реальними пацієнтами [3]. У сфері інженерії технології доповненої реальності допомагають візуалізувати складні конструкції та процеси, забезпечуючи глибше розуміння матеріалу.

Важливою перевагою застосування VR та AR є можливість створення інтерактивних навчальних сценаріїв, що максимально наближені до реальних умов професійної діяльності. Такий підхід сприяє формуванню не лише теоретичних знань, а й практичних умінь, необхідних для успішної професійної реалізації. Крім того, використання цих технологій дозволяє значно зменшити витрати на навчальне обладнання та матеріали, що є актуальним для багатьох закладів освіти [4].

Разом із тим, впровадження віртуальної та доповненої реальності у професійну освіту супроводжується низкою викликів. До них належать висока вартість обладнання, необхідність розробки якісного програмного забезпечення, а також потреба у підготовці викладачів до роботи з новими технологіями. Не менш важливим є питання методичного забезпечення навчального процесу, оскільки ефективність використання VR та AR значною мірою залежить від правильного педагогічного дизайну [5].

Окремої уваги заслуговує питання інтеграції VR та AR у існуючі освітні програми. Важливо не лише впровадити нові технології, а й забезпечити їх гармонійне поєднання з

традиційними методами навчання. У цьому контексті доцільним є використання змішаного навчання, яке поєднує онлайн- та офлайн-формати, а також інтерактивні цифрові інструменти.

Перспективи розвитку технологій віртуальної та доповненої реальності у професійній освіті пов'язані з удосконаленням апаратного та програмного забезпечення, зниженням вартості пристроїв, а також розширенням доступу до цифрових ресурсів. Очікується, що у найближчі роки VR та AR стануть невід'ємною складовою освітнього процесу, забезпечуючи якісно новий рівень підготовки фахівців [6].

Крім технологічних аспектів, важливим є також педагогічний потенціал віртуальної та доповненої реальності. Використання таких інструментів дозволяє реалізувати конструктивістський підхід до навчання, за якого здобувач освіти виступає активним учасником освітнього процесу. Взаємодія з віртуальними об'єктами сприяє формуванню критичного мислення, здатності до аналізу та прийняття рішень у складних ситуаціях. Таким чином, VR та AR не лише доповнюють традиційні методи навчання, а й трансформують саму природу освітнього процесу.

Застосування віртуальної та доповненої реальності також відкриває нові можливості для дистанційного навчання. У контексті глобалізації та розвитку цифрової економіки це набуває особливої актуальності. Студенти отримують можливість взаємодіяти з навчальним матеріалом незалежно від місця перебування, що сприяє підвищенню доступності освіти. Водночас виникає необхідність забезпечення стабільної технічної інфраструктури та доступу до високошвидкісного інтернету.

Не менш важливим є соціальний аспект використання VR та AR у навчанні. З одного боку, ці технології сприяють індивідуалізації навчання, з іншого — можуть обмежувати живе спілкування між учасниками освітнього процесу. Тому важливо забезпечити баланс між цифровими та традиційними формами взаємодії, зберігаючи соціальну складову освіти.

Подальший розвиток цифрових технологій у сфері освіти зумовлює суттєве розширення дидактичних можливостей, особливо у контексті професійної підготовки фахівців технічного та технологічного профілю. Використання віртуальної та доповненої реальності набуває стратегічного значення, оскільки дозволяє створювати умови для формування практичних навичок у середовищі, максимально наближеному до реального виробничого процесу, але без ризику для здобувача освіти та матеріально-технічної бази закладу [1].

Важливо підкреслити, що технології VR та AR змінюють не лише форму подачі навчального матеріалу, але й саму структуру освітнього процесу. Традиційна модель навчання поступово трансформується у модель активного занурення, де здобувач освіти стає безпосереднім учасником змодельованих ситуацій [2]. Це особливо актуальне для професій, пов'язаних із підвищеним рівнем небезпеки або високою вартістю помилки.

Досвід впровадження VR/AR у закладах професійної освіти демонструє підвищення рівня засвоєння матеріалу, розвиток просторового мислення та покращення здатності до прийняття рішень у нестандартних ситуаціях [3]. Крім того, спостерігається зростання мотивації здобувачів освіти, що пояснюється високим рівнем інтерактивності та зануренням у навчальне середовище.

Окремої уваги потребує питання педагогічного супроводу використання таких технологій. Ефективність VR та AR залежить не лише від технічного забезпечення, але й від методичної підготовки викладача, який має виступати як модератор навчального процесу. У цьому контексті важливим є формування цифрових компетентностей педагогічних працівників, що включають здатність проєктувати інтерактивні сценарії навчання та оцінювати результати діяльності здобувачів освіти у віртуальному середовищі [4].

Водночас існують певні обмеження впровадження технологій віртуальної та доповненої реальності. Серед основних можна виділити високу вартість обладнання, потребу в

потужному програмному забезпеченні, а також недостатню кількість якісного навчального контенту [5]. Крім того, слід враховувати психофізіологічні особливості користувачів, оскільки тривала робота у VR-середовищі може викликати втому або зниження концентрації уваги.

Попри зазначені труднощі, перспективи розвитку даного напрямку залишаються значними. Очікується подальша інтеграція VR/AR у системи змішаного навчання, розвиток хмарних платформ для моделювання навчальних середовищ, а також використання штучного інтелекту для адаптації навчального контенту під індивідуальні потреби здобувачів освіти [6]. У довгостроковій перспективі це може призвести до формування нової парадигми професійної освіти.

Узагальнюючи викладене, можна зробити висновок, що використання технологій віртуальної та доповненої реальності у професійній освіті є перспективним напрямом розвитку освітньої галузі. Вони сприяють підвищенню якості підготовки фахівців, формуванню практичних навичок та адаптації до сучасних вимог ринку праці. Разом із тим, ефективність їх впровадження залежить від комплексного підходу, що включає технічне, методичне та організаційне забезпечення.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Azuma R. T. A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments. 1997. Vol. 6(4). P. 355–385.
2. Billinghurst M., Clark A., Lee G. A Survey of Augmented Reality. Foundations and Trends in Human–Computer Interaction. 2015. Vol. 8(2–3). P. 73–272.
3. Jensen L., Konradsen F. A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. Education and Information Technologies. 2018. Vol. 23. P. 1515–1529.
4. Radianti J. et al. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education. Education Research Review. 2020. Vol. 30.
5. Slater M. Immersion and the illusion of presence in virtual reality. British Journal of Psychology. 2018. Vol. 109(3). P. 431–433.
6. Wu H. K. et al. Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. Computers & Education. 2013. Vol. 62. P. 41–49.

## УДОСКОНАЛЕННЯ ДАТЧИКІВ РАХУНКУ ОСЕЙ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ

Залізничний транспорт є ключовою складовою транспортної інфраструктури України, яка забезпечує стабільність економічних процесів, мобільність населення та ефективне функціонування вантажних і пасажирських перевезень. Одним із найважливіших елементів систем забезпечення безпеки руху поїздів є пристрої контролю вільності колійних ділянок на основі датчиків рахунку осей. Надійність роботи цих датчиків безпосередньо впливає на безпеку руху, ефективність управління перевезеннями та пропускну спроможність залізничної мережі.

В умовах підвищення швидкостей руху поїздів, інтенсифікації перевезень та переходу до цифрових технологій управління (в тому числі систем ERTMS/ETCS) особливої актуальності набуває питання технічної діагностики датчиків рахунку осей. Сучасні міжнародні стандарти функціональної безпеки (SIL – Safety Integrity Level) висувають високі вимоги до надійності таких систем. Це зумовлює необхідність переходу від традиційного планово-профілактичного обслуговування до сучасних методів прогнозної діагностики та моніторингу стану в реальному часі. [1]

Метою дослідження є підвищення надійності датчиків рахунку осей шляхом удосконалення методів і засобів технічної діагностики їх елементів. Для досягнення поставленої мети проведено аналіз існуючих типів датчиків, досліджено принципи їх роботи, систематизовано сучасні методи обробки сигналів і виявлення несправностей.

У роботі розглянуто основні типи датчиків рахунку осей: механічні, магнітоіндукційні, індукційні та мікропроцесорні (електронні). Встановлено, що найбільш перспективними на сьогодні є електронні мікропроцесорні датчики. Вони забезпечують високу точність рахунку, широкий діапазон робочих швидкостей (від 0 до 350 км/год), можливість вбудованої самодіагностики та інтеграцію з системами дистанційного моніторингу. Особливу увагу приділено методам діагностичної обробки сигналів. [2, 3]

Запропоновано використання сучасних алгоритмів цифрової фільтрації, зокрема медіанного фільтра, фільтра ковзного середнього та фільтра Савицького–Голея. Застосування цих алгоритмів дозволяє ефективно зменшити вплив електромагнітних перешкод, вібрацій та атмосферних впливів, суттєво підвищити достовірність визначення проходження осей колісних пар. Проаналізовано також алгоритми контролю та прийняття рішень, що застосовуються в сучасних системах.

Показано, що впровадження багаторівневої системи діагностики, яка поєднує локальний контроль окремих датчиків з централізованим моніторингом на рівні станції чи диспетчерського центру, значно підвищує загальну надійність системи та дозволяє своєчасно виявляти деградацію елементів до виникнення відмови. У результаті дослідження виконано класифікацію типових несправностей датчиків рахунку осей та визначено їх основні причини (механічний знос, забруднення, електромагнітні наведення, старіння електронних компонентів, порушення монтажу тощо).

Запропоновано комплекс заходів щодо підвищення надійності, зокрема:

- впровадження профілактичної та прогнозної діагностики на основі аналізу параметрів сигналів;
- використання елементів апаратного та програмного резервування;
- вдосконалення алгоритмів цифрової обробки сигналів;
- розроблення методики оцінки технічного стану датчиків у реальному часі з формуванням індикаторів залишкового ресурсу.

Отримані результати можуть бути використані для модернізації існуючих систем залізничної автоматики та телемеханіки, підвищення рівня безпеки руху поїздів, збільшення міжремонтних періодів та загальної ефективності експлуатації залізничної інфраструктури України.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Бойнік А. Б., Прилипко А. А. Розширення функціональних можливостей систем повної діагностики пристроїв залізничної автоматики. *Гірнична електромеханіка та автоматика*. Зб. наук. пр. № 94. Дніпропетровськ, 2015. С. 42–48.
2. Прилипко А. А., Змій С. О., Бойнік О. А. Моделювання точкових колійних датчиків з підвищеною завадостійкістю. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2019. Вип. 5. С. 32–39.
3. Прилипко А. А. Структурний синтез диференціального точкового колійного датчика. *Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. заліз. трансп.* Харків: УкрДАЗТ, 2008. Вип. 99. С. 208–214.

## ВПРОВАДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СФЕРІ ПОСЛУГ: СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційного суспільства цифрові технології стають визначальним чинником трансформації економічних процесів. Особливо вагомого значення вони набувають у сфері послуг, яка є однією з провідних складових національної економіки. Впровадження цифрових інструментів сприяє модернізації управління підприємствами, підвищенню ефективності їх функціонування та адаптації до динамічних змін ринкового середовища. Цифровізація не лише змінює способи взаємодії з клієнтами, а й формує нові бізнес-моделі, орієнтовані на швидкість, зручність і персоналізацію обслуговування.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення конкурентоспроможності підприємств сфери послуг в умовах глобалізації та цифрової трансформації економіки. Сучасні споживачі висувають нові вимоги до якості, швидкості та доступності послуг, що змушує підприємства активно впроваджувати інноваційні технології. Використання CRM-систем, хмарних сервісів, штучного інтелекту, мобільних додатків і платформ самообслуговування стає не лише перевагою, а необхідністю для ефективного функціонування.

Метою нашого дослідження є аналіз сучасних тенденцій впровадження цифрових технологій у сфері послуг, визначення їх впливу на ефективність діяльності підприємств, а також обґрунтування перспектив подальшого розвитку цифровізації в даній галузі.

Досліджуючи дану проблематику, бачимо, що цифрова економіка та цифровізація управління є ключовими факторами, що впливають на розвиток усіх сфер національної економіки у тому числі й сфери послуг. В умовах глобалізації та невідворотних змін у сучасному світі компанії стикаються з потребою зростання своєї конкурентоспроможності засобами впровадження цифрових засобів та автоматизування. Саме цифровізація дозволяє впорядкувати внутрішні процеси, покращити якість обслуговування клієнтів та забезпечити конкурентність фірм на ринку [1].

Таким чином, у процесі дослідження, бачимо, що сфера послуг є однією з галузей економіки, що активно розвивається й націлена на задоволення потреб споживачів. Цифрові технології стають засобом для зростання ефективності діяльності підприємств, забезпечуючи автоматизацію бізнес-процесів, зменшення витрат часу та ресурсів, а також покращення комунікації з клієнтами. До головних цифрових рішень, які найбільше використовуються у сфері послуг, відносяться CRM-системи, чат-боти, системи електронних платежів, штучний інтелект, хмарні технології, мобільні додатки та платформи самообслуговування.

Однією з ключових сучасних тенденцій діджиталізації сфер послуг є автоматизація клієнтського обслуговування. Підприємства все частіше впроваджують чат-боти, які гарантують миттєву взаємодію з покупцями у будь-який зручний для них час. Це дозволяє оперативно давати відповіді на запити клієнтів, зменшити час очікування та підняти рівень задоволеності послугами. Автоматизація також суттєво зменшує навантаження на персонал та дає змогу сфокусувати увагу працівників на розв'язанні складних завдань.

Важливу роль у цифровізації сфери послуг відіграє використання хмарних технологій, які надають підприємствам змогу зберігати та обробляти значні обсяги даних, забезпечувати віддалений доступ до відомостей та оптимізувати внутрішні бізнес-процеси. Використання таких сервісів дозволяє зменшити витрати на IT-інфраструктуру та підвищити гнучкість діяльності компанії [2].

CRM-систем є значущою сучасною тенденцією. Їхнє застосування сприяє ефективному управлінню взаєминами з клієнтами. Такі системи збирають відомості про клієнтів,

аналізують їхню поведінку, передбачають потреби та формують індивідуальні пропозиції. Завдяки цьому фірми можуть підвищити якість обслуговування, збільшити лояльність клієнтів та краще керувати збутом.

Важливою сучасною течією також є персоналізація послуг на базі аналізу даних та штучного інтелекту. Використання технологій штучного інтелекту дає змогу розібрати поведінку клієнтів, визначити їхні особисті потреби та запропонувати найбільш доречні послуги. Це збільшує рівень задоволеності клієнтів та підвищує конкурентні переваги фірм у сфері послуг [3].

Особливе значення цифрові технології мають у різних підгалузях сфери послуг. Наприклад, у готельному господарстві використовуються PMS-системи, що автоматизують бронювання помешкань, управління поселенням клієнтів та облік послуг. У ресторанах та кав'ярнях поширено застосовуються POS-системи для автоматизації приймання замовлень, проведення розрахунків та контролю продукції. У банківській сфері активно формуються онлайн-банкінг та мобільні застосунки, які забезпечують швидкий доступ до фінансових послуг. У сфері доставки та логістики цифрові платформи дозволяють відслідковувати замовлення в реальному часі, оптимізувати шляхи та покращувати сервіс для клієнтів.

Запровадження цифрових технологій у сфері послуг надає підприємствам низку важливих переваг. Перш за все це є зростання швидкості обслуговування, що дозволяє скоротити час виконання операцій та забезпечити більш стрімку реакцію на потреби клієнтів. Окрім того, діджиталізація сприяє зменшенню витрат, оскільки автоматизація дозволяє скоротити обсяг рутинної роботи та впорядкувати використання ресурсів. Важливою перевагою є також зростання якості послуг, оскільки цифрові засоби зменшують кількість помилок та дають змогу краще пильнувати процес обслуговування [4].

Перспективи розвитку цифрових технологій у сфері послуг пов'язані з подальшим удосконаленням автоматизованих систем, розвитком штучного інтелекту, машинного навчання та аналітики великих обсягів даних. У майбутньому очікується ширше використання цифрових платформ, що дозволить творити нові основи для взаємодії з клієнтами та забезпечувати вищий рівень персоналізації послуг.

Отже, впровадження цифрових технологій у сфері послуг є важливим напрямом розвитку сучасних підприємств та забезпечення інноваційно-цифрових перспектив розвитку національної економіки. Використання цифрових засобів сприяє зростанню ефективності діяльності, покращенню якості обслуговування клієнтів, зменшенню витрат та зміцненню позицій закладів індустрії гостинності на ринку. Подальше використання цифрових технологій відкриває широкі можливості для вдосконалення сфери послуг та формування інноваційної моделі її розвитку.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Дерманська Л., Малюта Л. Інноваційно-цифрові перспективи розвитку економіки України. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Економіка і управління»*. 2019. Вип. 2(30). С. 55-60.
2. Малюта Л., Малюта О. Цифрова трансформація як фактор формування конкурентних переваг і забезпечення стійкості підприємств у сучасних умовах. *Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації»: зб. наук. праць*. Переяслав, 2026. Вип. 127. 254 с. С.28-30.
3. Цифрові технології для вашого бізнесу: як впровадити та що робити далі. Kyivstar Business Hub. URL: <https://hub.kyivstar.ua/articles/czifrovi-tehnologiyi-dlya-vashogo-biznesu-yak-vprovaditi-ta-shho-robiti-dali> (дата звернення: 27.04.2026)
4. Цюпак В., Боднар А., Романюк А. Впровадження цифрових технологій в управління підприємствами: можливості та виклики. *Економічний аналіз*. 2024. Том 34. № 2.

## **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ПОЇЗДІВ НА ОСНОВІ ІОТ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ**

Залізничний транспорт України функціонує в умовах зростаючих вимог до безпеки руху та ефективності управління перевезеннями. Традиційні системи контролю зайнятості колій не забезпечують безперервного контролю положення рухомого складу, що зумовлює необхідність впровадження сучасних цифрових рішень [1, 2].

Одним із перспективних напрямів є використання технологій Інтернету речей (IoT), які дозволяють реалізувати безперервний збір і оброблення телеметричних даних у реальному часі [3]. Сучасні бездротові сенсорні мережі забезпечують надійну передачу інформації від рухомого складу до диспетчерських центрів за умов різноманітних режимів експлуатації [4].

Метою роботи є обґрунтування та розроблення підходів до створення гібридної IoT-системи контролю положення поїздів, адаптованої до умов залізничної інфраструктури України.

У дослідженні розглянуто архітектуру системи, алгоритми оброблення даних, питання кіберзахисту та економічної доцільності впровадження.

Запропонована система базується на багаторівневій архітектурі, що включає рівень датчиків, периферійні обчислювальні вузли, серверну обробку та диспетчерський рівень [5]. Використання GNSS RTK [6], інерціальних модулів, RFID [7] та вібраційних датчиків дозволяє забезпечити високу точність позиціонування рухомого складу.

Об'єднання даних реалізується із застосуванням фільтра Калмана [4], що забезпечує зниження похибки до рівня менше одного метра навіть у складних умовах експлуатації. Особливу увагу приділено алгоритму функціонування системи, який реалізує безперервний цикл збору, оброблення та передачі даних.

Застосування edge-обчислень дозволяє зменшити затримки та підвищити надійність роботи системи. Додатково використовується машинне навчання для прогнозування технічного стану обладнання та запобігання відмовам [8].

Важливим аспектом є забезпечення кібербезпеки системи. Запропоновано використання сучасних криптографічних методів захисту [9], сегментації мережі та резервування каналів зв'язку [10], що дозволяє забезпечити високий рівень надійності функціонування в умовах підвищених загроз.

Проведений економічний аналіз підтвердив доцільність впровадження системи. Отримані результати свідчать про скорочення витрат на обслуговування, зменшення кількості інцидентів та підвищення ефективності експлуатації залізничної інфраструктури [10].

Таким чином, впровадження IoT-систем контролю положення поїздів є перспективним напрямом розвитку залізничного транспорту, що забезпечує підвищення безпеки руху та ефективності управління перевезеннями.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Пахл Дж. Експлуатація та управління залізничним транспортом. 2-ге вид. Маунтлейк-Террас : VTD Rail Publishing, 2009. 248 с.
2. Іваненко М. М. Автоматизовані системи управління та телемеханіка на залізничному транспорті: підручник. Київ : Логос, 2022. 144 с.
3. Фінкенцеллер К. Посібник з RFID: основи та застосування в безконтактних смарт-картках, радіочастотній ідентифікації та комунікації ближнього поля. 3-ге вид. Чічестер : John Wiley & Sons, 2010. 480 с.
4. Каплан Е. Д., Хегаті К. Дж. Розуміння GPS: принципи та застосування. 2-ге вид. Норвуд : Artech House, 2006. 728 с.

## **INNOVATIVE DIGITAL TECHNOLOGIES IN MARKETING: FROM AUTOMATION TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

The contemporary global economy is undergoing a profound transformation driven by digital technologies. The transition to a digital economy necessitates a reimagining of traditional business models and market interaction methods. In this context, marketing is evolving from classical channels toward integrated digital strategies that encompass all stages of the customer journey. Digitalization serves not merely as a technological upgrade but as a strategic factor in competitiveness, enabling enterprises to adapt to dynamic environments and globalization challenges.

The issues of digital marketing transformation have been examined by both international and domestic scholars. It has been established that under martial law in Ukraine, the application of digital channels has become critical for maintaining audience engagement and integrating corporate values into relationship marketing strategies. Research confirms that digital tools expand the potential of enterprises, although their implementation is accompanied by several organizational challenges [1].

The aim of this study is to conduct a comprehensive analysis of current marketing trends under the influence of digitalization, identify key innovative tools, and determine priority directions for the development of marketing activities in Ukraine.

### **1. Essence and Conceptual Foundations of Digital Transformation**

Digital transformation should be viewed as a fundamental process of integrating digital technologies into all aspects of an enterprise's operations. This leads to the formation of a new terminological and methodological framework, including «digital marketing», «e-marketing», and «web marketing».

The primary distinction between digital marketing and internet marketing lies in the broader scope of channels: from mobile applications and digital television to interactive panels and POS terminals, which do not always require a direct internet connection. Meanwhile, electronic marketing (e-marketing) acts as an integration process that combines social and managerial components to satisfy consumer needs through the creation and exchange of value in the digital environment.

### **2. Key Tools and Technological Trends**

The analysis allowed for the identification of the most effective tools in modern marketing:

- Artificial Intelligence (AI) and Automation: AI enables deep Big Data analysis, demand forecasting, and audience segmentation based on complex behavioral patterns. Automation via chatbots provides 24/7 support, service personalization, and rapid order processing.
- Search Engine Optimization (SEO): This remains the foundation of digital presence. Approximately 90% of enterprises utilize SEO, as 70-90% of consumer journeys begin with search engines. Currently, "zero-click search" and voice search optimization are becoming increasingly relevant [2].
- SMM and Social Commerce: Social networks (Facebook, Instagram, TikTok) have transformed into full-fledged trading platforms where the path from brand awareness to transaction is minimized.
- Content and Viral Marketing: Creating value-driven content that spreads organically allows brands to exert non-intrusive influence and build loyalty without direct calls to purchase.
- Innovative Formats (AR and Native Advertising): Augmented Reality (AR) creates immersive experiences via QR codes, while native advertising demonstrates higher effectiveness compared to traditional banners.

### **3. Specifics of Marketing in Ukraine Under War Conditions**

The full-scale invasion has triggered a radical transformation of national influencer marketing. The content of opinion leaders has shifted from entertainment toward patriotic and socially significant themes. Brand partnerships are now based on shared values and informational resistance.

Under martial law, digital channels have become decisive for maintaining consumer activity. The use of digital marketing in the agro-industrial sector to promote products in international markets is particularly promising [3].

#### 4. Systemic Challenges and Strategic Priorities

Despite significant potential, digitalization in Ukraine faces several challenges:

- Human Capital Deficit: A shortage of highly qualified analysts capable of interpreting large volumes of data.
- Methodological Difficulties: The complexity of assessing ROI (Return on Investment) in social media compared to corporate websites.
- Infrastructural Constraints: The need for further expansion of broadband internet access and the strengthening of cybersecurity to build digital trust [1].

Conclusions. Digital transformation is a decisive factor in business competitiveness. The shift from traditional to digital strategies allows companies to overcome geographical barriers and provide personalized real-time communication. For successful development, Ukrainian enterprises must invest in web analytics, event marketing, and AI technologies, while simultaneously modernizing the professional training system for personnel [4].

#### REFERENCES:

1. Неміш Ю. Сучасні тенденції розвитку маркетингової діяльності підприємств в умовах цифрових трансформацій. *Економіка та суспільство*. 2022. № 40. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-40-48>
2. Руденко М. В., Кирилюк Є. М., Хуторна М. Е. Цифровізація: маркетингові тренди та платформи реалізації. *Науковий вісник Одеського національного економічного університету*. 2022. № 5–6 (294–295). С. 80–87. DOI: <https://doi.org/10.32680/2409-9260-2022-5-6-294-295-80-87>
3. Лошенко І. Р., Кіреєва К. О., Мілашовська О. І. Дилемні питання розвитку цифрового маркетингу в реаліях масштабної військової агресії. *Академічні візії*. 2023. № 21. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8143076>
4. Лошенко О. В., Волченко Є. О., Березовська В. О. Роль digital-маркетингу в просуванні товарів та послуг: нові можливості та виклики на тлі масштабної військової агресії. *Академічні візії*. 2023. № 20. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.8038582>

## **СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГОТЕЛЬНО-РЕСТОРАННОМУ БІЗНЕСІ**

У сучасних умовах цифровізації економіки інформаційні технології стають визначальним чинником розвитку підприємств сфери послуг, зокрема готельно-ресторанного бізнесу. Динамічні зміни ринкового середовища, зростання конкуренції, підвищення вимог споживачів до якості обслуговування та швидкості отримання послуг обумовлюють необхідність впровадження інноваційних IT-рішень. Готельно-ресторанна галузь (HoReCa), яка традиційно орієнтована на сервіс і клієнтський досвід, сьогодні переживає глибоку трансформацію під впливом цифрових технологій, що змінюють не лише інструменти управління, але й саму філософію ведення бізнесу.

Актуальність дослідження зумовлена тим, що інформаційні технології дозволяють забезпечити інтеграцію бізнес-процесів, автоматизацію операційної діяльності, підвищення ефективності управління ресурсами та формування персоналізованого підходу до клієнтів. Використання таких систем, як PMS, POS, CRM та аналітичні платформи, сприяє створенню єдиного інформаційного простору підприємства, що забезпечує оперативне прийняття управлінських рішень на основі даних. Водночас впровадження IT супроводжується низкою викликів, серед яких – потреба у значних інвестиціях, необхідність підвищення цифрових компетенцій персоналу, забезпечення кібербезпеки та дотримання нормативно-правових вимог щодо захисту даних.

Особливого значення набуває адаптація технологічних рішень до умов малого і середнього бізнесу, який домінує у структурі HoReCa в Україні. Обмежені фінансові ресурси, нестабільність економічного середовища та кадрові виклики потребують розробки гнучких і поетапних підходів до цифрової трансформації. У цьому контексті важливо не лише впроваджувати сучасні IT-рішення, але й оцінювати їхню ефективність з урахуванням як фінансових, так і нефінансових показників.

Таким чином, дослідження ролі та впливу інформаційних технологій у готельно-ресторанному бізнесі є важливим як з теоретичної, так і з практичної точки зору. Воно спрямоване на формування цілісного уявлення про можливості цифрових інструментів, визначення оптимальних підходів до їх впровадження та забезпечення сталого розвитку підприємств сфери гостинності в умовах цифрової економіки.

Сьогодні ми є свідками того, як інформаційні технології є одним із ключових чинників підвищення конкурентоспроможності готельно-ресторанного бізнесу. Вони забезпечують автоматизацію операцій, підвищення якості обслуговування, можливості для персоналізації сервісу та аналітичної підтримки управлінських рішень. У контексті HoReCa технологічні рішення впливають не лише на технічну інфраструктуру, а й на організаційну культуру, структуру витрат і моделі взаємодії з клієнтами.

Метою дослідження виходячи із вище викладеного є систематизація знань про роль IT у HoReCa, формулювання практичних рекомендацій щодо їхнього впровадження та визначення критеріїв оцінки ефективності в умовах обмежених ресурсів.

Під інформаційними технологіями в межах даного дослідження розуміється сукупність апаратних, програмних і процедурних рішень, що забезпечують збір, обробку, зберігання та використання даних для підтримки операційної діяльності та прийняття управлінських рішень. Теоретична основа ґрунтується на підходах системного аналізу бізнес-процесів, теорії інформаційних систем та менеджменту послуг. Методологія дослідження включає аналіз функціональних вимог закладів HoReCa, порівняння архітектурних патернів, оцінку ризиків та формування набору KPI для вимірювання ефективності. Практична частина базується на

узагальненні кращих практик індустрії та адаптації їх до умов малого і середнього бізнесу в Україні.

Архітектура IT-ландшафту готельно-ресторанного підприємства повинна забезпечувати модульність, інтероперабельність і можливість поетапного впровадження. Логічна модель включає інфраструктурний рівень, прикладні сервіси, інтеграційний шар і аналітичну платформу. Інфраструктурний рівень охоплює мережеві ресурси, сервери та сервіси зберігання даних; прикладні сервіси – це PMS (Property Management System – інформаційна система для управління операціями) для управління номерним фондом, POS (Point of Sale – комплекс апаратно-програмних засобів для реєстрації продажів, обробки платежів і управління операціями в точці обслуговування) для обліку ресторанних операцій та CRM для управління взаємовідносинами з клієнтами; інтеграційний шар забезпечує обмін даними між системами і зовнішніми каналами продажу; аналітична платформа агрегує дані для формування звітності та прогнозних моделей [1]. Інтеграція PMS, POS і CRM є операційним центром, що дозволяє отримати єдину картину клієнта, оптимізувати процеси обслуговування та реалізувати персоналізовані пропозиції. Для практичного менеджменту важливим є вибір рішень із відкритими інтерфейсами та чіткими умовами SLA - Service Level Agreement (угода про рівень сервісу), що знижує ризики залежності від постачальника та полегшує масштабування [2].

Впровадження IT змінює структуру праці в закладах HoReCa, оскільки рутинні операції автоматизуються, що дозволяє спрямувати людські ресурси на клієнтський сервіс, креативні завдання та управлінську аналітику. Однак цифровізація породжує потребу в нових компетенціях – персонал має опанувати роботу з інформаційними системами, розуміти принципи кібергігієни та вміти інтерпретувати аналітичні звіти. З організаційної точки зору це вимагає перегляду посадових інструкцій, інвестицій у навчання та систем мотивації, що враховують нові ролі. Соціально-психологічний аспект – опір змінам, що потребує управлінських заходів: прозорі комунікації, залучення працівників до процесу впровадження та поетапного переходу до нових процедур [3]. Тому варто підкреслити, що успіх цифрової трансформації залежить від поєднання технічних рішень і кадрової політики [9].

IT також відкривають можливості для персоналізації послуг, що є критично важливим у сфері гостинності. CRM-системи дозволяють накопичувати інформацію про вподобання гостей, історію бронювань і замовлень, що дає змогу формувати індивідуальні пропозиції, програми лояльності та таргетовані маркетингові кампанії. Персоналізація підвищує задоволеність клієнтів і середній чек, але водночас ставить питання етики обробки даних. Тут важливо забезпечити прозорість політик збору даних, отримувати інформовану згоду та дотримуватися нормативних вимог щодо захисту персональної інформації [4]. У гуманітарно-економічному підході доцільно враховувати культурні особливості споживачів при формуванні персоналізованих пропозицій і уникати практик, що можуть бути сприйняті як надмірне втручання в приватне життя.

Обробка персональних і платіжних даних вимагає комплексного підходу до безпеки. Технічні заходи включають шифрування даних у спокої та в транзиті, багатофакторну автентифікацію, сегментацію мережі для ізоляції платіжних терміналів, централізоване логування та впровадження процедур реагування на інциденти. Нормативна відповідність передбачає дотримання стандартів, зокрема PCI DSS (Payment Card Industry Data Security Standard – набір технічних і операційних вимог, розроблених Радою стандартів безпеки платіжних карток) для платіжних операцій та національного законодавства щодо захисту персональних даних. Організаційні заходи у даному контексті – це політика доступу, регулярні резервні копії, плани відновлення бізнесу з визначеними RTO (Recovery Time Objective – цільовий час відновлення сервісу після інциденту; максимальний допустимий інтервал від моменту збою до відновлення нормальної роботи) і RPO (Recovery Point Objective – цільова точка відновлення даних; максимальний допустимий обсяг даних, який може бути втрачено, вимірюється в часі), навчання персоналу як невід’ємна частина стратегії безпеки [5]. Таким чином, варто зазначити, що акцент потрібно робити також на інвестиції в безпеку

бізнесу, які мають розглядатися як інвестиції в довіру клієнтів і забезпечення стійності бізнесу [9].

Оцінка ефективності IT-інвестицій повинна поєднувати фінансові та операційні показники. Фінансові метрики включають ROI (Return on Investment – показник рентабельності інвестицій, що вимірює відношення прибутку, отриманого від інвестиції, до її вартості), період окупності та зміну операційних витрат; операційні – доступність сервісів, середній час обслуговування, заповнюваність номерного фонду, середній чек і частка повторних клієнтів. Методологічно доцільно застосовувати багатокритеріальний підхід, що поєднує аналіз витрат-вигод із вимірюванням впливу на клієнтський досвід. Для малих і середніх підприємств важливо враховувати часові горизонти окупності та ризики, пов’язані з технологічною застарілістю і витратами на підтримку [6].

Запропонована методика передбачає чотири етапи [7]:

- 1) аудит IT-ландшафту та визначення пріоритетів
- 2) впровадження базових операційних систем (PMS, POS) з налаштуванням резервного копіювання і базової безпеки;
- 3) інтеграція CRM та запуск аналітичної платформи з ETL-процесами
- 4) оптимізація процесів на основі аналітики, впровадження програм лояльності та автоматизації маркетингу.

На кожному етапі необхідно передбачити навчання персоналу, тестування процедур відновлення та оцінку KPI. Такий поетапний підхід дозволяє розподілити інвестиції, знизити ризики і забезпечити поступове нарощування компетенцій.

Таблиця 1 - Порівняння ключових IT-компонентів з управлінської перспективи

Компонент	Функція для бізнесу	Управлінська вигода	Обмеження/ризики
PMS	Управління бронюваннями і номерним фондом	Підвищення точності бронювань; зниження ручної праці	Вартість інтеграції; залежність від постачальника
POS / RMS	Облік продажів у ресторані	Прискорення обслуговування; контроль запасів	Потреба у стандартизації процесів
CRM	Накопичення даних клієнтів; маркетинг	Персоналізація; підвищення лояльності	Проблеми з якістю даних; приватність
BI / Аналітика	Звіти; прогнозування попиту	Оптимізація ресурсів; стратегічне планування	Потреба в компетенціях; витрати на впровадження

Джерело: узагальнено автором за [8-11]

**Висновки.** Отже, проведене дослідження підтверджує, що інформаційні технології виступають ключовим драйвером трансформації готельно-ресторанного бізнесу, забезпечуючи підвищення ефективності операційної діяльності, оптимізацію витрат та покращення якості обслуговування клієнтів. Інтеграція сучасних IT-рішень, зокрема PMS, POS, CRM і аналітичних систем, дозволяє формувати єдиний інформаційний простір підприємства, що сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень і створенню конкурентних переваг.

Встановлено, що важливою умовою успішної цифрової трансформації є не лише технологічна модернізація, а й організаційна готовність підприємства. Це включає розвиток цифрових компетенцій персоналу, адаптацію бізнес-процесів, формування культури роботи з даними та ефективне управління змінами. Значну роль відіграє також забезпечення кібербезпеки та дотримання стандартів захисту інформації, що є необхідною передумовою довіри клієнтів і стабільності бізнесу.

Обґрунтовано доцільність застосування поетапного підходу до впровадження IT-рішень, який дозволяє мінімізувати ризики, раціонально розподілити ресурси та поступово

підвищувати рівень цифрової зрілості підприємства. Запропонована методика впровадження та система КРІ можуть бути використані як практичний інструмент для оцінки ефективності інвестицій у цифровізацію, особливо в умовах обмежених ресурсів малого та середнього бізнесу.

Перспективи подальших досліджень полягають у поглибленому аналізі використання штучного інтелекту, великих даних (Big Data), інтернету речей (IoT) та інших інноваційних технологій у сфері HoReCa, а також у розробці моделей їх адаптації до українських реалій. Окремої уваги потребує вивчення впливу цифровізації на поведінку споживачів і формування нових бізнес-моделей у сфері гостинності.

Таким чином, ефективне використання інформаційних технологій є не лише інструментом оптимізації діяльності, а й стратегічною основою довгострокового розвитку та підвищення конкурентоспроможності підприємств готельно-ресторанного бізнесу.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Сусіденко В.Т., Гуштан Т.В. Сучасні інформаційні системи в готельно-ресторанному бізнесі. *Академічні візії*. 2025. Вип. 41. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15306137>
2. Світлиця О.В., Вовк С.В., Банаєва І.О. Інноваційні технології в готельному бізнесі: від віртуальних консьєржів до розумних номерів. *Економіка та суспільство*. 2025. Вип. 82. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-82-24>
3. Waqanimaravu M., Arasanmi C. N. Employee training and service quality in the hospitality industry. *Journal of Foodservice Business Research*. 2020. № 23(3). P. 216-227. DOI: <https://doi.org/10.1080/15378020.2020.1724850>
4. Pletsan K., Havryliuk A., Poberezhets H., Yurova T., Bilov V., Polotnianko O. Digital Transformation of Preservation and Restoration of Ukraine's Cultural Heritage. *Studies in Media and Communication*. 2023. № 11(7). DOI: <https://doi.org/10.11114/smc.v11i7.6514>
5. Povorozniuk I. Formation of Innovative Components in the Hospitality Industry Enterprise. *Sustainable Socio-Economic Development Journal*. 2023. № 1(3-4). P. 73-80. DOI: 10.31499/2616-5236.1(27).2024.299099
6. Нодь О.Л., Стегней М.І., Бергхауер О.О. Розвиток готельно-ресторанного обслуговування в контексті розвитку цифрової економіки та євроінтеграції. *Економічний простір*. 2025. № 200. С. 221-226. DOI: <https://doi.org/10.30838/EP.200.221-226>
7. Iranmanesh M., Ghobakhloo M., Nilashi M., Tseng M., Yadegaridehkordi E., Leung N. Applications of disruptive digital technologies in hotel industry: A systematic review. *International Journal of Hospitality Management*. 2022. № 107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2022.103304>.
8. Барна М., Мельник І. Стратегія цифровізації готельно-ресторанного бізнесу. *Економіка та суспільство*. 2025. Вип. 71. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-71-66>.
9. Дерманська Л., Малюта Л. Інноваційно-цифрові перспективи розвитку економіки України. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Економіка і управління»*. 2019. Вип. 2(30). С. 55-60.
10. Малюта Л., Малюта О. Цифрова трансформація як фактор формування конкурентних переваг і забезпечення стійкості підприємств у сучасних умовах. *Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації»*: зб. наук. праць. Переяслав, 2026. Вип. 127. 254 с. С.28-30.
11. Стегней М.І., Нодь О.Л., Бергхауер О.О., Кампов Н.С. Трансформація готельно-ресторанного обслуговування в умовах цифровізації. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. Т. 9. №3. С. 26-29. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2024-3-4>.

## EDTECH ЯК ДРАЙВЕР ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОСВІТИ: ДОСВІД УКРАЇНИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПІСЛЯВОЄННОГО ВІДНОВЛЕННЯ

У третьому десятилітті XXI століття цифрова трансформація освіти стала однією з найвиразніших глобальних тенденцій, що визначають стратегічні пріоритети розвитку людського капіталу в усьому світі. Освіта, яка історично залишалася консервативною сферою, нині переживає радикальні зміни під впливом цифрових технологій, штучного інтелекту, віртуальної та доповненої реальності, аналітики великих даних. Освітні технології, узагальнено позначувані поняттям EdTech, перетворилися на потужний драйвер трансформації навчального процесу – від змісту та форматів подачі знань до способів оцінювання, адміністрування й комерціалізації освітніх продуктів. Для України ця трансформація набула особливого, екзистенційного значення: спочатку пандемія коронавірусу, а згодом повномасштабна війна змусили систему освіти прискорено переходити на цифрові формати, перетворивши EdTech з інструмента модернізації на засіб збереження безперервності освітнього процесу [5].

Поняття EdTech охоплює широкий спектр технологічних рішень, що використовуються у сфері навчання. До них належать освітні онлайн-платформи, системи управління навчанням (LMS), мобільні застосунки для самоосвіти, інтерактивні підручники, симулятори та тренажери на основі віртуальної й доповненої реальності, інструменти адаптивного навчання з елементами штучного інтелекту, платформи для оцінювання знань та цифрові середовища для співпраці учасників освітнього процесу. Сучасний EdTech – це не лише технологічний інструментарій, а ціла екосистема, що поєднує розробників, освітні установи, державні органи, інвесторів і кінцевих користувачів. Принципова цінність цієї екосистеми полягає у здатності робити освіту доступнішою, персоналізованою та ефективнішою, долаючи географічні, соціальні й фізичні бар'єри традиційного навчання.

Глобальний ринок EdTech демонструє стрімке зростання. За оцінками галузевих аналітиків, у 2025 році світові інвестиції в освітні технології наблизилися до 20 млрд дол. США, а загальний ринок освіти, на якому EdTech займає поки що 5,2 %, оцінюється приблизно в 7,3 трлн дол. США. Світовий обвал інвестицій у 2022 році, коли обсяг венчурного капіталу скоротився на 49 % порівняно з рекордним 2021 роком, змінився відновленням і поступовим зростанням починаючи з 2024 року. Каталізатором цього стало масштабне впровадження генеративного штучного інтелекту в освітні продукти: у травні 2024 року OpenAI представила ChatGPT Edu – спеціальну версію свого чат-бота, орієнтовану на університети, а такі гіганти як Khan Academy, Duolingo, Coursera інтегрували інтелектуальних помічників у свої платформи, що забезпечило персоналізований зворотний зв'язок у реальному часі та адаптивний контент для кожного учня [2].

Український ринок EdTech упродовж останніх років демонструє виразну позитивну динаміку, незважаючи на надзвичайно складні умови функціонування. У 2025 році його обсяг сягнув приблизно 500 млн дол. США, із середнім щорічним приростом близько 25 %. Понад 70 % українських школярів використовують онлайн-платформи у щоденному навчанні, а гібридні моделі поєднання очного та дистанційного формату дозволили знизити рівень відсіву студентів на 15 %. Особливе значення має національний застосунок «Мрія», презентований 2 вересня 2024 року: лише за перший рік експлуатації до нього долучилися понад 420 тисяч користувачів, що становить близько 20 % українських шкіл. Платформа об'єднує електронні щоденники, журнали, інструменти комунікації між учасниками освітнього процесу та сервіси для адміністрування навчального закладу.

Війна, яку російська федерація розв'язала проти України, стала драматичним випробуванням для національної системи освіти. Станом на 1 вересня 2024 року в

дистанційному форматі навчалися понад 500 тисяч українських школярів. Для дітей, які виїхали за кордон, цифрові освітні платформи залишаються чи не єдиним способом зберегти зв'язок з українською школою, а для дітей із прифронтових територій – фактично єдиною можливістю продовжити навчання. У 2023–2024 роках за підтримки ЮНІСЕФ і Міністерства освіти і науки України в прифронтових областях було відкрито 16 цифрових освітніх центрів, оснащених VR-гарнітурами, які забезпечили учнів доступом до імерсивних навчальних середовищ навіть в умовах, де очне відвідування шкіл є небезпечним. Така інфраструктура дозволила частково компенсувати освітні втрати, спричинені ракетними обстрілами, блекаутами й вимушеними переміщеннями.

Державна цифрова інфраструктура освіти суттєво розширилася впродовж 2023–2025 років. Платформа «Дія.Освіта», яка восени 2025 року здобула бронзову нагороду престижної міжнародної премії Learning Technologies Awards у категорії найкращого використання гібридного навчання у державному й неприбутковому секторі, стала прикладом успішного національного EdTech-проєкту, визнаного на світовому рівні. Її екосистема включає мережу з близько 5000 офлайн-хабів цифрової освіти у бібліотеках, школах, університетах, центрах надання адміністративних послуг, IT-компаніях і громадських організаціях по всій країні. За три роки роботи через бібліотеки-хаби пройшли навчання майже 40 тисяч українців, а модуль сучасної інформатики «IT-студії для шкіл» уже впровадили понад 35 % українських загальноосвітніх закладів. Доповнюють картину Всеукраїнська школа онлайн, платформи EdEra, Prometheus, Projector Institute та десятки інших ініціатив, що формують повноцінне національне цифрове освітнє середовище [3].

Ключовим технологічним трендом 2024–2025 років стало проникнення штучного інтелекту в освітні процеси. Українська платформа EdEra розробила власну систему управління навчанням ederaLMS із вбудованим AI-помічником, який допомагає викладачам формувати структуру курсів, наповнювати їх контентом і створювати тестові завдання. Глобальні дослідження свідчать, що інтеграція ШІ в навчальні платформи підвищує середню академічну успішність учнів на 25 %, а використання VR-симуляцій у практичних дисциплінах знижує кількість помилок у студентів на 30 %. У 2024 році корпорація Google виділила Україні 2 млн дол. США на розвиток цифрової освіти та запустила окрему платформу безкоштовних курсів «Цифрові навички для освіти з Google», розраховану на українських педагогів. Це дало змогу швидко масштабувати компетенції вчителів у роботі з генеративними моделями та інтегрувати інтелектуальні інструменти у щоденну педагогічну практику.

Аналіз показників розвитку EdTech у регіональному вимірі України свідчить про істотну нерівномірність. Найбільші освітні технологічні екосистеми сформувалися у Києві, Львові, Харкові, Одесі та Дніпрі, де концентруються провідні стартапи, IT-компанії та університетські інноваційні хаби. У квітні 2024 року в Україні відкрили мережу інноваційних шкіл при провідних університетах із фокусом на штучний інтелект, оборонні технології, кібербезпеку та EdTech, які підтримують студентські стартапи від ідеї до комерціалізації. Натомість у регіонах, що зазнали найсильніших руйнувань – Чернігівській, Сумській, Харківській, Запорізькій, Херсонській, Донецькій і Луганській областях, – доступ до якісної цифрової освіти лімітований через зруйновану інфраструктуру, перебої з електропостачанням і дефіцит кваліфікованих педагогічних кадрів. Така диспропорція потребує цілеспрямованої державної політики вирівнювання, без якої цифрова трансформація ризикує посилити, а не послабити нерівність освітніх можливостей.

Українські EdTech-компанії активно інтегруються у міжнародний ринок. Участь національних стартапів у міжнародних освітніх форумах Bett UK 2024 і 2025 років забезпечила українським проєктам залучення додаткових інвестицій та вихід на ринки Великої Британії, Польщі, Німеччини, країн Скандинавії та Балтії. Ключовою особливістю українського EdTech-сектору залишається висока стійкість до зовнішніх шоків: компанії, які виникли або перебудувалися в умовах війни, демонструють унікальні компетенції у створенні освітніх рішень для умов невизначеності, дистанційної взаємодії та психологічної підтримки користувачів. Цей досвід має значний експортний потенціал, особливо для країн, які

стикаються з гуманітарними кризами, природними катаклізмами або освітніми реформами в умовах обмежених ресурсів. У 2023–2024 роках EdEra спільно з Google запустила два курси для підприємців, а Genesis у партнерстві з Міністерством цифрової трансформації та Міністерством освіти і науки розгорнув всеукраїнський курс зі створення цифрових продуктів.

Попри стрімке зростання, українській EdTech-галузі властивий цілий комплекс системних викликів. Передусім ідеться про обмежений доступ до іноземного венчурного капіталу: попри те, що в 2025 році технологічний сектор України залучив рекордні 498 млн дол. США інвестицій, освітні стартапи отримують лише незначну частину цього потоку. Серйозним бар'єром залишається застарілість нормативно-правового регулювання сфери: чинна Концепція цифрової трансформації освіти і науки розрахована до 2026 року й потребує оновлення з урахуванням реалій воєнного часу, інтеграції зі стандартами Європейського Союзу та вимогами AI Act, що набирає чинності з серпня 2026 року. Третій виклик – кадровий: українські педагоги мають істотно нерівний рівень цифрової зрілості, а міграційні процеси й мобілізація скорочують і без того обмежений людський ресурс. Четвертий виклик пов'язаний із кіберзагрозами: освітні платформи стають мішенню для атак, особливо у періоди загострення військових дій.

Важливим напрямом подальшого розвитку EdTech в Україні є впровадження мікрокваліфікацій – коротких сертифікаційних програм, що дають змогу швидко реагувати на потреби ринку праці й здобувати конкретні професійні навички за кілька місяців замість років. У березні 2025 року за участі Міністерства освіти і науки України та Національного агентства кваліфікацій відбувся всеукраїнський вебінар, присвячений інтеграції мікрокваліфікацій у відповідь на виклики євроінтеграції та повоєнної відбудови. Цей інструмент особливо актуальний для перепідготовки ветеранів, внутрішньо переміщених осіб та фахівців тих галузей, що зазнали структурних змін через війну. Поширення мікрокваліфікацій органічно поєднується з міжнародним трендом неперервної освіти: за даними дослідницьких звітів, у 2023 році працівники витрачали на підвищення кваліфікації у 5,6 рази більше часу, ніж роком раніше, а у 2024 році близько 75 % світових вакансій вимагали від кандидатів принаймні базових цифрових навичок [4].

У контексті післявоєнного відновлення EdTech має шанс стати одним із найпотужніших драйверів модернізації України. Цифрові освітні рішення дозволяють швидко відновлювати доступ до навчання у регіонах, які постраждали від бойових дій, не чекаючи завершення фізичної реконструкції шкіл. Гібридні моделі навчання забезпечують безперервність освіти для дітей, що повертаються з-за кордону, та для тих, хто залишається на тимчасово невідконтрольованих територіях. Інтеграція з європейським цифровим освітнім простором, синхронізація з Планом дій ЄС із цифрової освіти на 2021–2027 роки, гармонізація українських освітніх стандартів зі стандартами Болонського процесу формують підґрунтя для глибшої академічної мобільності українських школярів і студентів. Особливу роль відіграватиме розвиток психоосвітніх цифрових сервісів – платформ, що поєднують навчальний контент із підтримкою психічного здоров'я учасників освітнього процесу, чия травматизація стала однією з найгостріших проблем післявоєнного періоду [1].

Перспективним вектором є також формування національної екосистеми освітніх даних. Збір, обробка й аналіз інформації про навчальні досягнення учнів, ефективність методик, динаміку цифрових компетентностей дають змогу приймати обґрунтовані управлінські рішення на рівні школи, регіону та держави. Поєднання EdTech з аналітикою великих даних відкриває можливості для виявлення груп ризику, ранньої діагностики освітніх труднощів і таргетованого втручання. Розвиток освітніх даних має відбуватися з дотриманням найвищих стандартів кібербезпеки та захисту персональних даних, особливо коли йдеться про неповнолітніх. Не менш значущим є залучення приватного капіталу й міжнародних донорів до фінансування освітніх інновацій: подвоєння інвестицій у EdTech може стати ключовим фактором, який забезпечить Україні якісний стрибок у рейтингах глобальної конкурентоспроможності системи освіти.

Таким чином, EdTech в Україні виступає не просто інструментом технологічної модернізації, а стратегічним ресурсом збереження, відновлення й розвитку національної системи освіти в умовах безпрецедентних викликів. Війна, яка завдала колосальних втрат освітній інфраструктурі, водночас стала каталізатором цифрової трансформації, що в інших обставинах розгорталася б десятиліттями. Український досвід інтеграції технологій у навчальний процес, побудови національних цифрових платформ, підготовки педагогів і розвитку приватних ініціатив здатний стати взірцем для країн, які стикаються з подібними кризами. Подальший прогрес у цій сфері залежить від синхронізації зусиль держави, бізнесу, академічної спільноти та міжнародних партнерів. У післявоєнний період EdTech може перетворитися на один із локомотивів економічного відновлення, забезпечивши якісну підготовку кадрів для відбудови країни, повернення українців з-за кордону та формування інклюзивного, конкурентоспроможного цифрового освітнього простору, інтегрованого в європейську й світову систему знань.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Вороненко О. Становлення та розвиток цифрової трансформації у закладах вищої освіти. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2025. № 219. С. 474–479. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-219-474-479> (дата звернення: 09.05.2026).
2. Конрад Т., Волкогон В., Нога Г., Гаєвська А. та ін. Цифрова трансформація освіти і науки України в контексті стратегічного галузевого партнерства з країнами ЄС та інтеграції до ЄПВО (огляд). *Science-based Technologies*. 2024. № 63(3). С. 234–242. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.63.18946> (дата звернення: 09.05.2026).
3. Освіта для цифрової трансформації суспільства: монографія / за ред. В. Г. Кременя, В. І. Лугового, О. М. Спіріна. Київ: Педагогічна думка, 2024. 360 с. (дата звернення: 09.05.2026).
4. Радкевич В., Пригодій М. Цифрова трансформація професійної освіти в Україні в умовах сучасних викликів. *Edukacja Zawodowa i Ustawiczna*. 2024. № 9. С. 35–48. DOI: <https://doi.org/10.71358/ezu.2220> (дата звернення: 09.05.2026).
5. Гардаскіна Т., Рекліцька А. Сучасний цифровий інструмент для закладів вищої освіти в умовах розвитку EDTECH. *Економіка та суспільство*. 2023. № 51. С. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-51> (дата звернення: 09.05.2026).

## ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ WMS В ЛОГІСТИЧНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ

У сучасних умовах розвитку цифрової економіки логістика стає одним із ключових елементів ефективної діяльності підприємств. Зростання обсягів електронної комерції, підвищення вимог споживачів до швидкості доставки та необхідність оптимізації бізнес-процесів змушують компанії впроваджувати сучасні інформаційні технології. Оскільки склад є важливою ланкою ланцюга постачання, то особливу роль у цьому процесі відіграє автоматизація складської логістики. Ефективне управління складськими операціями дозволяє підприємствам зменшити витрати, підвищити точність обліку товарів та покращити якість обслуговування клієнтів [1].

Одним із найбільш поширених рішень для автоматизації складської діяльності є Warehouse Management System (WMS) - це система управління складом, яка забезпечує контроль руху товарів від моменту їх надходження до відвантаження споживачу. Використання WMS дозволяє оптимізувати процеси приймання, зберігання, комплектації та доставки товарів, а також забезпечує оперативний доступ до актуальної інформації про складські запаси. Важливою перевагою WMS є можливість інтеграції з транспортними системами та ERP-системами, які забезпечують автоматизацію та координацію основних бізнес-процесів підприємства. Це дозволяє підприємствам об'єднувати різні інформаційні потоки в єдину систему управління, що значно спрощує обмін даними між підрозділами компанії. Чим краща інтеграція із системою ERP, тим краще WMS функціонує в компанії. Завдяки автоматизації цих процесів підприємства можуть ефективніше використовувати складські площі та людські ресурси.

Важливою перевагою WMS є підвищення точності обліку товарів. Використання штрихкодів, RFID-технологій та автоматизованого збору даних дозволяє мінімізувати кількість помилок під час обробки замовлень. Крім того, система забезпечує швидкий доступ до інформації про залишки продукції та її місцезнаходження на складі. Це особливо важливо для великих підприємств із широким асортиментом товарів. Зберігання товарів на складі - це не лише процес надходження та вибуття продукції, а й постійний потік пов'язаної інформації [2].

Сучасні WMS-системи можуть відрізнятися за рівнем складності та функціональними можливостями. Для невеликих складів використовуються базові системи, які забезпечують облік товарів та контроль залишків. Більш складні WMS дозволяють планувати ресурси, оптимізувати маршрути переміщення продукції та здійснювати аналітику логістичних процесів. Використання таких систем сприяє підвищенню ефективності та конкурентоспроможності підприємств.

Ці рішення є особливо актуальним для торговельних компаній, виробничих підприємств, логістичних операторів та сфери електронної комерції, де швидкість обробки замовлень і точність обліку товарів мають важливе значення [3]. Після надходження продукції система автоматично реєструє товар, визначає місце його зберігання та оновлює інформацію про залишки. Під час формування замовлення WMS допомагає працівникам швидко знаходити необхідні товари та оптимізує маршрути переміщення по складу. Це дозволяє значно скоротити час обробки замовлень. Також є можливість контролю товарних запасів у режимі реального часу. Працівники можуть оперативно отримувати інформацію про кількість продукції, її місцезнаходження та статус замовлень. Завдяки цьому підприємства можуть уникати дефіциту товарів або надлишкового накопичення запасів.

Крім оптимізації складських процесів, WMS позитивно впливає на якість обслуговування клієнтів. Скорочення часу обробки замовлень, зменшення кількості помилок

та підвищення точності доставки дозволяють підприємствам покращувати рівень сервісу та підвищувати конкурентоспроможність на ринку. Оптимальне впровадження WMS сприятиме покращенню взаємодії з клієнтами та підвищенню рівня їх задоволеності [2].

Процес впровадження таких рішень на підприємстві може супроводжуватися певними труднощами та потребувати значних організаційних змін. Ефективність використання WMS залежить від правильності її налаштування, інтеграції з іншими інформаційними системами та готовності персоналу працювати в нових умовах [4].

Однією з головних проблем впровадження WMS є висока вартість автоматизації складських процесів. Для підприємств необхідно не лише придбати програмне забезпечення, а й оновити технічне обладнання, забезпечити використання сканерів штрихкодів, RFID-технологій та сучасних серверних рішень. Крім того, значних витрат потребує навчання працівників та адаптація складських процесів до нової системи управління. Впровадження Warehouse Management System потребує інтеграції операційної діяльності та інформаційних систем для забезпечення ефективної роботи складу. Тобто, успішне функціонування WMS залежить від узгодженої роботи логістичних, інформаційних та управлінських процесів.

Ще однією проблемою є складність інтеграції WMS з іншими системами підприємства. На практиці WMS часто поєднується з ERP-системами, транспортними платформами, системами обліку та електронного документообігу. Неправильне налаштування обміну даними між системами може призводити до помилок в обліку товарів, дублювання інформації або затримок у виконанні замовлень. Тому підприємствам необхідно приділяти значну увагу технічному супроводу та тестуванню системи перед повним запуском.

Важливою особливістю впровадження WMS є необхідність адаптації персоналу до нових методів роботи. Автоматизація процесів змінює звичний порядок виконання складських операцій, тому працівники повинні пройти навчання щодо використання програмного забезпечення та обладнання. На початкових етапах впровадження це може спричинити зниження продуктивності праці та виникнення помилок через недостатній рівень підготовки персоналу. Крім цього, під час впровадження WMS підприємства можуть стикатися з проблемою невідповідності функціональних можливостей системи реальним потребам складу. Для невеликих підприємств надмірно складна система може бути економічно не вигідною, тоді як великі логістичні центри потребують більш гнучких і функціональних рішень. Тому перед вибором WMS необхідно враховувати масштаби діяльності підприємства, кількість товарних позицій, обсяги замовлень та специфіку складських процесів. Оптимальне впровадження WMS - це ефективніше та результативніше рішення порівняно з ручним управлінням складом.

У перспективі подальший розвиток WMS можна пов'язати із впровадженням технологій штучного інтелекту, машинного навчання та Інтернету речей (IoT), що на думку авторів, дозволить ще більше підвищити рівень автоматизації складських процесів. Використання аналітичних прогнозів дає можливість оптимізувати управління запасами, спрогнозувати попит і як результат мінімізувати ризики дефіциту або надлишку продукції.

Таким чином, впровадження інноваційних рішень у сфері складської логістики є важливим фактором сталого розвитку та підвищення ефективності діяльності підприємств.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Грабовецький Б.Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання: монографія. Вінниця : ВНТУ, 2010. 171 с.
2. Attributes and Effect of Implementation of Warehouse Management System (WMS) for Company Sustainability / A. F. Samsudin та ін. *Jurnal Teknologi Transportasi dan Logistik*. 2023. Т. 4, № 2. С. 199–212. URL: <https://doi.org/10.52920/jttl.v4i2.202> (дата звернення 04.05.26).
3. Збарський В.К., Мацибора В.І. Економіка сільського господарства : навч. посіб. Київ : Каравела, 2009. 264 с.
4. Лобода О.М. Застосування імітаційного моделювання та програмних комплексів при реалізації інноваційних проєктів в економічних системах. *Ефективна економіка*. 2020. № 11.

## УДОСКОНАЛЕННЯ ІОТ-СИСТЕМИ ДЛЯ КОЛІЙНИХ ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ В АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Залізничний транспорт є однією з ключових складових транспортної інфраструктури України, ефективність і безпека функціонування якої значною мірою визначається технічним станом елементів верхньої будови колії. Температурні впливи належать до найбільш критичних факторів, що впливають на надійність рейкових конструкцій. Вони можуть спричиняти теплові деформації рейок, втрату міцності матеріалів, виникнення напружень у зварних стиках та передчасні відмови елементів інфраструктури. У зв'язку з цим особливо актуальним є впровадження сучасних систем безперервного контролю температури на основі цифрових технологій та Інтернету речей (ІоТ).

Метою дослідження є підвищення ефективності контролю температурного стану залізничної колії шляхом розроблення та вдосконалення ІоТ-системи на основі оптоволоконних датчиків з брэггівськими ґратками (Fiber Bragg Grating – FBG). У роботі проведено аналіз існуючих методів вимірювання температури колійних елементів, досліджено архітектуру сучасних ІоТ-рішень та обґрунтовано вибір FBG-датчиків як основного чутливого елемента системи. Встановлено, що традиційні контактні (термопари, терморезистори) та безконтактні (інфрачервоні) методи мають суттєві обмеження: дискретність вимірювань, обмежене просторове охоплення, високу чутливість до електромагнітних завад, необхідність локального електроживлення та складність обслуговування в польових умовах. Натомість оптоволоконні датчики з брэггівськими ґратками забезпечують низку вагомих переваг: високу точність ( $\pm 0,5$  °C), стійкість до електромагнітних перешкод, корозії та вібрацій, відсутність потреби в електроживленні безпосередньо на місці вимірювання, а також можливість створення розподілених систем контролю на відстанях до кількох десятків кілометрів по одному оптичному волокну. Це робить FBG-технологію ідеальною для моніторингу протяжних об'єктів залізничної інфраструктури.

Запропонована ІоТ-система побудована за багаторівневою архітектурою, яка включає такі рівні:

- рівень вимірювання (FBG-датчики, інтегровані в рейки або елементи верхньої будови колії);
- рівень оброблення (оптичні інтеррогатори для перетворення оптичного сигналу в цифровий);
- рівень передачі (шлюзові модулі з підтримкою промислових протоколів);
- рівень візуалізації та аналізу (централізована платформа моніторингу).

Для обміну даними застосовано протокол MQTT з криптографічним захистом (TLS), що гарантує надійність, безпеку передачі інформації та сумісність з існуючими системами диспетчерського управління. Особливу увагу приділено математичному моделюванню роботи FBG-датчиків у різних температурних режимах експлуатації, з урахуванням впливу механічних напружень, вологості та сезонних коливань. Отримані результати підтверджують високу точність вимірювань і швидку реакцію системи на зміну температури, що дозволяє своєчасно виявляти небезпечні теплові режими (критичний нагрів або переохолодження рейок). Проведено оцінку ефективності запропонованої системи, яка продемонструвала її суттєві переваги порівняно з традиційними рішеннями за показниками точності, швидкодії, довговічності (понад 20–25 років), масштабованості та вартості володіння. Додатково

розглянуто питання кібербезпеки IoT-систем як важливого аспекту впровадження цифрових технологій у критичній інфраструктурі. Запропоновано комплекс заходів захисту, включаючи сегментацію мережі, регулярне оновлення ПЗ, багатофакторну аутентифікацію та моніторинг аномальної активності.

Таким чином, розроблена IoT-система контролю температури залізничної колії є ефективним інструментом підвищення безпеки руху поїздів, оптимізації експлуатаційних процесів та переходу до стратегії прогностичного технічного обслуговування (predictive maintenance). Її впровадження сприятиме зниженню ризиків аварійних ситуацій, пов'язаних з температурними деформаціями, збільшенню міжремонтних періодів та загальному підвищенню надійності функціонування залізничного транспорту України.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Ye C., Butler L. J., Huseynova A. et al. Evaluating the performance of fiber Bragg grating sensors for railway infrastructure monitoring. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. 2022. Vol. 12. P. 1205–1225.
2. He J., Yang J., Wang H. et al. Application of fiber optic sensors for monitoring temperature and strain in high-speed railway infrastructure. *Sensors*. 2023. Vol. 23, № 15. P. 6789.
3. Kinet D., Mégret P., Goossens K. et al. Fiber Bragg grating sensors for railway applications: from structural health monitoring to IoT integration. *IEEE Sensors Journal*. 2021. Vol. 21, № 11. P. 12845–12854.

## ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ВИТРАТАМИ В УМОВАХ РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ

Цифрова економіка докорінно переформатовує підходи до управління підприємствами та організаціями, зокрема в аспектах контролю та оптимізації витрат. Інтенсивне впровадження цифрових технологій сприяє ефективнішому використанню ресурсів, забезпечує прозорість фінансових операцій і забезпечує можливість прийняття більш обґрунтованих управлінських рішень [1]. Цього досягають за допомогою використання сучасних інформаційних систем, аналітичних платформ і засобів обробки даних, які забезпечують оперативний доступ до актуальної фінансової інформації. Такий підхід суттєво покращує якість як стратегічного планування, так і поточного моніторингу витрат.

Окрім цього, цифровізація створює сприятливе середовище для автоматизації бізнес-процесів. Це дає змогу істотно знизити адміністративні витрати, а також мінімізувати ризики, пов'язані з людським чинником. Значущим аспектом цього процесу є інтеграція різноманітних інформаційних систем, що дозволяє реалізувати комплексний підхід до управління фінансовими потоками підприємства [5]. Завдяки цьому стає можливим своєчасне виявлення неефективних витрат, а також розробка і впровадження заходів для їхньої оптимізації.

У сучасних умовах цифрової економіки управління витратами базується на масштабному впровадженні інформаційних систем та новітніх технологій, що сприяють повній автоматизації бізнес-процесів і забезпечують інтеграцію даних між різними функціональними підрозділами підприємства [2]. Застосування цифрових інформаційних рішень дозволяє оперативно відстежувати витрати у режимі реального часу, забезпечує прозорість фінансових потоків і сприяє підвищенню ефективності діяльності компаній.

Окрім цього, використання аналітичних інструментів, технологій аналізу великих даних і систем підтримки прийняття рішень дає змогу більш точно планувати витрати, виявляти неефективне використання ресурсів та вчасно оптимізувати їхнє розміщення [4]. Завдяки цьому знижуються надлишкові витрати, підвищується економічна ефективність і створюється адаптивна система управління, здатна швидко реагувати на зміни в умовах зовнішнього середовища [3].

Цифровізація наукової діяльності відкриває доступ до великих масивів даних і електронних наукових ресурсів, що суттєво знижує витрати на пошук, обробку та зберігання інформації [6]. Особливе значення має застосування хмарних технологій, які сприяють оптимізації витрат на технічну інфраструктуру та забезпечують більшу гнучкість у використанні обчислювальних можливостей. Розвиток цифрової економіки стимулює впровадження інноваційних моделей організації наукової діяльності, які базуються на застосуванні цифрових платформ та мережевій співпраці [1]. Це не лише сприяє активізації міжнародної взаємодії між науковцями, але й знижує витрати на комунікацію та прискорює обмін знаннями. Як наслідок, підвищується ефективність проведення досліджень і створюються сприятливі умови для оптимального використання фінансових ресурсів у науковому середовищі.

У сфері освіти цифровізація відкриває можливості для оптимізації витрат завдяки впровадженню дистанційних навчальних технологій та електронних ресурсів. Це дозволяє значно скоротити витрати, пов'язані з матеріально-технічним забезпеченням, зокрема на обслуговування навчальних приміщень, друк навчальних матеріалів і організацію традиційних занять. Окрім того, використання таких рішень сприяє ефективнішому розподілу кадрових ресурсів [4]. Застосування онлайн-платформ, систем управління навчанням (LMS) та електронних бібліотек забезпечує ширший доступ до освітніх послуг незалежно від географічного розташування студентів.

Транспортна галузь посідає ключове місце серед сфер, де цифрові технології знаходять своє активне застосування для ефективного управління витратами. Впровадження сучасних інформаційних систем у процеси логістики відкриває можливості для глибокої оптимізації транспортних маршрутів, що, своєю чергою, сприяє значному скороченню витрат на паливо та забезпечує раціональне використання транспортних засобів [2]. Завдяки таким інноваційним підходам підприємства мають змогу не лише мінімізувати свої операційні витрати, але й досягти вищого рівня економічної продуктивності, що в остаточному підсумку позитивно впливає на їхню конкурентоспроможність.

У галузі надання послуг цифрові технології відкривають широкий спектр можливостей для зменшення витрат завдяки автоматизації взаємодії з клієнтами та оптимізації внутрішніх бізнес-процесів [5]. Використання цифрових платформ, електронних сервісів, мобільних додатків і інформаційних систем значно скорочує потребу в ручній праці, оскільки більшість операцій виконується автоматично або із залученням інструментів самообслуговування клієнтів. Це дозволяє компаніям спрямовувати ресурси на вирішення складніших та стратегічно важливих завдань, що підвищує загальну продуктивність діяльності.

Значну роль у цьому процесі відіграють CRM-системи та аналітичні інструменти, які забезпечують збір, аналіз та інтерпретацію даних про споживачів у режимі реального часу [6]. Завдяки цьому можна краще зрозуміти поведінку клієнтів, прогнозувати попит і розробляти точніші маркетингові стратегії, що знижує витрати на неефективні рекламні заходи. Крім того, такий підхід сприяє підвищенню рівня персоналізації обслуговування, що позитивно позначається на лояльності клієнтів. Обробка великих масивів даних дає змогу компаніям раціональніше використовувати свої ресурси, мінімізувати операційні витрати та швидше реагувати на ринкові зміни. У підсумку це створює довготривалу конкурентну перевагу, яка заснована на інтеграції цифрових технологій та інноваційного підходу до управлінських процесів [4], зокрема й у сфері управління витратами підприємства.

Отже, цифрова економіка відкриває нові перспективи для значного підвищення ефективності управління витратами у різних секторах економіки, включаючи науку, освіту, транспорт та сферу послуг [1]. Інтеграція сучасних інформаційних технологій та IT-рішень дозволяє комплексно автоматизувати управлінські процеси, забезпечити більш точне планування, посилити контроль і глибший аналіз витрат. Це також сприяє раціональнішому використанню ресурсів. Завдяки запровадженню цифрових платформ, аналітичних інструментів та технологій обробки великих даних організації отримують можливість швидше адаптуватися до змін у зовнішньому середовищі, мінімізувати непродуктивні витрати й покращити ухвалення управлінських рішень.

У результаті зазначених вище фактів, підвищується продуктивність діяльності підприємства, зміцнюються його конкурентні позиції на ринку та забезпечується довгострокова економічна стабільність [4]. Таким чином, цифрова трансформація не лише стає дієвим інструментом оптимізації витрат, але й виконує роль стратегічного чинника сталого розвитку сучасних соціально-економічних систем.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Дерманська Л., Малюта Л. Інноваційно-цифрові перспективи розвитку економіки України. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Економіка і управління»*. 2019. Вип. 2(30). С. 55-60.
2. Котельникова Ю. М., Чумак Г. М., Ворошилова О. В. Управління витратами в умовах цифрової економіки: сучасні моделі та інструменти оптимізації. *Економіка та суспільство*. 2025. № 73.
3. Кубарева І. В. Адаптивна модель підвищення ефективності економічної поведінки підприємства на основі управління витратами. *Стратегія економічного розвитку України*. 2025. № 56. С. 187–201.
4. Малюта Л., Малюта О. Цифрова трансформація як фактор формування конкурентних переваг і забезпечення стійкості підприємств у сучасних умовах. *Матеріали Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації»*: зб. наук. праць. Переяслав, 2026. Вип. 127. 254 с. С.28-30.
5. Обіход С. В. Імплементація інформаційно-комунікаційних технологій у систему управління бізнес-процесами підприємств. *Економіка, управління та адміністрування*. 2021. № 4 (98). С. 10–17.
6. Случак В. О. Аналіз витрат: зміна парадигми в умовах цифрової трансформації. *Інклюзивна економіка*. 2024. № 9.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Оптимізація транспортно-логістичних процесів із використанням інформаційних технологій сьогодні набуває максимально прикладного значення, оскільки бізнес працює в умовах постійних змін, нестабільного попиту та обмежених ресурсів. Підприємства вже не можуть дозволити собі неефективні маршрути, простой транспорту або втрати часу через ручне планування. Цифрові рішення дозволяють перетворити логістику з витратного центру на джерело економії та доданої вартості. Навіть часткове впровадження інформаційно-інноваційних технологій здатне скоротити витрати на перевезення на 10–25% і водночас підвищити точність виконання замовлень [3].

На практиці найбільш відчутний ефект дає використання систем управління транспортом (TMS), які автоматизують планування маршрутів і контроль виконання перевезень. Наприклад, компанія з доставки побутової техніки у великих містах зіткнулася з проблемою запізнь і перевантаження окремих екіпажів, тоді як інші автомобілі використовувалися неефективно. Раніше диспетчери вручну розподіляли замовлення між водіями, що призводило до нерівномірного навантаження і зайвих витрат часу. Після впровадження TMS система почала автоматично розподіляти замовлення з урахуванням місцезнаходження транспорту, ваги товару, часових вікон доставки та поточної дорожньої ситуації. У результаті вдалося скоротити середній час доставки, зменшити кількість запізнь і підвищити ефективність використання автопарку без збільшення кількості транспортних засобів.

Ще одним прикладом є використання GPS-моніторингу транспорту, який дає змогу контролювати переміщення автомобілів у режимі реального часу. Логістичні компанії встановлюють трекери на транспортні засоби та отримують детальну інформацію про швидкість, маршрут і зупинки. Наприклад, служба доставки продуктів може виявити, що водій регулярно відхиляється від маршруту або робить незаплановані зупинки. Після аналізу таких даних керівництво може скоригувати роботу або оптимізувати маршрути, що зменшує втрати часу та ресурсів. У деяких випадках це дозволяє скоротити непродуктивні пробіги на 10-15% [1].

Великі дані активно застосовуються для прогнозування попиту та планування ресурсів. Наприклад, мережа супермаркетів може аналізувати історію продажів, погодні умови та навіть локальні події, щоб передбачити, які товари будуть користуватися підвищеним попитом у конкретний період. Якщо очікується зростання продажів напоїв у спекотні дні, система автоматично збільшує обсяги поставок у відповідні регіони. Це дозволяє уникнути дефіциту товарів на полицях і водночас не перевантажувати склади надлишковими запасами. Логістика стає більш гнучкою та адаптивною до реальних умов ринку.

Інтернет речей активно використовується для контролю стану вантажів під час транспортування. Наприклад, компанії, що перевозять фармацевтичну продукцію, оснащують контейнери датчиками температури та вологості. Дані передаються в систему в режимі реального часу, і якщо показники виходять за допустимі межі, відповідальні працівники отримують миттєве повідомлення. У практиці це дозволяє уникнути псування дорогих препаратів, особливо під час тривалих міжнародних перевезень. Подібні рішення застосовуються і в аграрному секторі, де контроль умов перевезення впливає на якість продукції [3].

Варто також зазначити, що інтеграція технологій Big data та IoT широко використовується й для забезпечення розвитку «зеленої» логістики та моніторингу вуглецевого сліду, що підтверджується дослідженнями сучасних науковців [4].

Автоматизація складів демонструє не менш відчутні результати. Наприклад, у розподільчих центрах інтернет-магазинів впроваджуються системи WMS, які координують розміщення товарів, їх пошук і комплектацію замовлень. Раніше працівники витрачали значну кількість часу на пошук необхідних позицій, що збільшувало тривалість обробки замовлення. Після впровадження WMS система підказує оптимальний маршрут збору товарів і автоматично розподіляє завдання між працівниками. У результаті швидкість обробки замовлень може зрости вдвічі, а кількість помилок суттєво зменшується.

Штучний інтелект дозволяє вирішувати складні задачі, пов'язані з невизначеністю та динамікою транспортних процесів. Наприклад, логістична компанія, що працює з міжнародними перевезеннями, може використовувати алгоритми для прогнозування затримок на кордонах. Система аналізує історичні дані, завантаженість пунктів пропуску та сезонні фактори, після чого пропонує альтернативні маршрути або зміну часу відправлення. Це дає змогу уникати простоїв, які раніше могли тривати годинами або навіть днями [5].

Хмарні технології забезпечують координацію між усіма учасниками логістичного ланцюга. Наприклад, виробник, перевізник і склад можуть працювати в єдиній системі, де відображається статус замовлення на кожному етапі. Якщо виникає затримка, інформація миттєво стає доступною для всіх сторін, що дозволяє швидко реагувати на ситуацію. У практиці це означає менше телефонних дзвінків, листування та помилок, пов'язаних із передачею інформації [2].

Оптимізація логістики також має економічний і екологічний ефект. Наприклад, компанії можуть об'єднувати кілька замовлень в один маршрут, щоб уникнути порожніх рейсів. У великих містах це дозволяє зменшити кількість транспортних засобів на дорогах і скоротити витрати на паливо. Деякі підприємства впроваджують електротранспорт для міських доставок, а цифрові системи допомагають планувати маршрути з урахуванням зарядної інфраструктури.

Питання безпеки інформації також має практичне значення, оскільки всі процеси дедалі більше залежать від цифрових систем, які керують маршрутами, обліком вантажів і взаємодією між учасниками логістичного ланцюга. Будь-яке порушення роботи програмного забезпечення або несанкціонований доступ до даних може спричинити серйозні збої, включаючи затримки доставки, втрату інформації або навіть повну зупинку операцій. Щоб уникнути подібних ризиків, підприємства впроваджують комплексні системи захисту, які охоплюють не лише технічні, а й організаційні заходи. Резервне копіювання даних здійснюється на регулярній основі, причому копії зберігаються на віддалених серверах або в хмарних сховищах, що дозволяє відновити інформацію навіть у разі повного виходу з ладу основної системи. Додатково застосовуються механізми багаторівневого доступу, коли кожен працівник має доступ лише до тієї інформації, яка необхідна для виконання його функцій. Це зменшує ризик як зовнішніх атак, так і внутрішніх помилок або зловживань. У практиці також широко використовуються системи моніторингу кіберзагроз, які виявляють підозрілу активність у режимі реального часу. Наприклад, якщо система фіксує спробу входу з незвичного місця або різке збільшення обсягу запитів до бази даних, вона автоматично блокує доступ і повідомляє адміністратора. Подібні рішення дозволяють запобігти витоку інформації про маршрути перевезень або клієнтів, що є критично важливим для збереження конкурентних позицій компанії. У великих логістичних мережах додатково впроваджуються протоколи шифрування даних, які захищають інформацію під час її передачі між системами [3].

На основі аналізу досліджень [1-6] систематизуємо використання інформаційних технологій в оптимізації транспортно-логістичних процесів та їх практичний ефект, які представлено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Використання інформаційних технологій в оптимізації транспортно-логістичних процесів та їх практичний ефект

Інформаційна технологія	Сфера застосування	Суть використання
TMS (системи управління транспортом)	Планування перевезень	Автоматизація маршрутів, групування замовлень, контроль доставки
GPS-моніторинг	Контроль транспорту	Відстеження руху, швидкості, зупинок у реальному часі
Великі дані (Big Data)	Прогнозування попиту	Аналіз історичних продажів, погоди, подій
Інтернет речей (IoT)	Контроль вантажів	Моніторинг температури, вологості, стану вантажу
WMS (системи управління складом)	Складська логістика	Автоматизація зберігання, пошуку та комплектації товарів
Штучний інтелект (AI)	Аналітика та прогнозування	Прогноз затримок, оптимізація маршрутів
Хмарні технології	Координація процесів	Об'єднання всіх учасників у єдину систему
Оптимізація маршрутів (екологічний аспект)	Екологічна логістика	Консолідація вантажів, скорочення порожніх рейсів
Кібербезпека	Захист логістичних систем	Резервне копіювання, контроль доступу, захист даних

Таким чином, бачимо, що оптимізація транспортно-логістичних процесів за допомогою інформаційних технологій уже сьогодні дає конкретні результати, які можна виміряти у зниженні витрат, скороченні часу доставки та підвищенні якості сервісу. Цифровізація не є абстрактною концепцією, а практичним інструментом, який змінює щоденну роботу підприємств. Подальший розвиток пов'язаний із глибшою інтеграцією технологій, автоматизацією рутинних операцій і використанням інтелектуальних систем для прийняття дієвих управлінських рішень.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Волков В.П. Удосконалення технології контролю і управління технічним станом муніципальних транспортних засобів в умовах інтелектуальних транспортних систем. 2026. С.25-33. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/51203/449-Текст%20статті-701-1-10-20260330.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
2. Кирлик Н.Ю. Штучний інтелект та його використання в логістичних процесах. 2021. С.59-66. URL: [https://eco-science.net/wp-content/uploads/2021/12/9-10.21\\_topik\\_Kyrlyk-N.Yu\\_59-66.pdf](https://eco-science.net/wp-content/uploads/2021/12/9-10.21_topik_Kyrlyk-N.Yu_59-66.pdf)
3. Любохинець Л., Танасієнко Н., Танасієнко В., Поплавський Є. Технологічні інновації як інструменти управління логістичними витратами. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2025. Том 10. № 2. С. 146 – 150. URL: <https://ujae.org.ua/wp-content/uploads/2025/05/10-2-8-146-150.pdf>.
4. Малюта Л.Я., Федорук А. А. Інтеграція технологій Big data та IoT для забезпечення розвитку «зеленої» логістики та моніторингу вуглецевого сліду. *Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025)*. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025. 593 с. С.571-572.
6. Малюта Л.Я., Балусевський К.Р., Роль штучного інтелекту у формуванні інноваційних моделей транспортної логістики в умовах цифрової економіки. *Матеріали VI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та здобувачів вищої освіти "Сучасна молодь в світі інформаційних технологій" (16 травня, 2025 р. м. Херсон- Кропивницький)*. Херсон: Вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2025. 172с. С. 104-106.
7. Малюта Л., Балусевський К. Впровадження технологій штучного інтелекту в управлінні логістичними ланцюгами. *Успіхи і досягнення у науці. Серія: Управління та адміністрування*. 2026. № 1(23). С.885-902. DOI: [https://doi.org/10.52058/3041-1254-2026-1\(23\)](https://doi.org/10.52058/3041-1254-2026-1(23))

***СЕКЦІЯ***

***«НОВІТНІ ІТ-РІШЕННЯ В МЕДИЦИНІ  
ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ»***

## **ВПРОВАДЖЕННЯ ШІ В ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ УКРАЇНИ**

У сучасних умовах розвитку світової економіки цифрові технології стають одним із ключових чинників модернізації енергетичної галузі. Особливу роль серед таких технологій відіграє штучний інтелект (ШІ), який дозволяє автоматизувати складні процеси, аналізувати великі масиви даних та підвищувати ефективність функціонування енергетичних систем. Для України питання впровадження ШІ в енергетику є надзвичайно актуальним, оскільки енергетична інфраструктура держави зазнає значних навантажень через військові дії, потребує модернізації та переходу до більш стійких і гнучких моделей управління [1].

Сьогодні енергетичний сектор України поступово переходить до концепції цифрової енергетики, яка передбачає активне використання автоматизованих систем, інтернету речей, хмарних технологій та алгоритмів штучного інтелекту. У більшості країн Європейського Союзу ШІ вже використовується для прогнозування споживання електроенергії, управління енергомережами, контролю стану обладнання та інтеграції відновлюваних джерел енергії [4]. Для України такий досвід є важливим, адже інтеграція до європейського енергетичного простору потребує впровадження сучасних цифрових рішень.

Одним із головних напрямів використання ШІ в енергетиці є прогнозування попиту на електроенергію. Традиційні методи прогнозування не завжди враховують усі фактори, які впливають на споживання енергії. Алгоритми машинного навчання здатні аналізувати погодні умови, пору року, економічну активність населення та інші показники, що дозволяє значно точніше визначати потреби енергосистеми [1]. Завдяки цьому енергетичні компанії можуть ефективніше планувати виробництво електроенергії та уникати перевантажень у мережі.

Крім того, використання штучного інтелекту дозволяє оптимізувати процеси генерації та розподілу електроенергії. Системи ШІ здатні автоматично визначати найбільш ефективні режими роботи електростанцій, зменшуючи втрати електроенергії та витрати ресурсів. Особливо важливим це є для України в умовах дефіциту енергоресурсів та необхідності економічного використання електроенергії [1; 4].

Важливе місце у сучасній енергетиці займає концепція Smart Grid – «розумних мереж». Smart Grid являє собою інтелектуальну систему управління енергомережами, яка забезпечує двосторонній обмін інформацією між постачальниками та споживачами електроенергії. Штучний інтелект у таких системах використовується для аналізу навантаження, автоматичного балансування мережі та швидкого реагування на аварійні ситуації [4]. Впровадження Smart Grid в Україні сприятиме підвищенню надійності енергопостачання та зменшенню втрат електроенергії.

Окремої уваги потребує питання інтеграції відновлюваних джерел енергії в енергетичну систему України. Сонячні та вітрові електростанції мають нестабільний характер генерації, оскільки їх робота залежить від погодних умов. Використання штучного інтелекту дозволяє прогнозувати рівень виробництва енергії та адаптувати роботу енергосистеми до змін генерації [5]. Це дає змогу підтримувати стабільність енергомережі навіть за умов значного використання альтернативної енергетики.

На сьогодні Україна активно розвиває сектор відновлюваної енергетики, тому питання ефективного управління такими джерелами стає дедалі важливішим. Алгоритми ШІ можуть аналізувати метеорологічні дані, швидкість вітру, рівень сонячного випромінювання та інші параметри, що допомагає точніше прогнозувати виробництво електроенергії [5]. У перспективі це сприятиме зменшенню залежності держави від традиційних джерел енергії.

Ще одним важливим напрямом використання штучного інтелекту є моніторинг та діагностика енергетичного обладнання. Системи ШІ здатні виявляти несправності у роботі трансформаторів, електростанцій та ліній електропередач ще до виникнення серйозних аварій. Аналізуючи технічні показники роботи обладнання, інтелектуальні системи можуть попереджати операторів про ризик поломок та необхідність проведення ремонту [1]. Це

дозволяє знизити витрати на аварійне відновлення та забезпечити стабільну роботу енергосистеми.

Для України це питання має особливе значення через значний рівень зношеності енергетичної інфраструктури. Багато об'єктів енергетики були побудовані ще у минулому столітті та потребують модернізації. Використання ШІ може стати одним із найбільш ефективних способів продовження терміну експлуатації обладнання та підвищення його надійності [1].

Крім енергетичних підприємств, технології штучного інтелекту активно використовуються у системах енергоменеджменту та «розумних будинках». Такі системи дозволяють автоматично контролювати освітлення, температуру приміщень та роботу електроприладів відповідно до потреб користувачів [3]. Наприклад, система може самостійно вимикати непотрібні прилади або зменшувати споживання енергії у години пікового навантаження. Це сприяє економії ресурсів та підвищенню енергоефективності.

Важливою перевагою використання ШІ в енергетиці є також підвищення рівня кібербезпеки. Через активну цифровізацію енергетичний сектор стає більш вразливим до кібератак. Особливо це стосується України, яка регулярно стикається з загрозами для критичної інфраструктури. Технології AI/ML можуть використовуватися для виявлення аномальної активності в енергомережах та автоматичного реагування на кіберзагрози [6]. Таким чином, ШІ допомагає забезпечити стабільність функціонування енергетичної системи навіть в умовах зовнішніх атак.

Попри значні переваги впровадження штучного інтелекту, існує низка проблем, які стримують розвиток цих технологій в Україні. Однією з головних проблем є недостатній рівень цифровізації енергетичної галузі. Багато підприємств не мають сучасного обладнання та програмного забезпечення, необхідного для роботи систем ШІ [1]. Також існує проблема дефіциту фахівців, які поєднують знання у сфері енергетики та інформаційних технологій.

Ще одним важливим фактором є висока вартість впровадження інтелектуальних систем. Модернізація енергомереж, закупівля сучасного обладнання та створення центрів обробки даних потребують значних інвестицій. Однак у довгостроковій перспективі такі витрати можуть окупитися за рахунок підвищення енергоефективності та скорочення втрат електроенергії [2].

Для успішного впровадження ШІ в енергетичну систему України необхідно також удосконалити нормативно-правову базу. Держава має створити умови для розвитку цифрових технологій, підтримки інновацій та залучення інвестицій у сферу енергетики. Важливим кроком є також розвиток міжнародної співпраці та використання досвіду країн ЄС у сфері Smart Grid та цифрової енергетики [2; 4].

Отже, штучний інтелект є перспективним інструментом модернізації енергетичних систем України. Використання ШІ дозволяє підвищити ефективність роботи енергомереж, покращити прогнозування споживання електроенергії, інтегрувати відновлювані джерела енергії та забезпечити кібербезпеку критичної інфраструктури. У майбутньому розвиток технологій штучного інтелекту може стати важливим фактором енергетичної незалежності та сталого розвитку України.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Суходоля О. М. Штучний інтелект в енергетиці: Аналітична доповідь. Національний інститут стратегічних досліджень. 2022. С. 6–47. URL: [https://niss.gov.ua/sites/default/files/2022-07/dopovid-ai-v-energetici-red\\_01-pogodzheno-sukhodolya\\_02-1.pdf](https://niss.gov.ua/sites/default/files/2022-07/dopovid-ai-v-energetici-red_01-pogodzheno-sukhodolya_02-1.pdf)
2. Корват О. В. Концептуальні засади державного регулювання. Впровадження цифрових технологій в енергетиці. ResearchGate. 2025. С. 72–77.
3. Лаврук Д. Застосування штучного інтелекту в автоматизації управління енергоспоживанням у розумних будинках. КНУБА. 2024. С. 1–2.
4. Денисюк С. П. Технологічні орієнтири реалізації концепції Smart Grid в електроенергетичних системах. Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». 2021. № 4. С. 7–18.
5. Філонов Д., Проховніченко І. Перспективні напрямки використання штучного інтелекту в енергетичному секторі України. Київський національний університет будівництва і архітектури. International Scientific-Practical Conference of young scientists «Build-Master-Class-2024». 2024. С. 1–2
6. Ковилін А. В., Гільгурт С. Я. Застосування AI/ML для протидії кібератакам на енергетичні системи. Кібербезпека і захист інформації. 2023. С. 431–434.

## ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМУ ФОРДА-ФАЛКЕРСОНА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЕРЕТОКІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У РЕГІОНАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ

У задачах оперативно-диспетчерського керування важливою є оцінка максимально можливого перетоку енергії від джерел генерації до центрів споживання. Обмеженість пропускної здатності ліній електропередачі (ЛЕП), зумовлена термічною стійкістю проводів або параметрами стійкості системи, вимагає використання точних математичних методів для моделювання режимів роботи.

Для розв'язання задачі пошуку максимального потоку в регіональній енергосистемі застосовано алгоритм Форда-Фалкерсона. Енергосистема представлена як орієнтований граф, де вузли – це підстанції (ПС), а ребра – ЛЕП із заданою вагою  $C_{ij}$ , що відповідає їхній граничній потужності у МВт. Суть методу полягає в ітераційному пошуку збільшуючих шляхів від джерела (вузол 1) до споживача (вузол 6).

Згідно з теоремою Форда-Фалкерсона, максимальний потік у мережі обмежений мінімальною пропускною здатністю розрізу, що відокремлює генерацію від навантаження. У ході моделювання ідентифікуються критичні лінії – ділянки з нульовим резервом потужності ( $P_{reserve}=0$ ), де фактичний потік дорівнює ліміту. Саме ці лінії утворюють зону найвищого ризику, оскільки будь-яка аварія на них призводить до негайного дефіциту потужності у споживача.

Важливі поняття теорії графів [1-4]:

1. Матриця суміжності – це математичне представлення мережі, зручне для алгоритмів.
2. Візуальний граф – це інструмент диспетчера для швидкої оцінки режимів.
3. Якщо потік на лінії дорівнює її ліміту (наприклад, 50 з 50), таку лінію позначають як критичну у висновках.

У якості прикладу застосування алгоритму Форда-Фалкерсона розглянемо регіональну енергосистему, яка складається з джерела генерації (електростанції, наприклад АЕС або ТЕС), чотирьох транзитних підстанцій та споживача (область або місто). Матриця суміжності представлена у табл.1.

Таблиця 1 – Вихідні дані (матриця суміжності)

Від вузла	До вузла	Пропускна здатність (МВт)
Джерело генерації	ПС-1	50
Джерело генерації	ПС-2	40
ПС-1	ПС-3	30
ПС-1	ПС-2	10
ПС-2	ПС-4	20
ПС-3	Споживач	45
ПС-4	Споживач	35
ПС-3	ПС-4	5

На рис.1 наведено візуалізацію матриці суміжності у вигляді графу. Мережа має структуру з визначеними лімітами пропускної здатності ( $C_{ij}$ ) для кожної лінії електропередачі.

Від джерела (вузол 1): до ПС-1 – 50 МВт, до ПС-2 – 40 МВт.

Транзитні зв'язки: ПС-1 з'єднана з ПС-3 (30 МВт) та ПС-2 (10 МВт); ПС-2 з'єднана з ПС-4 (20 МВт).

До споживача (вузол 6): від ПС-3 – 45 МВт, від ПС-4 – 35 МВт.

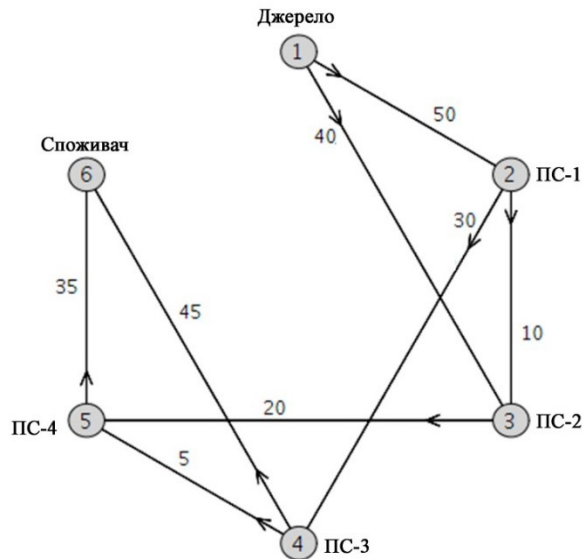


Рисунок 1 – Ліміти ліній електропередачі (МВт) для регіональної мережі згідно табл.1 у вигляді візуального графа

Після застосування алгоритму було встановлено, що максимальна пропускна здатність мережі становить 50 МВт. Розподіл потоків ( $P_{fact}$ ) та резервів ( $P_{reserve}$ ) представлено у табл.2 та у вигляді графу на рис.2.

Таблиця 2 – Аналіз завантаження та резервів мережі

Лінія (ЛЕП)	$P_{max}$ (МВт)	$P_{fact}$ (МВт)	$P_{reserve}$ (МВт)	Статус
1 → 2	50	40	10	Має запас
1 → 3	40	10	30	Високий резерв
2 → 3	10	10	0	Критична
2 → 4	30	30	0	Критична
3 → 5	20	20	0	Критична
4 → 5	5	5	0	Критична
4 → 6	45	25	20	Має запас
5 → 6	35	25	10	Має запас

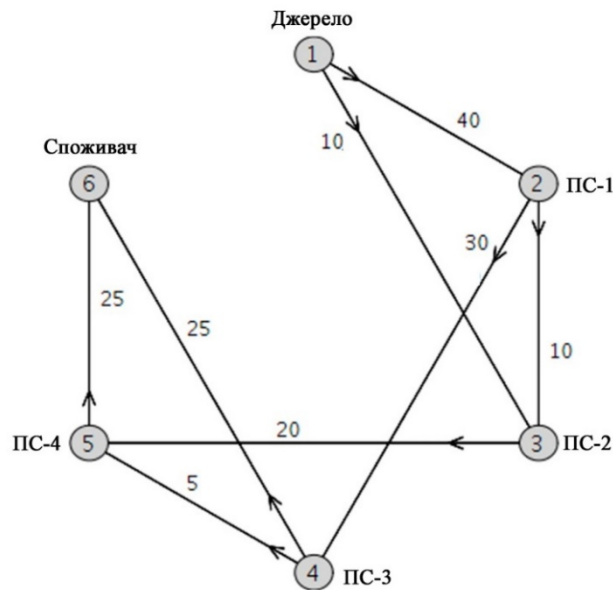


Рисунок 2 – Оптимальний розподіл потужності у регіональній мережі

Згідно з результатами розрахунку, максимальний потік становить 50 МВт – це сума потоків, що дійшли до вузла 6. Сума потужностей, що виходять із вузла 1 (Генерація), повинна дорівнювати сумі потужностей, що входять у вузол 6 (Споживач). У кожному транзитному вузлу (2, 3, 4, 5) сума вхідної потужності дорівнює сумі вихідної. Це підтверджує коректність роботи алгоритму в моделі без втрат [4].

На основі розрахованих резервів ( $P_{reserve} = 0$ ) ідентифікуємо лінії, що працюють на межі технічних можливостей – це ребра, де фактичний потік дорівнює пропускній здатності. Саме вони обмежують загальну пропускну здатність усієї регіональної мережі. Наприклад, якщо лінії 2→3 та 3→5 завантажені на 100%, то навіть при збільшенні генерації на вузлу 1, споживач на вузлу 6 не зможе отримати більше енергії без модернізації цих конкретних ЛЕП.

Алгоритм Форда-Фалкерсона неявно визначає мінімальний розріз мережі – це набір критичних ліній, видалення яких повністю роз'єднує джерело та споживача. Сумарна пропускну здатність цих ліній математично дорівнює максимальному потоку. Для диспетчера це означає зону найвищого ризику: аварія на будь-якій лінії з цього розрізу призведе до негайного дефіциту потужності у споживача.

Лінії з високим резервом вказують на надлишкову потужність, яку можна використати для маневрування режимами. Якщо резерви на критичних напрямках відсутні, рекомендується розглянути можливість встановлення пристроїв поздовжньої або поперечної компенсації для перерозподілу потоків. У разі планового ремонту однієї з ліній з ненульовим резервом, система залишиться стабільною. Ремонт лінії з нульовим резервом вимагатиме обмеження споживачів.

У ході розрахунку було встановлено, що найбільш завантаженими ділянками є ЛЕП 2→3, 2→4, 3→5 та 4→5 ( $P_{reserve} = 0$  МВт), що складають мінімальний розріз системи. Для підвищення надійності електропостачання в даному регіоні рекомендовано збільшення перерізу проводів зазначених ЛЕП, що дозволить збільшити загальний перетік на 15-20%.

Використання математичного апарату теорії графів дозволяє не лише визначити максимальну пропускну здатність регіональної мережі, а й обґрунтувати інвестиції в її розвиток. Алгоритм Форда-Фалкерсона є ефективним інструментом для диспетчера, що дозволяє виявляти критичні зони та завчасно готувати сценарії реагування на аварійні ситуації.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Sharko O., Stepanchikov D., Sharko A., Doroshenko O. Adaptation of the Ford-Fulkerson algorithm to improve the efficiency of maritime transportation under conditions of uncertainty. *Problems of sustainable development of the maritime industry PSDMI – 2025: Materials of the 5<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference* (Odesa, December 3-4, 2025). Odesa: Kherson State Maritime Academy, 2025. pp. 57-60.
2. Стьопкін А.В., Пластун Д.А. Алгоритм Форда-Фалкерсона. *Інформатика та методика її викладання*, 2016, №6, С.84-91.
3. Зимич А. П., Ніколюк П. К. Алгоритм Форда-Фалкерсона. Знаходження максимальних потоків в графах. *Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладні інформаційні технології»: збірник наукових праць*. Вінниця, ДонНУ імені Василя Стуса, 19 травня 2023, С.124-127.
4. Backman, Spencer; Huynh, Tony. Transfinite Ford-Fulkerson on a finite network. *Computability*. 2018, 7(4): 341–347. DOI:10.3233/COM-180082

## АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ АДИТИВНОГО ВИГОТОВЛЕННЯ БУДІВЕЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Композитні матеріали, що застосовуються в адитивному формуванні будівельних виробів, характеризуються складною структурою та змінними властивостями, які визначають їх поведінку в процесі подачі та укладання. На відміну від однорідних матеріалів, композити являють собою суміші з в'язучої основи, наповнювачів і модифікаторів, що формує їх реологічні та фізико-механічні характеристики. У процесі адитивного формування ці властивості не залишаються сталими, а змінюються під впливом температури, вологості та режимів роботи обладнання, що обумовлює необхідність їх розгляду як об'єкта контролю (рис. 1).

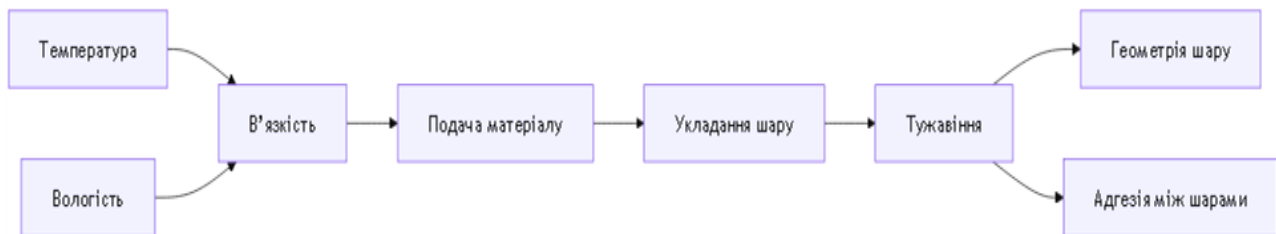


Рисунок 1 – Взаємозв'язок параметрів формування композитного шару

Температура матеріалу визначає умови протікання фізико-хімічних процесів у суміші та безпосередньо впливає на її рухливість і здатність до формування шару. Для полімерних композитів температурний режим визначає ступінь плавлення або розм'якшення, тоді як для цементних сумішей впливає на швидкість гідратації та початок тужавіння. Відхилення температури від заданих значень призводить до зміни консистенції матеріалу, що ускладнює його рівномірну подачу та укладання. Зниження температури може викликати підвищення в'язкості і нестабільність потоку, тоді як її перевищення спричиняє надмірне розрідження або прискорене тужавіння. У результаті порушується геометрія шару та знижується якість зчеплення між шарами, що обґрунтовує необхідність контролю температурного режиму в процесі формування виробу.

Вологість композитної суміші та навколишнього середовища також є параметром, що суттєво впливає на процес адитивного формування. Для будівельних матеріалів вологість визначає співвідношення між рідкою та твердою фазами, що впливає на пластичність, здатність до ущільнення та адгезійні властивості. Зменшення вмісту води призводить до втрати рухливості суміші та ускладнює процес екструзії, тоді як її надлишок викликає розтікання шару і втрату заданої форми. Крім того, вологість впливає на процеси тужавіння та подальшого твердіння з формуванням внутрішньої структури матеріалу, що визначає кінцеву міцність виробу. У зв'язку з цим контроль вологості дозволяє підтримувати стабільні умови формування та забезпечувати повторюваність результатів (рис. 2).

В'язкість композитної суміші є узагальнюючою характеристикою, що відображає її здатність до течії під дією зовнішніх сил. Безпосереднє вимірювання в'язкості в умовах технологічного процесу є ускладненим, тому доцільним є використання непрямих показників, таких як тиск у системі подачі або струм електродвигуна виконавчого механізму. Збільшення в'язкості призводить до зростання опору руху матеріалу, що відображається у підвищенні

тиску або навантаження на привід. Зменшення в'язкості, навпаки, супроводжується зниженням цих показників і може свідчити про розрідження суміші. Таким чином, контроль непрямих параметрів дозволяє оцінювати стан матеріалу без втручання в технологічний процес і своєчасно виявляти відхилення.

Зазначені параметри тісно пов'язані між собою і формують узгоджену систему, що визначає поведінку матеріалу під час формування виробу. Зміна температури впливає на в'язкість, а вологість на обидва ці параметри, що призводить до комплексного впливу на процес укладання шарів. Така взаємодія обумовлює необхідність їх одночасного контролю та врахування при формуванні керуючих впливів. Ігнорування хоча б одного з параметрів призводить до непередбачуваних змін у поведінці суміші та погіршення якості виробу.

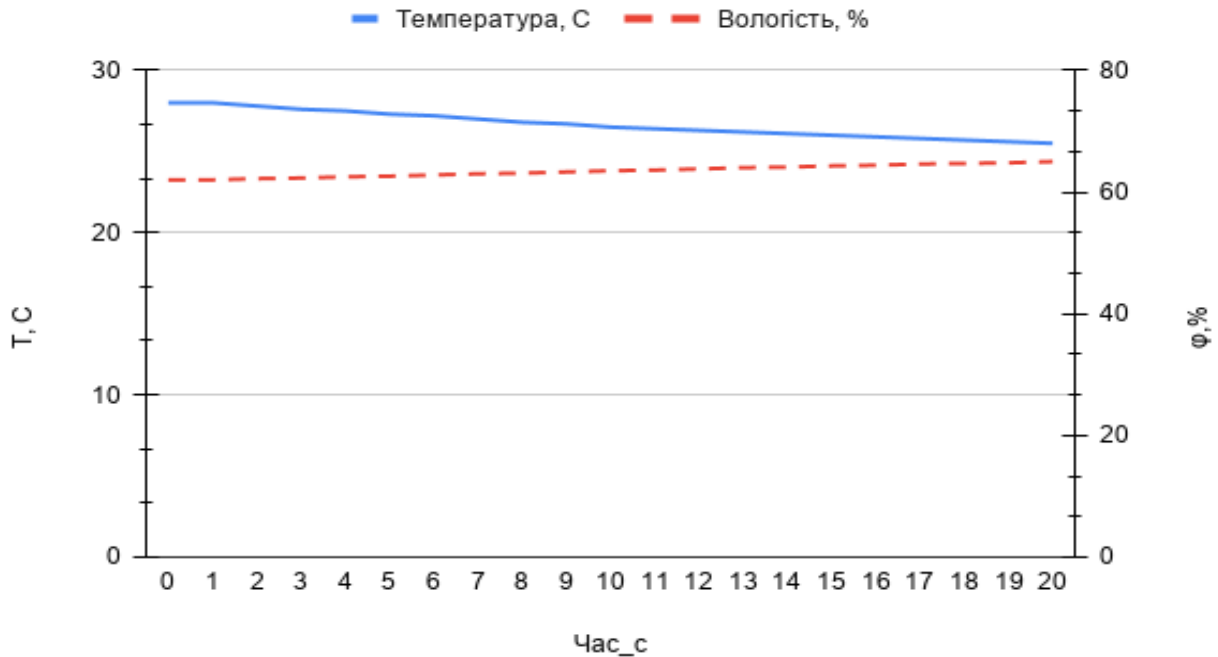


Рисунок 2 – Температурно-вологісні умови процесу формування композитної суміші

Процес тужавіння композитної суміші є невід'ємною складовою адитивного формування, оскільки саме він визначає перехід матеріалу з пластичного стану у стан, придатний до збереження наданої форми. У початковий момент після екструзії матеріал повинен мати достатню рухливість для рівномірного укладання та формування шару заданої геометрії. Водночас у короткий проміжок часу після укладання він має втратити текучість і забезпечити здатність утримувати власну форму без значних деформацій під дією власної ваги та навантаження від наступних шарів. Така вимога зумовлює необхідність узгодження режимів процесу і параметрів суміші, значення яких сформовані з урахуванням практичного досвіду роботи з бетонними композитами та узагальнених закономірностей зміни їх реологічних властивостей (рис. 3).

Температура матеріалу впливає на швидкість перебігу процесів, що супроводжують тужавіння. Для полімерних композитів це пов'язано зі зміною в'язкопружного стану, а для цементних сумішей з інтенсивністю гідратаційних реакцій. Підвищення температури, як правило, прискорює втрату рухливості, що може призводити до ускладнення подачі та нерівномірного формування шару. Зниження температури, навпаки, сповільнює тужавіння і може викликати надмірне розтікання матеріалу після укладання. Таким чином, температурний режим визначає часовий інтервал, протягом якого матеріал перебуває у стані, придатному для формування.

Вологість суміші та навколишнього середовища впливає на умови протікання процесів тужавіння і формування структури матеріалу. Для будівельних композитів вологість визначає співвідношення компонентів і впливає на пластичність суміші. Недостатній вміст води призводить до зниження рухливості та утруднення укладання, тоді як її надлишок спричиняє втрату стійкості шару та порушення геометричних параметрів. Крім того, вологість впливає на швидкість подальшого твердіння, що визначає розвиток міцності виробу. У процесі пошарового формування це особливо важливо, оскільки кожен наступний шар взаємодіє з попереднім, який перебуває на різних стадіях тужавіння. І зміна параметрів тут відповідає фізично обґрунтованому характеру процесу структуроутворення композитної суміші.

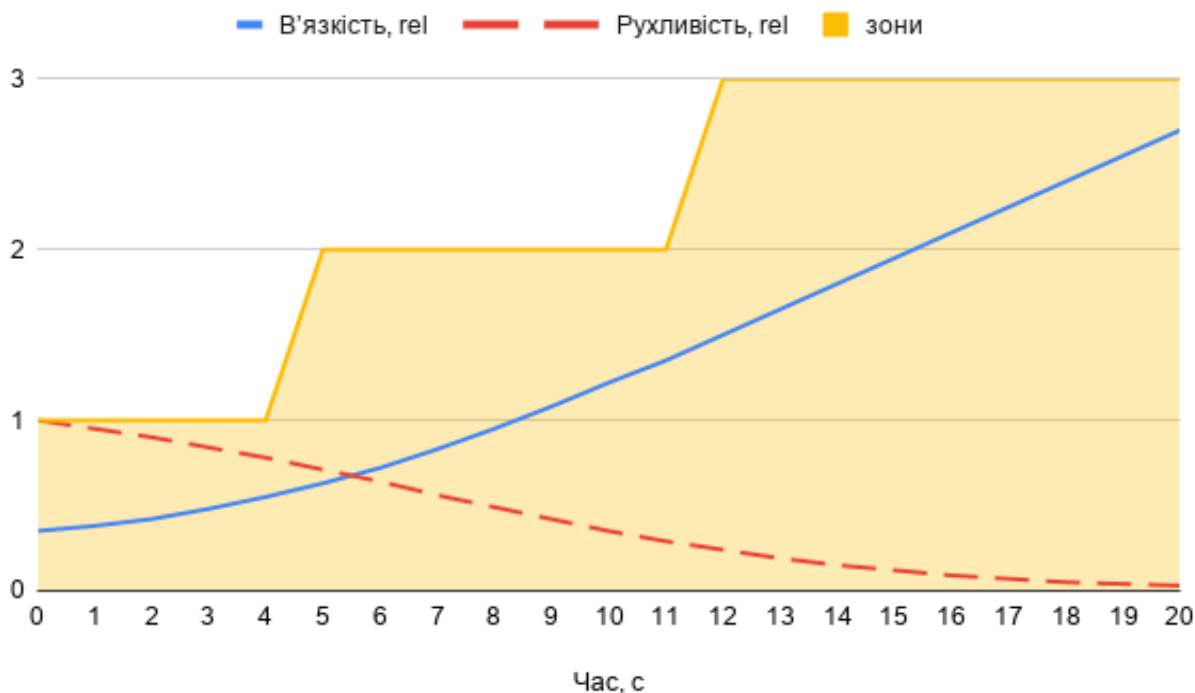


Рисунок 3 – Динаміка зміни реологічних параметрів композитної суміші з виділенням технологічних зон процесу структуроутворення:

- Зона 1 (0–5 с) : укладання
- Зона 2 (5–12 с): тужавіння
- Зона 3 (12–20 с): стабілізація

В'язкість матеріалу визначає опір його деформації під час подачі та укладання і є інтегральною характеристикою стану суміші. Вона залежить від температури, вологості та складу композиту і змінюється в процесі тужавіння. Зі зростанням в'язкості ускладнюється переміщення матеріалу через формуючий канал, що може викликати нестабільність подачі та нерівномірність шару. Зменшення в'язкості, навпаки, призводить до втрати здатності матеріалу утримувати форму після укладання. У зв'язку з цим контроль в'язкості або пов'язаних з нею непрямих параметрів дозволяє оцінювати стан суміші в реальному часі та своєчасно реагувати на зміни умов процесу.

Процес тужавіння не є ізольованим явищем і відбувається одночасно з подачею та укладанням матеріалу. Це означає, що кожен шар формується в умовах, коли попередній шар уже частково втратив рухливість, але ще не набрав остаточної міцності. Такий режим накладає обмеження на швидкість формування виробу та параметри подачі матеріалу. У разі надто швидкого тужавіння знижується якість зчеплення між шарами, тоді як при надто повільному виникають деформації і порушення геометрії. Отже, узгодження параметрів, що визначають тужавіння, є необхідною умовою стабільного формування виробу.

Таким чином, процес тужавіння можна розглядати як динамічну характеристику стану композитного матеріалу, що безпосередньо впливає на умови адитивного формування. Його перебіг визначається температурою, вологістю та в'язкістю суміші, які взаємопов'язані між собою і змінюються в процесі. Це обумовлює доцільність їх використання як контрольованих параметрів для оцінки стану матеріалу та забезпечення узгодженості технологічних режимів формування виробу. Температура, вологість і в'язкість композитного матеріалу будуть розглядатися як основні параметри, що визначають умови адитивного формування та підлягають контролю. Їх вибір обумовлений безпосереднім впливом на стабільність подачі матеріалу, точність формування шару та адгезію між шарами. Виділення цих параметрів дозволяє перейти до подальшого аналізу їх взаємозв'язків, визначення допустимих меж змін та побудови підходів до керування процесом формування будівельної продукції.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Шиб М. Параметричне керування процесом формування композитних виробів в адитивних технологіях. *Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій*, №26, 2026. С. 303-304
2. Ковальчук Ю., Адитивні технології в будівництві: 3d друк будівель, розробка матеріалів *Вісник Національного університету водного господарства та інженерії природокористування*, № 4(104). С. 22-43.

## **ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

<b>Ананьєва Ольга Михайлівна</b>	д.т.н., професор, професор кафедри автоматичної та комп'ютерної телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків
<b>Базака Роман Вікторович</b>	кандидат наук із соціальних комунікацій, доцент кафедри менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій, Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Берест Олексій Юрійович</b>	здобувач вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук
<b>Білий Данило Юрійович</b>	здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
<b>Біліченко Надія Олександрівна</b>	здобувач фахової передвищої освіти Відокремлений структурний підрозділ «Технологічно-економічний фаховий коледж Миколаївського національного аграрного університету», м. Миколаїв
<b>Білоусова Тетяна Петрівна</b>	старший викладач кафедри менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Боліла Світлана Юріївна</b>	к.с.-г.н., доцент, доцент кафедри менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Бондар Богдан Анатолійович</b>	здобувач вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Бондаренко Сергій Григорович</b>	к.т.н., доцент Національний технічний університет України, «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
<b>Боскін Олег Осипович</b>	старший викладач кафедри програмних засобів і технологій Херсонський національний технічний університет, м. Херсон-Хмельницький
<b>Бурлака Олександр Олександрович</b>	фахівець із закупівлі реклами Рекламна агенція “Quick Leads”, м. Київ
<b>Василенко Михайло Сергійович</b>	здобувач вищої освіти Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ
<b>Владіміров Нікіта Володимирович</b>	здобувач вищої освіти Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ

<b>Гавриш Павло Андрійович</b>	провідний фахівець у сфері рекламного бізнесу рекламна агенція «LeadIn», м. Київ
<b>Гобов Михайло Олександрович</b>	здобувач вищої освіти Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ
<b>Голик Олена Петрівна</b>	к.т.н, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький
<b>Гончаров Андрій Валентинович</b>	здобувач вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Горобець Іван Борисович</b>	здобувач вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Гудкова Олександра Єгорівна</b>	викладач вищої категорії Черкаський державний фаховий бізнес-коледж, м. Черкаси
<b>Густі Максим Олександрович</b>	здобувач вищої освіти Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів
<b>Данько Костянтин Олександрович</b>	здобувач освіти першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків
<b>Димова Ганна Олегівна</b>	к.т.н., доцент кафедри менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Дідик Олександр Костянтинович</b>	к.т.н, доцент, завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький
<b>Дмитрієв Дмитро Валерійович</b>	здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Досенко Вікторія Ігорівна</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Дубовка Богдан Юрійович</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Жосан Ганна Володимирівна</b>	к.е.н., доцент, завідувач кафедри менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Заворуєв Роман Сергійович</b>	здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

<b>Закревський Данило Сергійович</b>	здобувач вищої освіти Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
<b>Золотар Єлизавета Володимирівна</b>	здобувач фахової передвищої освіти Відокремлений структурний підрозділ «Технологічно-економічний фаховий коледж Миколаївського національного аграрного університету», м. Миколаїв
<b>Золотухіна Оксана Анатоліївна</b>	к.т.н., доцент, доцент кафедри інтелектуальних технологій Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ
<b>Ігнатов Дмитро Андрійович</b>	здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
<b>Калатун Євгеній Володимирович</b>	здобувач вищої освіти Херсонський національний технічний університет, м. Херсон-Хмельницький
<b>Керницький Максим Вікторович</b>	здобувач вищої освіти Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів
<b>Кириченко Наталя Валеріївна</b>	к.е.н., доцент, декан економічного факультету Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Козак Анастасія Андріївна</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль
<b>Коломієць Олексій Михайлович</b>	здобувач освіти першого (бакалаврсько) рівня вищої освіти Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків
<b>Конох Ігор Сергійович</b>	д.т.н., доцент, професор кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук
<b>Костенко Євгеній Геннадійович</b>	здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
<b>Котенко Данила Олегович</b>	здобувач вищої освіти Херсонський національний технічний університет, м. Херсон-Хмельницький
<b>Кузів Яна Сергіївна</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Лазарєв Олексій Владленович</b>	старший викладач Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

<b>Ларченко Оксана Валеріївна</b>	к.с.-г.н., доцент, доцент кафедри менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Лебеденко Юрій Олександрович</b>	к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних технологій Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ
<b>Левченко Анастасія Олександрівна</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Левченко Анна Олександрівна</b>	к.е.н., професор кафедри публічного управління, права та гуманітарних наук Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Литвиненко Володимир Іванович</b>	д.т.н., професор Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
<b>Лобода Олена Миколаївна</b>	к.т.н., доцент, доцент кафедри менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Малачівський Петро Стефанович</b>	д.т.н., професор Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів
<b>Малець Ігор Васильович</b>	здобувач вищої освіти Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів
<b>Малюта Людмила Ярославівна</b>	д.е.н., професор, професор кафедри управління інноваційною діяльністю та сферою послуг Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль
<b>Малюта Олена Іванівна</b>	здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль
<b>Медолиз Маргарита Миколаївна</b>	старший викладач Черкаський державний фаховий бізнес-коледж, м. Черкаси
<b>Міщенко Андрій Андрійович</b>	здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
<b>Мороз Роман Богданович</b>	здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів

<b>Нерода Тетяна Валентинівна</b>	к.т.н., доцент, професор кафедри комп'ютерних технологій у видавничо-поліграфічних процесах Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська Політехніка», м. Львів
<b>Нестеров Олександр Леонідович</b>	здобувач вищої освіти Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
<b>Ничипорчук Юлія Сергіївна</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль
<b>Олійник Ігор Вікторович</b>	к.е.н., доцент, доцент кафедри менеджменту, маркетингу та інформаційних технологій Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Осипчук Володимир Анатолійович</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Осипчук Катерина Анатоліївна</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Паляниця Віктор Анатолійович</b>	к.е.н., доцент Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль
<b>Петрієнко Іван Олександрович</b>	здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня Херсонський національний технічний університет, м. Херсон-Хмельницький
<b>Погребнюк Артем Анатолійович</b>	здобувач вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Правда Костянтин Юрійович</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків
<b>Прилипко Андрій Андрійович</b>	к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків
<b>Проценко Анастасія Денисівна</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Пшедніцька Вікторія</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль
<b>Ратайчук Павло Єгорович</b>	викладач-методист, старший викладач Черкаський державний фаховий бізнес-коледж, м. Черкаси

<b>Русанов Данііл Дмитрович</b>	здобувач вищої освіти Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ
<b>Сагайдак Олексій Миколайович</b>	здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Сангінова Ольга Вікторівна</b>	к.т.н., доцент Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
<b>Сегіда Дарія В'ячеславівна</b>	здобувач фахової передвищої освіти Відокремлений структурний підрозділ «Технологічно-економічний фаховий коледж Миколаївського національного аграрного університету», м. Миколаїв
<b>Сидорчук Данііл Олександрович</b>	здобувач вищої освіти Херсонський національний технічний університет, м. Херсон-Хмельницький
<b>Славуца Олександр</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль
<b>Сотник Василь Олександрович</b>	к. т. н., доцент, завідувач кафедри автоматичного та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків
<b>Степанчиков Дмитро Михайлович</b>	к.ф-м.н., доцент Херсонський національний технічний університет, м. Херсон-Хмельницький
<b>Стратічук Олександр Віталійович</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Стрілецький Євген Андрійович</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська Політехніка», м. Львів
<b>Тарасюк Назарій Олександрович</b>	к.т.н., доцент Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ
<b>Толстопалова Наталія Михайлівна</b>	здобувач вищої освіти Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
<b>Труш Ірина Богданівна</b>	здобувач освіти першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків
<b>Трушаков Дмитро Володимирович</b>	к.т.н, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький
<b>Фастовська Ольга Тихонівна</b>	викладач методист Черкаський державний фаховий бізнес-коледж, м. Черкаси

---

<b>Федоренко Олександр Сергійович</b>	здобувач вищої освіти третього (освітньо-наукового) рівня Херсонський державний аграрно-економічний університет, м. Херсон-Кропивницький
<b>Федорук Анна Андріївна</b>	здобувач вищої освіти Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль
<b>Федотова Маріанна Олександрівна</b>	к.т.н, асистент кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький
<b>Федюра Віталій Михайлович</b>	здобувач вищої освіти Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська Політехніка», м. Львів
<b>Хома Вікторія Володимирівна</b>	здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль
<b>Череватенко Олексій Володимирович</b>	асистент Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ
<b>Чінкуе Камелія</b>	здобувач вищої освіти Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська Політехніка», м. Львів
<b>Чінкуе Паола</b>	здобувач вищої освіти Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська Політехніка», м. Львів
<b>Шиб Микола Андрійович</b>	здобувач вищої освіти Інститут поліграфії та медійних технологій Національного університету «Львівська Політехніка», м. Львів
<b>Шушура Олексій Миколайович</b>	доктор технічних наук, доцент, професор Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

---

*Наукове електронне видання*

ХДАЕУ Менеджмент, маркетинг та ІТ – 2026

Матеріали  
VII Всеукраїнської  
науково-практичної конференції  
молодих вчених  
та здобувачів вищої освіти  
**«Сучасна молодь в світі інформаційних технологій»**  
*присвячена Дню науки*

Праці конференції

**ISBN 978-617-8187-82-8 (електронне видання)**



Підписано до видання 18.05.2026 р. Формат 60×84/8.  
Гарнітура Times.  
Ум. друк. арк. 19,19. Обл.-вид. арк. 20,63.  
Замовлення № 3268.

Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В.С.  
Свідоцтво про внесення до державного реєстру суб'єктів видавничої справи:  
серія ХС №48 від 14.04.2005  
видано Управлінням у справах преси та інформації  
73000, Україна, м.Херсон, вул. Соборна, 2,  
тел. 050-514-67-88, 080-133-10-13,  
e-mail: printvvs@gmail.com