



MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE



NATIONAL UNIVERSITY OF LIFE AND ENVIRONMENTAL  
SCIENCES OF UKRAINE



WROCLAW UNIVERSITY OF ENVIRONMENTAL AND LIFE  
SCIENCES



XVI International scientific conference of young scientists

**INFORMATION TECHNOLOGY:  
ECONOMICS, TECHNICS,  
EDUCATION '2025**

October 28-29, 2025

Kyiv, NULES Ukraine

Kyiv 2025



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ВРОЦЛАВСЬКИЙ ПРИРОДНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ



XVI Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених

## **ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ЕКОНОМІКА, ТЕХНІКА, ОСВІТА '2025**

28-29 жовтня 2025 року

Київ, НУБіП України

Київ 2025

УДК 004

Рекомендовано до друку вченою радою факультету інформаційних технологій  
Національного університету біоресурсів і природокористування України

Відповідальний за випуск: О.В. Степанов

Збірник матеріалів XVI Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених  
«ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ЕКОНОМІКА, ТЕХНІКА, ОСВІТА '2025», 28-29  
жовтня 2025 року, НУБіП України, Київ. – 335 с. (електронне видання)

Відповідальність за зміст публікацій несуть автори.

*Передрук матеріалів, а також використання їх будь-якій формі допускається лише з  
дозволу авторів*

© Національний університет біоресурсів  
і природокористування України, 2025

**Організаційний комітет:**

Тонха О.Л., проректор з наукової роботи та інноваційної діяльності НУБіП України, - голова оргкомітету;

Глазунова О.Г., проректор науково-педагогічної роботи та цифрової трансформації НУБіП України, - співголова;

Болбот І.М., декан факультету інформаційних технологій, - співголова;

Марковська І., професор Інституту ландшафтної архітектури Вроцлавського природничого університету;

Мікулецький П., професор Університету Градець-Кралове, м. Градець-Кралове, Чехія;

Рід Б., професор кафедри комп'ютерної інженерії Державного університету Сан-Хосе, Каліфорнія, США;

Альсаядех Ж., доцент факультету технологій, електроніки та комп'ютерної інженерії Технічного університету Малайзії в Малакці, FTKEK UTeM, м. Малакка, Малайзія;

Жерліцин Д.М., дослідник Інституту підприємництва Університету національної та світової економіки, м. Софія, Болгарія;

Різвіч Х., керівник відділу AI/ML міжнародної компанії «Intellias», м.Опатія, Хорватія;

Юнге Ш., професор кафедри природничих наук і технологій Берлінського технологічного університету, м. Берлін, Німеччина;

Кірхбергер Р., професор кафедри електротехніки, мехатроніки, оптометрії Берлінського технологічного університету, м. Берлін, Німеччина;

Заєць Н., професор кафедри міжнародних відносин Берлінського технологічного університету, м. Берлін, Німеччина;

Степанов О.В., старший викладач кафедри комп'ютерних наук, відповідальний секретар;

**Члени оргкомітету:**

Клименко Н.А., заступник декана факультету інформаційних технологій з навчальної роботи;

Кравченко В.М., заступник декана факультету інформаційних технологій з наукової роботи;

Швиденко М.З., завідувач кафедри інформаційних систем і технологій;

Касаткін Д.Ю., завідувач кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки;

Лакно В.А., професор кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки;

Голуб Б.Л., завідувач кафедри комп'ютерних наук;

Рогоза Н.А., в. о. завідувача кафедри економічної кібернетики;

Мокрієв М.В., доцент кафедри інформаційних систем і технологій.

## CONTENTS / ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>SECTION 1. DIGITAL ECONOMY: TOOLS, MODELS AND METHODS / СЕКЦІЯ 1. ЦИФРОВА ЕКОНОМІКА: ІНСТРУМЕНТИ, МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ</b>                                                                                            | <b>15</b> |
| МАРКЕТИНГОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ<br><i>Морогов О.Є., науковий керівник Костенко І.С.</i>                                                                                                          | 15        |
| РЕТРОСПЕКТИВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ОКРЕМИХ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЕКОНОМІКИ КРАЇН G7 У 1999-2023 РР.<br><i>Шаптала В.В., науковий керівник Хиленко В.В.</i> | 17        |
| АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РИНКУ ПРАЦІ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ<br><i>Синчак І.П., науковий керівник Костенко І.С.</i>                                                                                               | 19        |
| РОЗВИТОК ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ДЕРЖАВНОМУ ВРЯДУВАННІ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЦИФРОВУ ЕКОНОМІКУ УКРАЇНИ<br><i>Велігорська В. В., науковий керівник Костенко І. С.,</i>                                                         | 23        |
| ТЕХНОЛОГІЯ BLOCKCHAIN ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ<br><i>Дзюбо К.С., науковий керівник Костенко І. С.</i>                                                                        | 26        |
| ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІНИ КРИПТОВАЛЮТИ BITCOIN З ВИКОРИСТАННЯМ МОДЕЛІ PROPHET<br><i>Гудзь М. І., науковий керівник Кравченко В.М.</i>                                                                                       | 29        |
| ЛЮДСЬКИЙ КАПІТАЛ ЯК КАТАЛІЗАТОР ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ЕКОНОМІКИ<br><i>Іспірян Артур, науковий керівник Костенко І.С.</i>                                                                                            | 32        |
| ВПЛИВ ДЕРЖАВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НА РОЗВИТОК ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ<br><i>Ярославський І.Ф., науковий керівник Костенко І.С.</i>                                                                                     | 34        |
| ОЦІНКА ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ МЕДИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ<br><i>Динька А. О., науковий керівник Костенко І. С</i>                                                                                                        | 36        |
| МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ЖИТТЯ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ<br><i>Мазуренко Тетяна, науковий керівник Клименко Наталія</i>                                                                                           | 39        |
| ЦИФРОВІ БІЗНЕС-МОДЕЛІ В ЕЛЕКТРОННІЙ КОМЕРЦІЇ<br><i>Гребеник В. Ю., науковий керівник Костенко І. С.</i>                                                                                                              | 41        |
| АНАЛІЗ РИНКУ ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА В УКРАЇНІ<br><i>Грицюк Владислав, науковий керівник Рогоза Н.А.</i>                                                                                                              | 44        |
| MODELING THE IMPACT OF GEOPOLITICAL RISKS AND INTEREST RATES ON EXCHANGE RATES<br><i>Balabanov Savelii Vasylyovich, Scientific advisor Liudmyla Valentynivna Galaieva</i>                                            | 46        |
| MODELING THE DYNAMICS OF THE EXCHANGE RATE BASED ON MACROECONOMIC INDICATORS<br><i>Pshenychnyi Taras Yuriiiovych, Scientific advisor Liudmyla Valentynivna Galaieva</i>                                              | 48        |

|                                                                                                                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ОЦІНКА РИЗИКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ<br><i>Боцян Б.В., науковий керівник Галаєва Л.В.</i>                                                                                    | 51        |
| ЦИФРОВІЗАЦІЯ АГРАРНОГО СЕКТОРУ: ПОТЕНЦІАЛ І ВИКЛИКИ ДЛЯ УКРАЇНИ<br><i>Маркелова С.А., науковий керівник Галаєва Л.В.</i>                                                                       | 54        |
| АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РИНКУ ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР В УКРАЇНІ В УМОВАХ ВІЙНИ<br><i>Узу С.Х. науковий керівник Коваль Т.В.</i>                                                                      | 57        |
| ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У СТРУКТУРІ ЦИФРОВОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ:<br>АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ ТА ВПЛИВУ НА ЕКОНОМІЧНІ ПРОЦЕСИ<br><i>Маринчук Б.С. науковий керівник Костенко І.С.</i>                    | 59        |
| РОЛЬ ІНТЕРНЕТ-ПЛАТФОРМ У РОЗВИТКУ АГРАРНОГО СЕКТОРУ<br><i>Костенко С.О.</i>                                                                                                                    | 61        |
| АНАЛІЗ ДЕМОГРАФІЧНОЇ СИТУАЦІЇ В УКРАЇНІ<br><i>Стадійчук В.С., науковий керівник Коваль Т.В.</i>                                                                                                | 64        |
| МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОГО РИЗИКУ<br><i>Малярєнко Ростислав, науковий керівник Рогоза Н.А.</i>                                                                                                 | 66        |
| АНАЛІЗ РИНКУ ПРАЦІ В УКРАЇНІ<br><i>Артеменко А.М., науковий керівник Коваль Т.В.</i>                                                                                                           | 68        |
| МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ТРУДОВИХ РЕСУРСІВ В УКРАЇНІ<br>В УМОВАХ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ<br><i>Зрібняк І.С., науковий керівник доцент, Рогоза Н.А.</i>                                       | 70        |
| <b>SECTION 2. APPLIED INFORMATION SYSTEMS: MODERN DEVELOPMENT METHODS<br/>AND TOOLS / СЕКЦІЯ 2. ПРИКЛАДНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ: СУЧАСНІ<br/>МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РОЗРОБКИ</b>                      | <b>72</b> |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КРИПТОВАЛЮТНОГО ТЕРМІНАЛУ ДЛЯ МАСОВИХ<br>ПЛАТЕЖІВ<br><i>Груша В. В., науковий керівник Болбот І. М.</i>                                                                | 72        |
| МЕТОД PAIRWISE TESTING ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНФІГУРАЦІЙ<br>АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ<br>СИСТЕМ<br><i>Кохан К.О., науковий керівник Ткаченко О.М.</i>            | 74        |
| ОСОБЛИВОСТІ ТЕСТУВАННЯ ТА ЕМУЛЯЦІЯ РОБОТИ WEB-СОКЕТНОГО ДОДАТКУ В<br>СЕРЕДОВИЩІ WOKWI<br><i>Пшонік О.С., науковий керівник Сагун А.В.</i>                                                      | 76        |
| КРОСПЛАТФОРМЕНА ВЕБ-СИСТЕМА СПІЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ<br>ВІЗУАЛЬНОЇ КОЛАБОРАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ ТА ВБУДОВАНИМИ ЗАСОБАМИ<br>КОМУНІКАЦІЇ<br><i>Олійник І.Ю., науковий керівник Болбот І.М.</i> | 78        |
| END-TO-END ENCRYPTION AND AUTHENTICATION IN MESSAGE BROKER SYSTEMS<br><i>Studennykov V. D.</i>                                                                                                 | 80        |

|                                                                                                                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЗАВЕРШЕННЯ НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПРОГНОЗНОЇ МОДЕЛІ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ<br><i>Олійник В.О., науковий керівник Волошина Т. В.</i> | 82        |
| ПІДСИСТЕМА КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ<br><i>Смолій Н.В., науковий керівник Смолій В.М.</i>                                                                                | 84        |
| ВИКОРИСТАННЯ БРАУЗЕРНОГО РОЗШИРЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТУПНОСТІ ВЕБСАЙТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГОЛОСОВИХ КОМАНД<br><i>Коник Р.С., науковий керівник Боярінова Ю.Є.</i>                            | 86        |
| ПРОГНОЗУВАННЯ УСПІШНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ МЕТОДАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ<br><i>Клименко Євгеній науковий керівник Глазунова Олена Григорівна</i>                               | 88        |
| ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ<br><i>Понзель Я.Ю.</i>      | 90        |
| ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ УНІВЕРСИТЕТСЬКОГО МЕНЕДЖМЕНТУ: КАФЕДРА, ФАКУЛЬТЕТ, УНІВЕРСИТЕТ<br><i>Стеценко Владислав, науковий керівник Глазунова Олена Григорівна</i>                          | 92        |
| АРІ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ОЦІНОК З НАВЧАЛЬНОГО ПОРТАЛУ ELEARN В СИСТЕМУ "ЕЛЕКТРОННИЙ ДЕКАНАТ"<br><i>Yuriy Mykytyn</i>                                                                            | 94        |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ І МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ<br><i>Шевчун Д. В., науковий керівник: Даков С. Ю.,</i>                                                      | 96        |
| <b>SECTION 3. CYBER SECURITY FACILITIES ON HARDWARE AND SOFTWARE LEVELS / СЕКЦІЯ 3. ЗАСОБИ СПРИЯННЯ КІБЕРБЕЗПЕЦИ НА АПАРАТНОМУ ТА ПРОГРАМНОМУ РІВНЯХ</b>                                 | <b>97</b> |
| БАГАТОРІВНЕВИЙ АНАЛІЗ ЦИФРОВИХ СЛІДІВ КОРИСТУВАЧІВ У ІНФОРМАЦІЙНО-ОСВІТНІХ СИСТЕМАХ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ<br><i>Лахно Мирослав Валерійович</i>                                            | 97        |
| КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ НА БАЗІ ARDUINO З TELEGRAM-ІНТЕРФЕЙСОМ<br><i>Дюков В. В., науковий керівник Лахно В. А.</i>                                                  | 99        |
| ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕБ-СЕРВІСІВ УПРАВЛІННЯ ПОЛІТИКАМИ БЕЗПЕКИ В КОРПОРАТИВНИХ СТРУКТУРАХ<br><i>Олійник С.О., науковий керівник Криворучко О.В.</i>                                  | 101       |
| СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ КОНФІГУРАЦІЄЮ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ З ІНТЕГРОВАНИМИ МЕХАНІЗМАМИ АУДИТУ БЕЗПЕКИ<br><i>Ануа О. В., науковий керівник Криворучко О. В.</i>                                | 103       |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ ТРАФІКУ ЗАСОБАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ<br><i>Шмиговатий В.А., науковий керівник Лахно В.А.</i>                             | 105       |

|                                                                                                                                                                                            |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ КРИПТОГРАФІЧНИХ МЕТОДІВ У КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ                                                                                                           | 107        |
| <i>Ворчак А. Ю., науковий керівник Криворучко О. В.</i>                                                                                                                                    |            |
| ВИКОРИСТАННЯ CIS KUBERNETES BENCHMARK ЯК ІНСТРУМЕНТУ ЗАПОБІГАННЯ РЕАЛЬНИМ КІБЕРІНЦИДЕНТАМ У КОНТЕЙНЕРНИХ СЕРЕДОВИЩАХ                                                                       | 109        |
| <i>Кривобок О.О., Науковий керівник Лахно В.А.</i>                                                                                                                                         |            |
| ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ У KUBERNETES-КЛАСТЕРАХ                                                                                                                           | 111        |
| <i>Кривобок О.О., науковий керівник Лахно В.А.</i>                                                                                                                                         |            |
| ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПОЛЬОТУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ                                                                                                   | 113        |
| <i>Перепелиця Д.Ю., науковий керівник Нікітенко Є.В.</i>                                                                                                                                   |            |
| ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЗИЛЬЄТНОСТІ МЕРЕЖІ НА ПРИКЛАДНОМУ РІВНІ ЗА ДОПОМОГОЮ WEB APPLICATION FIREWALL                                                                                               | 115        |
| <i>Лукашенко, Д.Ю. науковий керівник Коваленко О. Є.</i>                                                                                                                                   |            |
| <b>SECTION 4 COMPUTER SYSTEMS: INTERNET OF THINGS, BUILT-IN SYSTEMS, ARCHITECTURE PLATFORMS / СЕКЦІЯ 4. КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ: ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ, АРХІТЕКТУРНІ ПЛАТФОРМИ</b> | <b>118</b> |
| МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ БІОМАТЕРІАЛУ ДЛЯ ЗБРОДЖУВАННЯ В БІОГАЗОВІЙ УСТАНОВЦІ                                                                       | 118        |
| <i>Павлов С. Г., Лисенко В. П., Лендел Т. І., Наконечна К.В.</i>                                                                                                                           |            |
| ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РЕЗЕРВНОГО ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ НА МОБІЛЬНІЙ ПЛАТФОРМІ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА RASPBERRY PI                                                                              | 121        |
| <i>Мартинюк В.В., Науковий керівник Касаткін Д.Ю.</i>                                                                                                                                      |            |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ NETWORK MANAGEMENT SYSTEM ТА ПАРАМЕТРАМИ МАГІСТРАЛЬНОЇ ОПТОВОЛОКОННОЇ МЕРЕЖІ ПРОВАЙДЕРА                                                                      | 122        |
| <i>Чорноус О.С., науковий керівник Криворучко О.В.</i>                                                                                                                                     |            |
| РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ДАНИХ У СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ                                                                                      | 124        |
| <i>Єжик А. О., науковий керівник Лахно В. А.</i>                                                                                                                                           |            |
| ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ З БІОМЕТРИЧНОЮ ІДЕНТИФІКАЦІЄЮ ТА АДАПТИВНОЮ СИНХРОНІЗАЦІЄЮ ДАНИХ                                                                                 | 127        |
| <i>Денисюк О.П., науковий керівник Болбот І.М.</i>                                                                                                                                         |            |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ПОЛИВУ КІМНАТНИХ РОСЛИН З АНАЛІТИКОЮ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА                                                   | 130        |
| <i>Гойда І.С., науковий керівник Коваленко О. Є.</i>                                                                                                                                       |            |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ПРИСТРОЇВ ІНТЕРНЕТ-РЕЧЕЙ ЗАСОБАМИ ESP32-ЕМУЛЯЦІЇ                                                                                                                  | 131        |
| <i>Ануа П.В., науковий керівник Криворучко О.В.</i>                                                                                                                                        |            |
| ЗАСТОСУВАННЯ SDN В СИСТЕМАХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ                                                                                                                                                | 133        |
| <i>Гурдуяла Р.Є., науковий керівник Коваленко О.Є.</i>                                                                                                                                     |            |



|                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ<br>НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ ЗАСОБАМИ FORTINET SECURITY FABRIC<br><i>Шкурат В.І., науковий керівник Коваленко О. Є.</i>            | 135 |
| ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ СТАНЦІЇ НАЗЕМНОГО КЕРУВАННЯ<br>НАЗЕМНИМ РОБОТОМ<br><i>Степанець Є.О., науковий керівник Болбот І.М.</i>                                               | 138 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПОЛЬОТУ<br>БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ<br><i>Перепелиця Д.Ю., науковий керівник Нікітенко Є.В.</i>                             | 140 |
| МЕТОД PAIRWISE TESTING ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНФІГУРАЦІЙ<br>АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ<br>СИСТЕМ<br><i>Кохан К.О., науковий керівник Ткаченко О.М.</i> | 142 |
| АРХІТЕКТУРА РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ ІГРОВОГО СЕРВЕРА ДЛЯ<br>БАГАТОКОРИСТУВАЦЬКИХ СЕСІЙНИХ ІГОР<br><i>Волошин М.Є., науковий керівник Назаренко В.А.</i>                                | 144 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА МОДЕЛЮВАННЯ<br>МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ ЗБИРАННЯ ПРОДУКЦІЇ АПК<br><i>Попов Д.С., науковий керівник Болбот І.М.</i>                                  | 146 |
| ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ ДЛЯ ЗБИРАННЯ<br>СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ<br><i>Попов Д.С., науковий керівник Болбот І.М.</i>                                   | 148 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ БАЛАНСУ БЕЗПЕКИ ТА ПРОДУКТИВOSTІ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ<br>ЗАХИСТУ В ІОТ-СИСТЕМАХ<br><i>Українець Д.С., науковий керівник Коваленко О.Є.</i>                                | 150 |
| ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК КАСТОМНИХ ТА КОМЕРЦІЙНИХ<br>ПОЛЬОТНИХ КОНТРОЛЕРІВ<br><i>Вернигора В.Ю., науковий керівник Шкарупило В.В.</i>                                      | 152 |
| АРХІТЕКТУРА І ОПТИМІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ<br><i>Донець М.В., науковий керівник Місюра.М.Д.</i>                                                              | 154 |
| ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ОБРОБКИ<br>ДАНИХ У СИСТЕМАХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ<br><i>Донець М.В., науковий керівник Місюра.М.Д.</i>                             | 156 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ І ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ НАЗЕМНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ<br>ПЛАТФОРМИ<br><i>Зінченко В.В., науковий керівник Болбот І.М.</i>                                                      | 158 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ БПЛА ДО ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПЕРЕШКОД<br><i>Левченко Р.Р., науковий керівник Нікітенко Є.В.</i>                                                                   | 160 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ В<br>ПРИМІЩЕННЯ З ФУНКЦІЄЮ ОБЛІКУ ВІДВІДУВАНOSTІ<br><i>Коваль М. О., науковий керівник: Мамченко С. М.</i>            | 162 |

|                                                                                                                                                                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІНТЕРАКТИВНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА ОБМІНУ ДАНИМИ<br>ПРО СТАН РОЗВИТКУ РОСЛИН<br><i>Драга Д. С., науковий керівник Вайганг Г. О.,</i>                                                                  | 163        |
| СИСТЕМА КОНТРОЛЮ РОЗУМНИМ БУДИНКОМ НА ОСНОВІ MESH-МЕРЕЖ<br><i>Каленіченко О. О., науковий керівник Даков С.Ю.</i>                                                                                                     | 165        |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОКРАЩЕННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ<br>НАЗЕМНИМИ РОБОТИЗОВАНИМИ ПЛАТФОРМАМИ ЧЕРЕЗ ІНТЕРНЕТ<br><i>Муха В. В., науковий керівник Болбот І.М.</i>                                                  | 166        |
| <b>SECTION 5. DATA SCIENCE: OLTP AND OLAP TECHNOLOGIES, MACHINE LEARNING,<br/>ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS / СЕКЦІЯ 5. НАУКА ПРО ДАНІ: ТЕХНОЛОГІЇ<br/>OLTP І OLAP, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, МЕТОДИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ</b> | <b>168</b> |
| ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ<br>РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ У ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ<br><i>Котляр В.С., науковий керівник Глазунова О.Г.</i>                                                 | 168        |
| АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ<br><i>Кочубей Б.Б., науковий керівник Голуб Б.Л.</i>                                                                                                         | 170        |
| СИСТЕМА ГЕНЕРУВАННЯ ІГРОВОГО СВІТУ<br><i>Земов С.О., науковий керівник Бушма О.В.</i>                                                                                                                                 | 172        |
| ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ПОВЕДІНКИ КОРИСТУВАЧІВ НА<br>КОМЕРЦІЙНИХ ПЛАТФОРМАХ<br><i>Саяпіна М.С., науковий керівник Голуб Б.Л.</i>                                                                               | 174        |
| РЕКОМЕНДАЦІЙНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ФІЛЬМІВ НА ОСНОВІ ВПОДОБАНЬ<br>КОРИСТУВАЧІВ<br><i>Полюхович О. В., науковий керівник Сватко В. В.</i>                                                                             | 176        |
| ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КНИЖКОВИМ ФОНДОМ<br><i>Марченко І. В., науковий керівник Кириченко В.В.</i>                                                                                                          | 178        |
| АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА SEO-АНАЛІЗУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВИДИМОСТІ ВЕБ-<br>САЙТІВ У ПОШУКОВИХ СИСТЕМАХ<br><i>Ворон Ю.О., науковий керівник Ніколаєнко Д.В.</i>                                                               | 180        |
| ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПО ОБРОБЦІ ТА ПЕРЕКЛАДУ РУКОПИСНОГО ТЕКСТУ<br><i>Третьак А.Р., науковий керівник Кириченко В.В.</i>                                                                                            | 182        |
| ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ СОНЯЧНИХ<br>ФЕРМ<br><i>Коломієць В. Ю., науковий керівник Боярінова Ю.Є.</i>                                                                                      | 184        |
| ВИКОРИСТАННЯ БРАУЗЕРНОГО РОЗШИРЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТУПНОСТІ<br>ВЕБСАЙТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГОЛОСОВИХ КОМАНД<br><i>Коник Р.С., науковий керівник Боярінова Ю.Є.</i>                                                      | 186        |
| ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ШІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СИНТЕТИЧНИХ ДАНИХ У<br>ЗАДАЧАХ МАШИННОГО НАВЧАННЯ<br><i>Гордій Я. В., науковий керівник Кириченко В. В.</i>                                                               | 188        |

|                                                                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ТЕХНІК ШВИДКОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ ВЕБ-СТОРИНОК<br><i>Соколов Д. В., науковий керівник Міловідов Ю. О.</i>                                | 190 |
| АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖІ РЕСТОРАНІВ<br><i>Жученко Т.В., науковий керівник Кириченко В.В.</i>                                                                   | 192 |
| МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУВАНЬ<br><i>Вознюк В.В., науковий керівник Заєць Н. А.</i>                           | 194 |
| ВИКОРИСТАННЯ ЗГОРТКОВИХ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АНАЛІЗУ КАРДІОСИГНАЛІВ<br><i>Віннічук Д.О., науковий керівник Семко В.В.</i>                                           | 197 |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПРАЦЕВЛАШТУВАННЯМ<br><i>Рудой Д.І., науковий керівник Голуб Б.Л.</i>                                                 | 199 |
| ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ДАНИХ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У ТРАНСПОРТНІЙ ЛОГІСТИЦІ<br><i>Гринчук В.Ю., науковий керівник Криворучко Я.С.</i>        | 201 |
| СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ У ПРОМИСЛОВОМУ ПТАШНИКУ<br><i>Бабій Б.Ю., науковий керівник Бушма О.В.</i>                                                     | 203 |
| ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ДАНИХ: ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ K-MEANS У СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ<br><i>Шевченко Д.В.</i>                                                       | 205 |
| ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ПЕРСОНАЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИКОРИСТАННЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ<br><i>Назарчук О.В., науковий керівник Руденський Р.А.</i>                             | 207 |
| СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ДЛЯ РОЗДРІБНОЇ ТОРГІВЛІ З ПРОГНОЗУВАННЯМ ПОПИТУ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ<br><i>Ясінська О.О., науковий керівник Дудник А. О.</i>           | 209 |
| СИСТЕМА АНАЛІЗУ ЗАПИТІВ ДОСТУПУ ДО ІНФОРМАЦІЇ НА СКЛАДНИХ ВЕБ-РЕСУРСАХ З АНАЛІЗОМ КОНТЕНТУ<br><i>Колесник Д.Ю., науковий керівник Вайганг Г.О.</i>                         | 211 |
| АРХІТЕКТУРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКУ ПОВТОРНИХ ГОСПІТАЛІЗАЦІЙ В ЕКОСИСТЕМІ ЕНЕАЛТН УКРАЇНИ<br><i>Кузнєцов Антон Дмитрович</i> | 213 |
| СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО МАШИННОГО НАВЧАННЯ В 3D-ДРУЦІ<br><i>Горбач М.О., науковий керівник Вайганг Г.О.</i>                                                                     | 215 |
| СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ ВИРОЩУВАННЯ АГРОКУЛЬТУР<br><i>Пухальський О. В., науковий керівник: Голуб Б. Л.</i>                                            | 218 |

|                                                                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| СИСТЕМА АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СПОРТИВНИХ ДОСЯГНЕНЬ НА ОСНОВІ ДАНИХ ПРО ТРЕНУВАННЯ<br><i>Федяй А.І., науковий керівник Панкратьєв В.О.</i>                                         | 220 |
| СИСТЕМА ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ ЗАКОРДОННИХ ПАСПОРТІВ З ЕЛЕМЕНТАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ<br><i>Прокопенко Д.О., науковий керівник Пархоменко І.І.</i>                               | 222 |
| ФОРМАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО ДОБОРУ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ СИСТЕМ ГЕНЕРУВАННЯ ПРОСТОРОВОГО ДИЗАЙНУ<br><i>Іманов А.М., науковий керівник Ткаченко О.М.</i>                              | 224 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСФОРМЕРНИХ АРХІТЕКТУР (BERT, GPT) У ПРОГНОЗУВАННІ ЦІН ФІНАНСОВИХ АКТИВІВ НА ОСНОВІ НОВИННОГО ФОНУ<br><i>Масенков В.І., науковий керівник Заєць Н.А.</i> | 226 |
| АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ЕМОЦІЙ У ТЕКСТАХ<br><i>Даниленко І.О., науковий керівник Міловідов Ю.О.</i>                                                                           | 228 |
| РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ТОВАРНИМИ ЗАПАСАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМІВ ОПТИМІЗАЦІЇ<br><i>Ворона О.О., науковий керівник Заєць Н. А.</i>       | 230 |
| ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ОЦІНКИ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПЕДАГОГІЧНОГО СКЛАДУ ЗА ІНФОРМАЦІЄЮ З МІЖНАРОДНИХ ДЖЕРЕЛ<br><i>Марущак М.М., науковий керівник Пархоменко І.І.</i>                      | 232 |
| ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ІТ ПРОЕКТУ<br><i>Карпович Д.О., науковий керівник Сватко В.В</i>                                                         | 234 |
| ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ТА ГЛИБОКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АНАЛІЗУ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ДАНИХ<br><i>Володченко В.О., науковий керівник Ткаченко О.М.</i>                              | 237 |
| ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ДАНИХ У СИСТЕМАХ OLTP/OLAP НА ОСНОВІ ГІБРИДНОЇ МОДЕЛІ AUTOGRIIDENSEMBLE<br><i>Науриський Ю.В, науковий керівник Вайганг Г.О.</i>                        | 239 |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИСОКОЯКІСНОГО НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ<br><i>Завацький М.С., науковий керівник Криворучко Я.С.</i>                                   | 242 |
| ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ<br><i>Клименко О. М. науковий керівник Дудник А. О.</i>                                               | 244 |
| ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ОЦІНКИ ЗНАНЬ З ПРОГРАМУВАННЯ<br><i>Тимошенко М.П., науковий керівник Лендел Т.І.</i>                                                                          | 246 |
| ДОСЛІДЖЕННЯ І РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ СТИСНЕННЯ ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ FPGA<br><i>Дорофєєв А.С., науковий керівник Лендел Т.І.</i>                                                         | 248 |

|                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| АНАЛІЗ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ КРИПТОГРАФІЧНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ФІНАНСОВИХ ОПЕРАЦІЙ                                                    |     |
| <i>Корсакова А.В., науковий керівник Вайганг Г.О.</i>                                                                        | 250 |
| МЕТОД PAIRWISE TESTING ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНФІГУРАЦІЙ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ      |     |
| <i>Кохан К.О., науковий керівник Ткаченко О.М.</i>                                                                           | 252 |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ         |     |
| <i>Васянович В.В., науковий керівник Василюк-Зайцева С.В.</i>                                                                | 254 |
| ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОЦІНКИ НЕ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ                                              |     |
| <i>Мисливий Д.І., Ніколаєнко Д.В.</i>                                                                                        | 256 |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МЕДИЧНОГО ПЕРСОНАЛУ ПОЛІКЛІНІКИ.                                 |     |
| <i>Волочай В.Є., науковий керівник Ніколаєнко Д. В.</i>                                                                      | 258 |
| АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА ДОРАДЧОЇ СИСТЕМИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО НАБОРУ КОМПОНЕНТІВ ОС LINUX ПРИ РОЗГОРТАННІ СЕРВЕРНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ |     |
| <i>Бондарчук А.С., науковий керівник Ніколаєнко.Д.В.</i>                                                                     | 260 |
| СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ДЛЯ РОЗДРІБНОЇ ТОРГІВЛІ З ПРОГНОЗУВАННЯМ ПОПИТУ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ                     |     |
| <i>Ясінська О.О., науковий керівник Пономаренко Р.М.</i>                                                                     | 262 |
| ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ                                                          |     |
| <i>Клименко О. М. науковий керівник Пономаренко Р. М.</i>                                                                    | 264 |
| АНАЛІЗ ЧАСОВИХ І ПРИЧИННИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД В УКРАЇНІ МЕТОДОМ «RANDOM FOREST»                      |     |
| <i>Сахневич В.Б., науковий керівник Кравченко В.М.</i>                                                                       | 266 |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ НЕРУХОМІСТЮ ТА ВЗАЄМОДІЇ МІЖ ОРЕНДАРЯМИ Й ОРЕНДОДАВЦЯМИ                      |     |
| <i>Мотлюк О.П., науковий керівник Вайганг Г. О.</i>                                                                          | 268 |
| СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ДОКУМЕНТООБІГУ У ВИКОНАВЧОМУ ПРОВАДЖЕННІ З АНАЛІТИЧНИМ МОДУЛЕМ “СОКІЛ”                                 |     |
| <i>Столярчук А.О., науковий керівник Ткаченко О. М.</i>                                                                      | 271 |
| АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ВІДВІДУВАЧІВ ФІТНЕС-ЦЕНТРУ                                                                  |     |
| <i>Матецький Р.В., науковий керівник Бородкіна І.Л.</i>                                                                      | 273 |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИКОРИСТАННЯМ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ                                  |     |
| <i>Павленко В.Р., науковий керівник Міловідов Ю.О.</i>                                                                       | 275 |
| АНАЛІТИЧНИЙ ВЕБ-ДОДАТОК УПРАВЛІННЯ ОСОБИСТИМИ ФІНАНСАМИ                                                                      |     |
| <i>Мошнін М.А., науковий керівник Бородкіна І. Л.</i>                                                                        | 277 |

|                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОКОЛІВ VPN ДЛЯ ПОБУДОВИ РОЗПОДІЛЕНИХ ЗАХИЩЕНИХ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ<br><i>Ліфер М.О., науковий керівник Мамченко С.М.</i>                       | 279 |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ФОРМАТІВ ФАЙЛІВ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ<br><i>Юрченко І.С., науковий керівник Бородкін Г.О.</i>            | 280 |
| ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ШВИДКОДІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ<br><i>Школьнік О.А. науковий керівник: Бородкіна І. Л.</i>                                                    | 283 |
| МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В БАГАТОРІВНЕВИХ УПРАВЛІНСЬКИХ СТРУКТУРАХ<br><i>Якушин А.О., науковий керівник Негрей М.В.</i>         | 285 |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ<br><i>Токарець Б.О., науковий керівник Міловідов Ю.О.</i>                                              | 287 |
| РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У ПРАКТИЧНОМУ ЗАСТОСУВАННІ У ТЕХНІЧНИХ НАУКАХ<br><i>Єфімчук М. В., науковий керівник Василюк-Зайцева С.В. / Криворучко Я.С.</i> | 289 |
| РОЗРОБКА ХМАРНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ<br><i>Давиденко В.О., науковий керівник Ткаченко О.М.</i>                                                                         | 292 |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ, ОБРОБЛЕННЯ ТА АНАЛІЗУ ТРИВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ<br><i>Тимошук Р. О., науковий керівник Панкрат'єв В. О.</i>                            | 294 |
| СИСТЕМА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН ПРОЦЕСІВ В ТЕПЛИЧНОМУ ГОСПОДАРСТВІ<br><i>Зінченко О. О., науковий керівник Цюцюра М.І.</i>                                     | 297 |
| СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ У КОМПАНІЇ<br><i>Колесніков О. О., науковий керівник Василюк-Зайцева С. В.</i>                                            | 300 |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ КЕРІВНИЦТВОМ ТУРИСТИЧНОЮ КОМПАНІЄЮ<br><i>Кірін Г.О., науковий керівник Криворучко Я. С.</i>                     | 302 |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ З ОБЛІКУ РОБОЧИХ ГОДИН<br><i>Лавренчук А.В., науковий керівник Хиленко В.В.</i>                                            | 305 |
| ГІБРИДНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ ДЛЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДОЗ ДОБРІВ У ЗМІННИХ ПОГОДНИХ УМОВАХ<br><i>Качмарський О. І., науковий керівник Голуб Б. Л.</i>             | 308 |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗПІЗНАВАННЯ АЛФАВІТНО-ЦИФРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ<br><i>Вдовиченко В. В., науковий керівник Заєць Н. А.</i>                                              | 310 |
| АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ РИНКУ КРИПТОВАЛЮТ<br><i>Щербан П.-Е. П., науковий керівник Бородкін Г.О.</i>                                                                   | 312 |

|                                                                                                                                                     |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІЗУ, КОНТРОЛЮ ТА ОБЛІКУ РОБОТИ<br>СПІВРОБІТНИКІВ КОМПАНІЇ<br><i>Окуліч В.А., науковий керівник Вайганг Г.О.</i>          | 314        |
| ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІНТЕРАКТИВНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА ОБМІНУ ДАНИМИ<br>ПРО СТАН РОЗВИТКУ РОСЛИН<br><i>Драга Д. С., науковий керівник Вайганг Г. О.</i> | 316        |
| ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ<br>СИСТЕМ<br><i>Гуменюк І.О., науковий керівник Семко В.В.</i>                          | 318        |
| МЕТОДИ ІНТЕГРАЦІЇ СТРУКТУРОВАНИХ І НЕСТРУКТУРОВАНИХ ДАНИХ<br><i>Корнілов І.С., науковий керівник Вайганг Г.О.</i>                                   | 321        |
| АНАЛІТИЧНА ПЛАТФОРМА ВИЗНАЧЕННЯ ДОСЯГНЕНЬ ЗДОБУВАЧІВ НА БАЗІ<br>WAZERCODE<br><i>Кічак Б.В., науковий керівник Сватко В.В</i>                        | 324        |
| ПРОГРАМНЕ СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ СКЛАДОМ ПІДПРИЄМСТВА<br><i>Симон Д.В., науковий керівник Панкратьев В.О.</i>                                           | 326        |
| АНАЛІТИЧНА ПРОГРАМНА СИСТЕМА ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ МЕДИЧНИХ<br>ДОСЛІДЖЕНЬ<br><i>Сафарян М. А., науковий керівник Лендєл Т. І.</i>                     | 328        |
| <b>AUTHORS / АВТОРИ</b>                                                                                                                             | <b>330</b> |

## SECTION 1. DIGITAL ECONOMY: TOOLS, MODELS AND METHODS / СЕКЦІЯ 1. ЦИФРОВА ЕКОНОМІКА: ІНСТРУМЕНТИ, МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

УДК 658.8:004.9

### МАРКЕТИНГОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ

*Морогов О.Є, науковий керівник Костенко І.С.*

Згідно даних DataReportal (2024) в мережі більше 5,35 мільярдів людей (66,2% від всього населення на планеті), соцмережами користуються понад 5 мільярдів (62,3%). Як наслідок, бізнес активно використовує різні інтернет-маркетингові технології, які допомагають аналізувати дані, автоматизувати бізнес-процеси, та просувати свої продукти та послуги в інтернет-просторі. Метою роботи є дослідження умов розвитку маркетингових технологій в умовах цифрової економіки, спираючись на сучасні статистичні дані та наукові дослідження.

Проблематику впливу цифровізації на маркетинг досліджували багато зарубіжних та вітчизняних науковців. Ф. Котлер (2021) розглядав цифрову трансформацію маркетингових стратегій. С. Чукурна (2024) досліджувала тенденції цифрового маркетингу в Україні. О. Бубенець (2025) аналізувала адаптацію підприємств до цифрової економіки. Науковці підкреслюють, що технологічні інновації є ключовим чинником конкурентоспроможності підприємств у XXI столітті [3-5].

Нами було досліджено показники цифрової активності користувачів у світі. За даними DataReportal (2024–2025 рр.) приріст інтернет-користувачів у 2023 р. +97 млн (1,8%). Кількість користувачів інтернету у світі у 2024 р. 5,35 млрд осіб (66,2%); кількість користувачів соціальних мереж — 5 млрд осіб (62,3%), тобто фактично кожен з користувачів інтернету є користувачем соц мереж. Переважна кількість — це користувачі мобільних телефонів — 5,61 млрд (69,4%), що вказує на необхідність розвитку саме інтернет-маркетингу з адаптацією під мобільні пристрої. Нижче було сформовано у вигляді гістограм динаміку кількості користувачів та інші показники за звітами DataReportal 2024–2025 років (рис.1-2).

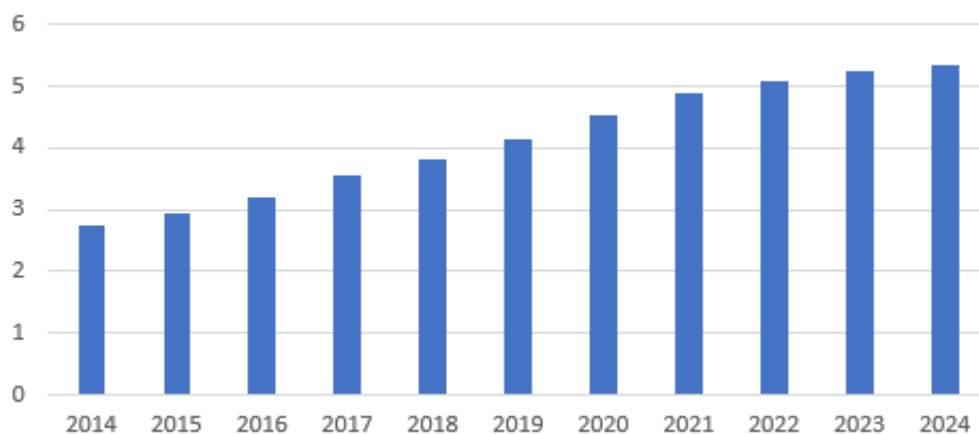


**Рис. 1.** Кількість користувачів інтернету у світі у 2024 році. Джерело: розробка авторів на основі Datareportal



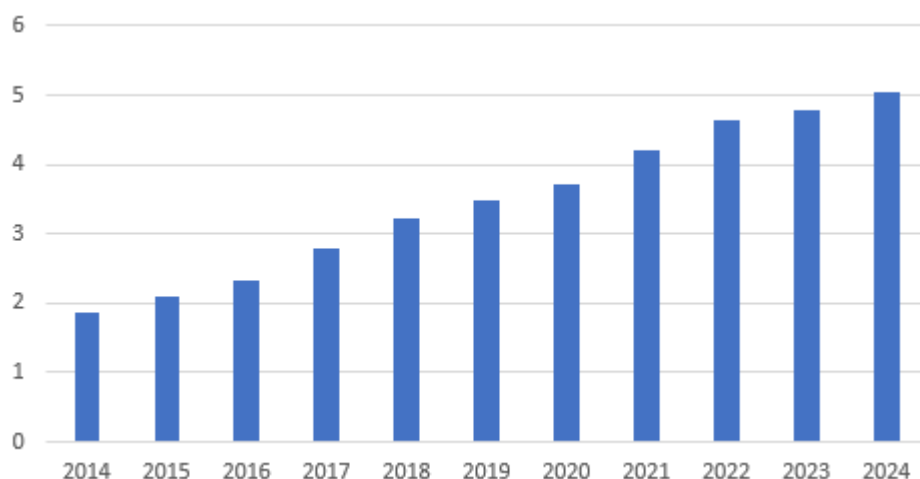


**Рис. 2.** Кількість користувачів соціальних мереж. Джерело: розробка авторів на основі Datareportal

Аналіз динаміки показників вказує на більш стрімкий приріст користувачів саме соціальних мереж, що вказує на передумови для більш активного застосування маркетингу в соціальних мережах, зокрема SMM та таргетованої реклами. Кількість людей в Інтернеті та соціальних мережах зростає дуже швидко, тому бізнес повинен бути швидко адаптовуваним. Цифровий маркетинг є основою стратегії сучасного бізнесу.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. DataReportal. Digital 2024: Global Overview Report. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://datareportal.com/reports/digital-2024-global-overview-report> (дата звернення: 18.10.2025).
2. DataReportal. Digital 2024: Deep Dive – 5 Billion Social Media Users. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://datareportal.com/reports/digital-2024-deep-dive-5-billion-social-media-users> (дата звернення: 18.10.2025).
3. Бубенець І. Г. Маркетингова діяльність підприємств в умовах цифровізації [Електронний ресурс] // Регіональна економіка та інноваційний розвиток (REICST). — Режим доступу: <https://reicst.com.ua/pmt/article/view/2025-17-04-08> (дата звернення: 18.10.2025).
4. Чукурна О. Дослідження сучасних тенденцій цифрового маркетингу [Електронний ресурс] // DSIM — електронний збірник наукових праць Хмельницького національного університету. — 2024. — Режим доступу: <https://dsim.khmn.edu.ua/index.php/dsim/article/view/187> (дата звернення: 18.10.2025).
5. Kotler Ph., Kartajaya H., Setiawan I. Marketing 5.0: Technology for Humanity [Електронний ресурс]. — Hoboken: Wiley, 2021. — 272 с. — Режим доступу: <https://www.wiley.com/en-us/Marketing+5+0%3A+Technology+for+Humanity-p-9781119668510> (дата звернення: 18.10.2025).

**РЕТРОСПЕКТИВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ  
ОКРЕМИХ МАКРОЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ТА  
ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ЕКОНОМІКИ КРАЇН G7 У 1999-2023 РР.***Шантала В.В., науковий керівник Хиленко В.В.*

Анотація. У роботі порівнюються та аналізуються окремі фактори, що впливають на стан економічної та фінансової системи G7. Аналіз виконувався за період 1999-2023 років і враховував рух грошових потоків, в тому числі зовнішні/внутрішні інвестиції та емісією. Було розглянуто співвідношення індикативних оцінок та фактичних показників. У якості чисельного показника оцінки стану економіки використовувався індикатор Баффета і оцінена його адекватність у порівнянні з іншими статистичними даними.

Актуальність дослідження. У 1999–2023 рр. країни G7 тричі зазнали глибоких спадів — dot-com (2000), глобальна криза (2008) і пандемічний шок (2020) — із сумарними втратами потенційного ВВП на десятки в.п. [1]. Досвід показує, що чим раніше уряди й центробанки розпізнають сигнали небезпечного стану економіки, наприклад перегріву, то м'якшими є падіння при прийнятті відповідних дій[2]. Порівняння критичних станів економіки свідчить, що найбільш суттєві потоки капіталу концентрувалися в різних секторах, а стале перевищення індикатором Баффета 100% було раннім маркером перегріву та необхідності наступної корекції.

Метою дослідження є перевірка, чи окремі статистичні індикатори (показник індикатора Баффета, стан внутрішніх/зовнішніх фінансових потоків, тощо) дозволяють завчасно прогнозувати наближення фінансових криз.

Джерельна база. Джерельна база охоплює офіційні міжнародні статистичні платформи та визнані академічні публікації. Базові індикатори для розрахунку «індикатора Баффета» беруться з World Development Indicators Світового банку — показник ринкової капіталізації лістингових компаній у відсотках до ВВП [1], а також потоки (ODI/FDI flows)[3]. Емісія МЗ [4].

Прогнозування стану економіки країн G7 доцільно розглядати на основі ряду показників (стан внутрішніх/зовнішніх фінансових потоків, показники емісії та інше) і індикатора Баффета.

Індикатор Баффета (Buffett Indicator) — це співвідношення сукупної ринкової капіталізації акцій до номінального ВВП країни. Його трактують як індикатор «дороговизни» фондового ринку відносно розміру економіки [1].

Також аналіз стану економіки проводили використовуючи значення показників FDI[3] (вхідні інвестиції), ODI (інвестиції за кордон)[3] та M&A (угоди, коли компанії зливаються або одна купує контрольний/блокуючий пакет іншої).

Аналізуючи визначені вищезазначених індикаторів країна вважається в зоні ризику, коли індикатор Баффета сягає більше 150% (70-90 % - нормальна зона), стрімке зростання вхідних інвестицій ODI flows/M&A (секторний перегрів, відрив від інших показників), стрімкий обвал FDI flows та нестабільний темп Емісії МЗ.

Під час бульбашки dot-com індикатор Баффета (MCap/GDP) спрацював як ранній попереджувач: у США 1999 року він піднявся до 153,4% за історичної норми близько 60–80%, після чого у 2000–2002 рр. відбулося різке падіння NASDAQ і S&P 500[1]. Притоки FDI досягли піку в 1999–2000 рр. і суттєво зменшилися лише в 2001–2003 рр., тобто це був радше співпадаючий/запізнілий індикатор. Натомість вихідні інвестиції та хвиля крос-кордонних M&A дали випереджальний сигнал секторного перегріву: телеком-угоди на зразок Vodafone–Mannesmann і дороги 3G-аукціони (Велика Британія £22,5 млрд; Німеччина €50,8 млрд) віддзеркалювали пік апетиту до ризику й левередж у TMT. Емісія за МЗ не попередила про кризу: у євроні темпи зростання були стабільні

близько 5–6% і прискорилися вже після шоку (2001–2002), у США МЗ гладко зростає (на кінець 1999 р. близько \$6,58 трлн,  $\approx +8,7\%$  р/р), а стрибок ліквідності перед Y2K мав технічний характер. Підсумок для dot-com: Баффет — так (ранній сигнал), ODI/M&A — частково, FDI — ні, МЗ — ні.

Напередодні глобальної фінансової кризи 2008–2009 рр. індикатор Баффета знову був «високим» (орієнтовно 130–140% у 2007-му), тож він фіксував дорогі мультиплікатори, але не розкривав кредитно-іпотечну вразливість системи (Рис. 1);

| Рік | 1999  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| США | 153.4 | 147.4 | 132.1 | 101.1 | 124.5 |

**Рис. 1**

Отже, його попереджувальна цінність була обмеженою. FDI досягли максимуму в 2007 р. і обвалилися вже у 2008–2009 рр., тобто спрацювали як реактивний/співпадаючий показник. Вихідні інвестиції та угоди M&A подали ранній сигнал вершини кредитного циклу: у 2006–2007 рр. спостерігався пік левереджних LBO і великих банківських злиттів, після чого настало різке згортання угодової активності та розпродажі активів. Динаміка МЗ/кредиту на фіналі буму прискорилося, а у 2008–2009 рр. зафіксувала перелом і стискання ліквідності — корисно для ідентифікації моменту кризи й її масштабу, хоча як раннє попередження без додаткових кредитних спредів і метрик фондування цей агрегат слабший. Підсумок для GFC: Баффет — частково (сигнал «дорогості» без діагностики кредитного ризику), ODI/M&A — частково (ранні сигнали вершини), FDI — ні, МЗ — радше синхронний індикатор перелому, не ранній.

Отже, для бульбашок акційного типу найкраще працює індикатор Баффета у поєднанні з інтенсивністю ODI/M&A у перегрітих секторах, тоді як для кредитних шоків потрібен композит на базі ODI/M&A, показників кредиту/МЗ та ринкових спредів. Притоки FDI здебільшого реактивні й як ранній сигнал попередження не придатні.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. databank.worldbank.org [Електронний ресурс]: Market capitalization of listed domestic companies <https://databank.worldbank.org/metadataglossary/world-development-indicators/series/CM.MKT.LCAP.GD.ZS> (дата звернення: 18.07.2025)
2. scopus.com [Електронний ресурс]: Khilenko V. Mathematical Modeling of the Effect of “Splashing out” and Optimization of Management of Banking and Economic Systems Under Globalization Conditions. *Cybernetics and Systems Analysis Open*, 2018, 54(3), pp. 376–384. (дата звернення: 28.09.2025)
3. <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603387761>.
4. unctadstat.untad.org [Електронний ресурс] “Foreign direct investment”:
5. <https://unctadstat.untad.org/datacentre/dataviewer/US.FdiFlowsStock> (дата звернення: 12.09.2025)
6. fred.stlouisfed.org [Електронний ресурс] “M3 for United States”:
7. <https://fred.stlouisfed.org/series/MABMM301USM189S> (дата звернення: 12.09.2025)

УДК: 331.5:004  
**АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РИНКУ ПРАЦІ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ  
ЕКОНОМІКИ**

*Синчак І.П. науковий керівник Костенко І.С.*

Актуальність. У сучасних умовах цифрова трансформація економіки є одним із ключових чинників, що визначає зміни на ринку праці. Впровадження інформаційно-комунікаційних технологій, автоматизація та розвиток штучного інтелекту змінюють структуру зайнятості, вимоги до кваліфікації працівників і створюють нові форми зайнятості — від дистанційної роботи до гіг-економіки.

За даними міжнародних досліджень, процес автоматизації та цифровізації охоплює дедалі більшу частку світового ринку праці. Згідно зі звітом Організації економічного співробітництва та розвитку (OECD), приблизно 27–30 % робочих місць у країнах з високим рівнем доходу мають високий ризик автоматизації, тобто значна частка їхніх завдань може бути виконана за допомогою цифрових технологій та штучного інтелекту [1]. Міжнародна організація праці (МОП) також зазначає, що автоматизація змінює зміст праці у більшості секторів, створюючи попит на нові компетенції, пов'язані з роботою з даними та інформаційними системами [2].

Фахівчиня Чалюк Ю. О. наголошує, що «автоматизація виробничих процесів потребує постійного оновлення знань та підвищення компетентності працівників, високої готовності адаптуватися до нових умов та механізмів формування соціально-трудових відносин». На думку Черьомухіної О. К., Чалюк Ю.О. та Кириленко В.І. є важливою регулярна адаптація суспільства до динамічного розвитку ІТ-технологій, тобто виникає необхідність «у перманентній підготовці і перепідготовці фахівців з цифровими навичками, оскільки технології розвиваються значно пришвидшеними темпами, ніж здатність людей реагувати на нові загрози цифрової епохи». Наразі роботодавці зацікавлені в пошуку працівників, які мають навички в галузі штучного інтелекту, нейронної мережі, кібербезпеки, аналітики великих даних (Big Data), фахівців Data Science - технології тощо. [3]

Мета роботи полягає у дослідженні особливостей та змін структури ринку праці України під впливом цифровізації економіки. У роботі використано статистичний, аналітичний та порівняльний методи. Джерелами даних є показники Державної служби статистики України, Євростату та аналітичних звітів Міжнародної організації праці за 2020–2024 роки.

Цифровізація ринку праці — це процес переходу трудових відносин, форм зайнятості та вимог до професійної кваліфікації у цифровий формат. Вона передбачає використання сучасних технологій (інтернету, штучного інтелекту, великих даних, хмарних сервісів) для підвищення ефективності праці та оптимізації бізнес-процесів. Основні риси цифрового ринку праці включають:

- поширення дистанційної зайнятості (remote work, hybrid work);
- зростання ролі фріланс-платформ і гіг-економіки (UpWork, Freelancehunt, Work.ua, Jooble тощо);
- підвищення вимог до цифрової грамотності працівників;
- активне використання цифрових інструментів рекрутингу;
- поява нових професійних сфер (data science, UX/UI, DevOps, cybersecurity, digital marketing).

На основі вказаних рис цифрового ринку праці було сформовано перелік основних тенденцій (рис.1).

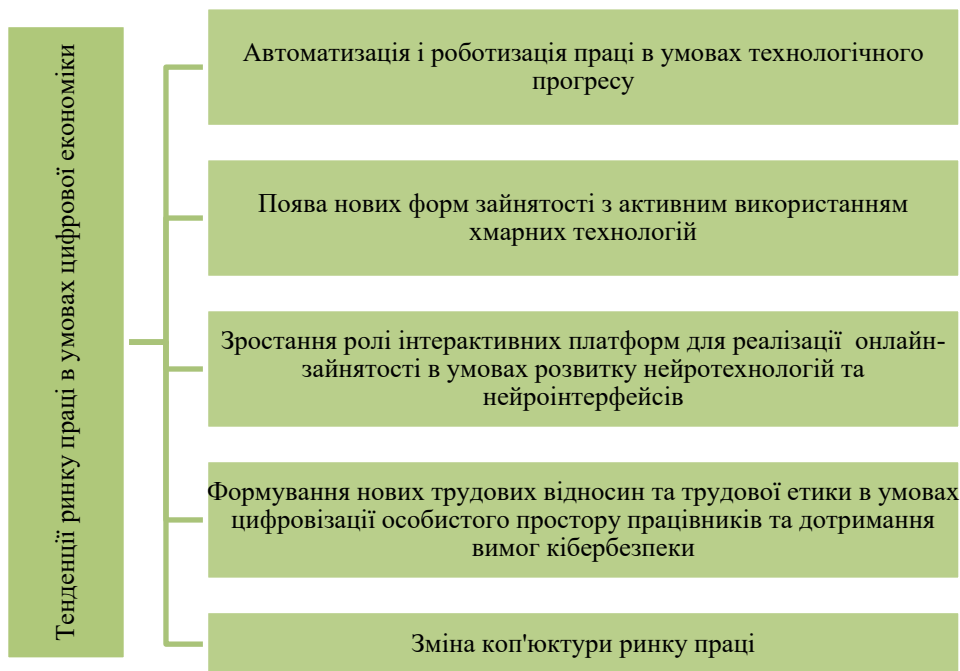


**Рис. 1** Тенденції ринку праці в умовах цифрової економіки. Джерело: розробка авторів на основі [4]

За узагальненими даними кадрових порталів у 2019–2024 роках кількість працівників у сфері ІТ зросла майже удвічі. Попит на фахівців із цифровими навичками стабільно перевищує пропозицію. Разом із тим зменшується частка працівників у промисловості, транспорті та сільському господарстві.

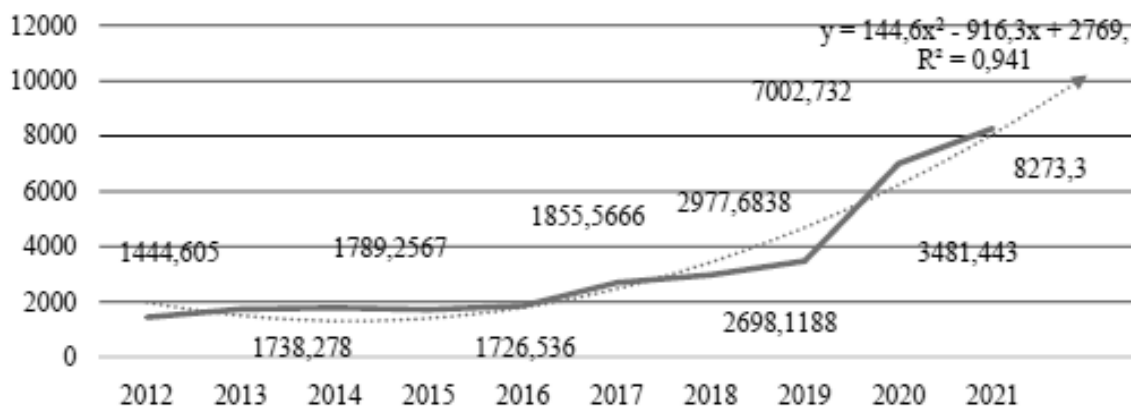


**Рис. 2.** Динаміка віддаленої зайнятості населення в економіці України за 2012–2021 рр., млн осіб. Джерело: розробка авторів на основі даних Міжнародної організації праці при ООН

Дослідження розвитку цифровізованого ринку праці вказує про те, що поряд з перевагами на слід нехтувати соціальною складовою бізнесу. Соціальна відповідальність бізнесу має проявлятися у підтриманні прагнення працівників зберегти робоче місце з можливістю удосконалення своїх ІТ – навичок в умовах автоматизації бізнес-процесів, налагодженні комунікаційних та соціальних зв'язків в умовах дистанційної роботи тощо.

Виникає необхідність в перебудові системи формальної та неформальної освіти, яка буде враховувати запити роботодавців, тенденції цифрової економіки та потреби суспільства в самореалізації. Вчені присвячують свої дослідження аналізу стратегічних можливостей України в контексті розвитку цифровізованого ринку праці. Важливу

складовою стратегічного розвитку має стати соціальна відповідальність бізнесу, особливо в повоєнний час, завдяки активному залученню в цифровий ринок праці осіб з особливими потребами. За результатами дослідження виокремлено основні напрямки регулювання цифрового ринку праці в Україні, що узагальнено на рис. 3.

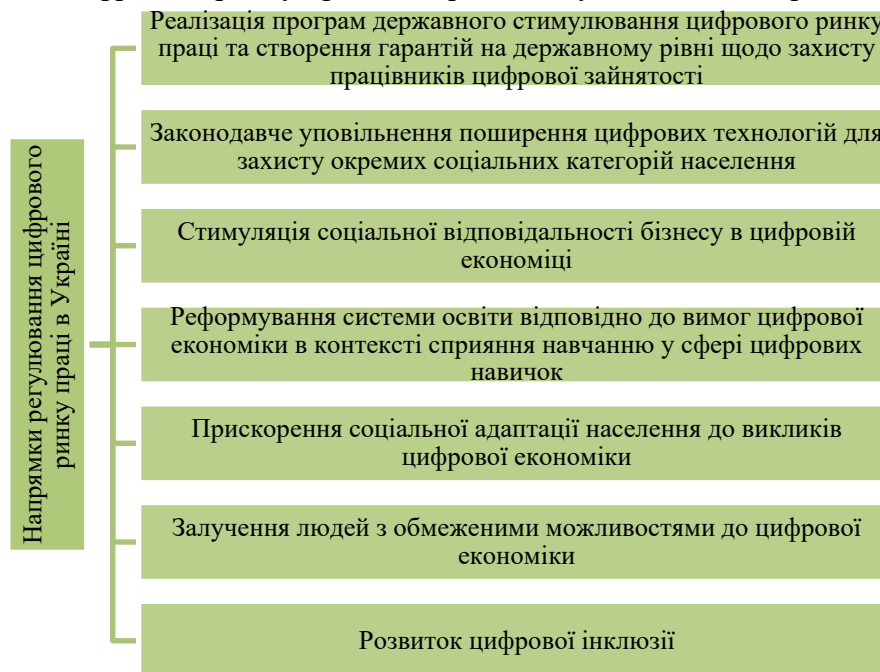


**Рис. 3** Стратегічні напрямки розвитку цифрового ринку праці в Україні. Джерело: складено авторами за [5]

Висновки. Ринок праці в Україні демонструє високу адаптивність до сучасних викликів. Попри негативні чинники, такі як пандемія COVID-19 та воєнні дії, українське суспільство змогло перетворити кризові умови на можливості для розвитку. Це проявилось у зростанні цифровізації, автоматизації та дистанційної зайнятості, що сприяло підвищенню ефективності праці та гнучкості бізнесу. В умовах цифрової економіки формуються нові підходи до організації праці, зростає роль цифрових компетенцій та інноваційних технологій у виробничих процесах. Отже, трансформації на ринку праці України мають стійку тенденцію до модернізації та інтеграції у глобальний цифровий простір.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. OECD. Employment Outlook 2023: Artificial Intelligence and the Labour Market. Paris: OECD Publishing, 2023. URL: [https://www.oecd.org/en/publications/oecd-employment-outlook-2023\\_08785bba-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/oecd-employment-outlook-2023_08785bba-en.html)
2. ILO. Generative AI at Work: What It Means for Jobs in Europe and Beyond. International Labour Organization, 2024. URL: <https://www.ilo.org>
3. Cheryomukhina, O. K., Chalyuk, Yu. O., & Kirylenko, V. I. (2021). Suchasnyi vymir rynku pratsi v umovakh tsyfrovizatsii [Modern dimension of the labor market in conditions of digitalization]. *Ekonomika ta suspilstvo - Economy and society*, (34). DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-34-85> [in Ukrainian].
4. Vodianka, L. D. & Kharovska, A. V. (2022). Vplyv tsyfrovoy ekonomiky na tendentsii suchasnoho rynku pratsi [The influence of the digital economy on the trends of the modern labor market]. *Efektyvna ekonomika - Efficient economy*, (1). DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2022.1.80> [in Ukrainian].

5. Chalyuk, Yu. (2023). Suchasni tendentsii rozvytku rynku pratsi v umovakh tsyfrovizatsii ekonomiky [Modern trends in the development of the labor market in the conditions of digitalization of the economy]. *Pidpriemnytstvo ta innovatsii - Entrepreneurship and innovation*, (26), 70-79. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/26.11> [in Ukrainian].

УДК 004.738.5:351.82:330.341.1

**РОЗВИТОК ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ДЕРЖАВНОМУ ВРЯДУВАННІ ТА ЇХ  
ВПЛИВ НА ЦИФРОВУ ЕКОНОМІКУ УКРАЇНИ**

*Велігорська В. В.. науковий керівник Костенко І. С.,*

Актуальність теми. Державні послуги важливі для продуктивності, зростання та розвитку країни. Однак кількість та якість державних послуг значно варіюються, частково через інформаційну асиметрію, високі транзакційні витрати та слабкі інституції. Для подолання інформаційної асиметрії, активно впроваджуються цифрові технології. Тож, у сфері надання державних послуг, цифрові технології мають потенціал для розширення доступу громадян до публічної та приватної інформації, покращення координації між громадянами, сприяння збору даних для кращого розподілу суспільних благ та покращення доступу до фінансових послуг, особливо через мобільні гроші. Крім того, використання цифрових технологій для покращення податкової структури та контролю може збільшити державні кошти, доступні для фінансування державних послуг [1].

Загалом, за оцінками, у світі існує понад 400 програм цифрових державних послуг у різних контекстах, цифрових формах та секторах. Вони реалізуються урядами, неурядовими організаціями, приватним сектором та державно-приватними партнерствами. Ці програми охоплюють державні послуги в таких секторах, як сільське господарство, громадянська освіта, освіта, навколишнє середовище, охорона здоров'я, фінансові послуги, соціальний захист та комунальні послуги. Крім того, вони використовують різноманітні цифрові технології, від комп'ютерів до мобільних телефонів, радіоприймачів та смартфонів [1].

Цифровізація економіки в Україні нерозривно пов'язана з оптимізацією вітчизняних цифрових стандартів з європейськими, що призводить до інтеграції країни до єдиного цифрового ринку ЄС. Саме тому цифровізація є стратегічним напрямком реформування державного управління, який дозволяє якісно змінити процеси управління, адаптуватися до сучасних викликів та підвищити довіру суспільства до державних інституцій. Електронне урядування сприяє відкритості органів державної влади через доступ до публічної інформації через онлайн-платформи, реєстри та бази даних. Воно дозволяє громадянам та бізнесу контролювати діяльність державних органів [2, 3].

Метою роботи є дослідження рівня цифровізації державного урядування за 2022, 2024 р.р. Для оцінки рівня цифровізації використаємо інформацію з Баз знань електронного уряду ООН (UN E-Government Knowledgebase) [4].

Рис. 1 демонструє порівняльну динаміку розвитку електронного уряду України у 2022 та 2024 роках за основними складовими індексу EGDІ: індексом людського капіталу, індексом телекомунікаційної інфраструктури, індексом онлайн-сервісів та індексом електронної участі (E-Participation). Загальний показник EGDІ залишився стабільним — 0,8841, що свідчить про збереження високого рівня цифрової зрілості державного сектору. Однак при цьому спостерігаються помітні структурні зміни між окремими складовими індексу.



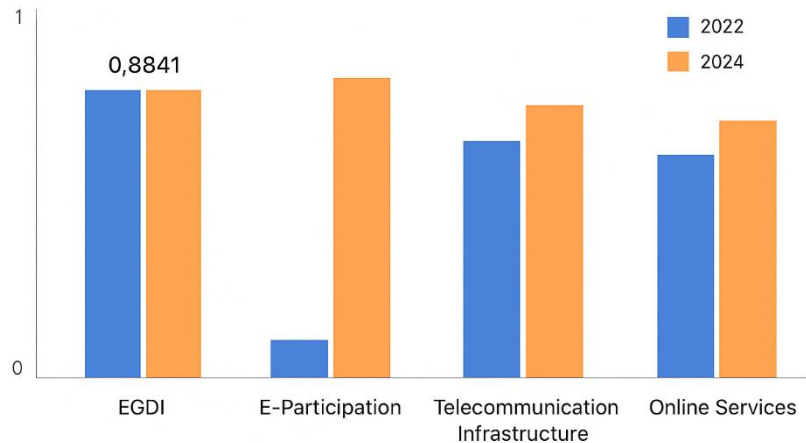


**Рис. 1.** Порівняльний аналіз рівня цифровізації уряду України за 2022 та 2024 рр.  
*Джерело: розробка авторів на основі [4]*

У 2024 році Україна продемонструвала зростання за індексом телекомунікаційної інфраструктури, що вказує на розширення доступу до Інтернету, модернізацію мереж та активну інтеграцію цифрових технологій у державне управління. Також покращилися позиції за індексом онлайн-сервісів, що свідчить про розширення спектру державних послуг, доступних у цифровому форматі, і підвищення ефективності взаємодії між громадянами та органами влади. Найбільш відчутний прогрес спостерігається за показником електронної участі (E-Participation): Україна піднялася з 57-го місця у 2022 році на 1-ше місце у 2024 році, що є рекордним досягненням. Це свідчить про активну інтеграцію механізмів електронної демократії, впровадження платформ для онлайн-обговорень і петицій, а також про підвищення прозорості діяльності органів державної влади. Таким чином, порівняльний аналіз виявив, що, незважаючи на незмінний загальний індекс EGDI, якісна структура цифрового розвитку України істотно покращилася. Підвищення ефективності онлайн-сервісів, розвиток телекомунікацій та зростання громадянської участі підтверджують формування стійкої цифрової екосистеми публічного управління. [5]

Ключовим припущенням використання цифрових технологій для надання державних послуг є те, що це допоможе подолати ключові ринкові провали для бідного сільського населення, а саме: недосконалу інформацію та високі транзакційні витрати. Хоча ці припущення є актуальними в більшості контекстів і для більшості державних послуг, цифрові технології будуть успішними у розширенні знань, зниженні транзакційних витрат, зміні поведінки та покращенні результатів лише за наявності низки необхідних умов [1].

Отже, провівши дослідження відносно видів цифрових технологій в державному управлінні, в цілому, можна відмітити той факт, що вітчизняне державне врядування характеризується високим рівнем розвитку цифрової інфраструктури та ефективно використовує інформаційно-комунікаційні технології у сфері управління.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Використання цифрових технологій для надання державних послуг у країнах, що розвиваються. URL: <https://www.elibrary.imf.org/display/book/9781484315224/ch008.xml>
2. Bernaziuk, O. (2017). Rol ta mistse tsyfrovyykh tekhnolohii u sferi publicnoho upravlinnia [The Role and Place of Digital Technologies in Public Administration]. Informatsiine pravo, 10. Retrieved from URL:

<http://pgpjournal.kiev.ua/archive/2017/10/35.pdf> (Accessed: 07.07.2018) [In Ukrainian].

3. Tsyfrovi transformatsii v Ukraini: chy vidpovidaiut vitchyzniani instytutsiini umovy zovnishnim vyklykam ta yevropeiskomu poriadku dennomu? URL: [http://eap-csf.org.ua/wpcontent/uploads/2021/04/Research\\_DT\\_PF\\_WG2\\_ua-1.pdf](http://eap-csf.org.ua/wpcontent/uploads/2021/04/Research_DT_PF_WG2_ua-1.pdf)
4. UN E-Government Knowledgebase. URL: <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Data/Country-Information/id/180-Ukraine>
5. United Nations E-Government Development Index (EGDI), 2022–2024. – URL: <https://publicadministration.un.org/egovkb>

УДК 004.056.5:330.322.1  
**ТЕХНОЛОГІЯ BLOCKCHAIN ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В  
УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ЕКОНОМІКИ**

*Дзюбко К.С., науковий керівник Костенко І. С.*

У ХХІ столітті цифровізація проникає у всі сфери життя — фінанси, освіту, державне управління, медицину. Збільшення обсягу електронних транзакцій, онлайн-сервісів та цифрових платформ підвищує ризики витоку персональних даних, хакерських атак і кіберзлочинності. В умовах цифрової економіки захист інформації стає стратегічним завданням для бізнесу та держави. Одним із найбільш перспективних інструментів у цій сфері є технологія Blockchain, що поєднує децентралізацію, криптографічний захист і прозорість операцій.

Наукові дослідження (Satoshi Nakamoto, 2008; Crosby et al., 2016; Tapscott & Tapscott, 2018; World Economic Forum, 2023; IBM Research, 2022) підкреслюють, що блокчейн дозволяє забезпечити незмінність даних, усунути єдиний центр контролю та запобігти несанкціонованим змінам, що робить його ефективним механізмом інформаційної безпеки в умовах цифрової трансформації.

Мета дослідження — проаналізувати принципи функціонування технології Blockchain як інструменту захисту інформації та оцінити її роль у забезпеченні безпеки даних у цифровій економіці.

Кожного року кількість та втрати від кібератак та кібершахрайств зростає. Поступове зростання кіберанатак вказує про потребу в інвестуванні в створення та впровадження технологій кібезрахисту (рис.1).

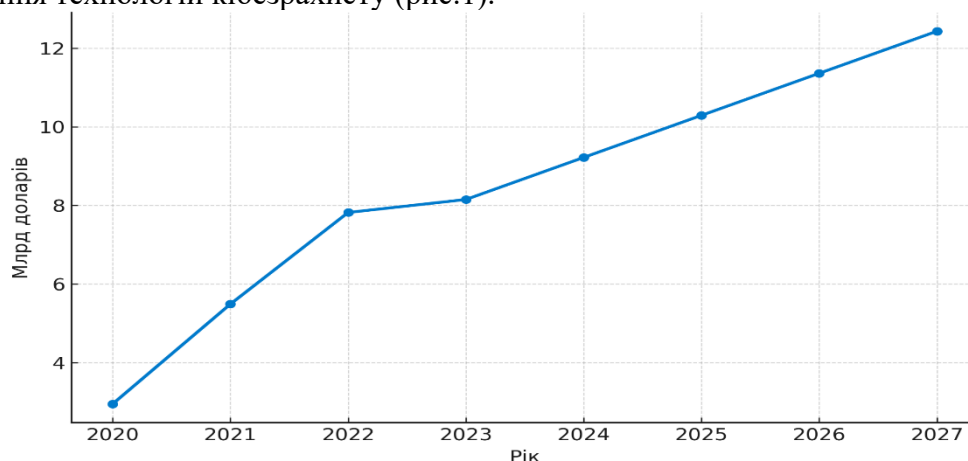


**Рис. 1.** Динаміка зростання кількості кібератак у світі (2020–2025 рр.) Джерело: *Cybercrime Expected To Skyrocket [4].*

Технологія Blockchain — це послідовний ланцюг блоків, кожен з яких містить набір транзакцій, часову мітку і криптографічний хеш попереднього блоку. На рис.2 зображена схема роботи технології.

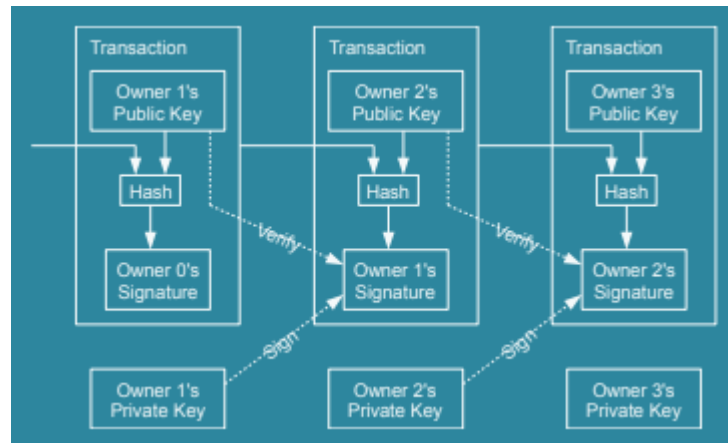


**Рис. 2.** Схема роботи технології Blockchain *Джерело: Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System [1].*

Основні принципи її роботи включають:

- Децентралізація — відсутність єдиного центру зберігання даних;
- Прозорість — усі транзакції доступні для перевірки;
- Консенсус — зміни відбуваються лише за згодою більшості учасників;
- Криптографічний захист — дані шифруються та підписуються цифровими ключами.

Аналіз тенденцій також свідчить, що попри те, що кількість кібератак зростає експоненційно, ринок Blockchain демонструє стабільне підвищення вартості та довіри з боку бізнесу і державних структур. Це підтверджує зростання попиту на децентралізовані рішення у сфері кіберзахисту.

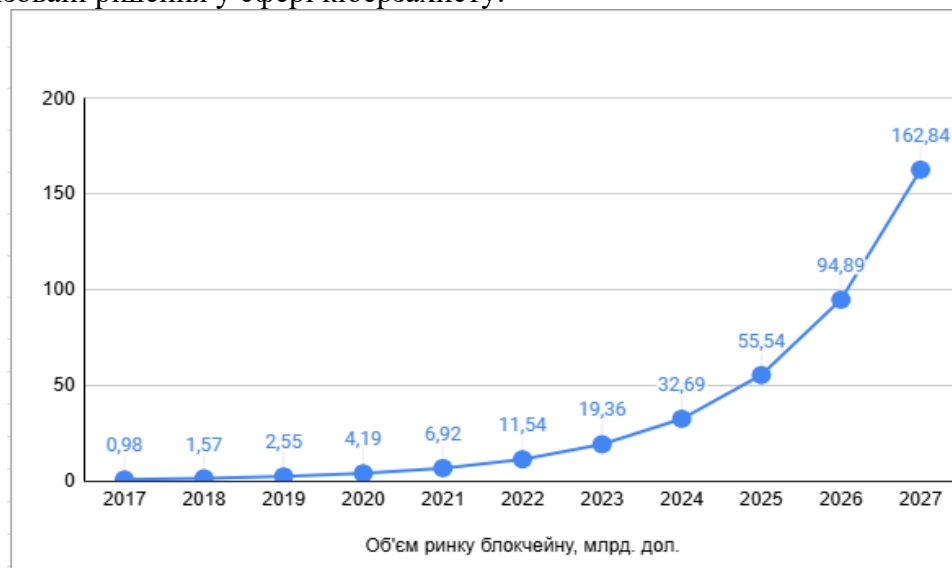


**Рис. 3.** Прогноз зростання ринкової вартості технології Blockchain (2020–2027 рр.) *Джерело: Blockchain Statistics — Adoption Rates & More [5].*

Технологія Blockchain є перспективним інструментом інформаційної безпеки та підвищення довіри у цифровій економіці. Її застосування дозволяє забезпечити незмінність, прозорість і захист даних без участі посередників. Водночас існують проблеми масштабованості, енергоефективності та правового регулювання, що потребують подальших наукових досліджень. Використання Blockchain у фінансовій, державній та освітній сферах може стати фундаментом кіберстійкої цифрової інфраструктури України.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Retrieved from: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
2. World Economic Forum. (2023). Blockchain Beyond the Hype: A Practical Framework for Business Leaders. Retrieved from: <https://www.weforum.org/>
3. Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain Technology: Beyond Bitcoin. Retrieved from: <https://scet.berkeley.edu/wp-content/uploads/BlockchainPaper.pdf>
4. Cybercrime Expected To Skyrocket. (2024). Retrieved from: <https://www.researchgate.net/>
5. Blockchain Statistics (2025) — Adoption Rates & More. Retrieved from: <https://www.demandsage.com/blockchain-statistics/>

УДК 336.76:519.72  
**ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІНИ КРИПТОВАЛЮТИ BITCOIN З ВИКОРИСТАННЯМ  
МОДЕЛІ PROPHET**

*Гудзь М. І., науковий керівник Кравченко В.М.*

Модель Prophet, розроблена дослідницькою групою компанії Meta та представлена у 2017 році як інструмент для швидкого, гнучкого та інтерпретованого прогнозування часових рядів із вираженою сезонністю, наявністю спеціальних подій, пропусків у даних чи різких змін трендів. Prophet створено з урахуванням реальних бізнес-завдань, коли дані характеризуються нерівномірністю та наявністю циклічних закономірностей. Саме тому метод широко застосовується не лише у сфері маркетингових і фінансових прогнозів, а й у дослідженнях криптовалютних ринків.

З теоретичного погляду Prophet реалізує адитивну модель часових рядів у якій спостереження  $y(t)$  подається як сума трьох основних компонентів: тренду, сезонності та впливу спеціальних подій, а також випадкової похибки.

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \varepsilon_t$$

де  $g(t)$  – функція тренду, що описує довгострокову тенденцію зростання або спаду;

$s(t)$  – сезонна складова, яка враховує періодичні коливання;

$h(t)$  – ефекти спеціальних подій (свят, збоїв, новинних ефектів);

$\varepsilon_t$  – випадкова складова (шум), яка відображає неочікувані коливання, не пояснені іншими елементами моделі.

Ключовим елементом Prophet є гнучке відтворення тренду та не вимагає попередньої стаціонаризації чи диференціювання часового ряду. Модель самостійно визначає моменти зміни тренду, використовуючи набір точок перелому у яких швидкість росту або спаду може змінюватися. Prophet автоматично моделює річну, місячну та тижневу сезонності та при необхідності може враховувати будь-яку іншу користувацьку періодичність.

Сезонна складова визначається через ряди Фур'є, що дозволяє точно відтворювати складні циклічні патерни. Формально сезонність обраховується як:

$$s(t) = \sum_{n=1}^N [a_n \cos(\frac{2\pi nt}{P}) + b_n \sin(\frac{2\pi nt}{P})]$$

де  $P$  – період циклу;

$a_n, b_n$  – коефіцієнти, які оцінюються моделлю;

$N$  – кількість.

Таке представлення дає змогу точно враховувати сезонні ефекти навіть у випадках, коли періодичність не є строго сталою, а амплітуда змінюється з часом. Для криптовалют часто спостерігається виражена тижнева циклічність (збільшення активності у будні дні) або річна (зростання волатильності наприкінці року).

Особливістю Prophet є можливість враховувати ефекти спеціальних подій, таких як свята, релізи або ключові технологічні оновлення. Для цього модель використовує додаткові регресори-індикатори, які приймають значення 1 у день події та 0 – в інші дні.

Також у Prophet є можливість оцінювати довірчі інтервали прогнозу, що враховують невизначеність у тренді, сезонності та шумі. Модель генерує три ряди прогнозних значень: центральну оцінку  $y(t)$ , верхню та нижню межі довірчого інтервалу у  $upper(t)$ , у  $lower(t)$ .

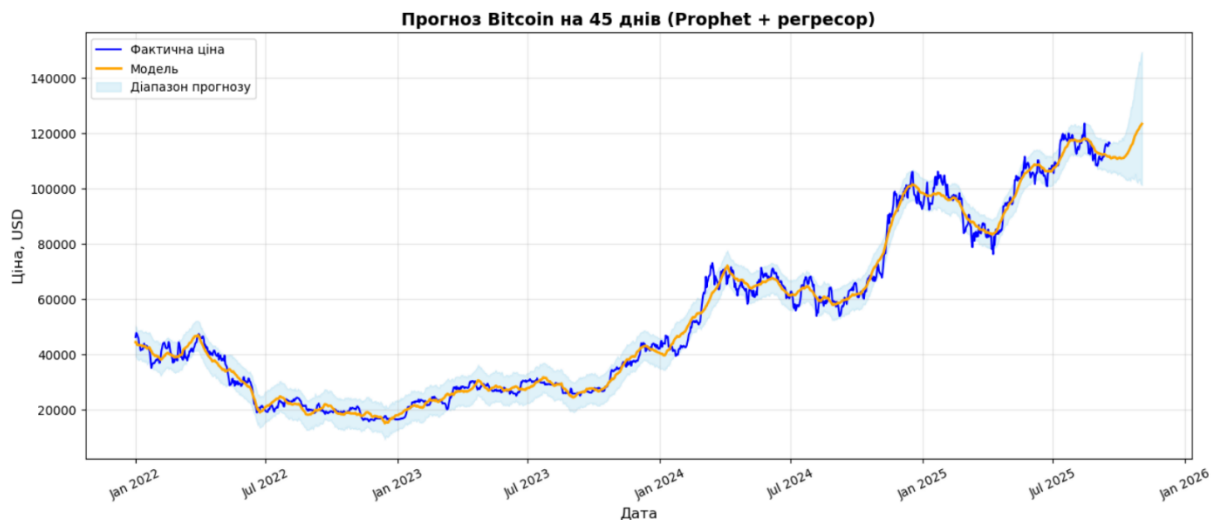


**Рис. 1.** Прогнозний графік криптовалюти Bitcoin. Джерело: розробка автора на основі [1,2]

На графіку побудованому за допомогою моделі Prophet на базі Python, спостерігається чітка тенденція зростання вартості активу у середньостроковій перспективі. Центральна лінія прогнозу демонструє поступовий висхідний тренд, що вказує на переважання позитивних очікувань на ринку. Водночас довірчий інтервал засвідчує високий рівень волатильності, характерний для криптовалют.

Сезонна складова демонструє циклічність попиту, зокрема збільшення активності у певні періоди року, що може бути пов'язано з поведінковими факторами інвесторів.

Prophet має низку властивостей, які роблять його привабливим для аналітиків:

- Автоматизація процесу моделювання.
- Самостійно виявляє сезонні патерни, зміни тренду та адаптується до структури даних.
- Гнучкість у налаштуванні.
- Можна вручну визначати періоди сезонності, додавати нові регресори або певні додаткові обмеження.
- Робота з пропусками та нерегулярними даними.
- Prophet стійкий до нерівномірності часових інтервалів і здатен коректно обробляти відсутні спостереження.
- Інтерпретованість результатів.
- Компоненти моделі можна візуалізувати окремо, що полегшує аналітичну інтерпретацію.
- Масштабованість.
- Модель здатна ефективно працювати з великими обсягами даних і може бути розгорнута для потокового прогнозування.

**Висновок.** Застосування моделі Prophet у прогнозуванні курсу Bitcoin є ефективним інструментом для ідентифікації трендів та сезонних закономірностей на криптовалютному ринку. Модель демонструє високу гнучкість та адаптивність до нестабільних фінансових даних. Водночас точність довгострокового прогнозу обмежується волатильністю ринку, що потребує регулярного оновлення даних та врахування зовнішніх макроекономічних факторів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. CoinGecko – ціна Bitcoin [Агрегатор даних] Режим доступу: <https://www.coingecko.com/uk/coins/bitcoin>
2. Prophet – офіційна документація Meta. Режим доступу: [https://facebook.github.io/prophet/docs/quick\\_start.html](https://facebook.github.io/prophet/docs/quick_start.html)
3. Makridakis S., Spiliotis E., Assimakopoulos V. Statistical and Machine Learning forecasting methods: Concerns and ways forward.



УДК 330.341.1  
**ЛЮДСЬКИЙ КАПІТАЛ ЯК КАТАЛІЗАТОР ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ  
ЕКОНОМІКИ**

*Іспірян Артур, науковий керівник Костенко І.С.*

У сучасних умовах цифрової трансформації економіки людський капітал виступає не лише виробничим ресурсом, а й каталізатором технологічних і соціально-економічних змін. Високий рівень цифрових компетенцій, креативності, аналітичного мислення та готовності до навчання формує основу цифрової конкурентоспроможності держави. Згідно з дослідженнями OECD (2024) та Юрчишина О. Я. (2023), рівень цифрових навичок населення прямо впливає на індекс цифрової конкурентоспроможності країни [1, 3]. Тому цифровізація економіки потребує інвестування у розвиток людського капіталу, удосконалення системи освіти та підготовки кадрів для цифрових галузей. Зростання ролі цифрових технологій потребує нових підходів до управління персоналом, розвитку ІТ-компетенцій, цифрової грамотності та інноваційного мислення працівників. Україна, прагнучи інтегруватися до європейського цифрового простору, має підвищити якість людського капіталу як основи ефективної цифровізації всіх сфер економіки.

Мета дослідження – обґрунтувати роль людського капіталу як ключового чинника цифрової трансформації економіки України.

Людський капітал у цифровій економіці охоплює не лише традиційні знання й освіту, а й цифрові компетенції — уміння працювати з великими даними, штучним інтелектом, автоматизованими системами та інтернетом речей. Цифрові навички забезпечують адаптацію працівників до змін ринку праці, який стрімко трансформується під впливом технологічного прогресу. Науковці, зокрема Юрчишин О. Я. та Степанець О. В. (2023) [1], доводять, що ефективна цифровізація можлива лише за умови підвищення рівня цифрових компетенцій населення та впровадження STEM-освіти. Kovbush T. (2024) [2] підкреслює, що цифрова економіка створює нові типи робочих місць у сфері ІТ-аутсорсингу, фрілансу, аналітики даних та кібербезпеки. Згідно зі звітом OECD (2024), розвиток цифрових навичок прямо корелює з продуктивністю праці та рівнем інноваційності держави.

За даними OECD (2024) [3], частка вакансій, які потребують цифрових навичок, зросла з 40% до 54%. Щороку ІТ-сектор створює понад 10 тис. нових робочих місць у напрямках програмування, аналітики, тестування й менеджменту проєктів.

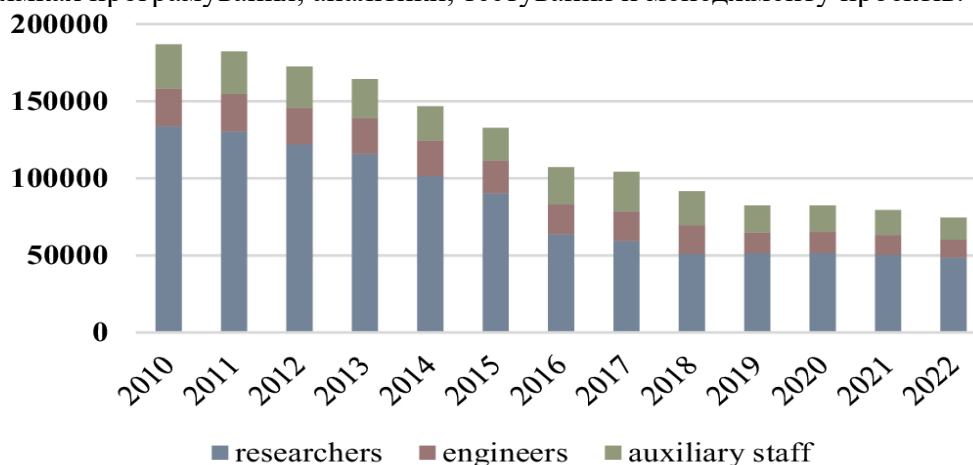


**Рис 1.** Динаміка ІТ-сектору / структура ринку праці в ІТ-сфері України. Джерело: розробка авторів на основі [2]

Рис. 1 відображає показники: researchers — показують кількість дослідників, engineers — кількість інженерів, задіяних у науково-технічній сфері, auxiliary staff —

допоміжний персонал. Дані показують скорочення кількості дослідників і допоміжного персоналу у 2010–2022 рр., що свідчить про відтік кадрів і недостатнє інвестування в людський капітал науки, тоді як цифрова економіка потребує зворотної тенденції — зростання освіченості та ІТ-грамотності працівників. У 2010 р. кількість становила майже 180 тис. осіб, а у 2022 р. — менше 80 тис. осіб. Найбільше скорочення спостерігається серед дослідників, що свідчить про відтік кадрів і зменшення інвестицій у науку та інновації.

Висновки. Людський капітал є основою цифрової трансформації економіки, оскільки саме люди створюють і впроваджують цифрові технології. Країни з високим рівнем цифрових навичок демонструють вищі показники продуктивності та інноваційності. Для України важливо забезпечити розвиток STEM-освіти, цифрової грамотності, кібербезпеки та підтримку наукових кадрів як стратегічну умову побудови конкурентоспроможної цифрової держави.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Yurchyshyn, O., & Stepanets, O. (2023). Analysis of digital technologies in Ukraine: problems and prospects. CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3781.
2. Kovbych, T. (2024). IT sector: the labor market of Ukraine in the conditions of global digitalization. Cambridge University Press.
3. OECD. (2024). Digital Skills Outlook 2024. OECD Publishing, Paris.
4. IT Ukraine Association. (2024). Digital Tiger Report 2024. Retrieved from: <https://itukraine.org.ua/files/DigitalTiger2024.pdf>
5. IMD. (2024). World Digital Competitiveness Ranking 2024. Lausanne: IMD World Competitiveness Center.

**ВПЛИВ ДЕРЖАВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НА РОЗВИТОК ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ***Ярославський І.Ф. науковий керівник Костенко І.С.*

Актуальність. Розвиток цифрової економіки є ключовим чинником підвищення конкурентоспроможності національної економіки, ефективності державного управління та формування сучасної інноваційної екосистеми. Галузь ІКТ, яка становить значну частку цифрової економіки України, стабільно забезпечує близько 5% зростання ВВП, і цей показник стабільно зростає. Covid-19 сприяв пришвидшенню зростання данної галузі по всьому світу, включаючи Україну, що наглядно продемонстровано на наступному графіку. Повномасштабне вторгнення в свою чергу призвело до значного падіння темпів зростання даної галузі, але не настільки значне, порівняно з усією економікою в цілому. Міністр цифрової трансформації Михайло Федоров під час заходу, присвяченого застосуванню Дія заявив, що до 2035 року сукупний внесок цифровізації до 2035 року досягне 7% ВВП [1].

Мета дослідження: аналіз впливу державного регулювання на розвиток цифрової економіки України з акцентом на виявленні ефективності діючих механізмів та визначенні напрямів їх удосконалення..

Головними виклики перед українським урядом в розрізі цифровізації є звичайно війна та післявоєнне відновлення, але крім цього - недостатній розвиток інституцій, зокрема поганий зв'язок між наукою та джерелами фінансування (фактична відсутність фондового ринку).

Варто відзначити основні ініціативи електронного державного регулювання економіки України - державне електронне управління (E-governments) - "Дія", особлива податкова зона для ІТ - компаній - "Дія.Сіті". На думку Анатолія Моткіна, міжнародного технологічного інвестора, Дія - глобальний золотий стандарт для послуг e-government[2]. Як зазначив Михайло Федоров на форумі, присвяченому Дії, "Дія вже дозволила заощадити майже 200 млрд. грн. українців на державні послуги"[1]. Подальший розвиток e-government сприятиме зменшенню корупції та прозорішому регулюванню. Інший великий проект українського уряду - Дія.City. Дія.City - це особливі податкові умови для компаній в ІТ галузі. Цей проект має "відбілити" ІТ галузь, оскільки зараз велика кількість спеціалістів формально працюють через ФОП, хоча насправді працюють на інші великі та середні компанії. Урядовці як і деякі експерти, зокрема Petro Kornieiev та Ivan Yatskevych в своїй статті зазначають, що даний проект може стати "глобальним еталоном для технологічних екосистем"[3]. Однак даний проект стикається з великою критикою від юристів, наприклад кандидат Юр. наук Котенко Артем зазначає, що Дія.Сіті потребує більшої прозорості та чіткого законодавчого оформлення[4]. Не менш важливим є довіра. Так, серед ІТ фахівців за даними опитування DOU лише 27% довіряють даному нововведенню, хоча їх кількість поступово збільшується, оскільки в 21 році 80% виступали однозначно проти "Дія.Сіті", довіра все ще залишається вкрай низькою, що свідчить про необхідність доопрацювання даного механізму[5].

Одним з основних показників цифровізації економіки України є ВДВ, яка характеризує зростання частки цифрової економіки у ВВП України. Графік, приведений нижче, демонструє стабільне зростання частки цифрової економіки в економіці України в цілому. З 2020 року темпи зростання прискорились через пандемію, паралельно з якою почали впроваджуватись в життя проекти "Дія" та "Дія.Сіті", які мали вагомий вплив на зростання цифрової економіки. З 2022 року та повномасштабного вторгнення частка продовжувала стабільно зростати через відносну стабільність порівняно з традиційними

галузями економіки. На це впливають як зростання цифрової економіки в абсолютних величинах, так і уповільнення темпів зростання економіки в цілому.



**Рис. 1** Частка ВДВ в галузі ІКТ до загального ВДВ по всіх галузях. Джерело: розробка авторів на основі даних Державної служби статистики

Висновки. Державне регулювання в цифровій економіці України має важливий вплив на зростання цифрової економіки та цифровізацію інших галузей. Так, без запущеного у 2019 році проекту “Дія” вже неможливо уявити свого життя, він економить дуже багато часу українцям та бізнесу, на нього рівняються навіть уряди розвиненого світу. “Дія.Сіті” не менш важливий проект. Внесений в тому ж році, що і “Дія”, він передбачає пільгові податкові умови для компаній ІТ галузі, так, компанії через цей проект можуть обирати між загальною податковою ставкою - 18% (на кінець 2025 року\*) та податком на виведений капітал, який становить 9%. Головним викликом перед державою в галузі цифровізації економіки стоїть подальший розвиток державних антикорупційних, фінансових та освітніх інститутів таким чином, щоб вони відповідали викликам сучасності та допомагали розвитку цифрової економіки України.

#### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА:

1. Форум присвячений “Діі”. URL:<https://mezha.net/ua/bukvy/diia-app-drives-billions-in-savings-and-economic-growth-in-ukraine/>
2. “Дія” як золотий стандарт E-governments. URL:<https://www.atlanticcouncil.org/blogs/ukrainealert/ukraines-diia-platform-sets-the-global-gold-standard-for-e-government/>
3. Перспективи проекту “Дія.сіті”. URL:<https://czasopisma.bg.ug.edu.pl/index.php/flr/article/view/11682>
4. Критика проекту “Дія.Сіті” з юридичного боку. URL:[https://dspace.nlu.edu.ua/bitstream/123456789/20415/1/ISBN%20978-617-8448-49-3\\_50%E2%80%939352.pdf](https://dspace.nlu.edu.ua/bitstream/123456789/20415/1/ISBN%20978-617-8448-49-3_50%E2%80%939352.pdf)
5. Опитування DOU. URL: <https://dev.ua/news/it-fakhivtsi-proty-diia-city-1732695345>
6. Законопроект ВР “Про стимулювання розвитку цифрової економіки України”. URL: <https://www.rada.gov.ua/news/Povidomlennya/212519.html>

**ОЦІНКА ПРОЦЕСІВ ЦИФРОВІЗАЦІЇ МЕДИЧНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ***Динька А. О., науковий керівник Костенко І. С*

Актуальність. Цифровізація системи охорони здоров'я є одним із ключових напрямів модернізації державного управління та соціально-економічного розвитку України. Після пандемії COVID-19 і в умовах воєнного стану цифрові технології стали критично важливим інструментом забезпечення безперервності медичних послуг — від електронних рецептів і телемедицини до ведення електронних медичних записів. За даними Міністерства охорони здоров'я України (2025), у системі eHealth зареєстровано понад 38 млн пацієнтів, 230 тис. лікарів і 60 тис. медичних закладів, що свідчить про масштабний рівень цифрової інтеграції. Проте процес цифровізації залишається нерівномірним через кадрові, технічні та фінансові обмеження, що знижує ефективність використання потенціалу eHealth у регіонах..

Мета роботи - оцінити сучасний стан, ефективність та напрями розвитку цифровізації медичної системи України, визначити ключові досягнення, проблеми та перспективи удосконалення електронної охорони здоров'я (eHealth) у контексті цифрової трансформації державного управління.

У роботі застосовано системний, порівняльний, аналітичний методи. Системний підхід дав змогу розглядати цифровізацію охорони здоров'я як комплексну соціально-економічну систему; порівняльний аналіз – зіставити український досвід з міжнародними практиками; статистичний – оцінити динаміку розвитку eHealth за основними показниками.

В Україні цифровізація охорони здоров'я охоплює кілька ключових напрямів:

- створення єдиної електронної системи eHealth для обміну медичною інформацією;
- запровадження електронного рецепта (зокрема для відшкодування ліків за програмою «Доступні ліки»);
- розвиток телемедицини для надання консультацій пацієнтам у віддалених регіонах;
- формування національних медичних реєстрів (вакцинації, донорів, пацієнтів з хронічними захворюваннями);
- впровадження цифрових інструментів управління для медичних закладів.

Система eHealth забезпечує інтеграцію медичних даних і обмін інформацією між лікарями, пацієнтами та закладами.

Електронний рецепт підвищує прозорість фармацевтичних послуг і спрощує контроль за відшкодуванням ліків (програма «Доступні ліки»).

Телемедицина активно розвивається в умовах віддаленості пацієнтів і збройного конфлікту, забезпечуючи доступ до консультацій фахівців.

Національні медичні реєстри формують базу для аналітики, управлінських рішень та планування державних програм.

Цифрові інструменти для лікарів і пацієнтів (мобільні додатки, чат-боти, системи моніторингу) мають значний потенціал розвитку, але поки недостатньо поширені.

На рис.1 відсоткове значення впровадження технологій охорони здоров'я України в 2025 р. Бачимо, що впроваджена в повній мірі лише Система eHealth.

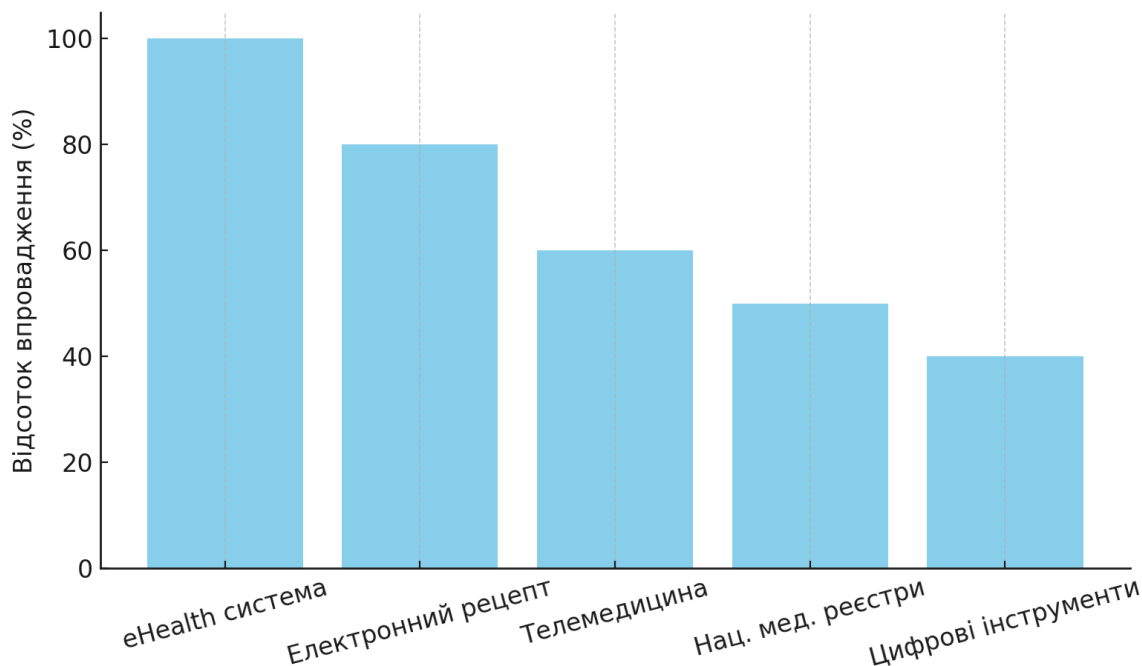


**Рис. 1** Оцінка рівня впровадження технологій охорони здоров'я України в 2025 р.

Загалом, результати демонструють стратегічно виважений і поступовий розвиток цифрової медицини, орієнтований на підвищення якості послуг, ефективності управління та доступності медичної допомоги.

Попри позитивні зрушення, залишаються проблеми: нестача фінансування, нерівномірність технічного оснащення закладів, потреба у підготовці медичного персоналу з цифровими навичками, а також ризики кібербезпеки. Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення державної політики цифрової трансформації охорони здоров'я, розроблення стратегій розвитку eHealth, а також у практичній діяльності медичних закладів для підвищення якості послуг і ефективності управління.

**Висновки.** Цифровізація охорони здоров'я в Україні набула системного характеру, однак потребує подальшого розвитку у напрямі стандартизації даних, інтеграції регіональних систем та забезпечення кіберзахисту. Пріоритетними напрямками подальшого розвитку є стандартизація медичних даних, інтеграція регіональних інформаційних систем і посилення кібербезпеки. Підвищення цифрової грамотності медичного персоналу та інвестиції в інноваційні IT-рішення сприятимуть створенню ефективної, безпечної та прозорої системи охорони здоров'я європейського рівня. Вказані напрямки потребують поглибленого дослідження за допомогою економетричних методів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Міністерство охорони здоров'я України. Електронна система охорони здоров'я (eHealth). – Режим доступу: <https://ehealth.gov.ua>
2. Міністерство цифрової трансформації України. Цифрова трансформація у сфері охорони здоров'я. – Режим доступу: <https://thedigital.gov.ua>
3. World Health Organization. Global Strategy on Digital Health 2020–2025. – Geneva: WHO, 2021.
4. World Bank. Ukraine Health Program – Digital Health Systems Overview. – 2023.

5. Князевич В. М., Лехан В. М. Розвиток електронної системи охорони здоров'я в Україні: проблеми та перспективи. // Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України. – № 2, 2022.
6. ThePharma.Media. Цифровізація медицини в Україні: тенденції та виклики. – 2025. – URL: <https://thepharma.media/uk/news/38604>

# МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ЖИТТЯ НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ

Мазуренко Тетяна, науковий керівник Клименко Наталія

У сучасних умовах глобалізації та соціально-економічних викликів проблема підвищення якості життя населення набуває особливого значення. Якість життя — це багатогранна категорія, що характеризує ступінь задоволення матеріальних, духовних і соціальних потреб людини. Вона охоплює як економічні показники, так і аспекти охорони здоров'я, освіти, екології, безпеки та соціальної стабільності.

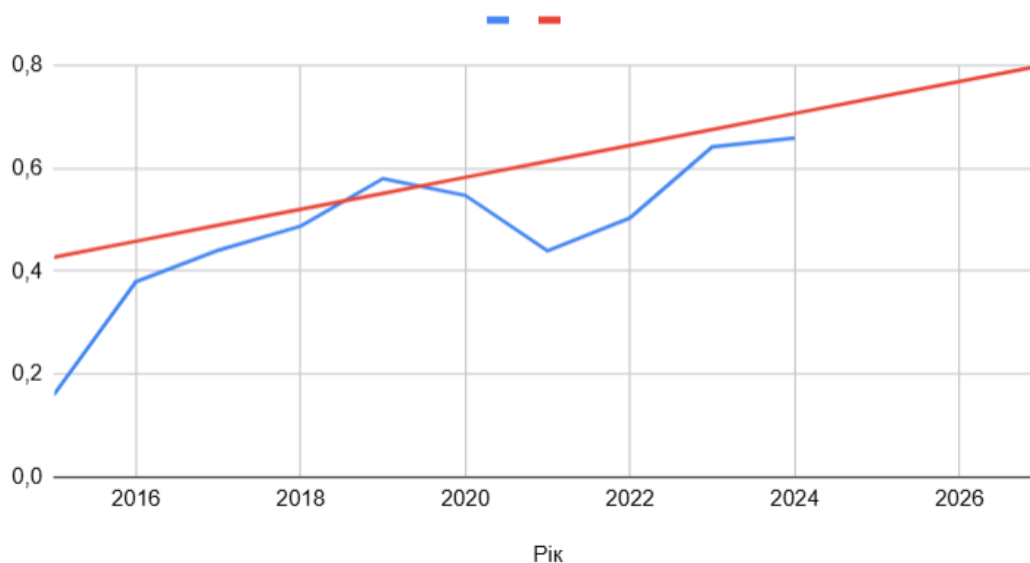
Метою даного дослідження є моделювання та прогнозування якості життя населення України із застосуванням методів економіко-математичного аналізу. Для досягнення поставленої мети було визначено основні фактори, що впливають на якість життя, зібрано та систематизовано статистичні дані за 2015–2024 роки, а також побудовано економетричну модель, яка дозволяє оцінити взаємозв'язки між ключовими соціально-економічними показниками.

Під час аналізу було розглянуто такі показники, як валовий внутрішній продукт на душу населення, середня заробітна плата, рівень безробіття, інфляція, очікувана тривалість життя. Ці показники комплексно відображають матеріальний добробут населення, рівень соціального забезпечення та розвиток людського потенціалу. На основі зібраних даних було розраховано інтегральний індекс якості життя, для чого застосовано метод нормалізації, який дозволяє привести показники до єдиної шкали та об'єднати їх у загальний індекс.

На основі побудованої моделі було здійснено прогнозування рівня якості життя населення України на період 2025–2027 років. Прогноз показав, що за умов стабілізації економічної ситуації та підтримання темпів зростання заробітної плати можливе поступове підвищення інтегрального індексу на 3–5% щорічно. Це свідчить про потенціал покращення добробуту населення у середньостроковій перспективі за умови ефективного державного регулювання соціально-економічних процесів.

Прогнозування рівня якості життя населення України на період 2025–2027 років

IIQ (Факт.) і Прогнозований IIQ



Отримані результати мають практичну цінність для розроблення соціально-економічної політики держави. Вони можуть бути використані для оцінки ефективності реформ, планування державних і регіональних програм підвищення якості життя, а



також для моніторингу соціального розвитку країни. Економіко-математичне моделювання дозволяє не лише кількісно оцінити рівень якості життя, але й прогнозувати його зміни, що забезпечує можливість прийняття науково обґрунтованих управлінських рішень. Україна має специфічні виклики: демографічні проблеми (низька тривалість життя, висока смертність, відтік населення), вплив війни, змінена структура економіки. При моделюванні якості життя варто враховувати вплив зовнішніх шоків та нерегулярних змін – наприклад, дослідження щодо стійкості суспільства (resilience) підкреслює важливість когнітивного моделювання для України. Обмеженість даних, дефіцит суб'єктивних оцінок, необхідність адаптації моделей до України (наприклад, врахування військового стану, внутрішньої міграції) – це ключові виклики, які варто враховувати. Методи моделювання та прогнозування якості життя населення України

Методи моделювання є базовими для аналізу якості життя, оскільки дозволяють досліджувати взаємозв'язки між соціально-економічними показниками та рівнем життя населення.

Кореляційно-регресійний аналіз – використовується для виявлення впливу факторів (доходи, безробіття, рівень освіти, інфляція, доступ до медичних послуг) на інтегральний показник якості життя.

Кластерний аналіз – дозволяє групувати регіони України за схожістю у рівнях життя чи соціально-економічних умовах.

Індексний підхід - побудова індексу якості життя (ІЯЖ) або індексу людського розвитку (ІЛР) на основі стандартизованих показників: ВВП (доходи населення); рівень освіти (частка населення з вищою освітою, охоплення освітою); здоров'я (очікувана тривалість життя, смертність); житлові умови, безпека, екологія тощо.

Методи інтелектуального аналізу (Decision Tree, Random Forest, Gradient Boosting (LightGBM, XGBoost) – для прогнозування інтегрального показника якості життя або віднесення регіонів до певних кластерів., Support Vector Machines (SVM) – для класифікації регіонів за рівнем якості життя, Neural Networks (MLP, CNN, LSTM) – використовуються для багатofакторного прогнозування динаміки показників (доходів, тривалості життя, споживання), K-Means Clustering, DBSCAN – для автоматичного виділення типів територій за структурою життя.

Таким чином, дослідження підтверджує, що якість життя населення є комплексною соціально-економічною категорією, яка залежить від поєднання економічних, соціальних і демографічних чинників.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Статистичний щорічник України за 2022 рік / Державна служба статистики України. Київ : Держстат, 2023. 725 с. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 25.10.2024).
2. Програма розвитку ООН. Індекс людського розвитку для України. 2022. URL: <https://hdr.undp.org/> (дата звернення: 25.10.2024).
3. Ray A., Sinding T. 2021. The Economics of Well-being: Theory and Empirical Insights. Oxford : Oxford University Press, . 240 p.
4. Voronenko, I., Klymenko, N., & Nahorna, O. 2022. Challenges to Ukraine's Innovative Development in a Digital Environment. Management and Production Engineering Review, 13 (4), 48-58.

**ЦИФРОВІ БІЗНЕС–МОДЕЛІ В ЕЛЕКТРОННІЙ КОМЕРЦІЇ***Гребеник В. Ю., науковий керівник Костенко І. С.*

Актуальність. На сьогодні електронна комерція є одним із ключових елементів цифрової економіки, оскільки більшість підприємств поступово переходять у онлайн-простір. Розвиток мобільного інтернету, поширення соціальних мереж, пандемія та агресія з боку рф сприяли прискоренню цифровізації [1].

В Україні електронна комерція демонструє стабільне зростання, і за даними Ecommercedb обсяг ринку у 2024 році склав 4,3 млрд дол. США, що на 5-10% більше, ніж у попередньому році [2-4].

Метою роботи є дослідження видів та особливостей функціонування бізнес-моделей в електронній комерції, а також визначити шляхи їх поліпшення в цифровій економіці.

Для розуміння сутності електронної комерції було розглянуто основні типи бізнес-моделей, що функціонують у цьому середовищі.

*Таблиця 1*

**Порівняння типів бізнес-моделей електронної комерції. Джерело: розробка авторів на основі [1-4]**

| Тип моделі | Характеристика                                | Приклад компаній      | Основні переваги                       |
|------------|-----------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| B2B        | Взаємодія між підприємствами                  | Alibaba, ThomasNet    | Великі обсяги, довгострокові контракти |
| B2C        | Продаж товарів споживачам                     | Amazon, Rozetka       | Масовість, зручність, швидкість        |
| C2C        | Торгівля між споживачами на платформах        | OLX, eBay             | Мінімальні витрати, гнучкість          |
| C2B        | Користувачі пропонують свої послуги компаніям | Freelancehunt, Fiverr | Індивідуальні послуги                  |
| B2G        | Взаємодія бізнесу з державними структурами    | Prozorro              | Прозорість, контроль                   |

В якості прикладу бізнес-моделі в Україні було взято компанію Rozetka, що є одним з прикладів B2C-моделі в Україні. Вона поєднує власну платформу електронної комерції з елементами маркетплейсу, де продавці можуть розміщувати свої товари. Такий підхід забезпечує швидкий обіг товарів, розширення асортименту та зростання клієнтської бази.

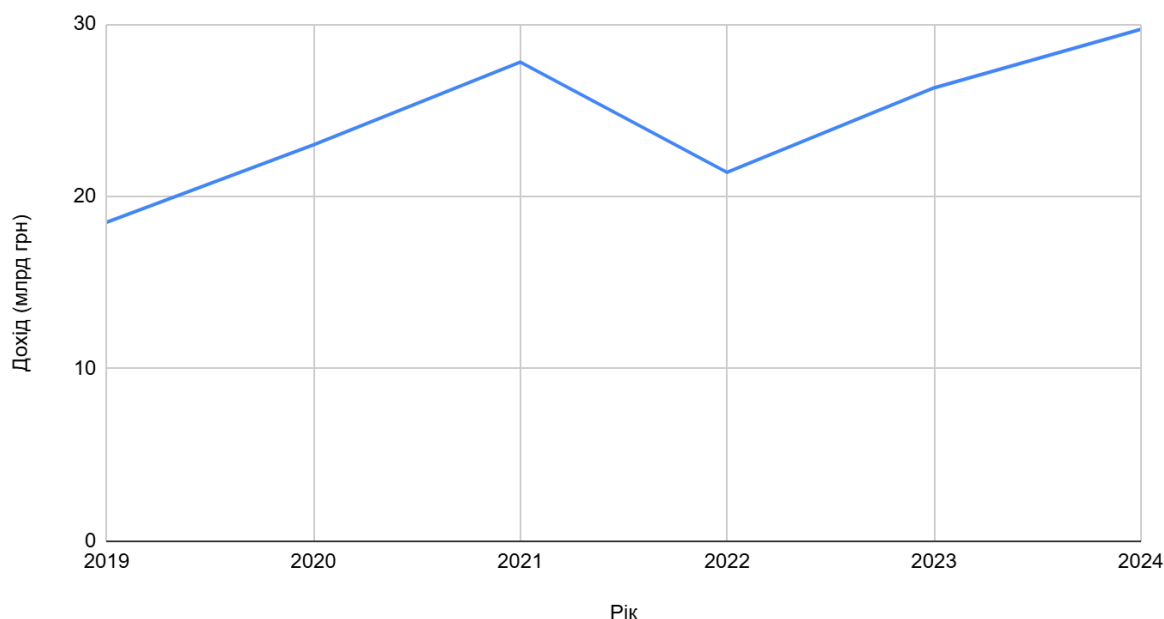


**Рис 1.** Динаміка доходу компанії Rozetka (2019-2024 рр.) Джерело: розробка авторів на основі [4]

За останні роки доходи Rozetka стабільно зростають завдяки автоматизації процесів, ефективному використанню аналітики продажів і розвитку власної логістичної інфраструктури.

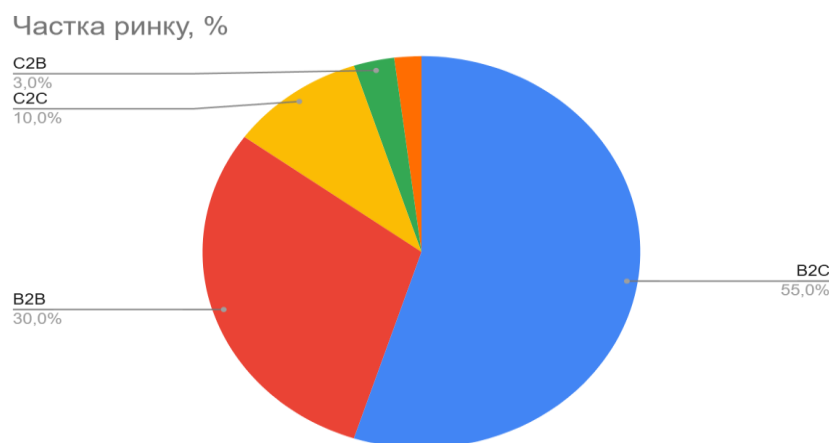


**Рис 2.** Частка різних бізнес-моделей у світовій електронній комерції в 2024 р. Джерело: розробка авторів на основі [3]

У світовій електронній комерції найдинамічніше розвиваються моделі B2C та C2C, які забезпечують швидкий обіг капіталу, широку аудиторію та можливість персоналізації пропозицій. Модель B2B залишається основою стабільних довгострокових відносин між компаніями, тоді як B2G сприяє підвищенню прозорості державних закупівель.

Висновки. Електронна комерція є важливим напрямом розвитку сучасного бізнесу. Впровадження ефективних бізнес-моделей дозволяє підприємствам адаптуватися до нових умов, підвищити конкурентоспроможність і забезпечити сталість економічного зростання. Подальші дослідження потребують розширення бази практичних кейсів застосування різних бізнес-моделей.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Індустрія електронної комерції в Україні. URL:<https://ecdb.com/resources/sample-data/market/ua/all#market-size-and-growth>
2. Трансформація бізнес-моделей електронної комерції в умовах цифрової економіки. URL:[https://www.researchgate.net/publication/385383004\\_Transformation\\_of\\_e-commerce\\_business\\_models\\_in\\_the\\_digital\\_economy](https://www.researchgate.net/publication/385383004_Transformation_of_e-commerce_business_models_in_the_digital_economy)
3. Розвиток електронної комерції в Україні в сучасних умовах. URL:<https://reicst.com.ua/pmt/article/download/2024-12-03-02/2024-12-03-02/1>
4. Доступ до державних даних про громадян та бізнес. URL:<https://opendatabot.ua/c/37193071>

Актуальність обраної теми зумовлена значною роллю рослинництва, яке є однією з провідних галузей аграрного сектору України та має визначальний вплив на економіку держави. Україна традиційно входить до числа світових лідерів з експорту пшениці, кукурудзи, ячменю, соняшнику та ріпаку, забезпечуючи вагому частку світового продовольчого ринку. Високі показники розвитку рослинництва зумовлені сприятливими природно-кліматичними умовами, наявністю родючих чорноземів і значними посівними площами.

Результати проведених досліджень підтверджують, що Україна є одним із ключових учасників у забезпеченні глобальної продовольчої безпеки. Понад 70% території країни зайняті сільськогосподарськими угіддями, серед яких переважають родючі чорноземи. До початку повномасштабної війни Україна стабільно входила до п'ятірки найбільших експортерів зернових культур у світі, експортувавши близько 75% виробленої продукції, тоді як внутрішнє споживання становило лише 20–25%. На той час на частку України припадало близько 10% світового експорту пшениці, понад 14% кукурудзи та більш ніж 47% соняшникової олії.

Станом на сьогодні в Україні сільськогосподарські підприємства виробляють значно більше рослинницької продукції, ніж господарства населення. Ця тенденція зумовлена кількома ключовими факторами. По-перше це масштабами виробництва сільськогосподарські підприємства мають більші площі оброблюваних земель, більшим технічним оснащенням, так як, вони мають можливість використовувати більш сучасну техніку. Вони мають кращий доступ до фінансових ресурсів та інвестицій в сучасні технології та засоби виробництва.

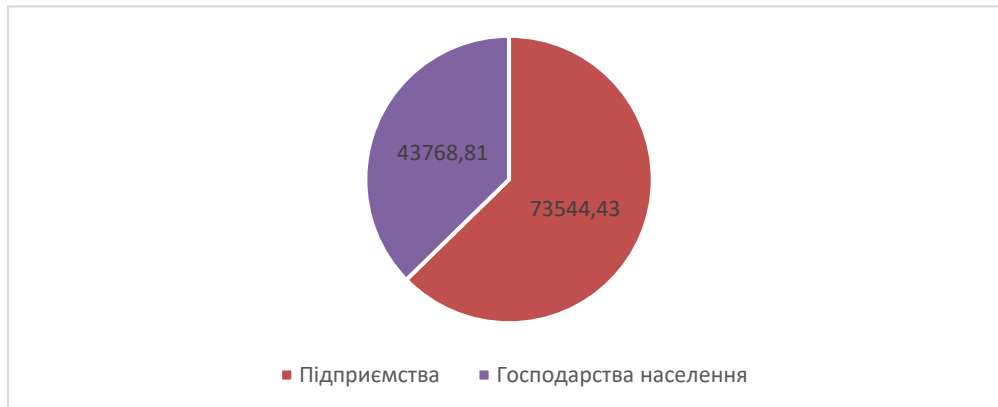


**Рис.1.** Частка виробництва продукції підприємствами та господарства населення

Сільськогосподарські підприємства в Україні зосереджені на комерційному виробництві рослинницької продукції, яка призначена як для внутрішнього ринку, так і для експорту. Звісно на даний момент сільськогосподарські підприємства адаптуються до нових умов, окупація частини територій та бойові дії призводять до втрат орних земель, руйнування інфраструктури та зниження виробничих потужностей. Міни та невибухлі боєприпаси на полях становлять серйозну загрозу для сільськогосподарських

робіт. На рис. 2 можемо бачити динаміку виробництва основних сільськогосподарських продуктів з 2017 по 2023 роки.

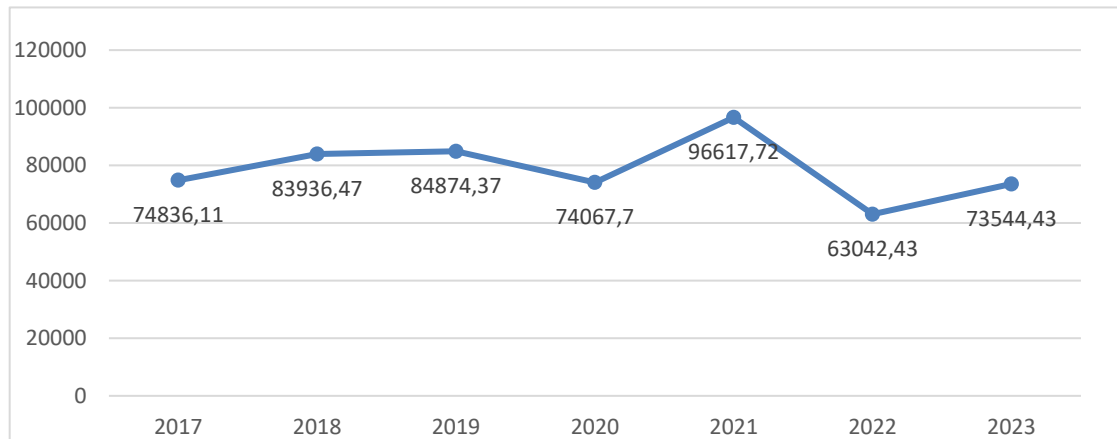


**Рис 2.** Графік динаміки обсягу виробництва основних сільськогосподарських культур підприємствами України

На графіку спостерігаємо два спади виробництва в 2020 та 2022 роках. У 2022 році Україна зіткнулася з однією з найгірших посух за останні десятиліття. Пандемія COVID-19 спричинила проблеми з логістикою, постачанням насіння, добрив та засобів захисту рослин. Порівняно з 2021 роком в 2022 році обсяг виробництва впав на 12,7%. Другий спад відбувся в 2022 році через вище згадані бойові дії в східній частині України. Через різке зменшення посівних площ шляхом окупації та мінування полів. Тому в 2022 році порівняно з 2021 обсяг виробництва впав на 34,75%. Та незважаючи на всі виклики у 2023 році підприємства проявили стійкість та можливість до адаптації, тому обсяг виробництва почав зростати.

Рослинництво в Україні продовжує демонструвати розвиток, попри складні умови, спричинені війною. Інтенсифікація виробництва, зростання експортного потенціалу, впровадження сучасних інформаційних технологій та державна підтримка сприяють підтриманню стабільності й підвищенню ефективності аграрного сектору. Водночас воєнні дії вимагають запровадження нових підходів до управління ризиками, відновлення аграрної інфраструктури та адаптації до мінливих умов, що є необхідними передумовами для забезпечення сталого розвитку рослинництва в Україні.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба статистики України. 2024. URL: <https://stat.gov.ua/>
2. Агропромисловий комплекс України, огляд ніші та реалії сьогодення. YC MARKET: веб-сайт. URL: <https://blog.youcontrol.market/aghropromislovii-kompleks-ukrayini-oghliad-nishi-ta-riekaliyi-soghodiennia>
3. Аграрний сектор України у 2023 році: складові стійкості, проблеми та перспективні завдання. Національний інститут стратегічних досліджень. URL: <https://niss.gov.ua/doslidzhennya/ekonomika/ahramnyy-sektor-ukrayiny-u-2023-rotsi-skladovi-stiykosti-problemy-ta>
4. Хаєцька О.П., Лояніч В.О. Забезпечення продовольчої безпеки України в умовах війни. Ефективна економіка. 2023. № 6. URL: <https://nayka.com.ua/index.php/ee/article/view/1723/1736>

# MODELING THE IMPACT OF GEOPOLITICAL RISKS AND INTEREST RATES ON EXCHANGE RATES

*Balabanov Savelii Vasylyovich, Scientific advisor Liudmyla Valentynivna Galaieva*

Modeling the impact of geopolitical risks and interest rates on exchange rates is a key area of modern econometric research, combining elements of international finance, political economy, and statistical analysis. Exchange rates are influenced by numerous factors, but geopolitical events and monetary policy are the primary determinants of their long-term trends. Geopolitical risks encompass a wide range of phenomena, including military conflicts, political instability, trade sanctions, and shifts in international alliances. These factors directly influence investor expectations, the level of confidence in a particular country, and the volume of capital inflows or outflows. Changes in interest rates, in turn, form the difference in yields between currencies, which determines the attractiveness of assets denominated in a particular currency. As a result, there is a redistribution of investment flows, which is reflected in changes in supply and demand in the currency market. [1]

Modeling these processes requires taking into account both macroeconomic variables and subjective market expectations, which are often difficult to measure quantitatively. The use of geopolitical tension indices, such as the Geopolitical Risk Index (GPR), allows this influence to be partially formalized in the form of a dynamic series that can be included in models such as VAR (Vector Autoregression), SVAR (Structural VAR), or models with time-varying parameters. At the same time, the interest rate can be seen as a control tool for the central bank, which directly adjusts the currency balance through the interest rate parity mechanism. An increase in the rate usually contributes to the strengthening of the national currency due to the growth in the profitability of domestic assets, while a decrease stimulates capital outflows. However, this effect may be weakened in conditions of increased geopolitical uncertainty, when security risks become more significant than financial gains. [2]

Dynamics of interest rates of leading central banks and the US dollar index in 2015–2025 is shown in Table 1.

*Table 1*

**Dynamics of interest rates of leading central banks and the US dollar index in 2015–2025. [3]**

| Year | US Dollar Index | USA (Fed) % | ECB (MRO) % | Bank of England % |
|------|-----------------|-------------|-------------|-------------------|
| 2015 | 96,73           | 0,5         | 0,05        | 0,5               |
| 2016 | 97,22           | 0,75        | 0           | 0,25              |
| 2017 | 95,91           | 1,5         | 0           | 0,5               |
| 2018 | 93,79           | 2,5         | 0           | 0,75              |
| 2019 | 97,43           | 2,25        | 0           | 0,75              |
| 2020 | 95,38           | 0,25        | 0           | 0,1               |
| 2021 | 92,80           | 0,25        | 0           | 0,1               |
| 2022 | 104,06          | 4           | 2,5         | 3,5               |
| 2023 | 103,46          | 5,25        | 4,5         | 5,25              |
| 2024 | 104,46          | 4,75        | 3,75        | 4,75              |
| 2025 | 101,33          | 4,25        | 2,15        | 4                 |

Of particular interest is the interaction between geopolitical risks and interest rate policy, as they can have synergistic or compensatory effects. In periods of tension, central banks are

often forced to balance exchange rate stabilization with economic growth support, making model forecasts more sensitive to assumptions. For example, in countries with developed financial markets, changes in expectations about future rates can be quickly integrated into the exchange rate through currency derivatives, while in less stable economies, the response may be delayed or even nonlinear. This opens up space for the application of nonlinear econometric approaches – models such as Markov Switching, Threshold VAR, or regressions with asymmetric lags. [4]

In practical terms, this type of modeling makes it possible to assess the probability of currency crises, the effectiveness of monetary interventions, and the limits of the financial system's resilience to external shocks. Geopolitical risks tend to manifest themselves through short-term volatility spikes, while interest rates have a more stable impact, shaping the medium-term trajectory of the exchange rate. Combining these factors in the model allows not only to predict exchange rate changes, but also to assess the potential effect of various scenarios, such as the introduction of sanctions, changes in the key rate, or a sudden escalation of conflict.

For developing economies, the problem is further complicated by high dependence on external capital flows and the limited ability of monetary policy to offset external risks. In such conditions, it becomes important to take into account behavioral aspects—investors' reactions to information signals, changes in the level of trust in institutions, and the state's ability to ensure political stability. Models that ignore these parameters lose their predictive power, as the exchange rate responds not only to economic variables but also to risk perception. [5]

With this in mind, modern approaches to modeling the impact of geopolitical risks and interest rates on exchange rates are gradually shifting from purely quantitative models to hybrid systems that integrate elements of text analysis, confidence indices, and news flows. Such models allow tracking not only numerical changes, but also the context of events that shape

In view of this, modern approaches to modeling the impact of geopolitical risks and interest rates on exchange rates are gradually shifting from purely quantitative models to hybrid systems that integrate elements of text analysis, confidence indices, and news flows. Such models allow tracking not only numerical changes, but also the context of events that shape market expectations. As a result, a more comprehensive picture of the dynamics of the currency market is formed, which is important for both scientific research and the practical development of macroeconomic policy.

Conclusion: This area of modeling demonstrates how intertwined political and economic factors are in the global financial system. The exchange rate becomes not only a reflection of monetary equilibrium, but also a kind of indicator of geopolitical stability, where economic parameters are intertwined with political signals.

## REFERENCES

1. Caldara, D., & Iacoviello, M. (2022). Measuring Geopolitical Risk [Working paper]. [matteoiacoviello.com](https://matteoiacoviello.com)
2. Benigno, G. (2012). Risk, monetary policy, and the exchange rate. *The Journal of Political Economy*, 120(3), 511–553. <https://doi.org/10.1086/663993> Chicago Journals
3. Yahoo Finance. Markets: world indices Retrieved from: <https://finance.yahoo.com/markets/world-indices/>
4. Yilmazkuday, H. (2024). Geopolitical Risks and Exchange Rates (SSRN Working Paper). SSRN
5. Yang, Y. (2021). Effects of monetary policy on the exchange rates: A Time-varying parameter VARX model. *Journal of International Money and Finance*. ScienceDirect



**MODELING THE DYNAMICS OF THE EXCHANGE RATE BASED ON  
MACROECONOMIC INDICATORS***Pshenychnyi Taras Yuriiovich, Scientific advisor Liudmyla Valentynivna Galaieva*

The exchange rate is not a single figure but the outcome of the interaction of three forces: monetary flows between the country and the world, investor expectations, and the rules governing monetary authorities. The objective of this study is to demonstrate how a set of comprehensible macroeconomic indicators – such as inflation, real interest rate differentials, terms of trade, and the balance of payments – shapes short- and medium-term currency movements around a longer-term “anchor.” The approach aims to integrate the economy’s long-term relationships with its short-term reactions to news and risks, thereby testing the stability of the results over time [1, 2].

Currency flows describe the amount of foreign currency entering and leaving a country, including the trade balance, the current account as a percentage of GDP, capital inflows and outflows, as well as external debt and its servicing. Expectations reflect how market participants view the future: forward rates, macroeconomic data surprises, indicators of uncertainty, and expected volatility.

Rules refer to the exchange rate regime and the central bank’s instruments: the policy rate, interventions, and the presence or absence of capital controls. When the real interest rate rises relative to trading partners, the currency often appreciates because assets denominated in it become more attractive; when terms of trade deteriorate or geopolitical risk increases, the pressure goes in the opposite direction [2, 3].

The selection of indicators should follow the channels of influence. Inflation is important not by itself, but through real asset returns and differing rates of price change between tradable and non-tradable sectors; it is useful to monitor core inflation and survey-based expectations.

Interest rates should be considered as differentials relative to global rates and across maturities, since the short end responds to central bank decisions while the long end reflects expected inflation and risk premiums. The balance of payments provides a medium-term signal through the savings –investment relationship, while the financial account explains short-term movements through changes in asset attractiveness.

For commodity-based economies, global prices for export goods and terms of trade become decisive; for open financial systems, sovereign spreads, global risk indices, and currency option volatility play key roles. Institutional parameters—such as inflation targeting, intervention rules, and bank foreign exchange position limits – define the corridor within which the spot rate fluctuates.

The dynamics of the U.S. dollar (USD) to Japanese yen (JPY) exchange rate and the inflation level are shown in Figure 1.

The model is built around the idea of an “anchor and waves.” The anchor represents long-term equilibrium determined by productivity, relative prices, and the balance with the external sector. The waves are short-term deviations caused by news, interest rate changes, or shifts in risk sentiment.

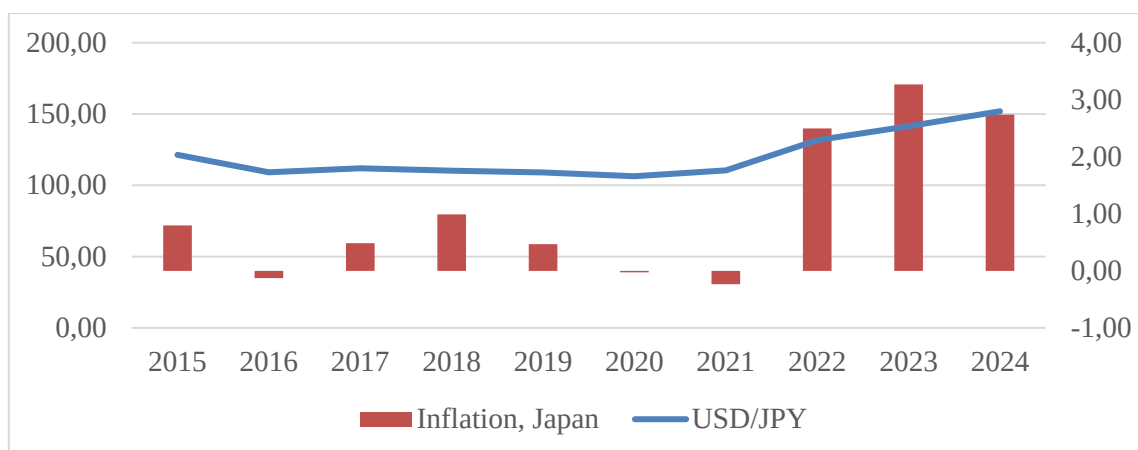


**Fig. 1.** Dynamics of the USD/JPY Exchange Rate and the Inflation Level in Japan; *Source: [4]*

In practice, this concept is implemented through simple dynamic specifications. The error correction model (ECM) combines long-term equilibrium with short-term reactions, showing how the exchange rate returns to its “anchor” after shocks. When data vary in nature and frequency, more flexible autoregressive distributed lag (ARDL) models are used. If there are many indicators, they are compressed into a few common factors to reduce noise while preserving meaning. When the economy undergoes structural breaks, time-varying parameter models or regime-switching models are applied so that the sensitivity of the exchange rate to interest rates or risk automatically adjusts to new conditions.

The dynamics of the British pound (GBP) and the euro (EUR) against the U.S. dollar (USD), along with the inflation level, are shown in Figure 2.

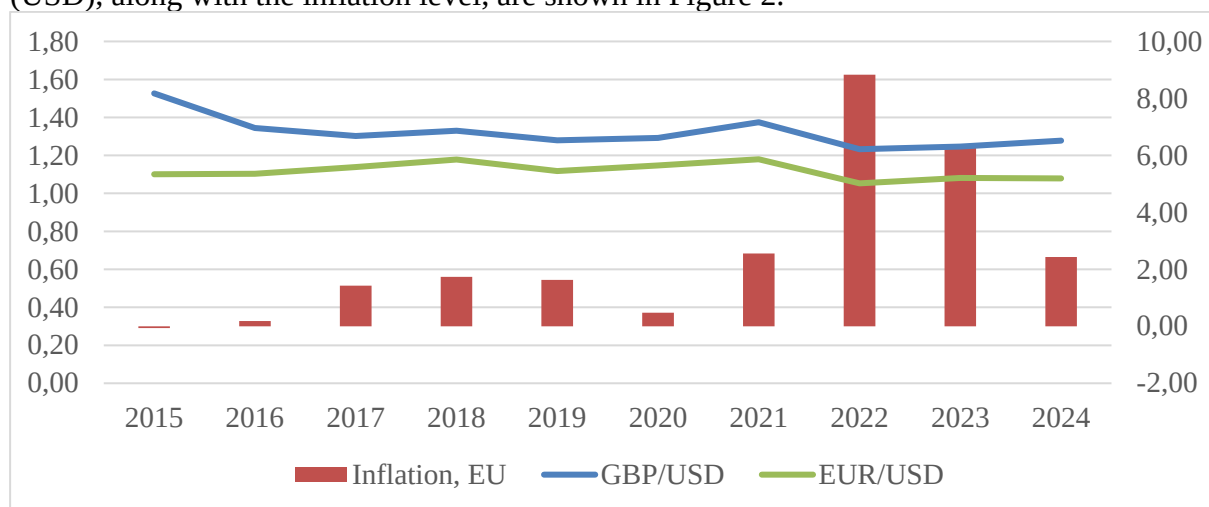


**Fig. 2.** Dynamics of GBP/USD and EUR/USD Exchange Rates and the Inflation Level in the European Union; *Source: [4]*

There are several practical caveats. In particular, foreign exchange interventions often occur precisely when the exchange rate deviates from the desired level – meaning they are endogenous –and this must be accounted for; otherwise, the model may overestimate their “independent” effect. In thin markets, wide bid-ask spreads and abrupt price jumps are common. A portion of daily fluctuations is better explained by microstructural variables such as order flow and liquidity, which are useful to include when working with high-frequency data. Another practical principle is to cross-check results using alternative sources and “vintages” of official statistics, in order to avoid the trap of relying on preliminary or outdated data revisions.

Conclusion. Exchange rates do not move randomly: fundamental factors define the trajectory, expectations and news create waves around it, and policy rules constrain the amplitude. A practical model for applied use is a compact dynamic specification that combines a long-term “anchor,” short-term reactions to key indicators, and regular out-of-sample validation of its performance.

#### REFERENCES

1. Engel, C., & West, K. D. (2005). Exchange rates and fundamentals. *Journal of Political Economy*, 113(3), 485–517. Social Science Computing Cooperative
2. Cheung, Y.-W., Chinn, M. D., & Pascual, A. G. (2005). Empirical exchange rate models of the nineties: Are any fit to survive? *Journal of International Economics*, 66(2), 359–384. NBER
3. Evans, M. D. D., & Lyons, R. K. (2002). Order flow and exchange rate dynamics. *Journal of Political Economy*, 110(1), 170–180. NBER
4. Yahoo Finance. Markets: Currencies. Retrieved from: <https://finance.yahoo.com/markets/currencies/>

УДК 332.72:63  
**ОЦІНКА РИЗИКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ**  
*Боцян Б.В., науковий керівник Галаєва Л.В.*

Ефективне землекористування у сільському господарстві залежить від раціонального поєднання культур, рівня їх прибутковості та ступеня ризику, пов'язаного з коливанням цін і врожайності. Диверсифікація виробництва виступає одним із ключових механізмів підвищення стабільності доходів та зниження ризиків.

Для оцінки впливу диверсифікації використано індексне порівняння вартості товарної продукції різних культур.

$$I = \frac{T_i}{T_{\text{ср}}} \quad (1)$$

де:  $I$  - індекс співвідношення величини товарної продукції по  $i$  - культурі в господарстві з середнім його значенням по сукупності;  $T_i$  - величина товарної продукції на 1 га посівної площі по  $i$  - культурі в господарстві;  $T_{\text{ср}}$  - величина товарної продукції на 1 га посівної площі, культури в середньому по сукупності.

Індекс показує, наскільки ефективним є виробництво певної культури порівняно із середнім рівнем по сукупності господарств. Якщо його значення перевищує одиницю, підприємство отримує вищу вартість продукції з 1 га посівної площі, що свідчить про ефективне використання ресурсів, впровадження сучасних технологій або сприятливі природні умови. Значення нижче 1 сигналізує про потребу вдосконалення організації виробництва чи структури посівів.

На другому етапі аналізу оцінюються фактори ризику, що впливають на економічну ефективність: коливання цін, зміни врожайності, а також взаємозв'язок між цими показниками. Якщо рівень ризику дорівнює одиниці, це означає стабільність виробництва. Відхилення від цього значення в будь-який бік свідчить про підвищений рівень ризику.

Наприклад, ризик 1,2 вказує на зростання невизначеності на 20%, а 0,8 – на зменшення ризику на 20 відсотків.

Важливо враховувати взаємозалежність між окремими ризиками. Наприклад, низьку врожайність іноді може компенсувати зростання цін на продукцію, проте на практиці такі випадки є рідкісними. Здебільшого ціни та врожайність мають подібну динаміку, оскільки залежать від спільних факторів – погодних умов, економічної ситуації чи кон'юнктури ринку.

Для глибшого аналізу взаємозв'язків між ризиками побудовано кореляційні матриці, що показують силу зв'язку між ціновими та виробничими чинниками. На основі середніх значень коефіцієнтів кореляції оцінено рівень взаємного впливу ризиків по основних культурах (табл.1).

*Таблиця 1.*

**Стандартизовані значення середніх коефіцієнтів кореляцій по цінах та врожайності культур**

| Культура  | Ціна культур         |                                       | Урожайність культур  |                                       |
|-----------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
|           | Коефіцієнт кореляції | Стандартизовані коефіцієнти кореляції | Коефіцієнт кореляції | Стандартизовані коефіцієнти кореляції |
| Пшениця   | 0.747                | 1.127                                 | 0.797                | 1.011                                 |
| Кукурудза | 0.625                | 0.944                                 | 0.838                | 1.062                                 |
| Ячмінь    | 0.687                | 1.037                                 | 0.737                | 0.934                                 |
| Жито      | 0.671                | 1.013                                 | 0.816                | 1.035                                 |

|                      |       |       |       |       |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|
| Насіння<br>соняшнику | 0.673 | 1.016 | 0.746 | 0.946 |
| Соя                  | 0.641 | 0.968 | 0.763 | 0.967 |
| Ріпак                | 0.592 | 0.894 | 0.824 | 1.045 |
| В середньому         | 0.662 | -     | 0.789 | -     |

Чим вищий коефіцієнт кореляції між ціною та врожайністю, тим більший ризик для виробника. Це пояснюється тим, що коли ці показники змінюються одночасно і в одному напрямку, виробник втрачає можливість компенсувати збитки від зниження врожайності підвищенням ціни. Навпаки, слабкий або відсутній зв'язок між цими показниками означає менший ризик і більшу стабільність доходів.

Для об'єднання та комплексної оцінки вищезазначених факторів ми пропонуємо наступну формулу:

$$\bar{R} = \sqrt[3]{R1 \times R2 \times R3} \quad (2)$$

де:  $\bar{R}$  - середній рівень ризику по даній культурі; R1 - рівень цінового ризику; R2 - рівень ризику коливання урожайності; R3 - рівень ризику взаємозалежності культур.

Загальний рівень ризику кожної культури формується під впливом трьох основних складових: цінового ризику, ризику врожайності та ризику взаємозалежності культур. Для комплексної оцінки ефективності землекористування ці показники інтегруються у зведений індекс ризику, який дозволяє порівнювати культури між собою та формувати оптимальну структуру посівів.

Врахування ризику є особливо важливим при визначенні сукупної прибутковості землекористування. Розрахунок інтегрального показника доходності із урахуванням частки кожної культури в сівозміні та її ризикового профілю дозволяє отримати реалістичну оцінку очікуваних фінансових результатів.

Такий підхід надає можливість не лише визначити найприбутковіші культури, а й оцінити їхню стабільність у різних економічних і природно-кліматичних умовах. Дослідження взаємозв'язків між культурними ризиками сприяє оптимізації сівозміни, зниженню коливань прибутків і підвищенню загальної ефективності землекористування.

Застосування цього методичного підходу дозволяє відповісти на низку ключових запитань:

Як цінові коливання впливають на прибутковість? Можна визначити, які культури найбільш чутливі до змін ринку та потребують додаткових стратегій хеджування.

Як невизначеність врожайності впливає на доходи? Це дає змогу оцінити ризики, спричинені погодними умовами чи біологічними факторами, і розробити заходи з підвищення стійкості виробництва.

Як взаємозв'язок між культурами впливає на загальний ризик? Наявність слабкої кореляції між ними створює можливість для взаємної компенсації втрат, знижуючи ризиковість аграрного портфеля.

Таким чином, диверсифікація культур у поєднанні з оцінкою ризиків виступає основою ефективного землекористування. Комплексний аналіз дозволяє не лише підвищити економічну стійкість підприємств, але й забезпечити довгострокову стабільність аграрного виробництва.

Отримані результати підтверджують, що оптимальна структура посівних площ із урахуванням ризику та прибутковості сприяє підвищенню рентабельності й конкурентоспроможності господарств. Застосування запропонованої методики дозволяє аграрним підприємствам ухвалювати обґрунтовані управлінські рішення, адаптовані до умов невизначеності та змін зовнішнього середовища.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Державна служба статистики України: Рослинництво URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 25.10.2024)
2. Звіт Світового банку про вплив війни в Україні на продовольчу безпеку: <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture/brief/food-security-update>
3. Міністерство аграрної політики та продовольства України: веб-сайт. 2022. URL: <https://minagro.gov.ua>.

УДК 004.91:631.1

## ЦИФРОВІЗАЦІЯ АГРАРНОГО СЕКТОРУ: ПОТЕНЦІАЛ І ВИКЛИКИ ДЛЯ УКРАЇНИ

Маркелова С.А., науковий керівник Галаєва Л.В.

Цифровізація стала однією з провідних тенденцій світової економіки, що поступово охоплює всі сфери суспільного життя. Аграрний сектор, який забезпечує продовольчу безпеку, валютні надходження та соціальну стабільність у сільських громадах, є особливо чутливим до технологічних новацій. Для України, яка переживає воєнні потрясіння, економічну нестабільність і потребує відновлення виробничого потенціалу, цифрова трансформація сільського господарства має не лише економічне, а й стратегічне значення.

Сучасні виклики - глобальна конкуренція, зміни клімату, зниження родючості ґрунтів, трудова міграція - вимагають пошуку нових моделей управління аграрними виробничими системами. Саме цифрові технології здатні забезпечити синергію між ефективністю виробництва, екологічною безпекою й соціальною відповідальністю аграрного бізнесу.

Аграрний сектор України традиційно належить до стратегічних галузей національної економіки. За даними Міністерства аграрної політики, сільське господарство забезпечує понад 10 % ВВП та близько 40 % валютних надходжень від експорту. Водночас, попри значний природно-ресурсний потенціал, галузь характеризується низьким рівнем технологічної модернізації, обмеженими інвестиціями та слабким розвитком інфраструктури [4].

Сучасний стан аграрного виробництва визначається поєднанням двох протилежних тенденцій. З одного боку - висока природна продуктивність українських чорноземів, вигідне географічне положення, трудовий потенціал. З іншого - енергоємність технологій, нестача точних даних в агрономічній сфері, низький рівень автоматизації. Саме цифровізація здатна перетворити ці обмеження на конкурентні переваги.

Технологічна модернізація охоплює такі напрями, як точне землеробство (precision farming), IoT, великі дані Big Data, штучний інтелект AI, геоінформаційні системи GIS та хмарні сервіси Cloud computing. Їх використання дозволяє мінімізувати втрати ресурсів, прогнозувати врожайність і кліматичні ризики, підвищувати прозорість аграрних ланцюгів постачання. Потенціал аграрного сектору України в умовах цифровізації подано в табл.1.

Таблиця 1.

**Потенціал аграрного сектору України в умовах цифровізації. Джерело: [2,3].**

| Показник               | Поточний стан                                         | Потенційні результати цифровізації                                      |
|------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Рівень механізації     | 55 % виробництв оснащене сучасною технікою            | Автономні системи, роботи, дрони для контролю посівів                   |
| Використання агроданих | Фрагментарний облік урожайності, неструктуровані дані | Єдина цифрова база агромоніторингу та планування                        |
| Кадровий потенціал     | Низька цифрова грамотність фермерів                   | Освітні програми, цифрові хаби сільського розвитку                      |
| Екологічна стійкість   | Надмірне використання добрив і води                   | Точне дозування ресурсів, скорочення викидів CO <sub>2</sub> на 20–30 % |

Поняття «зеленої економіки» все частіше інтегрується у державну аграрну політику. Згідно з дослідженням Н. Метеленко, Н. Свінцової та В. Нікітенко, цифровізація виступає дієвим інструментом упровадження зелених технологій і екологічно безпечного виробництва. Автори доводять, що поєднання big data, AI та IoT

дозволяє оптимізувати використання води, добрив і пального, одночасно підвищуючи врожайність і знижуючи собівартість [2].

Зелена цифрова трансформація поєднує екологічні, соціальні й економічні пріоритети. Вона формує новий формат - «цифрове еко-фермерство», що базується на точному землеробстві, моніторингу стану ґрунтів, прозорості ланцюгів постачання через блокчейн і використанні автономних машин. Ключові цифрові технології у «зеленому» агровиробництві: IoT, Big Data, AI, Блокчейн, GIS.

Незважаючи на потужний потенціал, процес цифровізації в Україні стикається з низкою обмежень.

По-перше, інфраструктурні бар'єри: близько 30 % сільських територій не мають стабільного доступу до швидкісного інтернету. Це ускладнює впровадження IoT-систем, дистанційного моніторингу та онлайн-платформ управління господарствами. По-друге, фінансові труднощі. Більшість малих фермерських господарств не мають достатнього доступу до кредитування чи грантів, необхідних для придбання цифрового обладнання. По-третє, нормативно-правова невизначеність. В Україні досі не сформовано єдину політику щодо володіння даними в агрономічній сфері, їх захисту й стандартизації. Питання конфіденційності та обміну даними між державою, бізнесом і агровиробниками залишаються відкритими [3].

Ну і звичайно сучасний виклик для всієї держави - війна яка спричинила значні втрати інфраструктури, мінування сільськогосподарських угідь, руйнування логістичних ланцюгів. Ці чинники ускладнюють модернізацію, проте одночасно стимулюють потребу в цифрових інструментах відновлення - геоінформаційних базах, дронах для картографування, дистанційному контролю якості земель.

Країни Європейського Союзу демонструють успішні приклади поєднання цифровізації й екологічної модернізації. У Німеччині діють програми підтримки агровольтаїки - установлення сонячних панелей без втрати продуктивності земель; у Нідерландах - розвинуте вертикальне фермерство, що зменшує використання води на 90 %; у Франції - поширена агроекологія, заснована на біологічному захисті рослин і дронах для моніторингу стану ґрунтів.

Для України доцільно впроваджувати аналогічні підходи: державне співфінансування smart-рішень, податкові пільги для фермерів, які впроваджують зелені технології, створення агроплатформ для обміну інноваціями між бізнесом і наукою [2].

Розвиток цифрової аграрної політики передбачає створення єдиної національної платформи AgriData UA, що забезпечуватиме збір, обробку й аналітику аграрних даних у реальному часі.

Крім того, слід розвивати освітню інфраструктуру - від цифрових курсів для фермерів до створення центрів компетентностей при аграрних університетах.[4].

Іншим напрямом є стимулювання інвестицій у smart-інфраструктуру - датчики, дрони, системи автоматизованого поливу, блокчейн-платформи сертифікації продукції. Це підвищить конкурентоспроможність українського агробізнесу на світовому ринку.

Цифровізація аграрного сектору України є необхідною передумовою його довгострокової стійкості. Вона дозволяє поєднати інноваційний потенціал із традиційними ресурсними перевагами, підвищити продуктивність і забезпечити екологічну збалансованість виробництва.

Подальший розвиток має базуватися на таких засадах: формування національної стратегії цифрової трансформації агросектору; інтеграція принципів зеленої економіки у всі рівні аграрної політики; розвиток цифрової освіти та популяризація інновацій серед фермерів; державна підтримка малих господарств у впровадженні smart-технологій; гармонізація українського законодавства з нормами ЄС у сфері даних, екології та кібербезпеки.



Підсумовуючи, цифровізація є не просто модернізацією виробництва, а новою філософією управління аграрними ресурсами, що поєднує ефективність, прозорість і турботу про довкілля. Саме такий підхід дасть змогу Україні реалізувати свій аграрний потенціал у глобальній цифровій економіці.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Воронкова В. Г., Череп А. В., Нікітенко В. О., Метеленко Н. Г. Зелена цифрова трансформація як драйвер сталого розвитку регіонів у повоєнному відновленні. *Educational discourse*. Київ : LLC “Science-technologies-information”, 2025. Т. 52 (1–2). С. 22–30.
2. Метеленко Н. Г., Свінцова Н. А., Нікітенко В. О. Цифровізація аграрного сектору як інструмент впровадження зелених технологій у контексті сталого розвитку. *Humanities Studies*. 2025. Вип. 23 (100). С. 256–266.
3. Негрей М. В. Цифрова трансформація аграрного сектору: перспективи, виклики та рішення. *Наукові записки НаУКМА. Економічні науки*. 2023. Т. 8, № 1. С. 94–100.
4. Томашук І. В., Горобчук Р. О. Потенціал аграрного сектора України: перспективи розвитку та можливості підвищення ефективності його використання. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2024. № 138. С. 193–201. DOI: <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.138.24>.

УДК 338.43:637.5:636.4  
**АНАЛІЗ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РИНКУ ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР В УКРАЇНІ В  
УМОВАХ ВІЙНИ**

*Узу С.Х. науковий керівник Коваль Т.В.*

Ринок технічних культур важлива складова аграрного сектору України, що забезпечує значну частину валютних надходжень завдяки експорту, особливо технічних культур. До основних культур належать соняшник, ріпак, соя, льон та гірчиця. Їх виробництво і збут істотно впливають на продовольчу безпеку та макроекономічну стабільність держави. Повномасштабна агресія проти України призвела до різкого скорочення посівних площ, пошкодження інфраструктури та блокування традиційних каналів експорту через чорноморські порти. Значна частина виробників втратила доступ до складів і логістичних маршрутів, що викликало зростання собівартості та падіння цін на внутрішньому ринку. Водночас, часткове відновлення експорту через Дунайські порти і залізничні переходи з ЄС дозволило частково стабілізувати ринок [2].

Виробництво технічних культур залишається сезонним процесом. Виробничий цикл має чітку сезонну структуру, а в умовах війни зростання витрат на ресурси, таких як паливо та добрива, значно ускладнило господарську діяльність. Основні витрати зосереджені навесні (закупівля насіння, добрив, пального) та восени (збір урожаю, транспортування, зберігання). У воєнних умовах собівартість виробництва зросла на 20-40 % через підвищення цін на ресурси та ускладнення логістики [3].

*Таблиця 1*

**Сезонність витрат виробників технічних культур на прикладі соняшнику**

| Сезон | Частка витрат за сезон (%) | Основні статті витрат (грн/га)        | Структура витрат (%)                                                               |
|-------|----------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Осінь | 10-15                      | Лущення, оранка, добрива: 700-800     | Добрива: 25-30,<br>ЗЗР: 20,<br>Насіння: 15,<br>Пальне/техніка: 20,<br>Зарплата: 10 |
| Весна | 40-50                      | Сівба, насіння, добрива: 8,000-12,000 |                                                                                    |
| Літо  | 20-30                      | ЗЗР, обприскування: 4,000-6,000       |                                                                                    |
| Осінь | 15-20                      | Збирання, транспорт: 3,000-5,000      |                                                                                    |

Основним викликом стало різке подорожчання транспортування. Втрата морських шляхів змусила аграріїв переорієнтувати експорт на західні кордони. Витрати підвищилися через дефіцит вагонів, різницю у ширині колії, дорожнечу пального і страхові надбавки. Адаптація відбулася завдяки розвитку Дунайського кластеру портів (Рені, Ізмаїл), будівництву елеваторів у прикордонних областях, використанню комбінованих перевезень та впровадженню програм «шляхів солідарності», які спростили митні процедури і частково компенсували витрати.

Важливим напрямом є формування сприятливого інвестиційного клімату. Розвиток нішевих культур, таких як льон, може стати перспективним напрямом завдяки попиту на європейському ринку та можливості підвищувати додану вартість продукції. Запровадження податкових пільг для модернізації переробних підприємств, розвиток кредитних програм для малих і середніх господарств, а також підтримка експорту через торгові місії сприятимуть стабілізації ринку в умовах воєнних викликів [4].

Розглянемо прогнозування такої важливої технічної культури ,як цукровий буряк.

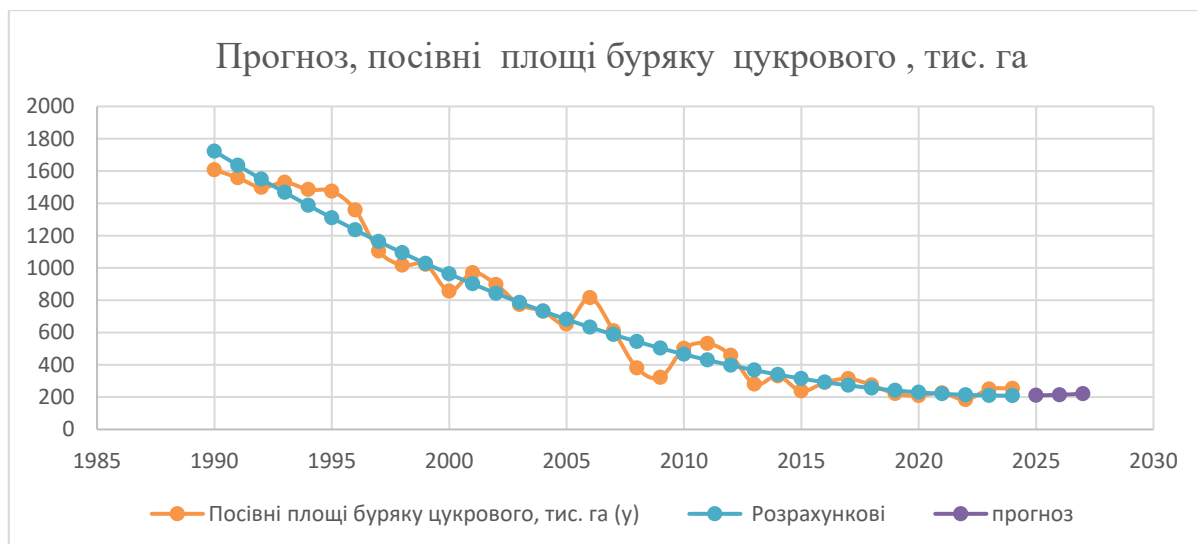


**Рис. 1** Прогноз посівних площ буряку цукрового, тис. га *Побудовано автором на основі [1]*

Так, аналіз статистичних даних 1995-2024 рр. Показав, що після значного скорочення посівних площ у 1990-х — на початку 2000-х років, вирощування цукрового буряка в Україні у 2020-х демонструє часткове відновлення.

Втім, за прогнозами на 2025 рік очікується нове зменшення площ — приблизно на 14 % (до близько 210,7 тис. га) порівняно з 2024 роком. (рис.1)

#### ВИСНОВОК

Ринок технічних культур в Україні зазнав істотних структурних змін під впливом війни. Основні проблеми - скорочення посівів, подорожчання ресурсів, обмеження експорту та зростання логістичних витрат. Водночас сформувалися нові моделі функціонування, засновані на диверсифікації маршрутів, розвитку переробки та застосуванні прогнозних методів для оцінки ризиків. Крім транспортних проблем, ринок зіткнувся зі зростанням собівартості виробництва через подорожчання пального, добрив і засобів захисту рослин. Частково ці наслідки компенсуються підтримкою міжнародних партнерів і розвитком програм кредитування, однак фінансова спроможність більшості господарств залишається обмеженою.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розроблення моделей прогнозування виробництва й цін, оцінку ефективності логістичних рішень та пошук оптимальних шляхів інтеграції України у світовий аграрний простір.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба статистики України. Офіційний сайт – <https://ukrstat.gov.ua>
2. Дивнич О. Д., Загребельна І. Л. Сучасний стан та тенденції розвитку ринку технічних культур в Україні / Вісник ПДАУ (Економіка, управління та фінанси) – Випуск 1 – 2024 – с. 43-51. DOI: <https://doi.org/10.32782/pdau.eco.2024.1.7>.
3. Дрозд О. М. Особливості формування ринку технічних культур в Україні / Агросвіт - №10 - 2024 - С. 56-60.
4. Мірзоев Т. Д. Сучасний стан і перспективи виробництва нішевих технічних культур / Актуальні проблеми економіки.- 2024. No 1 (271). С. 6–14. <https://doi.org/10.32752/1993-6788-2024-1-271-6-14>.

**ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У СТРУКТУРІ ЦИФРОВОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ: АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ ТА ВПЛИВУ НА ЕКОНОМІЧНІ ПРОЦЕСИ***Маринчук Б.С. науковий керівник Костенко І.С.*

Штучний інтелект (ШІ) сьогодні є ключовою складовою цифрової трансформації економіки та інформаційного простору. Його застосування змінює структуру виробництва, бізнес-процеси, систему управління та освітнє середовище. ШІ поступово переходить від експериментального етапу до широкого впровадження у різні галузі, зокрема фінансову, промислову, медичну та державне управління. Мета дослідження - проаналізувати основні тенденції розвитку штучного інтелекту як складової цифрового інформаційного простору та оцінити його вплив на соціально-економічні процеси в Україні та світі.

Штучний інтелект — це галузь інформатики, що розробляє системи, здатні до виконання когнітивних функцій, притаманних людині: навчання, аналізу, розпізнавання образів, прогнозування та ухвалення рішень. Термін *artificial intelligence* уперше запропонував Джон Маккарті у 1956 році, визначивши його як «науку та технологію створення розумних машин» [2].

Сьогодні ШІ охоплює машинне навчання, глибоке навчання, обробку природної мови, комп'ютерний зір тощо. Технології штучного інтелекту використовуються у сфері фінансових технологій (FinTech), логістики, освіти, охорони здоров'я та державного управління.

Разом із тим, у науковому дискурсі активно обговорюються ризики розвитку ШІ. Джеффри Хінтон, відомий як «хрещений батько штучного інтелекту», у 2023 році залишив Google, попередивши про можливі загрози, зокрема втрату робочих місць та поширення дезінформації [3]. Подібну стурбованість висловив Ілон Маск, який застеріг, що неконтрольоване використання ШІ може становити небезпеку для людства, якщо система буде запрограмована з деструктивною логікою [4].

Результати аналітичного дослідження Бюджетної лабораторії Єльського університету (2024) засвідчили, що вплив ШІ на структуру ринку праці є співмірним із впливом комп'ютеризації та розвитку інтернету у 1980–1990-х роках, тобто має еволюційний, а не революційний характер [5].

В Україні темпи цифровізації прискорюються, і ШІ стає стратегічним інструментом підвищення ефективності економічних процесів. За результатами дослідження Київського міжнародного інституту соціології (2024), 26% українців уже мають практичний досвід використання ШІ, а серед молоді віком 18–29 років цей показник становить 54%, що свідчить про поступове формування цифрової культури суспільства [1].

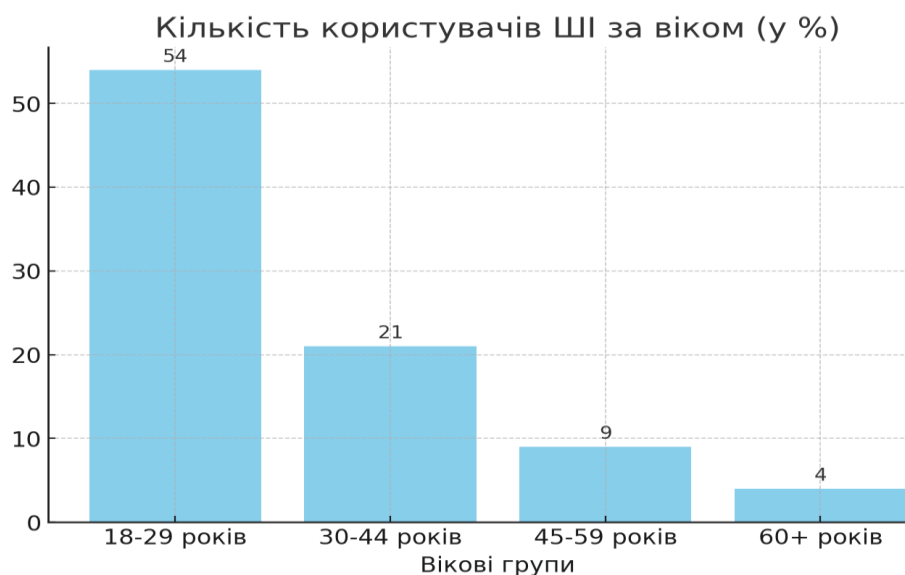


**Рис. 1** Обсяг користувачів ШІ за віком (у %). Джерело: розробка авторів на основі опитування, проведеного Київським міжнародним інститутом соціології

Штучний інтелект є ключовим елементом розвитку цифрового інформаційного простору, який забезпечує підвищення ефективності управління, автоматизацію процесів і нові можливості для аналітики. Водночас розвиток ШІ потребує формування етичних, правових і безпекових механізмів його регулювання.

Для України важливо не лише впроваджувати технології ШІ, а й розвивати цифрові компетентності, наукові дослідження та національні стратегії у сфері ШІ, орієнтовані на сталий розвиток і захист прав людини.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Скільки українців користуються ШІ у повсякденному житті. Укрінформ. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3992168>
2. Як штучний інтелект змінює ринок праці в Україні. Finance.ua. URL: <https://finance.ua/ua/goodtoknow/yak-shtuchnyi-intelekt-zminiuiie-rynok-pratsi-v-ukraini>
3. «Хрещений батько штучного інтелекту» попередив про небезпеку ШІ і пішов з Google. Суспільне Новини. URL: <https://suspilne.media/463022-hresenij-batko-stucnogo-intelektu-poperediv-pro-nebezpeku-si-i-pisov-z-google>
4. Маск вважає, що штучний інтелект може призвести до вимирання людства. Укрінформ. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3781349-mask-vvazae-so-stucnij-intelekt-moze-prizvesti-do-vimiranna-ludstva.html>
5. Як ШІ впливає на ринок праці порівняно з інтернетом та комп'ютерами. Главком. URL: <https://glavcom.ua/techno/hitech/jak-shtuchnij-intelekt-vplivuv-na-rinok-pratsi-doslidzhennja-1082926.html>

Актуальність. У сучасних умовах цифрової трансформації економіки, інтернет-платформи стають ключовими інструментами підвищення ефективності аграрного сектору. Вони забезпечують прозорість ринку, доступ до інформації, зниження транзакційних витрат та стимулюють розвиток електронної комерції сільськогосподарською продукцією. Деталізуючи, цифрова трансформація аграрного сектору характеризується експоненційним зростанням ролі інтернет-платформ як інфраструктурного елементу ринкової екосистеми, що забезпечує скорочення транзакційних витрат на 15-30% порівняно з традиційними каналами збуту. За даними аналітичних сервісів SimilarWeb та Semrush (2025 р.), сукупна кількість відвідувань українських аграрних маркетплейсів перевищує 5 млн відвідувань на місяць, що свідчить про зростання ролі цифрових каналів збуту [4].

Дослідженням питання займалися Kotler P., Armstrong G. (маркетинг цифрових платформ), Tapscott D. (цифрова економіка), а в українському контексті – Ю. Лупенко, В. Месель-Веселяк, І. Гришова, С. Кваша, В. Ткачук, О., М. Негрей (цифровізація АПК), які акцентують увагу на цифровізації агробізнесу як чиннику підвищення конкурентоспроможності галузі, та підтверджують міждисциплінарний характер проблематики, потребу аналізу ефективності платформ [1-3]. Проте потребує подальшого вивчення питання ефективності інтернет-платформ через призму цифрових метрик (трафік, відмови, поведінкові показники користувачів), що визначає наукову новизну дослідження.

Мета роботи: проаналізувати роль інтернет-платформ у розвитку аграрного сектору України, оцінити їхні поведінкові показники та визначити напрями підвищення ефективності цифрової взаємодії між учасниками ринку.

Інтернет-платформи для аграрного сектору умовно можна класифікувати за двома ознаками:

За функціональним призначенням:

- торгові майданчики (marketplace) – наприклад, AGRO.RIA, OLX.ua;
- спеціалізовані біржі – наприклад, GrainTrade, Posivna.com.ua;
- агрегатори інформації – наприклад, Агробізнес.net, Трипілля Ленд.

За масштабом операцій:

- міжнародні - наприклад, Agriaffaires, Mascus);
- національні - наприклад, SELO.ua, Spilca;
- регіональні - наприклад, AgroMen.

Відкриті веб-сервіси (SimilarWeb, SEMrush, Ahrefs та ін.) дозволяють зібрати та проаналізувати наступні ключові показники ефективності (KPI) про інтернет-платформи:

$$M=\{T_{avg},BR,CTR,Tdur,PV\} \quad (1)$$

де:  $T_{avg}$  – середньомісячний трафік (відвідувачі),  $BR$  – bounce rate (показник відмов, %),  $CTR$  – click-through rate, клікабельність,  $Tdur$  – середня тривалість сесії (хв),  $PV$  – pageviews per session, кількість переглянутих сторінок протягом 1 сесії.

Показник ефективності інтернет-платформ (PEI), враховуючи вказані показники можна зобразити в наступному вигляді:

$$PEI = \frac{T_{avg} \times (1 - BR) \times CTR}{100} \quad (2)$$

За результатами веб-аналітики відкритих сервісів (рис. 1), найбільші обсяги середньомісячного трафіку мають платформи Agro-Ukraine, Трипілля Ленд, Agro RIA та Agrobiz.net:

Agro-Ukraine: 278 тис.  $\pm$  15%

Трипілля Ленд: 152 тис.  $\pm$  12%

AGRO.RIA: 133 тис.  $\pm$  18%

Agrobiz.net: 108 тис.  $\pm$  10%

Monthly visits, тис. і Bounce rate, % за категорією Назва ресурсу

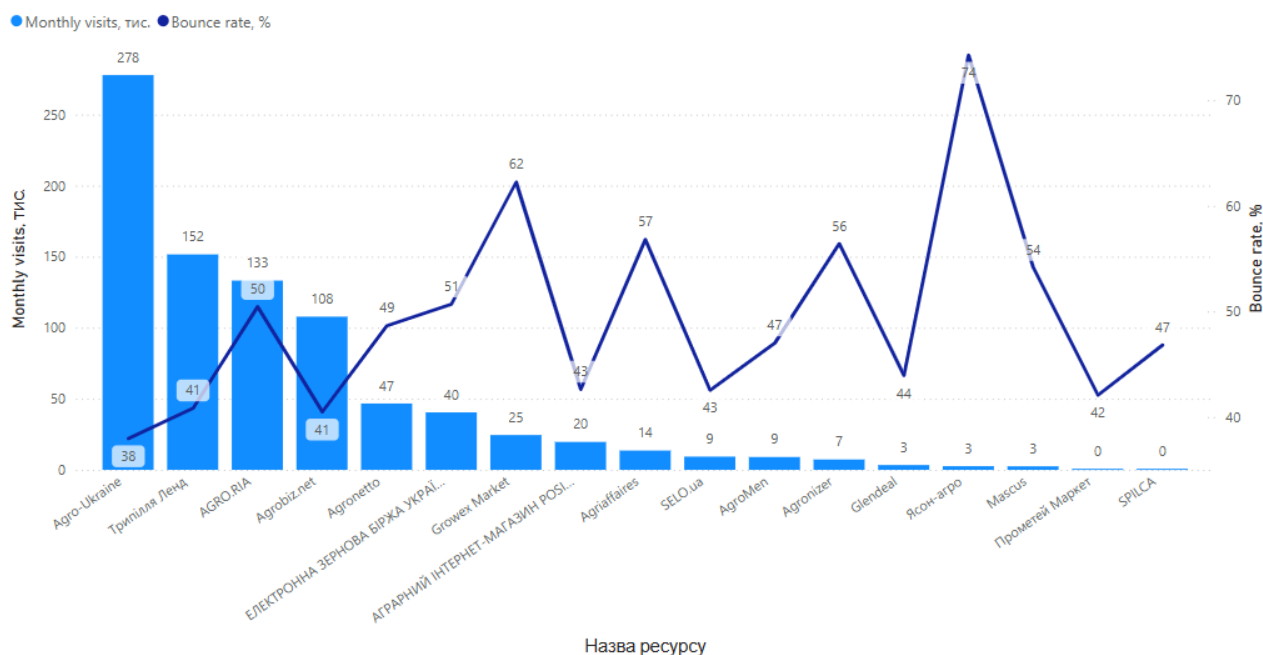


**Рис. 1** Середньомісячний трафік та показником відмов інтернет-платформ продажу агропродукції. Джерело: власна розробка автора на основі [4]

Критичне значення bounce rate зафіксовано для Mascus (74%), що на 38 п.п. перевищує галузеву норму (36%) і свідчить про низьку релевантність контенту або технічні проблеми UX/UI. Оптимальний діапазон показника відмов для конверсійних платформ: 28-42% (квартильний аналіз вибірки N=20).

Вплив цифрових метрик (трафік, відмови, тривалість сесій) не має прямої лінійної залежності з обсягами продажів, проте дозволяє побудувати економетричну модель ефективності онлайн-продажів, де коефіцієнти еластичності можуть відображати ступінь взаємозв'язку між цифровими показниками й реальними обсягами реалізації.

Залежність потенційного обсягу продажів (S) від метрик трафіку можна зобразити наступним чином:

$$S = \alpha + \beta_1 \ln(T_{avg}) + \beta_2(1 - BR) + \beta_3 T_{dur} + \varepsilon \quad (3)$$

де:  $\alpha$  – константа,  $\beta_i$  – коефіцієнти еластичності,  $\varepsilon$  – стохастична похибка.

Дослідження дозволили встановити наступні кореляційні залежності (попередні розрахунки):

$\rho(T_{avg}, S) = 0.67$  ( $p < 0.01$ ) – сильний позитивний зв'язок

$\rho(BR, S) = -0.54$  ( $p < 0.05$ ) – помірний негативний зв'язок

$\rho(T_{dur}, S) = +0.43$  ( $p < 0.05$ ) – помірний позитивний зв'язок

Коефіцієнт детермінації:  $R^2 = 0.72$ , що вказує на пояснення 72% варіації обсягів продажів через модель.

Висновки. Інтернет-платформи є каталізатором цифровізації аграрного сектору, забезпечуючи нові механізми комунікації між виробниками, трейдерами та

споживачами. Їх ефективність залежить від рівня інтеграції з інструментами аналітики, електронних платежів та маркетингових стратегій просування. Виявлено асиметрію ринку: топ-4 платформи акумулюють 68% сукупного трафіку, що свідчить про олігополістичну структуру цифрового аграрного ринку. Також дослідження вказує на те, що зниження bounce rate на 10 п.п. потенційно збільшує конверсію на 4,2-5,8% (95% CI). Потребує поглибленого дослідження: побудова регресійних моделей конверсії з урахуванням сезонності; аналіз cross-platform поведінки користувачів; оцінка впливу mobile-first індексації на трафік (частка мобільних сесій 62%).

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Кваша С., Павленко О., Вакуленко В. Конкурентоспроможність української аграрної продукції на зовнішніх ринках. Економіка та суспільство. 2024. № 68. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-198>
2. Лупенко Ю. О. Економічний механізм функціонування аграрного ринку України в сучасних умовах. Київ : ІАЕ, 2023. 486 с.
3. Nehrey M., Kostenko I., Kravchenko Y. Digital Transformation in Ukraine During Wartime: Challenges and Prospects. Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics IV. CSDEIS 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies / eds. Z. Hu, Y. Wang, M. He. Cham : Springer, 2023. Vol. 158. P. 289–301. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-24475-9\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-031-24475-9_33)
4. SimilarWeb. Traffic and engagement statistics for Ukrainian agricultural marketplaces. 2025. URL: <https://www.similarweb.com> (дата звернення: 25.10.2025).



Демографічна ситуація в Україні характеризується стійкими негативними тенденціями, серед яких — зниження рівня народжуваності, старіння населення, міграційні втрати та зменшення загальної чисельності. За даними Державної служби статистики України, на початок 2025 р. чисельність постійного населення становила близько 36 млн осіб, що на понад 9 млн менше, ніж у 1991 році. Це зумовлено низьким рівнем народжуваності, високими показниками смертності та інтенсивними міграційними процесами. Від початку повномасштабного вторгнення росії у 2022 році чисельність населення країни скоротилася приблизно на 10 мільйонів осіб, що пов'язано переважно з вимушеною еміграцією та підвищенням рівня смертності.

Показник народжуваності в Україні залишається одним із найнижчих у світі — близько однієї дитини на жінку (за необхідного рівня 2,1 для відтворення поколінь). На це впливають економічна нестабільність, війна, трудова міграція та зміна суспільних цінностей, коли народження дітей відкладається на пізніший вік.

Повномасштабна війна 2022 року спричинила масову міграцію: понад 6,7 млн українців виїхали за кордон, а ще кілька мільйонів стали внутрішньо переміщеними особами. Частина з них може не повернутися через безпекові та економічні причини, при цьому продовжується трудова міграція до країн ЄС і Канади [2].

Україна має один із найвищих рівнів смертності в Європі, особливо серед чоловіків працездатного віку. Середня очікувана тривалість життя у 2021 році становила 69,8 року (74,4 для жінок і 65,2 для чоловіків). Висока смертність і низька народжуваність спричиняють старіння населення: понад 17% громадян — особи віком понад 65 років. Спостерігається також гендерний дисбаланс — на 100 жінок припадає близько 86 чоловіків.

Масова міграція та війна призводять не лише до скорочення населення, а й до змін його етнічної структури. Відтік населення, зменшення частки російськомовних громадян і можлива імміграція робочої сили з Азії чи Африки можуть трансформувати етнічний склад країни.

У сукупності ці процеси створюють серйозні демографічні виклики, що становлять загрозу соціально-економічному розвитку держави. За прогнозами Інституту демографії та соціальних досліджень НАН України, до 2041 року чисельність населення може скоротитися до 28,9 млн осіб, а до 2051 року — до 25,2 млн [3].

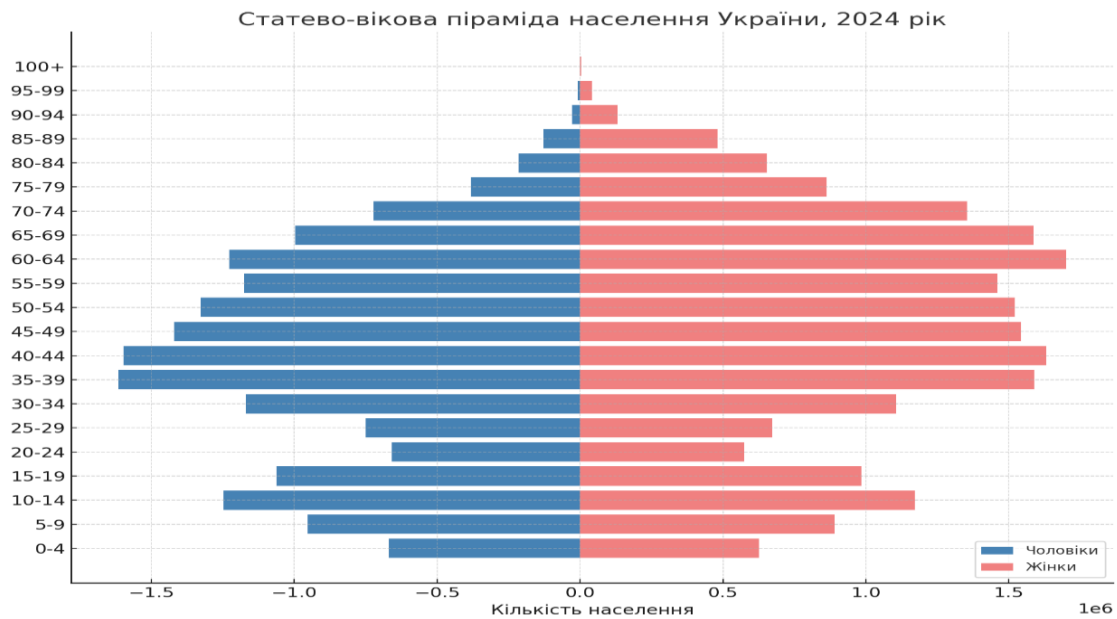


**Рис. 1.** Статеві-вікова піраміда населення України за 2024 рік. Джерело [1]

Піраміда 2024 року відображає значні зміни, спричинені війною: основа суттєво звужилась, свідчаючи про падіння народжуваності та можливу еміграцію сімей. Посилився гендерний дисбаланс, особливо у віковій групі 20–40 років, де помітно зменшилась чисельність чоловіків. Жінки значно переважають майже в усіх вікових групах.

#### **Висновок:**

Демографічна ситуація в Україні характеризується глибокою кризою, зумовленою скороченням чисельності населення, низькою народжуваністю та значними міграційними втратами. Прогнозні розрахунки свідчать, що за відсутності ефективних заходів державної політики чисельність населення може зменшитися до 25–26 мільйонів осіб до середини XXI століття. Для подолання демографічного спаду необхідно реалізувати комплексну стратегію, спрямовану на підвищення рівня народжуваності, зниження смертності та повернення трудових мігрантів, що є ключовою умовою збереження людського потенціалу країни.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Державна служба статистики України. Демографічна ситуація: Населення та міграція. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukrstat.gov.ua>.
2. Ukraine's population has fallen by 10 million since Russia's invasion, UN says. REUTERS. 2024. URL: <https://www.reuters.com/world/europe/ukraines-population-has-fallen-by-10-million-since-russias-invasion-un-says-2024-10-22>.
3. Кабмін погодив Стратегію демографічного розвитку України до 2040 року: які прогнози. Суспільне. Новини. 2024. URL: <https://suspilne.media/849373-kabmin-pogodiv-strategiu-demograficnogo-rozvitku-ukraini-do-2040-roku-aki-prognozi>.

## МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОГО РИЗИКУ

*Маляренко Ростислав, науковий керівник Рогоза Н.А.*

Управління ризиком – складний процес, метою якого є зменшення чи компенсація збитку підприємства при настанні несприятливих подій. Оцінка ризику є початковим етапом процесу управління ризиком.

Методи оцінки економічного ризику — це сукупність способів і підходів, які використовуються для виявлення, вимірювання та аналізу можливих втрат у процесі господарської діяльності. Вони потрібні для того, щоб визначити рівень ризику, спрогнозувати його наслідки та обрати оптимальні управлінські рішення з мінімальними витратами. До основних методів належать: статистичні (аналіз варіації, дисперсії, ймовірності збитків); експертні (оцінка ризику за думкою фахівців); аналітичні та моделювання (побудова моделей ризикових ситуацій, сценарний аналіз, метод «дерева рішень»); імітаційні (комп'ютерне моделювання можливих результатів).

Оцінювання ризику необхідно здійснювати системно – в абсолютному та відносному вираженні. Найбільш загальний підхід до кількісної оцінки рівня ризику полягає в побудові відповідної функції. Зважаючи на те, що ризик – це об'єктивно-суб'єктивна економічна категорія, в кількісній мірі ризику необхідно враховувати його об'єктивну, а також суб'єктивну сторони. Отже внутрішні чинники, що зумовлюють економічні ризики, поділяються на об'єктивні та суб'єктивні.

До об'єктивних чинників належать:

- непередбачені зміни в процесі виробництва;
- непередбачені зміни у внутрішньогосподарських відносинах;
- розробка, впровадження нових технологій, способів організації праці і т. ін.
- недостатність бізнес-інформації у керівництва фірми;
- відсутність служби маркетингу;
- фінансові проблеми фірми;
- відсутність дієвого механізму мотивації.

До суб'єктивних чинників відносяться:

- низька якість управлінських кадрів, робітників і фахівців;
- некомпетентна робота управлінських та інших служб;
- недотримання договорів з контрагентами фірми;
- відсутність у менеджерів схильності до ризику;
- помилки при прийнятті й реалізації ризикових рішень тощо.

Неможливо, звичайно, врахувати всі ризикові чинники, але цілком реально виділити головні за результатом впливу на той чи інший вид підприємницької діяльності. Оцінюючи ризик економічного об'єкта (системи), суб'єкт ризику, як правило, цікавиться низкою показників, які відображають різні грані невизначеності, конфлікту та породженого ними ризику.

Оцінювання, наприклад, інвестиційного ризику передбачає системний аналіз факторів, що впливають на стабільність та прибутковість інвестиційної діяльності в певній країні чи галузі. Метою такого аналізу є визначення рівня загроз, які можуть негативно позначитися на реалізації інвестиційних проєктів, а також формування обґрунтованих управлінських рішень щодо доцільності вкладення капіталу. У процесі оцінювання враховуються політичні, економічні, фінансові, соціальні та інституційні умови функціонування ринку.

Для оцінювання ступеня прийнятності економічного ризику варто визначити шкалу рівнів економічних ризиків і виділити зони ризику залежно від очікуваної величини втрат. У літературі з теорії бізнесу і підприємництва часто можна зустріти

терміни «високий ризик», «низький ризик», «катастрофічний ризик». У цьому випадку йдеться про різні ступені ризику, що залежать від відношення масштабу очікуваних втрат до обсягу інвестованого капіталу підприємства, а також від імовірності настання цих втрат.

Методика ICRG була запроваджена з метою оцінки потенціальних ризиків для бізнесу в різних країнах. За даною методикою здійснюється регулярна оцінка ризику більш ніж у 130 країнах світу.

Одними з найпоширеніших міжнародних методик оцінки потенціальних ризиків для бізнесу в різних країнах є BERI та ICRG. Методика BERI (Business Environment Risk Intelligence) базується на експертній оцінці інвестиційного середовища за системою критеріїв, що охоплюють політичну стабільність, економічні умови, ефективність правового регулювання, ставлення уряду до іноземних інвесторів, розвиток інфраструктури та якість трудових ресурсів. Підсумковий показник формується у вигляді індексу інвестиційного клімату, який характеризує загальний рівень ризику країни для здійснення бізнесу. Метод ICRG (International Country Risk Guide) оцінює країни за трьома основними групами ризиків: політичними, фінансовими та економічними. Кожен блок включає низку показників, яким присвоюються бальні значення, що у сукупності відображають інтегральний рівень ризику. Отриманий результат дозволяє визначити інвестиційну привабливість країни, порівняти її з іншими та спрогнозувати можливі наслідки для іноземних інвесторів. Застосування зазначених методів забезпечує об'єктивну основу для прийняття рішень у сфері міжнародного інвестування, сприяє зменшенню невизначеності та підвищенню ефективності управління інвестиційними потоками. Ми в своєму дослідженні здійснили оцінку інвестиційного ризику України за методиками BERI та ICRG.

В основі методики лежить така модель представлення ризику країни:

$CRR = 0,5(PR + FR + ER)$ , де:

CRR - інтегральний ризик країни;

PR - політичний ризик країни;

FR - фінансовий ризик країни;

ER - економічний ризик країни.

Наші розрахунки визначили, що  $CRR = 0.5(26+14+17)=28,5$

Отже, значення індексу інвестиційного клімату України становить 28,5 і країна попадає в клас країн з дуже високим ризиком. За результатами методики BERI, Україна отримала 53 із 100 можливих балів, що характеризує бізнес-середовище як помірно ризиковане, але з потенціалом зростанням.

Застосування методів BERI та ICRG забезпечує комплексний підхід до аналізу політичних, економічних і фінансових чинників, що впливають на інвестиційне середовище країни. Отримані індекси дають змогу об'єктивно порівняти рівень ризику між державами, оцінити інвестиційну привабливість та обґрунтувати управлінські рішення.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. World Bank. World Development Indicators: Country Risk and Investment Climate Data. 2024. URL: <https://data.worldbank.org/>
2. Business Environment Risk Intelligence (BERI) [Офіційний ресурс] Methodology and Country Risk Reports. URL: <https://www.beri.com/>
3. PRS Group. International Country Risk Guide (ICRG) Methodology and Ratings. 2024. URL: <https://www.prsgroup.com/icrg-methodology/>
21. Міністерство економіки України [Аналітичний огляд] Інвестиційний клімат та динаміка прямих іноземних інвестицій в Україні у 2024 році. URL: <https://www.me.gov.ua/>

## АНАЛІЗ РИНКУ ПРАЦІ В УКРАЇНІ

Артеменко А.М., науковий керівник Коваль Т.В.

Ринок праці є важливою складовою економічної системи держави, адже від його ефективного функціонування залежить рівень зайнятості, доходи населення та економічне зростання країни. В умовах сучасних соціально-економічних викликів, особливо після пандемії COVID-19 та воєнних подій, проблема збалансування попиту і пропозиції робочої сили в Україні набуває особливої актуальності.

Метою дослідження є аналіз стану ринку праці в Україні, який дозволить визначити основні фактори, що впливають на рівень зайнятості та безробіття.

На початок лютого 2025 року в Україні було зареєстровано близько 123 тис. осіб, які шукали роботу через Державну службу зайнятості, тоді як кількість відкритих вакансій становила приблизно 221 тис. Середня заробітна плата у квітні 2025 року сягнула 24 500 грн, а кількість пропозицій роботи продовжує зростати. Водночас помітна тенденція до збільшення вакансій, що не потребують значного досвіду, що створює додаткові можливості для молодих спеціалістів і тих, хто змінює професію.[2]

До початку війни (до 2022 року) в Україні зберігалася відносна стабільність на ринку праці — більшість працездатного населення була економічно активною, а рівень зайнятості залишався сталим. Після 2014 року спостерігалось зниження показників зайнятості та економічної активності, що було спричинене економічними потрясіннями, втратою частини територій і спадом підприємницької діяльності. У період 2022–2025 років ринок праці зіткнувся з новими серйозними викликами — мобілізацією, масштабною внутрішньою та зовнішньою міграцією, скороченням офіційного працевлаштування та трансформацією структури зайнятості.[3]

Хоча номінальний рівень заробітної плати продовжує зростати, реальне підвищення доходів залишається обмеженим через інфляційні процеси та зниження купівельної спроможності населення. Водночас змінюється структура попиту на робочу силу: зростає потреба у нових компетенціях, збільшується роль сервісних і дистанційних професій, а також переглядається значення робітничих спеціальностей.

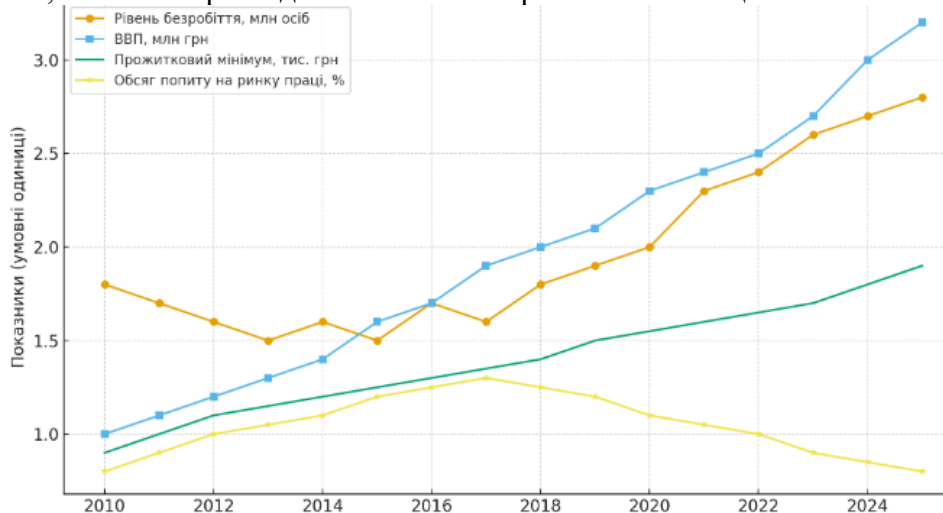


**Рис.1.** Динаміка показників ринку праці в Україні (2010-2025). Джерело: Дослідження автора на основі [1]

Він відображає зміну чотирьох ключових показників:

*Рівень безробіття (млн осіб)* — має тенденцію до зростання в 2020 році.

*Валовий внутрішній продукт (ВВП)* — демонструє стабільне зростання.

*Прожитковий мінімум (тис. грн)* — поступово підвищується.

*Обсяг попиту на ринку праці (%)* — зростає до 2017 року, а потім поступово спадає.

На рисунку подано динаміку основних показників ринку праці України у 2010–2025 роках. За аналізований період спостерігається поступове зростання валового внутрішнього продукту (ВВП) та прожиткового мінімуму, що свідчить про загальну тенденцію до підвищення рівня економічної активності та соціальних стандартів.[2]

Рівень безробіття має хвилеподібну динаміку: у 2010–2016 роках показник залишався відносно стабільним, однак із 2020 року спостерігається зростання, зумовлене економічною кризою, пандемією та воєнними подіями. Це вказує на нестабільність зайнятості та потребу в ефективній державній політиці з регулювання ринку праці. Обсяг попиту на ринку праці демонструє зростання до 2017 року, після чого починає поступово знижуватися, що свідчить про скорочення кількості доступних робочих місць унаслідок структурних змін в економіці та міграційних процесів.[3]

У цілому аналіз вказує на те, що для стабілізації ситуації на ринку праці необхідне стимулювання підприємництва, залучення інвестицій у сферу зайнятості та розвиток програм перекваліфікації населення. Отримані результати дозволять краще зрозуміти взаємозв'язки між соціально-економічними показниками та рівнем зайнятості. Також важливо зазначити, що ринок праці зазнав значних змін через воєнний стан, а його подальший розвиток залежить від тривалості війни та відновлення економіки, зменшення безробіття є державним пріоритетом, що потребує заходів з розширення сфери зайнятості. Створення нових робочих місць допоможе уникнути хронічного безробіття, підвищити мотивацію до праці у населення, збільшити надходження до бюджетів та знизити навантаження на працюючих.

Висновок: Сучасний ринок праці України перебуває під впливом глибоких структурних змін. Основними проблемами залишаються дефіцит кваліфікованих кадрів, міграційні втрати та невідповідність між навичками працівників і вимогами роботодавців. Військові дії та економічна нестабільність лише посилюють ці тенденції, спричиняючи нерівномірність зайнятості в регіонах і галузях. Для подолання цих викликів необхідні системні програми професійної підготовки, стимулювання повернення робочої сили з-за кордону та розвиток гнучких форм зайнятості.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба статистики України. Офіційний сайт – <https://ukrstat.gov.ua>
2. Фрідман М. Теорія споживання і ринку праці. – К.: Основи, 2018.
3. Зайцев О. Аналіз і прогнозування зайнятості населення України // Економічний вісник, №3, 2022.
4. World Bank Data. Labor Market Indicators. – <https://data.worldbank.org>

УДК 331.101.26:004.056.5  
**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ТРУДОВИХ РЕСУРСІВ В  
УКРАЇНІ В УМОВАХ ГЛОБАЛІЗАЦІЇ**

*Зрібняк І.С., науковий керівник доцент, Рогоза Н.А.*

Актуальність теми дослідження обумовлена необхідністю моделювання та прогнозування розвитку трудових ресурсів в Україні в умовах глобалізації, що призводить до значних змін на ринку праці. В сучасному світі країни зіштовхуються з швидкими змінами у сфері зайнятості, вимог до кваліфікації робочої сили та умов праці, що вимагає постійного оновлення стратегій управління трудовими ресурсами. В умовах глобалізації та відкритості української економіки важливим є забезпечення конкурентоспроможності трудових ресурсів на міжнародному ринку, а також створення умов для ефективного використання робочої сили на національному рівні. Прогнозування змін та формування ефективних моделей розвитку трудових ресурсів дозволяє адаптуватися до нових викликів, таких як автоматизація, цифровізація, демографічні зміни, міграційні процеси, що можуть суттєво вплинути на соціально-економічну стабільність країни.

Об'єктом дослідження є трудові ресурси України, їх розвиток, структурні зміни та процеси, що відбуваються у сфері зайнятості та професійної підготовки робочої сили в умовах глобалізації.

Предметом дослідження є моделі та методи прогнозування розвитку трудових ресурсів України, а також фактори та тенденції, що впливають на їх формування та функціонування в умовах глобальних економічних змін.

Метою дослідження є розробка моделі та методів прогнозування розвитку трудових ресурсів України в умовах глобалізації для забезпечення сталого економічного зростання та підвищення рівня конкурентоспроможності національної робочої сили.

Дослідження з цього питання проводять вітчизняні та зарубіжні вчені такі як: О.В. Волкова, А.П. Єгошин, А.М. Колот, О.Г. Мельник, Ю.М. Швальб. В. Данюк, В. Петюх, О. Я. Робота над науково-методичними аспектами підготовки та перепідготовки кадрів. Кібанов, В. Савченко. П. Друкер, Е. В. Теоретичне та практичне вирішення проблем оцінки персоналу. Маслов, Т. В. Білорус.

Проведеним дослідженням встановлено, що серед загальних прогнозів економічного і соціального розвитку, безперечно, найважливішою є така група прогнозів, як прогноз народонаселення, прогноз трудових ресурсів, прогноз потенціалу робочої сили, оскільки вони одночасно відображають цілі та умови суспільного розвитку. за свої досягнення [1].

Основним завданням прогнозування раціонального використання трудових ресурсів є забезпечення оптимальної зайнятості робочої сили, пристосування трудових ресурсів до економічної потреби в робочій силі та їх ефективне використання. Трудовий потенціал країни має кількісні та якісні характеристики, які наведено на рис. 1.1.

До основних методів прогнозування трудових ресурсів належать: балансовий метод, метод експертних оцінок, метод системного аналізу, метод моделювання. На цій основі проаналізовано динаміку соціальних і кадрових процесів та визначено конкретні шляхи оптимізації цих процесів з урахуванням особливостей кожного регіону [2].

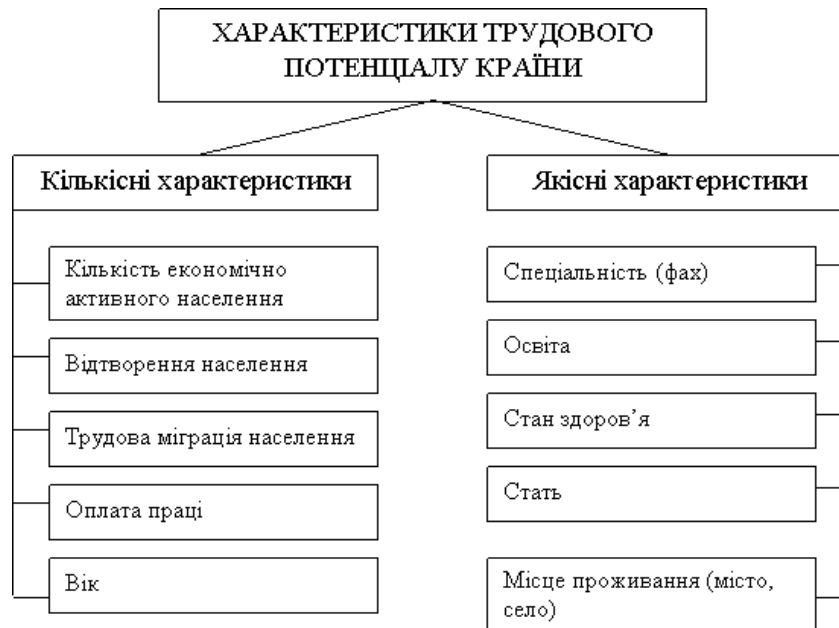


**Рис. 1.1.** Характеристики трудового потенціалу країни

Варто зазначити, що моделювання розвитку трудових ресурсів України в умовах глобалізації має свої особливості, а саме:

1) Вплив глобальних економічних тенденцій, що вимагає врахування змін на світовому ринку праці, посилення конкуренції та необхідності відповідності міжнародним стандартам. Це потребує адаптації моделей розвитку трудових ресурсів до зовнішніх викликів та вимог;

2) Технологічні інновації та автоматизація, що змінюють структуру попиту на трудові ресурси, знижують потребу в низькокваліфікованій праці та підвищують значущість навичок роботи з новітніми технологіями. Моделі мають враховувати необхідність перепідготовки кадрів для роботи у високотехнологічних галузях;

3) Посилення міграції та відтоку трудових ресурсів;

4) Демографічні зміни та міграційні процеси, які зменшують чисельність робочої сили через старіння населення та еміграцію. Моделювання повинно включати заходи для збереження та відтворення трудового потенціалу в умовах дефіциту кадрів;

Складність моделювання розвитку трудових ресурсів України в умовах глобалізації полягає у необхідності гнучкого підходу до прогнозування, який дозволяє враховувати різноманітні чинники та адаптувати моделі до динамічних умов сучасного світу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антокова І. М. Підвищення ефективності використання трудового потенціалу (регіональний аспект): Тез. Здобути ступінь кандидата наук. Економічні науки, 8 вересня 2001 р. Львів, 2000. 173 с.
2. Сімахова А.О., д.е.н. Міграційні процеси в Україні в умовах війни: соціальний аспект. — 2022.
3. Волянська-Савчук Л. В. Теоретичні засади ринку праці в економічній системі. Економіка і організація управління. 2019. Вип. 1. С. 21–32. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/eiou\\_2019\\_1\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/eiou_2019_1_5).



## SECTION 2. APPLIED INFORMATION SYSTEMS: MODERN DEVELOPMENT METHODS AND TOOLS / СЕКЦІЯ 2. ПРИКЛАДНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ: СУЧАСНІ МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РОЗРОБКИ

УДК 004.75

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КРИПТОВАЛЮТНОГО ТЕРМІНАЛУ ДЛЯ МАСОВИХ ПЛАТЕЖІВ

*Груша В. В., науковий керівник Болбот І. М.*

Масові криптовалютні платежі стикаються з фундаментальною тріадою протиріч, що визначають технологічні обмеження сучасних рішень: масштабованість для обробки тисяч транзакцій щосекунди, надійність збереження фінансових записів та криптографічна довіра до цілісності історії операцій. Централізовані платіжні системи досягають високої продуктивності, проте вимагають безумовної довіри до оператора як єдиного арбітра транзакційної історії. Блокчейн-рішення забезпечують верифіковану прозорість через розподілений консенсус, але обмежені пропускну здатністю, що робить їх менш привабливими для масових комерційних застосувань.

Критичною бізнес-вимогою є забезпечення гнучкості вибору криптовалюти для здійснення платежу, що безпосередньо впливає на конверсію продажів. Обмеження вибору може призводити до відмови від транзакції, оскільки користувач буде змушений або проводити додатковий обмін криптовалют із втратою на комісіях, або повністю відмовлятися від операції. Підтримка множини блокчейн-мереж формує технічну задачу: як забезпечити масштабовану обробку різнорідних транзакцій з одночасним збереженням криптографічних гарантій цілісності для формування довіри бізнес-учасників до системи.

Запропоноване рішення полягає у гібридному підході, що поєднує ефективність централізованої обробки з криптографічними гарантіями незмінності через реалізацію розподіленого журналу операцій подвійного запису із персоналізованим хеш-ланцюгом для кожного мерчанта на базі незмінюваних баз даних та структур Меркла. Система реалізує криптовалютний платіжний термінал — серверний шлюз для приймання криптоплатежів в онлайн-сервісах і торгових майданчиках, що організований як сукупність ізольованих леджерів, де кожен мерчанта має власний журнал операцій із персональним хеш-ланцюгом.

Структура дерева Меркла забезпечує логарифмічну складність верифікації. Для підтвердження включення транзакції у множину достатньо надати послідовність хешів від листа до кореня, кількість яких пропорційна логарифму від загальної кількості записів. Мерчанта може отримати через API криптографічне доведення для будь-якої своєї транзакції та локально валідувати її автентичність шляхом обчислення шляху до кореневого значення без необхідності завантаження повної бази даних. Це дозволяє здійснювати незалежну верифікацію на клієнтському обладнанні з мінімальними обчислювальними витратами.

Хеш-ланцюги всіх мерчантів зберігаються у вискодоступному кластері ImmuDB, спеціалізованої незмінюваної бази даних, що організує записи у вигляді дерева Меркла. На відміну від традиційних СУБД, де модифікація можлива без детектування, ImmuDB будує криптографічне дерево над кожною транзакцією: листові вузли містять хеші індивідуальних записів, внутрішні вузли містять хеші конкатенації дочірніх вузлів, а кореневий хеш представляє криптографічний зліпок усієї бази у конкретний момент часу. Така архітектура дозволяє детектувати будь-які несанкціоновані зміни через порівняння поточного кореневого хешу з еталонними контрольними точками.

Така архітектура формує математично доведену модель довіри, де учасник отримує криптографічне підтвердження коректності своїх фінансових записів. Запропонована система забезпечує одночасне досягнення масштабованості через розподілену мікросервісну модель з окремими кластерами для різних типів навантажень, що дозволяє горизонтально масштабувати систему. Надійність досягається через розгортання всіх критичних компонентів як високодоступних кластерів під управлінням Kubernetes з реплікацією мінімум на три ноди для кожного сервісу, де відмова окремих вузлів не призводить до втрати даних або недоступності системи завдяки автоматичному перемиканню на резервні репліки. Криптографічні гарантії через незмінювані структури усувають необхідність сліпої довіри до оператора платформи, знижуючи регуляторні та репутаційні ризики і формуючи нову модель прозорості у фінансово-технологічних системах, де математичні доведення замінюють організаційну довіру.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Harvey C. R. DeFi and the Future of Finance / C. R. Harvey, A. Ramachandran, J. Santoro. – Wiley, 2021. – 288 с.
2. Bashir I. Mastering Blockchain: A Deep Dive into Distributed Ledgers, Consensus Protocols, Smart Contracts, DApps, Cryptocurrencies, Ethereum, and More / I. Bashir. – Packt Publishing, 2023. – 784 с.

## МЕТОД PAIRWISE TESTING ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНФІГУРАЦІЙ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*Кохан К.О., науковий керівник Ткаченко О.М.*

Однією з головних проблем при проведенні автоматизованого тестування багатокомпонентних інформаційних систем (ІС) є вибір мінімального, але достатнього набору конфігурацій, які забезпечують високий рівень покриття тестів. У разі великої кількості компонентів і параметрів кількість можливих комбінацій зростає експоненційно, що робить повне тестування усіх варіантів неможливим [1]. Тому актуальним є застосування комбінаторних методів оптимізації, зокрема Pairwise Testing.

Pairwise Testing (тестування парних комбінацій) ґрунтується на принципі, що більшість дефектів програмного забезпечення виникає через взаємодію не більше ніж двох параметрів одночасно [2]. Це дозволяє зменшити кількість необхідних тестів з експоненційної до квадратичної залежності, забезпечуючи при цьому високу ймовірність виявлення помилок.

У контексті багатокомпонентних ІС, де присутні численні варіації модулів, версій, середовищ та параметрів конфігурації, Pairwise Testing дозволяє сформувати оптимальний набір комбінацій для тестування на основі таблиць взаємних пар значень. Такий підхід особливо ефективний у CI/CD-середовищах, де важливо мінімізувати час тестування без втрати якості перевірки [3].

Застосування Pairwise Testing передбачає побудову матриці параметрів системи, де кожен стовпець відповідає окремій змінній (наприклад, ОС, версії бібліотеки, типу БД), а рядки — наборам тестових комбінацій. Для генерації таких наборів можуть використовуватися спеціалізовані алгоритми, наприклад AllPairs або IPOG (In-Parameter-Order General). Вони автоматично формують мінімальний набір тестів, що покриває всі можливі пари параметрів. Ефективність методу Pairwise Testing представлена на Рис. 1.

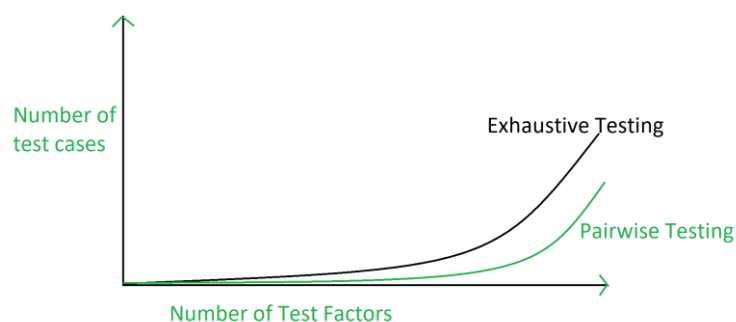


**Рис. 1.** Ефективність методу Pairwise Testing

Інтеграція Pairwise Testing в автоматизовану систему тестування дозволяє: скоротити кількість виконуваних тестів до 60–80% без істотного зниження покриття, підвищити продуктивність тестового конвеєра (pipeline) у CI/CD, забезпечити повторюваність і контрольованість процесу оптимізації конфігурацій, створити формальні критерії вибору тестових сценаріїв з урахуванням критичних компонентів [4].

У роботі пропонується інформаційна технологія оптимізації тестових конфігурацій на основі Pairwise Testing, що включає етапи формування параметричної моделі системи, побудови парних комбінацій, автоматизованої генерації тестових сценаріїв та інтеграції

у середовище CI/CD. Це дозволяє знизити витрати на тестування на 30–50% порівняно з повним переліком комбінацій при збереженні високого рівня виявлення дефектів.

Таким чином, метод Pairwise Testing є ефективним інструментом для оптимізації конфігурацій у процесі автоматизованого тестування багатокомпонентних інформаційних систем. Його застосування забезпечує баланс між якістю перевірки, швидкістю тестування та використанням обчислювальних ресурсів, що робить його перспективним напрямком подальших досліджень у сфері тестування складних ПЗ-систем.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Якість програмного забезпечення та тестування: базовий курс / за ред. О. П. Мельника. — Тернопіль: ТНЕУ, 2019. — 240 с.
2. Тестування програмного забезпечення. Навчальний посібник / Авраменко А.С., Авраменко В.С., Косенюк Г.В. ; – Черкаси: ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2017. – 284 с. ISBN 978-985-581-125-2.
3. Методи тестування і оцінки якості програмного забезпечення: навчальний посібник / Ляхов О. Л., Бородіна О. О. — Полтава: ПолтНТУ, 2015. — 372 с.
4. Software fault interactions and pairwise testing / D. R. Kuhn, D. R. Wallace, A. M. Gallo // IEEE Transactions on Software Engineering. — 2004. — Vol. 30, №6. — P. 418–421.

## ОСОБЛИВОСТІ ТЕСТУВАННЯ ТА ЕМУЛЯЦІЯ РОБОТИ WEB-СОКЕТНОГО ДОДАТКУ В СЕРЕДОВИЩІ WOKWI

*Пишнік О.С., науковий керівник Сагун А.В.*

Сьогодні перспективним підходом до створення інформаційних розгалужених систем, що реалізують різноманітні мережеві клієнт-серверні додатки, web-сервіси, чати, веб-сервери тощо є використання технології web-сокетів. Такі рішення вимагають використання web-сокетного програмування і передбачають створення мережевого додатку, яке працює в ролі MQTT-брокера, і використовує низкорівневі мережеві можливості TCP для обробки з'єднань клієнтів, керування повідомленнями в моделі «публікація/підписка» та впровадження автентифікації і безпеки [1,2].

Тестування створеного web-сокетного додатку є окремою обов'язковою задачею. Таке тестування можна реалізувати використавши додатки типу TCP Socket, присутній в Google Play. Додатки такого типу реалізують швидкий тест необхідного сокету протоколу TCP мобільного пристрою шляхом відправлення або одержання даних у шістнадцятковому режимі або у форматі ASCII (рис.1). Тестування сокетних додатків ускладняється умовами реальних мережевих середовищ та необхідністю емулювати роботу сокетів у повному обсязі. Для симуляції роботи таких додатків існує велика кількість програмних середовищ: Proteus VSM, TinkerCAD, WOKWI, Fritzing тощо. На прикладі bluetooth-адаптеру HC-06 в середовищі WOKWI покажемо симуляцію bluetooth-терміналу для мікроконтролера сімейства Arduino. Така симуляція апріорі в середовищі WOKWI відсутня.

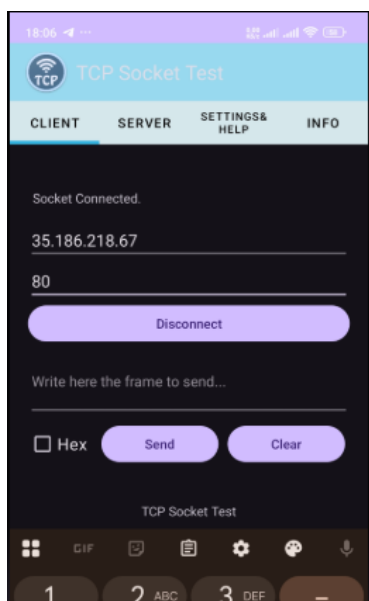


**Рис.1** – Режим з'єднання з цільовим сокетом в програмі TCP Socket для подальшого тестування передавання даних

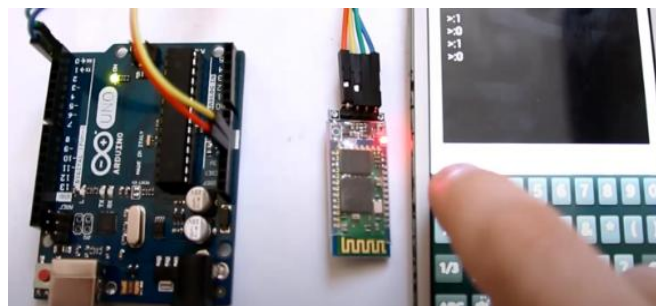


**Рис.2** - результат тестування взаємодії Bluetooth пристрою HC-06 в режимі передавання даних до МК Arduino з програми bluetooth-terminal

Для симуляції bluetooth-з'єднання у WOKWI вже є модель плати модуля Bluetooth Module HC-06 (рис.3).

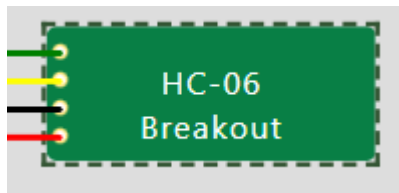


**Рис. 3** - вигляд плати модуля Bluetooth Module HC-06 у WOKWI

Однак, у Wokwi модулі Bluetooth не підтримуються безпосередньо. Це утруднює процес тестування додатку. Адже неможливо тестувати зв'язок між Arduino та Bluetooth-пристроєм повноцінно. Але можна симулювати логіку роботи програми у Wokwi. Для цього реалізуємо симуляцію роботи bluetooth-адаптеру HC-06 через послідовний інтерфейс через функції серійного порту у Wokwi [3].

Для перевірки обміну даними між Arduino та Bluetooth-модулем скористаємося програмним кодом шляхом підключення бібліотеки SoftwareSerial. Таким чином можна обмінюватися даними через віртуальні послідовні порти.

Після запуску цього програмного коду в моніторі серійного порту під час введення даних відбуватиметься їхня імітація, як прийнятих модулем HC-06. Одночасно у вікні буде відображатися підтвердження прийому у вигляді своєрідного “відлуння”, що виконує функцію зворотного зв'язку.

Щоб передані дані потрапляли безпосередньо на контролер ESP-32, потрібно змінити схему підключення модуля HC-06 - додати перепику між його виходом TX та вибраним цифровим входом DI на мікроконтролері (номер порту визначається користувачем).

Висновки. Хоча середовище Wokwi і призначений для прямого тестування додатків сокетного програмування, проте його механізм не дозволяв здійснювати імітацію приймання/передавання даних до та від модуля HC-06 безпосередньо. Для цього було використано модифікацію емуляції через додаток Bluetooth Terminal. Таким чином, отримані дані одразу надходять у змінну мікроконтролера ESP-32 через цифровий порт DIX, що спрощує перевірку й налагодження коду, який у подальшому працюватиме із web-сокетними «публікація/підписка» в мережових застосунках. Враховуючи той факт, що Wokwi не є повноцінним середовищем для тестування сокетної інфраструктури, то сервер WebSocket потрібно запускати поза Wokwi (на ПК або в хмарі), а контролер ESP32 у Wokwi все одно підключається до нього в якості клієнта.

### СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Hmissi, F., & Ouni, S. (2024). TD-MQTT: Transparent Distributed MQTT Brokers for Horizontal IoT Applications. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2406.02731>
2. Spielvogel, K., Pöhls, H., & Posegga, J. (2021). TLS Beyond the Broker: Enforcing Fine-grained Security and Trust in Publish/Subscribe Environments for IoT. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2109.01169>
3. Сагун, А. В. (2024). Особливості симуляції пристроїв бездротового зв'язку в середовищі Wokwi. // Scientific research: modern challenges and future prospects. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference. MDPC Publishing. Munich, Germany. 2024. Pp 123–126. <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/11/SCIENTIFIC-RESEARCH.-MODERN-CHALLENGES-AND-FUTURE-PROSPECTS-21-23.10.24.pdf>

## **КРОСПЛАТФОРМЕНА ВЕБ-СИСТЕМА СПІЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ ВІЗУАЛЬНОЇ КОЛАБОРАЦІЇ КОРИСТУВАЧІВ ТА ВБУДОВАНИМИ ЗАСОБАМИ КОМУНІКАЦІЇ**

*Олійник І.Ю., науковий керівник Болбот І.М.*

### **ВСТУП**

Сучасні команди стикаються з необхідністю використовувати різні інструменти для управління проєктами, постановки задач, візуалізації процесів та комунікації між учасниками. Таке розділення призводить до втрат часу, несинхронності роботи й розриву між етапами планування та реалізації. Запропонована мною система має на меті об'єднати всі ці аспекти у єдиній веб-платформі, яка дозволяє одночасно планувати, візуалізувати та комунікувати в режимі реального часу. Вона орієнтована на невеликі команди (до 20 користувачів) і передбачає розширення кількості одночасного використання дошки у майбутньому. Задля старту проєкту, особливу увагу варто приділити якості виконання, а ніж масштабу.

Основною метою роботи є розробка інтегрованої кроссплатформеної системи, яка поєднує управління задачами, візуальну колаборацію користувачів і вбудовані засоби голосової комунікації. Для цього передбачено створення архітектури з трьома ключовими модулями — Canvas, Tasks і Voice — та їх узгоджену взаємодію через спільний бекенд. Також досліджується зручність користувацького інтерфейсу, швидкість виконання командної роботи та ефективність інтегрованої взаємодії порівняно з традиційними окремими сервісами.

### **РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ**

Система створюється у вигляді прогресивного веб-додатку (PWA), що забезпечує кроссплатформеність і доступ з будь-якого браузера без необхідності встановлення. Основою клієнтської частини є фреймворк React з використанням TypeScript для типізації та Redux Toolkit для керування станом застосунку. Візуальний компонент Canvas реалізується на базі бібліотек Konva.js та Fabric.js, які забезпечують роботу з графічними елементами в реальному часі. Канбан-модуль Tasks створюється з опорою на принципи Trello-подібних дошок, але інтегрований безпосередньо в Canvas.

Бекенд системи розробляється на Node.js із використанням Express.js для REST API та Socket.IO для WebSocket-з'єднань. Передбачено підтримку CRDT (Conflict-free Replicated Data Types) для уникнення конфліктів під час спільного редагування даних, що дозволяє зберігати консистентність навіть у разі втрати з'єднання. Зберігання інформації реалізовано у двох базах даних: PostgreSQL — для структурованих даних (користувачі, задачі, ролі), та MongoDB — для збереження станів полотен. Для кешування подій і тимчасових даних використовується Redis. Архітектура побудована за мікросервісним принципом із можливістю горизонтального масштабування через Docker та Kubernetes.

Голосові кімнати реалізуються на базі WebRTC із власним легким SFU-сервером, що забезпечує передачу аудіопотоків у групових дзвінках. Передбачено резервний TURN-сервер для стабільності зв'язку за умов слабкого інтернет-з'єднання. Комунікаційні модулі також підтримують базовий текстовий чат із можливістю прикріплення елементів полотна у вигляді посилань. Для автентифікації користувачів використовується JSON Web Token (JWT) та OAuth 2.0. Безпека передбачає застосування TLS/HTTPS, контроль доступів за ролями (RBAC) та журналювання дій користувачів.

Під час розроблення системи створено умовний план реалізації: на першому етапі — проєктування архітектури та модулів взаємодії, на другому — реалізація Canvas і

Tasks із базовим реальним редагуванням, на третьому — додавання голосового модуля та оптимізація обміну подіями через Redis і Socket.IO.

## **РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ**

Сучасні команди стикаються з необхідністю використовувати різні інструменти для управління проєктами, постановки задач, візуалізації процесів та комунікації між учасниками. Таке розділення призводить до втрат часу, несинхронності роботи й розриву між етапами планування та реалізації. Запропонована система має на меті об'єднати всі ці аспекти у єдиній веб-платформі, яка дозволяє одночасно планувати, візуалізувати та комунікувати в режимі реального часу. Вона орієнтована на невеликі команди (наразі до 20 користувачів) і передбачає масштабування в майбутньому, зокрема для освітніх і комерційних проєктів.

Основною метою роботи є розробка інтегрованої кросплатформеної системи, яка поєднує управління задачами, візуальну колаборацію користувачів і вбудовані засоби голосової комунікації. Для цього передбачено створення архітектури з трьома ключовими модулями - Canvas, Tasks і Voice - та їх узгоджену взаємодію через спільний бекенд. Також досліджується зручність користувацького інтерфейсу, швидкість виконання командної роботи та ефективність інтегрованої взаємодії порівняно з традиційними окремими сервісами.

Загалом результати дослідження підтверджують, що інтеграція функціоналу управління задачами, візуальної співпраці та голосової комунікації в межах однієї платформи дозволяє підвищити ефективність командної роботи. Розроблені принципи можуть бути використані для створення корпоративних і навчальних рішень, а також для подальшого удосконалення архітектур колабораційних систем нового покоління.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Ousterhout, J. \*A Philosophy of Software Design\*. Yaknyam Press, 2018.
2. Kleppmann, M. \*Designing Data-Intensive Applications\*. O'Reilly Media, 2017.
3. Tanenbaum, A. S., & Van Steen, M. Distributed Systems: Principles and Paradigms. Prentice Hall, 2007.



**END-TO-END ENCRYPTION AND AUTHENTICATION IN MESSAGE BROKER SYSTEMS***Studennykov V. D.*

Message brokers facilitate asynchronous communication by decoupling producers from consumers, but their intermediary role introduces security risks when handling sensitive data. Unencrypted messages may be intercepted during transmission, and brokers managing multiple hosts require carefully configured permissions to prevent unauthorized access. Some ways of how message brokers provide data security would be illustrated on an example of one of the most popular and advanced message broker systems nowadays – Apache Kafka.

To establish secure connection between hosts, TLS protocol could be used. TLS protocol provides confidentiality through symmetric encryption, integrity via message authentication codes, and authentication using digital certificates. For Apache Kafka, TLS secures communication channels between clients and brokers, protecting messages during transmission. Modern implementations should use TLS 1.2 or TLS 1.3, avoiding deprecated versions with known vulnerabilities.

Implementing TLS in Kafka requires setting up digital certificates to secure communication.

Each broker needs its own private key and certificate, while both brokers and clients must trust a common Certificate Authority.

TLS is enabled in Kafka's configuration by specifying the necessary keystores and truststores.

If only encryption is needed, TLS is used without client certificates (in this case only server will have a certificate). For stronger security, mutual authentication can be enabled so that both sides verify each other.

Production deployments should restrict SSL protocols to TLS 1.2 and 1.3 and configure strong cipher suites by setting `ssl.enabled.protocols` and `ssl.cipher.suites` properties.

To provide additional security SASL protocol could be used. Simple Authentication and Security Layer provides a framework decoupling authentication mechanisms from application protocols. Kafka supports multiple SASL mechanisms, but we'll consider only 2 main ones: `sasl/plain` and `scram` mechanism.

SASL configuration involves selecting mechanisms and providing authentication credentials through Java Authentication and Authorization Service.

SASL/PLAIN transmits credentials as username and password. It must be used only over encrypted connections (SASL\_SSL security protocol) to prevent credential exposure. Configuration requires specifying `sasl.enabled.mechanisms=PLAIN` in `server.properties` and providing JAAS configuration file defining authentication credentials.

JAAS configuration for brokers includes `KafkaServer` context with `PlainLoginModule` specifying username and password for inter-broker communication, plus user database for client authentication. Clients configure `KafkaClient` context with `PlainLoginModule` and their credentials. While PLAIN is straightforward to implement, it offers limited security and is suitable primarily for development environments or when combined with TLS encryption.

SCRAM mechanisms (SCRAM-SHA-256, SCRAM-SHA-512) provide challenge-response authentication avoiding password transmission while offering stronger security guarantees than PLAIN. SCRAM stores hashed credentials in ZooKeeper rather than plaintext configuration files, providing better security for production environments.

Configuration requires setting `sasl.enabled.mechanisms` to include SCRAM-SHA-256 or SCRAM-SHA-512. Administrators create user credentials using Kafka's `kafka-configs` tool to add SCRAM credentials to ZooKeeper, in this case only password hashes are added.

JAAS configuration references ScramLoginModule with broker credentials for inter-broker authentication. Clients configure JAAS with their SCRAM credentials to authenticate with brokers.

SCRAM provides better security than PLAIN without requiring external authentication infrastructure.

There's also a protocol called SASL\_SSL in Kafka that combines TLS encryption with SASL authentication, ensuring both data confidentiality and identity verification. Brokers and clients configure certificates for TLS and credentials for SASL, allowing flexible security per listener (e.g., Kerberos for external, SCRAM for internal).

While TLS protects data in transit between clients and brokers, it provides only point-to-point security: data is transferred securely, but it does not protect the data once it is stored on brokers or intermediate systems, nor does it authenticate users or enforce access control by itself.

Application-level encryption provides straightforward end-to-end security where publishers encrypt message payloads before transmission to Kafka and subscribers decrypt after consumption. This approach is independent of broker infrastructure but shifts key management responsibility to applications. Publishers and subscribers must establish shared secrets or exchange public keys through secure channels.

Security requires careful credential and certificate management. Production deployments should use encrypted connections, preferably SASL\_SSL for combined authentication and encryption. Certificates should be rotated automatically and securely distributed.

Credentials must be protected and must never be committed to version control. Secret management systems like HashiCorp Vault could be used. It's also important to rotate credentials periodically, after compromises, or personnel changes. Kafka allows rotation without downtime.

Security mechanisms impact performance: TLS adds CPU and bandwidth overhead, amortized over long connections; SASL mainly affects connection setup. Nevertheless, all these security features of message brokers - together with other data protection techniques - have to be implemented in modern enterprise systems in order to ensure confidentiality, integrity and trust in data communication.

## LIST OF REFERENCES

1. Pahl, M., & Aubet, F. X. (2017). A Survey of Distributed Message Broker Queues. arXiv preprint arXiv:1704.00411.
2. Dreyer, D. (2019). A Secure Message Broker in an Untrusted Environment. UC Berkeley EECS Technical Report EECS-2019-91.
3. Apache Software Foundation. (2024). Kafka 4.1 Documentation - Security. <https://kafka.apache.org/documentation/>.

**ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЗАВЕРШЕННЯ НАВЧАННЯ  
СТУДЕНТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПРОГНОЗНОЇ МОДЕЛІ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ  
ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ***Олійник В.О., науковий керівник Волошина Т. В.*

Проблема успішного завершення навчання у закладах вищої освіти (ЗВО) існує не тільки в Україні, але і в цілому світі. Припинення навчання має негативні соціальні та економічні наслідки. Заклади вищої освіти не мають власних інструментів аналітики для прогнозування успішності студентів. Це викликає інтерес до проблеми з боку приватних інвесторів. У роботі [1] зазначається, що ця індустрія оцінюється у розмірі 500 млн доларів США. Окремо взятий ЗВО може витрачати до 300 000 доларів США на рік, щоб придбати інструменти аналітики. Тому сучасні дослідження спрямовані на розробку моделей прогнозування на основі методів штучного інтелекту, які можуть ефективно визначати студентів у зоні ризику. У цьому контексті одним із ключових питань є вибір факторів впливу, що можуть забезпечити високу точність результатів.

Метою роботи є систематизація факторів впливу на завершення навчання студентів для побудови прогнозної моделі.

У науковій літературі фактори впливу поділяють на п'ять основних груп: демографічні, соціально-економічні, академічні, поведінкові та інституційні. Оскільки розглянуті джерела містять різні метрики оцінювання, усі нижче наведені показники сили впливу були нормалізовані та приведені до єдиного діапазону 0-1 (де 0 - мінімальний, а 1 - максимальний вплив) для забезпечення коректного міжгрупового порівняння. Демографічні фактори мають середній вплив на результати прогнозування (0.15-0.25). До демографічних факторів відносять вік, стать, місце проживання, сімейний стан. Зазначається, що жінки на 12–18% частіше завершують навчання, ніж чоловіки, а студенти старшого віку частіше припиняють навчання через повну зайнятість або сімейні обов'язки. Соціально-економічні фактори також мають середній рівень впливу (0.25–0.35). До соціально-економічних факторів відносять дохід, наявність стипендії, зайнятість під час навчання, рівень освіти батьків. Вважається, що студенти з низьким рівнем доходу мають у 1,8 раза вищу ймовірність припинення навчання. Водночас, державна фінансова підтримка знижує цей ризик на 20-25%. Академічні фактори мають найбільший рівень впливу (0.45–0.65). До академічних факторів відносять середній бал, наявність академічних заборгованостей, відвідування. Середній бал першого року навчання вважається найкращим прогностичним чинником успішного завершення навчання. Поведінкові фактори також мають високий рівень впливу (0.40–0.55). До поведінкових факторів відносять кількість входів у систему керування навчанням (СКН), час перегляду навчальних матеріалів, своєчасне завантаження виконаних робіт. Використання поведінкових факторів особливо ефективно при дистанційній або змішаній формі навчання. Інституційні фактори мають середній рівень впливу (0.20–0.30). До інституційних факторів відносять наявність менторства, академічну підтримку, доступність матеріалів. Доведено, що у ЗВО, де реалізована система індивідуального менторства, рівень успішного навчання на 15% вищий [2, 3]. Узагальнена інформація за кожним фактором впливу наведена у таблиці 1.

В останні роки у наукових роботах є спроби дослідження менш вивчених факторів. До них відносять: психоемоційні показники (рівень тривожності, емоційне вигорання, мотивація), цифрову взаємодію (кількість повідомлень по електронній пошті, швидкість відповіді студентів, комунікаційна активність у чатах), просторово-часові патерни (регулярність відвідування ЗВО або підключення до онлайн-занять), дані, що отримані з носимих пристроїв (рівень фізичної активності та сну). Ці показники мають поодинокі

випадки використання в наукових публікаціях, однак їх поєднання з традиційними факторами може підвищити точність прогнозів.

Таблиця 1

**Порівняння факторів впливу на успішне завершення навчання**

| Група факторів       | Коефіцієнт впливу<br>(від 0 до 1) | Приклади                                                    |
|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Демографічні         | 0.15-0.25                         | Вік, стать, місце проживання                                |
| Соціально-економічні | 0.25–0.35                         | Дохід, наявність стипендії, рівень освіти батьків           |
| Академічні           | 0.45–0.65                         | Середній бал, академічні заборгованості, відвідуваність     |
| Поведінкові          | 0.40–0.55                         | Кількість входів у СКН, час перегляду навчальних матеріалів |
| Інституційні         | 0.20–0.30                         | Менторство, доступність матеріалів                          |

Зважаючи на наведені групи факторів, важливо також розглянути питання джерел їх отримання та практичного застосування у прогностичних моделях. Дані за кожним із факторів можуть бути зібрані різними способами: демографічні та соціально-економічні дані - зі вступних анкет та адміністративних ІС; академічні та поведінкові - з інституційних систем управління навчанням, психологічні - шляхом анкетування або психометричних тестувань. Крім того, варто звернути увагу на можливість одночасного використання кількох груп факторів, оскільки результати сучасних досліджень демонструють підвищення точності прогнозування при поєднанні академічних і поведінкових показників. Для кількісного оцінювання внеску кожного фактора у модель може бути застосований метод SHAP (SHapley Additive exPlanations).

Таким чином, точність прогнозування успішного завершення навчання студентів у ЗВО залежить від обраних факторів впливу. Найбільш ефективними факторами виступають академічні (коефіцієнт впливу 0.45–0.65) та поведінкові показники (коефіцієнт впливу 0.40–0.55), а додавання нетрадиційних факторів (психоемоційних, цифрових і просторово-часових) може покращити результати прогнозування. Перспективою подальшого дослідження є інтеграції різних груп факторів впливу для покращення точності прогнозування успішності студентів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bird, K. (2023). Predictive analytics in higher education: The promises and challenges of using machine learning to improve student success. AIR Professional File, 161. Association for Institutional Research.
2. Tang, Y., Harvey, E., Yao, C., Yu, R., & Kizilcec, R. F. (2025). Understanding predictive models of student success with a multiverse analysis. Proceedings of the 18th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2025).
3. Quimiz-Moreira, M., Delgadillo, R., Parraga-Alava, J., Maculan, N., & Mauricio, D. (2025). Factors, prediction, explainability, and simulating university dropout through machine learning: A systematic review, 2012–2024. Computation, 13(8), 198. <https://doi.org/10.3390/computation13080198>

УДК 004.7  
**ПІДСИСТЕМА КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ**  
*Смолій Н.В., науковий керівник Смолій В.М.*

### ВСТУП

Робота присвячена знаходженню об'єктів на зображеннях та відео за допомогою технологій глибокого навчання, створенню, навчанню та використанню моделей детектування об'єктів на зображенні [1]. Потрібно визначити об'єкти заданого типу на зображенні з відео-камери та створити модель детектування цих об'єктів, використовуючи попередньо навчений детектор та додаткове навчання моделі [2, 3]. Отриманий таким чином результат слід перевірити на тестовій вибірці.

### РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

В ході досліджень було використано модель YOLOv11s для сегментації зображення з наявними об'єктами захисного спорядження, оцінено різницю якості для підходу з попереднім тренуванням та zero-shot learning. В якості середовища для тестування моделей було використано ultralytics та мову програмування python3.11.

Для вирішення завдання сегментації було створено датасет зі 150 зображень. Розподіл об'єктів на зображеннях по класах наведено на рис. 1.

| COLOR                                                                               | CLASS NAME  | COUNT |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------|
|    | gloves      | 98    |
|   | helmet      | 326   |
|  | mask        | 32    |
|  | safety_vest | 244   |
|  | suit        | 19    |

**Рис. 1.** Розподіл об'єктів за кількістю по зображеннях датасету

При переході до тренування запропонованої моделі до датасету було застосовано кроки аугментації даних, що призвело до збільшення кількості зображень в датасеті до 390. Детальне описання кроків виконання процедури детекції та розподіл зображень між тренувальним, тестовим та валідаційним датасетами наведено на рис. 2.

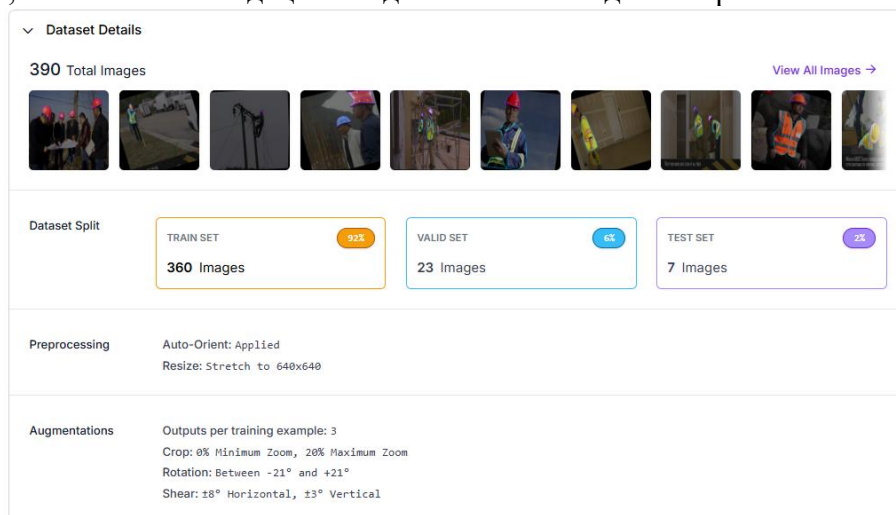


**Рис. 2.** Характеристика кроків аугментації даних та розподіл зображень між розділами датасету

Не навчена модель складно піддається порівнянню з донавченою, оскільки попереднє навчання було спрямовано на виявлення окремих типових об'єктів, як то люди, або машини. Для оцінки результатів в термінах створеного датасету було проаналізовано графік зміни метрики IoU в процесі навчання.

### РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

Оскільки донавчання виконувалось не локально, було використано параметри, запропоновані розробниками сервісу, які мають значення [4], серед яких для завдання сегментації важливими є значення наступних параметрів: Stochastic Gradient Descent, learning rate 0.01, momentum 0.937, weight decay 0.0005.

Функція втрат для моделі сегментації є комбінацією трьох окремих функцій: Box loss –CIoU Loss (Complete IoU) для регресії прямокутників; Classification loss –BCE (Binary Cross-Entropy) Loss для класифікації об'єктів; Mask loss–BCE Loss для бінаризації маски. Додатково використовувався Dice loss. Результати тренування моделі на створеному датасеті наведено на рис. 3.

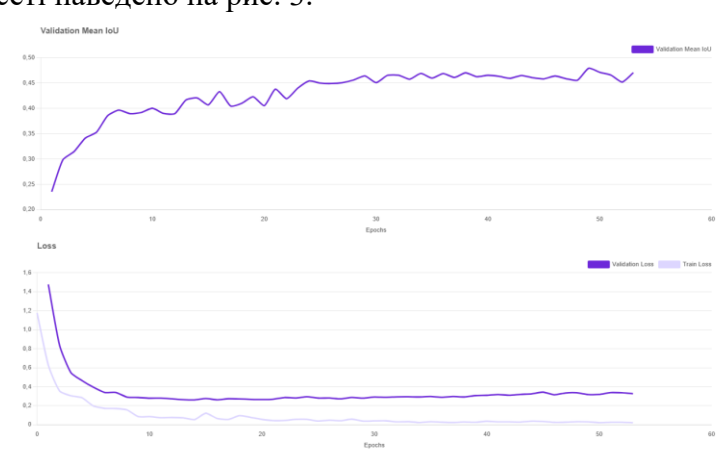


**Рис. 3.** Результати тренування моделі на створеному датасеті

При тренування використовувався специфічний для сегментації параметр mask\_ratio – 4, який вказує наскільки наближеною до графічних примітивів буде маска сегментації. Результуюче значення метрики перетину з розміченими даними наблизилось до значення у 40%. Також особливістю роботи моделі став час виконання тестової сегментацій (близько 120 мс).

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. V.M.Smolij, N.V.Smolij, S.P.Sayapin, Search and classification of objects in the zone of reservoirs and coastal zones, CEUR Workshop Proceedings 3666 (2024) 37–51. doi:ceur-ws.org/Vol-3666/ paper04.pdf10.1002/pssb.2220940160.
2. J.Tang, N.Xie, K.Li, Y.Liang, X.Shen, Trajectory tracking control for fixed-wing uav based on ddpg, Journal of Aerospace Engineering 37 (2024) 251–283. doi:10.1061/JAEEZ.ASENG-5286.
3. V.M.Smolij, N.V.Smolij, O.Y.Kovalenko, M.Z.Shvydenko, Channel extractor for uav ppm signals, CEUR Workshop Proceedings 3917 (2025) 226–236. doi:https://ceur-ws.org/Vol-3917/.
4. <https://docs.ultralytics.com/modes/train/#train-settings>

**ВИКОРИСТАННЯ БРАУЗЕРНОГО РОЗШИРЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТУПНОСТІ ВЕБСАЙТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГОЛОСОВИХ КОМАНД***Коник Р.С., науковий керівник Боярінова Ю.Є.*

У сучасних умовах розвитку цифрової економіки доступність вебресурсів для всіх категорій користувачів стає важливим показником якості та конкурентоспроможності інформаційних систем. Однак незважаючи на загальну поширеність, значна кількість вебресурсів залишається недоступною для людей із порушеннями зору, моторики чи когнітивних функцій. Проблема полягає не лише у фізичному доступі до пристроїв, але й у логіці взаємодії з вебсторінками: традиційні методи навігації—кілька кліків, використання миші чи точного керування клавіатурою—часто створюють бар'єри. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, у світі понад 2,2 мільярди людей мають порушення зору, з них близько 36 мільйонів є повністю незрячими [1]. Для цієї категорії населення доступність електронних ресурсів є не лише технічним, а й соціальним завданням.

Попри існування міжнародних стандартів вебдоступності (WCAG 2.1), значна частина вебсайтів не відповідає встановленим вимогам [2]. На практиці це означає, що навіть за наявності сучасних технологій, користувачі з порушеннями зору мають суттєві труднощі при роботі з інформаційними системами. Традиційним рішенням є використання екранних зчитувачів (screen reader), таких як NVDA або JAWS [3]. Ці системи дозволяють читати текст з екрана, проте їхня ефективність напряму залежить від семантичної структури вебсайту: відсутність альтернативних тегів (tag-alt), некоректне використання заголовків та/або aria-атрибутів значно ускладнюють сприйняття контенту.

Ще одним недоліком існуючих рішень є їхня складність у використанні. Для налаштування screen reader необхідно мати певний технічний рівень підготовки, тоді як середньостатистичний користувач прагне простого і зрозумілого інтерфейсу. Крім того, більшість рішень орієнтовані виключно на озвучення тексту, без інтегрованих можливостей для голосового керування сторінкою [4].

У межах дослідження запропоновано інший підхід — створення браузерного розширення (web-extension), що забезпечує доступність будь-якого сайту незалежно від рівня його семантичної коректності. На відміну від класичних screen reader, таке рішення працює безпосередньо у браузері й не вимагає змін у коді конкретного вебресурсу.

Мета цієї роботи — дослідити можливості та підходи до створення браузерного розширення, яке за допомогою голосових команд підвищує доступність вебсайтів. Для досягнення цієї мети поставлено такі задачі: провести огляд технологій веб-доступності, зокрема голосових інтерфейсів та браузерних розширень; проаналізувати архітектуру та функціональні компоненти таких розширень: розпізнавання мовлення, синтез голосу; розробити концептуальну модель розширення, що адаптує вебінтерфейс під потреби користувачів із обмеженими можливостями; оцінити переваги та обмеження рішення, визначити перспективи подальшого розвитку.

Функціонал запропонованого браузерного розширення охоплює:

- читання всього тексту сторінки або лише виділеного фрагмента;
- масштабування (zoom in/out) та прокручування сторінки голосом;
- озвучення списку доступних команд для швидкого навчання;
- можливість пошуку тексту за ключовими словами;
- навігацію між заголовками, абзацами та посиланнями.

Особлива увага приділяється роботі з формами: користувач може заповнювати поля вводу або активувати кнопки за допомогою голосових команд. Це розширює

можливості системи у сферах, де необхідна взаємодія з інтерактивними сервісами — наприклад, під час онлайн-навчання чи електронного врядування.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні двох підходів: синтезу мовлення (читання вмісту сторінки) та голосового керування (дії з елементами інтерфейсу) в межах єдиного універсального інструмента. Додатковою перевагою є використання fallback-алгоритмів: навіть якщо сторінка версталася без урахування стандартів WCAG, система може проаналізувати структуру DOM та надати користувачеві базові можливості для навігації.

Практичне значення розробленого розширення полягає в універсальності. Для власників сайтів відпадає потреба у дорогій адаптації під стандарти доступності, адже доступність забезпечується на рівні браузера. Для користувачів із порушенням зору — це можливість працювати з будь-яким ресурсом, незалежно від його якості верстки.

Додатковим аргументом на користь такого підходу є законодавчі тенденції. У країнах ЄС та США діють нормативні акти, які зобов'язують державні та приватні організації дотримуватись вимог доступності (наприклад, Європейський акт про доступність та Section 508 у США). Це стимулює впровадження інноваційних рішень, які дозволяють виконати вимоги без суттєвих фінансових витрат. В Україні також розробляються ініціативи щодо цифрової інклюзії, тому впровадження подібних технологій має значний соціальний ефект.

У ході аналізу ринку було виявлено, що більшість існуючих інструментів зосереджені або на зчитуванні тексту, або на розпізнаванні голосу, тоді як інтегровані системи зустрічаються рідко. Це створює унікальну нішу для запропонованого рішення, яке поєднує дві технології. Водночас головним викликом залишається оптимізація швидкодії: робота з великими вебсторінками потребує мінімізації затримок у синтезі мовлення та виконанні команд.

Серед обмежень можна відзначити залежність від якості мікрофону та стабільності інтернет-з'єднання. Крім того, система потребує адаптації до різних мов та діалектів, що ускладнює її універсалізацію. Водночас ці виклики можна поступово вирішити завдяки використанню сучасних алгоритмів обробки природної мови та хмарних сервісів.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні системи за рахунок багатомовності та інтеграції з мобільними платформами. Окремим напрямом може стати адаптація інструмента для використання у сфері «розумного дому» та IoT-систем, де голосове керування вже стало стандартом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. World Health Organization. World report on vision. Geneva: WHO, 2019.
2. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. W3C Recommendation, 2018.
3. NV Access. NVDA Screen Reader [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
4. <https://www.nvaccess.org/>
5. González-Mora, C., et al. Augmenting Tourism Websites With Voice Commands for Accessibility, IEEE , 2025



## ПРОГНОЗУВАННЯ УСПІШНОСТІ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ МЕТОДАМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ

*Клименко Євгеній науковий керівник Глазунова Олена Григорівна*

Прогнозування успішності здобувачів освіти є важливою складовою системою освітньої аналітики, що дозволяє підвищити якість навчального процесу, своєчасно виявити ризики академічної неспішності та запропонувати персоналізовану підтримку студентам [1]. Методологія побудови таких прогнозів ґрунтується на поєднанні статистичних, машинних та когнітивно-аналітичних підходів, які забезпечують обробку освітніх даних та виявлення закономірностей у поведінці та результатах здобувачів освіти.

Оснoву методології складає етап попередньої обробки даних (data preprocessing), що включає очищення, нормалізацію та кодування вхідних змінних: соціально-демографічні характеристики студентів (вік, стать, джерело фінансування), навчальні показники (конкурсний бал, оцінки, відвідуваність, цифрова активність), характеристики та параметри освітнього середовища. Ці дані формують набір предикторів, який використовується в математичних моделях прогнозування.

Інтелектуальний аналіз даних не може розпочатися без попереднього аналізу даних (Exploratory Data Analysis)- розвідувального аналізу даних. Це процес аналізу та узагальнення основних характеристик набору даних для того, щоб отримати уявлення та зрозуміти основні закономірності та взаємозв'язки в даних. Основна його мета допомогти знайти найважливіші характеристики та змінні даних, а також виявити будь-які потенційні відхилення або викиди в неоднорідних даних. Це полегшує вибір статистичних методів та алгоритмів машинного навчання, які будуть найбільш ефективними для аналізу. Для етапу EDA використовуємо кілька інструментів В набір моделей включені Древа рішень, Випадковий ліс, LightGBM (легка градієнтна модель підсилення) і Логістична регресія:

```
models =  
{  
    "DecisionTree": DecisionTreeClassifier(),  
    "RandomForest": RandomForestClassifier(),  
    "LightGBM": LightGBMClassifier(),  
    "LogReg": LogisticRegression()  
}
```

Ці методи допомагають знайти закономірності в даних, визначити зв'язки між змінними та виявити будь-які унікальні або несподівані закономірності, які потребують додаткових досліджень. Загалом, EDA є важливим кроком у процесі інтелектуального аналізу даних, оскільки він допоміг нам краще зрозуміти дані та визначити найбільш релевантні змінні та ознаки для подальшого аналізу.

Прогнозування академічної успішності студентів є важливим завданням для прийняття обґрунтованих рішень щодо прогресу студентів у навчанні. Алгоритми інтелектуального аналізу даних можуть бути використані для прогнозування успішності студентів та визначення факторів, що впливають на точність прогнозу [2-3]. На рис.1 показано методологію реалізації запропонованої роботи.

Процес моделювання супроводжується етапом валідації (train/test split, крос-валідація), що дозволяє оцінити точність та узагальнювальну здатність моделей. Найчастіше використовуються метрики точності класифікації (Accuracy, Precision, Recall, F1-score) або середньоквадратичної помилки для регресії (RMSE, MAE).

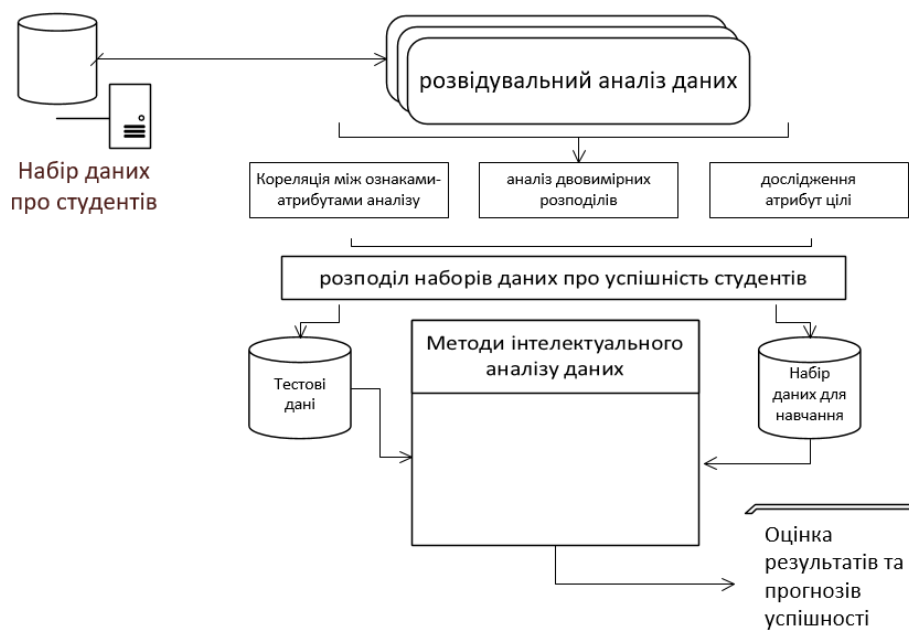


**Рис. 1.** Блок-схема методології побудови прогностичного моделювання для прогнозування академічної успішності студентів

Методологія також передбачає інтерпретацію результатів з урахуванням педагогічного контексту (рис.2.)

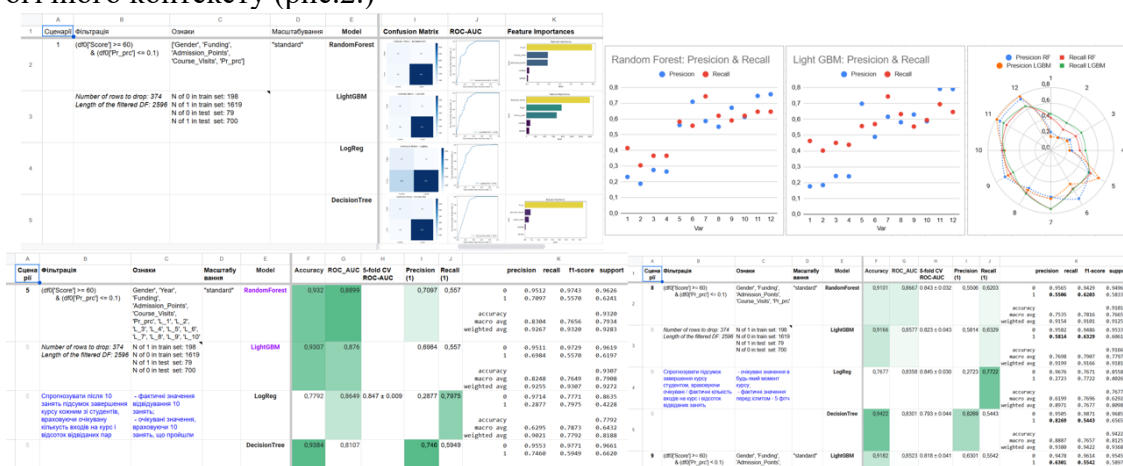


**Рис. 2.** Сценарії прогнозування академічної успішності студентів

За допомогою запропонованих методів та інформаційної технології розв'язано реальні задачі освітньої аналітики на базі НУБіП України.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Scapin, R. (2015). Learning Analytics in Education: Using Student's Big Data to improve Teaching. Dawson College.
2. Глазунова О., Клименко Є., Волошина Т., Мокрієв М. 2024. Освітня аналітика в університетах: інструменти для аналізу та прогнозування. Телекомунікаційні та інформаційні технології. №2, 49-59.
3. Клименко, Є., & Глазунова, О. (2024). Методи інтелектуального аналізу освітніх даних у системах електронного навчання. Інформаційні технології та суспільство, 2 (13), 34-40. <https://doi.org/10.32689/maup.it.2024.2.5>

**ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ  
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ  
ТРАНСФОРМАЦІЇ**

*Понзель Я.Ю.*

Наразі сучасні університети прагнуть підвищити свою конкурентоспроможність та якість освітніх послуг за рахунок цифрової трансформації процесів. Наявні університетські інформаційні системи (системи управління навчанням, електронні деканати тощо) можуть забезпечити базовий функціонал, але часто мають обмежений доступ з мобільних пристроїв, недостатню швидкість або ж інші недоліки, через що не завжди задовольняють потреби студентів і викладачів у швидкій, персоналізованій та інтерактивній комунікації. Доповнення цих систем власним мобільним застосунком все частіше стає стратегічною необхідністю.

Необхідність мобільного застосунку стає беззаперечною, коли ми говоримо про потребу високого рівня залученості й персоналізацію досвіду студентів. За для досягнення цих потреб можемо відзначити необхідність реалізації наступного функціоналу:

- Інтеграцію із існуючими сервісами університету (витягування даних про успішність, розклад, індивідуальний навчальний план тощо).
- Оптимізований інтерфейс для мобільних пристроїв, який забезпечить швидкий доступ до найбільш затребуваної інформації.
- Інтеграція з георлокаційними сервісами для навігації на території університету.
- Миттєві сповіщення, які даватимуть важливу інформацію для студента про зміни в навчальному процесі, цікаві події, нові оцінки з дисциплін або ж сповіщення про небезпеку.
- Офлайн-доступ для перегляду важливої інформації в умовах відсутності світла чи при слабкій мобільній мережі.

Сучасні технології мобільної розробки надають широкий спектр інструментів для створення кросплатформених застосунків, що можуть забезпечити доступ до освітніх ресурсів, навчальних успіхів студента, розкладу занять, повідомлень тощо. Серед найпопулярніших рішень сьогодні можна виокремити .NET MAUI, Flutter, React Native, Kotlin та Swift.

- React Native[1] - технологія компанії Meta, що дозволяє створювати мобільні застосунки з використанням JavaScript або TypeScript. Вона відзначається великою спільнотою, розвиненою екосистемою бібліотек, простотою інтеграції з .NET-сервісами та високою швидкістю розробки. Продуктивність React Native є дещо нижчою за нативну, однак цього цілком достатньо для застосунків типу «електронного кампусу» або «кабінету студента».
- .NET MAUI[2] є частиною екосистеми Microsoft і дозволяє створювати нативні застосунки на основі спільної кодової бази C#. Його перевагою є повна інтеграція з .NET-бекендом і висока продуктивність, однак недоліками виступають складність налаштування середовища та порівняно невелика спільнота.
- Flutter[3] - фреймворк від Google, який забезпечує швидку розробку візуально привабливих інтерфейсів для Android, iOS і Web. До його сильних сторін належать стабільність, висока швидкодія та єдина кодова база, проте

для інтеграції з .NET потрібен додатковий рівень взаємодії через REST API, а мова Dart потребує окремого опанування.

- Kotlin[4] та Swift[5] забезпечують нативну розробку під Android і iOS відповідно, але вимагають створення двох окремих версій застосунку, що значно ускладнює підтримку.

Кожен із розглянутих інструментів має власні переваги залежно від цілей і контексту використання. У межах створення університетського застосунку, орієнтованого на інтеграцію з наявними інформаційними системами та .NET-бекендом, найбільш доцільним рішенням є використання React Native. Ця технологія поєднує високу швидкість розробки, кросплатформеність, зручність інтеграції через REST API, а також широкі можливості реалізації сучасного користувацького інтерфейсу. Завдяки великій спільноті розробників та розвиненій екосистемі бібліотек React Native забезпечує гнучкість у підтримці, оновленні та розширенні функціоналу системи без значних додаткових витрат.

Крім того, використання React Native сприяє скороченню часу виходу продукту на етап дослідної експлуатації (MVP[6]), що є важливим у рамках освітніх проєктів із обмеженими ресурсами. Технологія дозволяє створити ефективний мобільний інструмент підтримки студентів - з можливістю доступу до навчальних матеріалів, розкладу, електронного журналу, повідомлень тощо - у єдиному цифровому середовищі університету.

Разом із тим, .NET MAUI може розглядатися як перспективна альтернатива для довгострокових корпоративних рішень, які потребують повного єднання клієнтської та серверної частин у межах однієї технологічної екосистеми Microsoft. Проте на даному етапі MAUI поступається React Native за гнучкістю, зрілістю екосистеми та швидкістю розробки прототипів.

Отже, обрання React Native як основної технологічної платформи для мобільного застосунку університету забезпечує оптимальний баланс між технологічними можливостями, економічною доцільністю та стратегічною відповідністю завданням цифрової трансформації освітнього процесу.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Get Started with React Native [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://reactnative.dev/docs/environment-setup> (дата звернення: 17.10.2025).
2. Microsoft Learn. What is .NET MAUI? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/maui/what-is-maui?view=net-maui-9.0> (дата звернення: 17.10.2025).
3. Get started with Flutter [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.flutter.dev/get-started> (дата звернення: 17.10.2025).
4. Get started with Kotlin [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kotlinlang.org/docs/getting-started.html> (дата звернення: 17.10.2025).
5. Мова програмування Swift [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://book.swift.org.ua/book/mova-programuvannya-swift/> (дата звернення: 17.10.2025).
6. Що таке MVP і як створити MVP продукт у 10 ефективних кроків [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://wezom.com.ua/ua/blog/chto-takoe-mvp> (дата звернення: 18.10.2025).

## ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ УНІВЕРСИТЕТСЬКОГО МЕНЕДЖМЕНТУ: КАФЕДРА, ФАКУЛЬТЕТ, УНІВЕРСИТЕТ

*Стеценко Владислав, науковий керівник Глазунова Олена Григорівна*

Цифрова трансформація освітнього менеджменту є ключовим чинником модернізації вищої освіти, спрямованим на підвищення ефективності управління та прозорості процесів. Вона передбачає перехід від паперових і табличних форм планування до інтегрованих електронних систем, що охоплюють усі рівні університетської структури. Одним із важливих завдань цього процесу є автоматизація планування й розподілу педагогічного навантаження, оскільки традиційні методи залишаються трудомісткими, малоефективними та недостатньо оперативними.

Актуальним є аналіз сучасних цифрових рішень для автоматизації управління навчальним процесом у закладах вищої освіти. У наукових працях [1,2] розглядаються питання створення та інтеграції інформаційних систем з корпоративними базами даних університетів і оцінка їх ефективності. Багато закладів розробляють власні модулі, зокрема для розподілу педагогічного навантаження чи управління роботою викладача. Прикладами є системи, впроваджені в Державному університеті «Житомирська політехніка», Сумському національному аграрному університеті та Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», які враховують специфіку організаційної структури та нормативної бази закладу.

У межах дослідження розроблено інформаційну систему управління формуванням і розподілом педагогічного навантаження, інтегровану з внутрішніми університетськими сервісами. Система ґрунтується на ієрархічно-акторному підході, де кожен рівень (кафедра, факультет, університет) виконує власні функції, пов'язані через єдину базу даних. Кафедра здійснює розподіл дисциплін між викладачами, факультет – узгодження та балансування планів, університет – затвердження і контроль нормативів. Таким чином, система відображає багаторівневу модель управління, що поєднує автономність підрозділів із централізованим контролем і аналітикою. У таблиці 1 подано основних акторів системи та їх функціональні ролі.

*Таблиця 1.*

**Актори системи та їх функціональні ролі**

| Рівень системи | Основні функції                                                                                                                                                     |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Кафедра        | формування первинного плану навантаження НПП, розподіл годин між викладачами, призначення бажаних аудиторій, коригування даних і подання пропозицій на затвердження |
| Факультет      | перевірка і затвердження кафедральних планів, балансування навантаження між кафедрами, формування звітів, узагальнення навантаження за освітніми програмами         |
| Університет    | централізоване затвердження навантаження, контроль дотримання нормативів і ставок, формування звітів, аналітика ефективності використання кадрового потенціалу      |

У запропонованій системі, формування педагогічного навантаження передбачає виконання двох ключових функцій: управління навчальними дисциплінами та управління навчальними планами. Виконання даних функцій представлено на рис. 1.

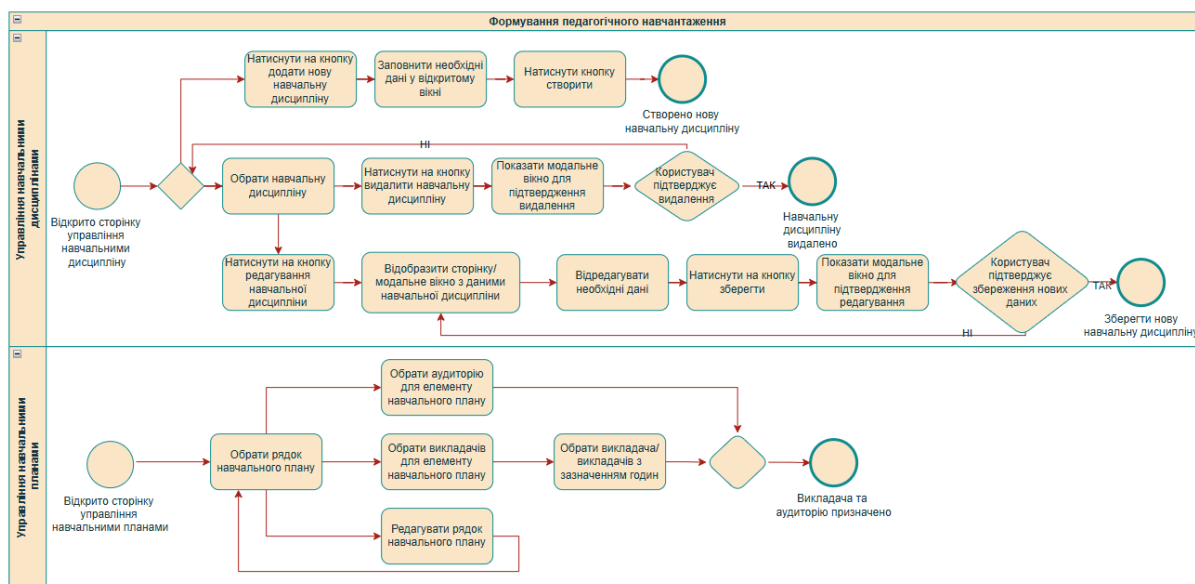


**Рис. 1.** Формування педагогічного навантаження

Управління навчальними дисциплінами охоплює дії користувача, пов'язані зі створенням, редагуванням і видаленням дисциплін. Користувач може додати нову навчальну дисципліну, заповнивши необхідні дані у відповідному вікні, після чого система створює новий запис у базі. При редагуванні або видаленні дисципліни відображається вікно підтвердження, що забезпечує контроль коректності змін. Усі зміни фіксуються після підтвердження користувачем, що підвищує надійність та узгодженість даних. Управління навчальними планами відповідає за призначення викладачів і аудиторій до конкретних елементів навчального плану. Користувач обирає потрібний рядок плану, редагує його, після чого здійснює вибір викладача або групи викладачів із зазначенням годин, а також відповідної аудиторії. У результаті система автоматично оновлює дані плану, дозволяючи в подальшому працювати із навантаженням окремого викладача, кафедри чи факультету.

Запропонована система забезпечує інтегроване управління процесом формування та розподілу педагогічного навантаження на всіх рівнях університетської структури, що сприяє підвищенню прозорості, об'єктивності та ефективності управлінських рішень. Її архітектура орієнтована на цифрову взаємодію акторів – кафедр, факультетів і адміністративних підрозділів університету – через єдине інформаційне середовище. Практична реалізація системи дозволяє скоротити час планування, мінімізувати людський фактор і забезпечити аналітичну підтримку управлінських процесів. Таким чином, розробка становить крок до побудови інтелектуальної цифрової екосистеми університетського менеджменту, що відповідає сучасним тенденціям цифрової трансформації освіти.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Карплюк, С. О., & Вакалюк, Т. А. (2018). Огляд функціональних можливостей програмного забезпечення для управління освітнім процесом закладу вищої освіти. Інформаційні технології і засоби навчання, 3(65), 262-276.
2. Боженко, Р. А., Боженко, В. В., & Вербовський, І. А. (2024). Впровадження інформаційних технологій в систему адаптивного управління закладом вищої освіти.

## API ДЛЯ ОТРИМАННЯ ОЦІНОК З НАВЧАЛЬНОГО ПОРТАЛУ ELEARN В СИСТЕМУ “ЕЛЕКТРОННИЙ ДЕКАНАТ”

*Yuriy Mykytyn*

Інформаційна система “Електронний деканат” призначена для обліку успішності студентів, формування навчальних планів, документів про освіту та інших документів, що стосуються навчального процесу. Одним із таких документів є відомість обліку успішності.

Всі звикли до того, що після здачі іспиту, викладач проставляє оцінки спочатку на електронному навчальному курсі, на порталі elearn, потім ручкою виписує їх в паперовому документі. Після цього здає її в деканат, а методисти в свою чергу вносять ці оцінки в систему “Електронний деканат”.

Очевидно, що є потреба в спрощенні цього процесу. Для цього з’явилась ідея в розробці відповідного функціоналу в обох системах. Я займався розробкою саме на стороні системи “Електронний деканат”. Було розроблено API-endpoint через який здійснюватиметься перенесення оцінок. Оскільки, нам не потрібно отримувати оцінки з будь-якої системи, будь-якого користувача, потрібно було також розробити систему авторизації за допомогою відправки json-запитів.

Основна ідея такої авторизації полягає у тому, що користувач відправляє свій логін (у нашому випадку електронну пошту), пароль, ключ додатку, з якого він авторизується і метод авторизації. Якщо такий користувач зареєстрований і може користуватися API, йому повертається зашифрований токен, що складається з випадкових символів.

Після отримання токена, користувач може відправляти запити до будь-якого endpoint’у у форматі json, вказуючи його в хедері запиту. В нашому випадку, він працюватиме з endpoint’ом, який приймає фінальні оцінки за курс, що відповідає певній дисципліні у певному навчальному плані. Зв’язок курсу із дисципліною здійснюється через прив’язку id електронного курсу до відповідної дисципліни.

На рисунку 1 показано послідовність запитів і дій для перенесення оцінок

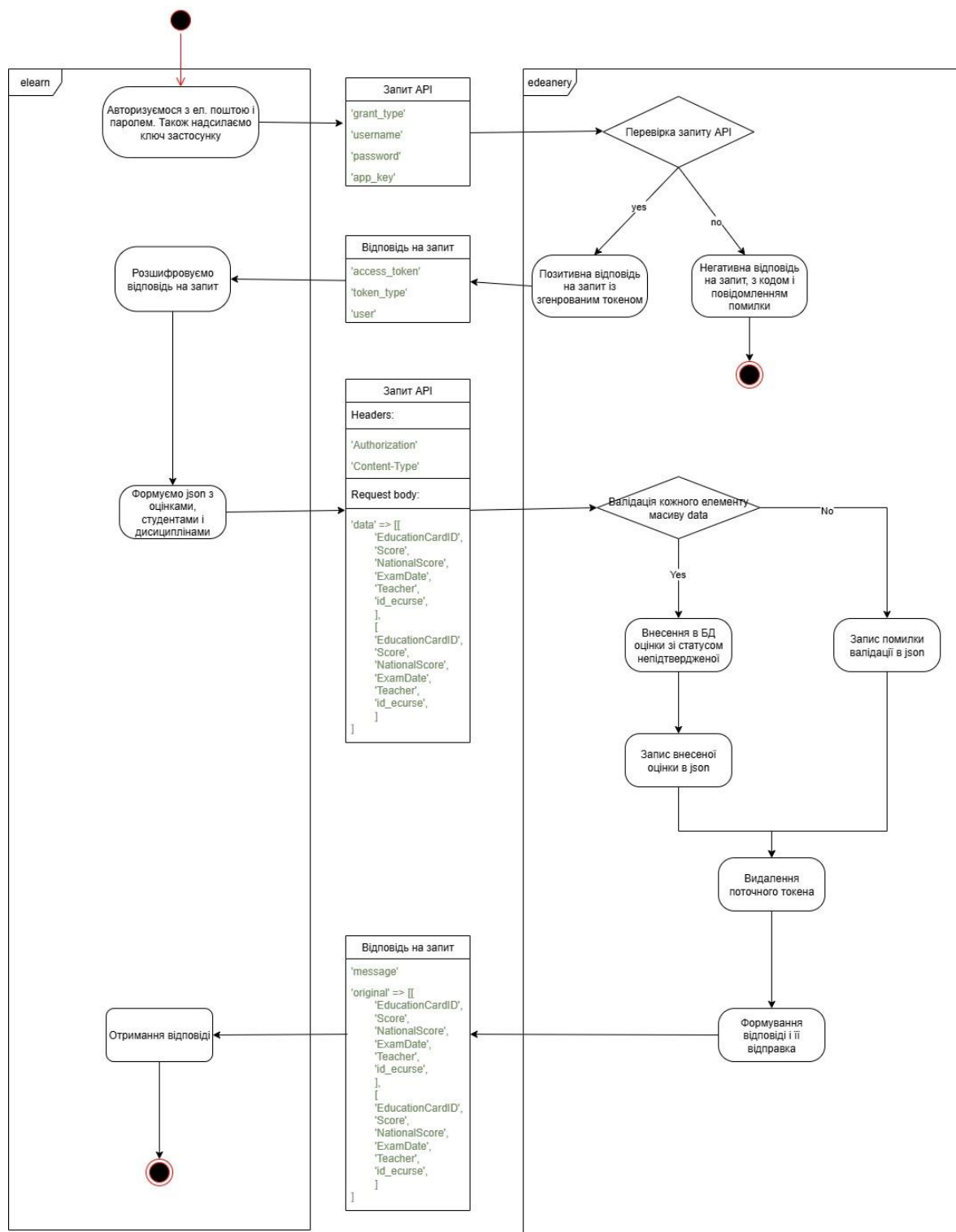


Рис. 1

### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА:

1. Офіційна документація Laravel. Laravel Documentation. <https://laravel.com/docs>
2. API-аутентифікація в Laravel. Laravel Sanctum Documentation. <https://laravel.com/docs/sanctum>



УДК 004.9:331.5  
**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ І  
МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ**

*Шевчун Д. В., науковий керівник: Даков С. Ю.,*

Забезпечення якості – один з ключових процесів циклу розробки і життя будь-якого програмного забезпечення. Автоматизація процесу забезпечення якості – це забезпечення циклічності цього процесу. Процес тестування є критичним аспектом в процесі розробки будь-якого програмного продукту, відповідно, зекономити на процесі може призвести до високих ризиків та шокуючої втрати ресурсів, таких як гроші й час, якщо не вирішити проблему тестування завчасно.

Метою дослідження була аналітична оцінка можливості максимального покриття комерційного додатку тестувальником.

Результати дослідження в подальшому будуть використані для впровадження рекомендацій стосовно підходів до тестування, а саме гібридизація типів тестування, або ж покращення програм-скриптерів функціонально.

В дослідженні використовувались такі типи тестування як: ручне тестування, автоматизоване тестування спеціалістом і автоматизоване тестування через програму-скриптер, завдяки якій тестувальник може писати автоматизовані тести без поглиблених знань в програмуванні. Як показники використовувались оцінка витрат часу, об'єм покриття і циклічність тестування функціоналу додатку тестовими сценаріями або ж тестовими скриптами.

Часові витрати оцінювались в робочих годинах (8 годин як 1 день). Оцінювання враховувало в себе виключно верифікацію роботоспроможності функціоналу; витрати часу на написання тестових випадків були виключені.

Об'єм покриття враховував у себе можливість перевірки всіх компонентів, присутніх на етапах тестового випадку: від функціоналу компоненту, до його візуального відображення при різних умовах, таких як відображення при меншому розширенні або ж відображення на мобільному інтерфейсі.

Циклічність тестування інтерпретується як можливість повторного тестування функціоналу – особливо важливий аспект для програмного забезпечення, яке знаходиться на стадії розробки, або ж активно оновлюється.

Аналітична оцінка всіх підходів до тестування в подальшому допоможе оцінити всі ризики кожного з підходів та надасть розуміння, як і в яких цілях краще використовувати кожен з типів тестування, ефективність їх гібридизації та загально покращити кінцевий результат програмного забезпечення, яке тестується.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Сім принципів тестування - <https://www.boxuk.com/insight/the-seven-principles-of-testing/>
2. Переваги і недоліки автоматизованого тестування - <https://www.javatpoint.com/advantages-and-disadvantages-of-automated-testing>
3. Методи оцінки часу тестування - <https://training.qatestlab.com/blog/technical-articles/methods-test-estimation/>
4. Математичні методи оцінки трудовитрат при впровадженні ERP-систем - <https://dou.ua/forums/topic/50547/>
5. Тестування. Фундаментальна теорія - <https://dou.ua/forums/topic/13389/>

### SECTION 3. CYBER SECURITY FACILITIES ON HARDWARE AND SOFTWARE LEVELS / СЕКЦІЯ 3. ЗАСОБИ СПРІЯННЯ КІБЕРБЕЗПЕЦИ НА АПАРАТНОМУ ТА ПРОГРАМНОМУ РІВНЯХ

УДК 004.056.55:378

#### БАГАТОРІВНЕВИЙ АНАЛІЗ ЦИФРОВИХ СЛІДІВ КОРИСТУВАЧІВ У ІНФОРМАЦІЙНО-ОСВІТНІХ СИСТЕМАХ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*Лахно Мирослав Валерійович*

Зростання обсягів персональних даних, цифрових ресурсів та інтенсивності комунікації в інформаційно освітніх системах закладів вищої освіти (відповідно ІОС та ЗВО) призвело до посилення кіберзагроз, зокрема в умовах війни з рф. Тому, релевантною проблемою залишилася своєчасна ідентифікація атак, що імітують легальну активність користувачів. Існуючі підходи до аналізу поведінки мають суттєвий недолік. Вони недостатньо враховують гетерогенність цифрових слідів (ЦС) та контекстуальна специфіка роботи з системою. Це, відповідно обмежує їхню гнучкість. Специфіка ІОС ЗВО, зумовлена різноманіттям ролей користувачів, породжує унікальні цифрові сліди та підвищує ризики безпеки. При цьому переважна більшість досліджень цифрових слідів зосереджена на освітніх задачах [1, 2]. А питання виявлення аномалій та оцінки інформаційних ризиків залишилися на периферії наукових інтересів дослідників. Для вирішення цієї проблеми запропоновано метод, орієнтований на оцінку рівня інформаційних ризиків шляхом інтеграції кластерного аналізу, ймовірного моделювання та прогнозування в єдиному комплексі для підтримки прийняття рішень.

Відмітимо, що гарантування інформаційної безпеки в ІОС ЗВО потребує нових підходів до спостереження за поведінкою користувачів на основі ЦС. Наявні рішення зазвичай реалізують окремі складники поведінкового аналізу. Також не враховують якість кластеризації, ймовірнісний характер взаємозв'язків між діями користувачів та подіями ІБ, а також мінливість рівня ризиків у часі. Такий метод зменшує точність оцінки безпекових інцидентів і ускладнює адаптацію до нових сценаріїв загроз ІБ. Через це, постає проблема розробки нового методу аналізу ЦС, котрий дозволить врахувати поведінкові відхилення, динаміку рівня ризиків та забезпечувати підтримку ухвалення рішень з ІБ ІОС.

Метою дослідження є розробка методу багаторівневого аналізу цифрових слідів в інформаційно-освітніх системах, який забезпечить виявлення атипової поведінки користувачів, оцінювання рівня інформаційних ризиків та підтримку ухвалення рішень щодо безпечного доступу до цифрових ресурсів закладу вищої освіти.

Основна ідея методу полягає в побудові ансамблю кластеризацій ЦС, результати якого зважуються за якістю за допомогою експоненціальної функції. Це дало змогу взяти до уваги гетерогенність поведінки користувачів у ІОС та підвищити релевантність групування даних. На базі кластеризованих підмножин ЦС формуємо локальні баєсівські мережі (БМ або BN). Ці баєсівські мережі відображають причинно-імовірнісні залежності між поведінковими параметрами. В процесі дослідження це дозволило провести оцінку ймовірності виникнення інцидентів ІБ. Додатково використано алгоритм машинного навчання (ML) XGBoost для передбачення рівня ризику ІБ для ІОС. Інтегрована оцінка рівня ризику обчислена як зважене поєднання наслідків ймовірного моделювання та ML-прогнозування [3-9].

Для експериментальних досліджень використовувалися дані отримані з системи дистанційного навчання (Moodle) Національного університету біоресурсів і природокористування України. Під час досліджень проаналізовано набір полів, кожне з яких відображає ознаки поведінкового профілю користувача на платформі <https://elearn.nubip.edu.ua/>. Числові атрибути відображали тривалість сесії (що моделює

експоненціальний розподіл) та кількість виконаних дій (узгоджено з розподілом Пуассона). Це дозволило під час настових досліджень програмного продукту, створеного на основі методу аналізу ЦС сформувати кількісну оцінку інтенсивності взаємодії з платформою Moodle.

Категоріальні характеристики містять тип пристрою, за рахунок якого відбувається взаємодія, час доби, а також роль користувача в освітньому середовищі. Ці, дані, сформували контекстуальне тло цифрової поведінки користувачів в ІОС ЗВО (на прикладі НУБІП України).

Висновки. Запропоновано новий метод багаторівневого аналізу цифрових слідів користувачів, що дає змогу підвищити ефективність виявлення атипової поведінки в інформаційно-освітньому середовищі закладу вищої освіти. Метод поєднує переваги кластеризації цифрових слідів, ймовірного моделювання та алгоритмів машинного навчання для формування системи оцінювання рівня ризиків інформаційної безпеки. Запропоновано застосувати ансамблеву кластеризацію з експоненційним зважуванням якості кластеризаторів. Результати експериментального дослідження засвідчили ефективність запропонованого методу. Візуалізація кластерної структури цифрових слідів підтвердила наявність поведінкових шаблонів дій користувачів, що корелюють з рівнем ризику інформаційної безпеки інформаційно-освітнього середовища закладу вищої освіти.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ящук, І. (2021). Інформаційно-освітнє середовище закладу вищої освіти: практико-орієнтований підхід. *Інноватика у вихованні*, 1(13), 62–72. <https://doi.org/10.35619/iiv.v1i13.384>
2. Кіресенко, О. Сценарії атак на систему дистанційної освіти. *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, 30(2), 335–343. <https://doi.org/10.18372/2225-5036.30.19246>
3. Camacho, M., Minelli, J., & Grosbeck, G. (2012). Self and identity: raising undergraduate students' awareness on their digital footprints. *Procedia–Social and Behavioral Sciences*, 46, 3176–3181. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.032>
4. Karabatak, S., & Karabatak, M. (2020). Z generation students and their digital footprints. In *2020 8th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS)*, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/ISDFS49300.2020.9116455>
5. Buitrago–Roper, M. E., Ramírez–Montoya, M. S., & Laverde, A. C. (2023). Digital footprints (2005–2019): A systematic mapping of studies in education. *Interactive Learning Environments*, 31(2), 876–889. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1814821>
6. Kumar, H., & Raj, P. (2020). An indagation on experiences and awareness of digital footprint among pupils of higher education. *Acad Res Int*, 11(3), 16–31. ISSN: 2223-9944, e ISSN: 2223-9553
7. Nugumanova, A., & Baiburin, Y. (2019). Exploration of student behavior patterns through digital footprints. *Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science*, 103(3), 43–54. <https://doi.org/10.26577/JMMCS-2019-3-m5>
8. Olipas, C. N. P. (2023). The digital footprint awareness of the undergraduate students in a private higher education institution in nueva ecija, philippines: a basis for a plan of action. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, 10 (2), 15–28. <https://doi.org/10.17148/IARJSET.2023.10203>
9. Songsom, N., Nilsook, P., Wannapiroon, P., Fung, C. C., & Wong, K. W. (2019). System design of a student relationship management system using the internet of things to collect the digital footprint. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 14(23), 125–140. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i23.11066>

УДК 004.42  
**КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ НА БАЗІ  
ARDUINO З TELEGRAM-ІНТЕРФЕЙСОМ**

*Дюков В. В., науковий керівник Лахно В. А.*

Сучасний розвиток технологій Інтернету речей (IoT) відкриває широкі можливості для створення інтелектуальних систем управління, що підвищують зручність, безпеку та ефективність використання ресурсів. Особливо актуальними стають системи дистанційного контролю, які дозволяють керувати пристроями в реальному часі через мережеві технології.

Важливість теми полягає в необхідності розробки доступних і універсальних інструментів автоматизації, передусім для застосування в межах концепції "розумного будинку". Наразі більшість комерційних рішень для автоматизації є дорогими або надто складними у налаштуванні, що обмежує їх побутове використання. У цьому контексті розробка власної системи дистанційного управління на базі платформи Arduino із застосуванням Telegram-інтерфейсу виглядає перспективним рішенням, яке поєднує простоту апаратного виконання із широкими функціональними можливостями.

Об'єктом дослідження є процес дистанційного керування побутовими пристроями з використанням мікроконтролерних систем.

Предмет дослідження — апаратно-програмні засоби, які забезпечують взаємодію між користувачем і пристроями через інтерфейс Telegram-бота.

Метою цієї роботи є створення простого та зручного рішення для дистанційного управління пристроями з використанням Telegram-бота на основі платформи Arduino.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- розробити апаратну частину системи на базі Arduino з підключенням Wi-Fi модуля ESP8266/ESP32;
- створити програмну логіку взаємодії між контролером та Telegram API;
- реалізувати керування освітленням, температурою та системою поливу рослин;
- забезпечити надійність і безпечний обмін даними між користувачем і системою;
- протестувати працездатність системи у реальних умовах.

У ході реалізації проекту було використано мікроконтролер Arduino як основний обчислювальний модуль [1, 2], Wi-Fi модуль ESP8266 для забезпечення бездротового зв'язку, а також Telegram API для створення інтерфейсу взаємодії з користувачем [3]. Програмна частина системи розроблена з використанням мови Python та вбудованого середовища Arduino IDE [4].

Користувач за допомогою Telegram-бота може отримувати дані про стан системи, вмикати або вимикати освітлення, контролювати температуру приміщення та активувати систему поливу квітів [5]. Вся інформація передається через захищене з'єднання, що забезпечує конфіденційність та цілісність даних.

Практичне значення роботи полягає у створенні прототипу доступної системи для автоматизації побутових процесів. Запропоноване рішення може бути розширене для використання у невеликих офісах, теплицях або навчальних лабораторіях. Завдяки відкритим технологіям Arduino та Telegram API система може бути легко модифікована та адаптована під потреби користувача.

Особлива увага у процесі розробки системи приділяється питанням інформаційної безпеки та створенню елементів комплексної системи захисту інформації (КСЗІ). Оскільки передача команд і даних між користувачем та мікроконтролерною платформою

здійснюється через відкриті канали зв'язку (Інтернет, Telegram API), важливим завданням є забезпечення конфіденційності, цілісності та автентичності інформації.

У проєкті реалізовано багаторівневу структуру безпеки, що включає технічні, програмні та організаційні заходи захисту. До основних елементів КСЗІ належать:

- використання захищених протоколів обміну даними (TLS/SSL) для запобігання перехопленню інформації;
- автентифікація користувача за допомогою унікального токена Telegram-бота, що унеможлиблює несанкціонований доступ;
- шифрування переданих команд і відповідей між клієнтом та сервером;
- моніторинг активності користувачів, ведення журналів подій і контроль спроб доступу до системи;
- резервне копіювання критичних параметрів системи для збереження цілісності даних у разі збоїв або зовнішніх впливів.

Модульна архітектура системи відіграє ключову роль у проєктуванні комплексної системи захисту інформації (КСЗІ). Завдяки такій архітектурі стає можливим оновлення або заміна окремих компонентів без порушення цілісності загальної структури безпеки. Це забезпечує реалізацію централізованої політики керування доступом і дозволяє масштабувати функціональні можливості системи відповідно до специфічних потреб користувача.

Відповідно до чинних нормативно-правових актів України у сфері технічного захисту інформації, розроблення інформаційно-комунікаційних систем подібного типу має базуватися на принципах розмежування доступу, ідентифікації та автентифікації суб'єктів, а також захисту інформації під час її оброблення і зберігання. У цьому контексті запропонований підхід може слугувати основою для створення спрощених КСЗІ, адаптованих для використання в побутових IoT-рішеннях, які застосовуються у розумних будинках або лабораторних установах.

Інтеграція зазначених принципів інформаційної безпеки сприяє підвищенню довіри користувачів до системи, істотно зменшує ризики несанкціонованого доступу й забезпечує можливість інтеграції рішень у складніші інфраструктури "розумного будинку", у межах яких взаємодіють численні пристрої з різним рівнем критичності.

Таким чином, впровадження комп'ютерної системи дистанційного керування на основі платформи Arduino із використанням Telegram-інтерфейсу сприяє подальшому розвитку концепції "розумного будинку". Цей підхід забезпечує зручний інструмент для моніторингу та управління побутовими пристроями, а також підвищує ефективність споживання енергоресурсів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. BANZI, Massimo; SHILOH, Michael. Getting started with Arduino: the open source electronics prototyping platform. Maker Media, Inc., 2022.
2. Arduino - Home. Arduino - Home. URL: <https://www.arduino.cc/> (date of access: 05.10.2025).
3. Telegram Bot API. Telegram APIs. URL: <https://core.telegram.org/bots/api> (date of access: 05.10.2025).
4. Monk S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches, Third Edition. McGraw-Hill Education, 2022.
5. Sai Sri Teja, G., Adhitya Venkata Sai, M., Revanth Chowdary, V., Aswin Kumer, S. V., Mohan, E., & Udayakumar, S. (2024, July). Smart home control using raspberry pi and telegram. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3075, No. 1, p. 020183). AIP Publishing LLC.

## **ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВЕБ-СЕРВІСІВ УПРАВЛІННЯ ПОЛІТИКАМИ БЕЗПЕКИ В КОРПОРАТИВНИХ СТРУКТУРАХ**

*Олійник С.О., науковий керівник Криворучко О.В.*

### **Анотація**

Сучасні корпоративні інформаційні системи постійно зростають за складністю, кількістю користувачів та обсягом оброблюваних даних. Це створює нові виклики для забезпечення інформаційної безпеки, адже ручне управління політиками безпеки стає неефективним і ризикованим. В умовах таких обмежень веб-сервіси управління політиками безпеки виступають як ключові інструменти автоматизації, підвищення продуктивності та надійності корпоративних систем. У цій роботі запропоновано комплексний підхід до оцінювання ефективності таких сервісів з урахуванням технічних, організаційних та безпекових показників. Проведено експериментальну перевірку прототипу веб-сервісу, результати якої демонструють високу ефективність застосованого підходу.

### **1. Вступ**

Забезпечення інформаційної безпеки є однією з основних задач ІТ-служб корпоративних структур. Зростання кількості користувачів та обсягу даних робить критично важливим застосування автоматизованих рішень для управління політиками безпеки. Веб-сервіси, які реалізують ці функції, повинні бути не лише ефективними, а й стійкими до збоїв, масштабованими та інтегрованими з сучасними стандартами кібербезпеки, такими як ISO/IEC 27001:2022 та NIST SP 800-53 Rev.5.

Мета цього дослідження – розробити підхід до комплексного оцінювання ефективності веб-сервісів управління політиками безпеки, який враховує як кількісні, так і якісні показники, що відображають технічну продуктивність, відмовостійкість, рівень автоматизації та відповідність стандартам безпеки.

### **2. Методичні засади оцінювання ефективності**

Ефективність веб-сервісів управління політиками безпеки визначається сукупністю кількох взаємопов'язаних характеристик:

Продуктивність – час обробки запитів, затримки доступу.

Відмовостійкість – здатність системи відновлювати роботу після збоїв.

Масштабованість – можливість обробки збільшеного навантаження.

Автоматизація управління політиками – зменшення ручного втручання.

Відповідність стандартам безпеки – ISO/IEC 27001:2022, NIST SP 800-53 Rev.5.

Для оцінювання ефективності використовується зважена модель:  $E = \sum(w_i * k_i)$  де  $w_i$  – ваговий коефіцієнт критерію,  $k_i$  – оцінка показника,  $n$  – кількість критеріїв. Такий підхід дозволяє інтегрувати різноманітні показники в єдину оцінку ефективності веб-сервісу.

### **3. Розробка та тестування прототипу**

Для практичної апробації розроблено прототип веб-сервісу управління політиками безпеки, що підтримує RBAC (Role-Based Access Control). Система реалізована з використанням Python Django Framework, REST API та PostgreSQL. Спрощена архітектура веб-сервісу наведена на рисунку 1:

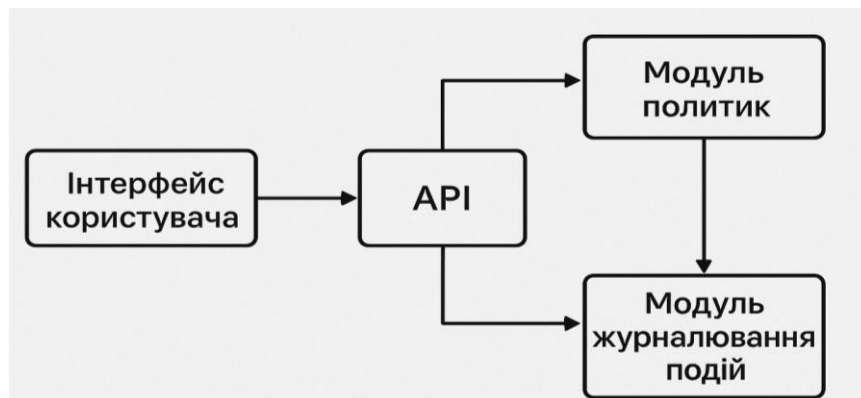


**Рис. 1.** Архітектура веб-сервісу управління політиками безпеки

Для оцінки продуктивності та надійності сервісу проведено навантажувальні випробування за допомогою Apache JMeter та OWASP ZAP. Результати тестування наведені у таблиці 1.

*Таблиця 1*

**Основні показники ефективності веб-сервісу**

| № | Параметр оцінювання              | Значення  | Оцінка (0–1) |
|---|----------------------------------|-----------|--------------|
| 1 | Середній час відповіді           | 0,41 с    | 0,96         |
| 2 | Відмовостійкість                 | 99,4 %    | 0,94         |
| 3 | Рівень автоматизації політик     | високий   | 0,9          |
| 4 | Відповідність стандартам безпеки | ISO 27001 | 0,88         |

Інтегральна оцінка ефективності  $E = 0,92$

#### 4. Висновки

Запропонований підхід до багатокритеріального оцінювання веб-сервісів управління політиками безпеки дозволяє комплексно враховувати технічні, організаційні та безпекові характеристики. Практична апробація прототипу показала високу ефективність ( $E = 0,92$ ), що підтверджує доцільність застосування методики у корпоративних структурах.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ISO/IEC 27001:2022. Information Security, Cybersecurity and Privacy Protection — Requirements. ISO, 2022.
2. NIST Special Publication 800-53 Rev. 5. Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations. NIST, 2020.
3. OWASP Foundation. OWASP Zed Attack Proxy (ZAP) – Documentation. 2024.
4. Rouse, M., & Anderson, J. Security Policy Management: Trends and Challenges in Enterprise Systems. Journal of Information Security Research, 2023.
5. Khan, S., & Gupta, R. Evaluating Cloud-Based Security Policy Enforcement Models. IEEE Access, 2022, Vol. 10, pp. 118452–118465.

**СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ КОНФІГУРАЦІЄЮ КОРПОРАТИВНОЇ МЕРЕЖІ З ІНТЕГРОВАНИМИ МЕХАНІЗМАМИ АУДИТУ БЕЗПЕКИ***Ануа О. В., науковий керівник Криворучко О. В.*

Сучасні корпоративні мережі стрімко ускладнюються, мають динамічну архітектуру та швидкі темпи змін конфігурацій, що породжує серйозні виклики для їхньої безпеки та стабільності. Управління конфігурацією є ключовим процесом забезпечення інформаційної безпеки, оскільки саме неконтрольовані зміни чи відхилення від еталонних налаштувань стають головними причинами збоїв, простоїв та, що найбільш загрозливо, появою вразливостей, які використовують кіберзлочинці. Тому розробка уніфікованої системи, яка логічно поєднує функціонал управління конфігурацією з безперервним аудитом безпеки, виступає як критично важлива науково-практична задача, успішне вирішення якої допоможе суттєво підвищити стійкість та захищеність критичної IT-інфраструктури.

Метою магістерської роботи є глибоке дослідження теоретичних засад та практичних аспектів управління конфігурацією корпоративних мереж, та на цій основі, розробка архітектури й основних механізмів інтегрованої системи, що здатна виявляти, фіксувати та коригувати відхилення конфігурацій, одночасно проводячи безперервний аудит безпеки. Для досягнення цієї мети визначено наступні основні завдання :

Провести ґрунтовний аналіз існуючих світових моделей, стандартів (ITIL, ISO/IEC 27001) та програмних інструментів управління конфігурацією (CM) та аудиту безпеки (SA), зокрема підходів, базованих на CMDB.

Вивчити специфічні вимоги міжнародних стандартів та національного законодавства в частині контролю за конфігураціями мережевих активів та їх відповідності затвердженим політикам безпеки.

Сформувати концептуальну модель інтегрованої системи, що поєднує управління конфігурацією та аудит, де центральним елементом буде єдина база даних управління конфігурацією (CMDB) як достовірне джерело даних про стан мережі.

Спроекувати універсальні алгоритми для автоматизованого збору актуальних конфігураційних даних, їх порівняння з еталонами та оперативного виявлення дрейфу конфігурації.

Розробити ключовий модуль інтегрованого аудиту, який здійснює оцінку відповідності (комплаєнс) конфігурацій вимогам безпеки та готує детальні аналітичні звіти для швидкого реагування.

Здійснити експериментальну апробацію розробленої системи на спеціально створеному тестовому полігоні корпоративної мережі для об'єктивної оцінки її ефективності, швидкості виявлення порушень та мінімізації впливу на мережеву продуктивність.

Наукова новизна роботи полягатиме у формулюванні методології інтеграції процесів управління конфігурацією та безперервного аудиту безпеки, що базується на єдиній CMDB-центричній архітектурі. Буде запропоновано формалізований підхід до визначення та зберігання правил безпеки як набору параметрів конфігурації всередині CMDB, що дасть змогу повністю автоматизувати процес безперервної перевірки відповідності (Continuous Compliance). Додатково планується вдосконалити алгоритми виявлення дрейфу конфігурації шляхом інтеграції додаткових, критично важливих, безпекових метрик, що значно підвищить чутливість системи до потенційних загроз і несанкціонованих дій.



Практична цінність дослідження – у можливості використання розробленої системи (або її окремих модулів) для відчутного підвищення рівня інформаційної безпеки у реальних корпоративних мережах. Впровадження цієї системи дозволить:

- знизити ризики, пов'язані з помилками персоналу та неавторизованими змінами, за допомогою автоматичного моніторингу та корекції дрейфу конфігурації;
- досягти та підтримувати відповідність вимогам національних та міжнародних стандартів (комплаєнс), спрощуючи підготовку до аудитів;
- різко скоротити час, необхідний для виявлення першопричин інцидентів безпеки, завдяки використанню достовірних, актуальних та історичних даних про конфігурації з CMDB;
- підвищити загальну ефективність роботи IT-служб та відділів безпеки через автоматизацію рутинних операцій з контролю конфігурацій.

За результатами виконання магістерської роботи очікується створення та обґрунтування комплексної моделі Системи управління конфігурацією корпоративної мережі з інтегрованими механізмами аудиту безпеки. Головним результатом має стати розробка архітектури CMDB-центричної системи, що виступає, надійним джерелом даних як для процесів управління змінами, так і для безпекового контролю. Планується розробити та математично обґрунтувати алгоритм автоматизованої оцінки комплаєнсу, який працюватиме на основі порівняння параметрів конфігурації мережевих активів із затвердженими профілями, сформованими відповідно до вимог ISO/IEC 27001 та галузевих норм. Буде реалізовано дієвий механізм виявлення та оповіщення про дрейф конфігурації у реальному часі, а також сформовано чіткі рекомендації для автоматичного відновлення безпечного стану. Очікується, що впровадження цієї системи дозволить підприємствам мінімізувати ризики, пов'язані з несанкціонованими змінами, та значно прискорити процес проведення аудитів безпеки. Фінальна апробація механізмів, запланована на віртуальному тестовому стенді, має підтвердити високі показники ефективності системи. Основний висновок роботи чітко засвідчить, що інтеграція функцій управління конфігурацією та аудиту безпеки на єдиній платформі є ключовим елементом підвищення загальної кіберстійкості IT-інфраструктури.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Міжнародний стандарт ISO/IEC 27001:2022 . Інформаційні технології. Методи захисту. Системи менеджменту інформаційної безпеки. Вимоги.
2. Al-Shibami H., Al-Busaidi H. A Proposed Model for Integrating Configuration Management Database (CMDB) with Information Security Governance. *International Journal of Computer Science and Network Security*. 2020. Vol. 20, № 4. P. 115–123.
3. Moorhouse, A., & P. Smith. *Cybersecurity and Configuration Management: Integrating CMDB and Security Operations*. Syngress, 2021. – 450 p.
4. Jones, R. *Continuous Compliance: Automated Security Auditing in Modern Networks*. TechPress, 2023. – 310 p.
5. Горошко С. В. Управління інформаційними ризиками в корпоративних мережах на основі системи управління конфігурацією. *Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Інформатика, управління та обчислювальна техніка»*. 2022. № 1. С. 45–52.

УДК 004.056:004.8

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ ТРАФІКУ ЗАСОБАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ**

*Шмиговатий В.А., науковий керівник Лахно В.А.*

На сьогоднішній день комп'ютерні мережі постійно ростуть: обсяги даних і кількість користувачів збільшуються шаленими темпами. Це, звісно, дуже ускладнює моніторинг того, що взагалі відбувається в мережі.

Важливо вчасно помічати аномальну поведінку у трафіку. Це будь-які події, які "вибиваються" із "нормального" режиму роботи системи. Коли з'являються такі аномалії, це може бути першим дзвіночком про потенційну проблему: чи то хтось намагається влізти (вторгнення), чи отримав несанкціонований доступ, чи мережа "лежить" через DDoS-атаку, або ж просто зламалося мережеве обладнання.

Традиційні системи виявлення аномалій, засновані на сигнатурних або евристичних методах, не завжди забезпечують належну точність в умовах сучасних мереж. Тому на мою думку, важливим є використання методів машинного навчання (ML), які здатні автоматично аналізувати великі обсяги даних, формувати моделі «нормальної» поведінки та виявляти відхилення у режимі реального часу.

Метою дослідження є всебічна оцінка ефективності та порівняльний аналіз різних парадигм і методів машинного навчання для високоточного та швидкого виявлення аномалій у мережевому трафіку.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

- Сформувати репрезентативний набір даних, що містить як нормальні, так і аномальні патерни трафіку;
- Виконати попередню обробку та нормалізацію сирих даних;
- Навчити різні моделі машинного навчання, що належать до категорій класифікації, кластеризації та глибинного навчання;
- Провести оцінку ефективності моделей за метриками точності, повноти та швидкодії;
- Здійснити порівняльний аналіз результатів та розробити рекомендації щодо застосування оптимального гібридного підходу.

У рамках дослідження буде розглянуто широкий спектр алгоритмів, які відносяться до різних напрямків до виявлення аномалій у мережевому трафіку

| Категорія ML                      | Алгоритми                                       | Призначення в контексті мереж                                                                                                                           |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Кластеризація (Unsupervised)      | K-Means, DBSCAN                                 | Виявлення раніше невідомих аномалій шляхом групування схожих за характеристиками мережевих сесій; аномалії є викидами (outliers) або малими кластерами. |
| Класифікація (Supervised)         | Random Forest, Support Vector Machine (SVM)     | Ідентифікація відомих типів атак і відхилень на основі маркованих даних.                                                                                |
| Глибинне навчання (Deep Learning) | Autoencoder (AE), Long Short-Term Memory (LSTM) | Аналіз складних, нелінійних залежностей та часових послідовностей трафіку.                                                                              |

Щоб гарантувати достовірність і мати змогу порівняти наші результати з іншими, ми будемо використовувати відкриті та загальноприйняті датасети, а саме NSL-KDD та CICIDS2017. CICIDS2017 кращий, бо він новіший і включає реалістичні приклади атак

(DoS, DDoS, Patator різних типів тощо). Тобто, ми зможемо реально оцінити, наскільки якісно моделі працюють проти актуальних загроз.

Загалом, ми сподіваємося, що після аналізу зможемо назвати найкращі алгоритми (та їхні поєднання) — ті, що мають ідеальну пропорцію точності та швидкодії для знаходження аномалій. Наші висновки стануть базою для створення інтелектуальних систем, які самі підлаштовуються під ситуацію і роблять кіберзахист ефективнішим.

Важливо, що наші висновки — це не просто чиста теорія, вони мають реальне практичне значення. На їх основі можна будувати системи для державних структур, операторів зв'язку та великих компаній. Ці системи зможуть "ловити" дивну активність користувачів, блокувати можливі атаки і захищати від витоку даних. Коли такі системи запуснуть, це сильно підвищить стійкість усієї інфраструктури, що критично важливо для тих ресурсів, які не можна втратити.

Окрім цього, цілком логічно було б спрямувати подальшу роботу на застосування технологій штучного інтелекту (AI) та нейромереж. Це відкриє можливість створювати системи з елементами самонавчання та прогнозування поведінки. Ключові напрямки тут — це інкрементальне навчання (моделі, які оновлюються на ходу, без потреби у повному перезапуску) та федеративне навчання, що дозволяє обмінюватися інформацією між вузлами, зберігаючи конфіденційність.

Таким чином, висновки нашої роботи – це, по суті, фундамент для створення нових систем виявлення вторгнень. У них машинне навчання (ML) буде не просто якоюсь там "допоміжною штукаю", а ключовим елементом усієї архітектури кіберзахисту. Це відкриває шлях до повної автоматизації моніторингу, зниження ризиків і забезпечення безперебійної роботи наших систем навіть тоді, коли кількість загроз постійно росте.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly detection: A survey // ACM Computing Surveys. – 2009. – Vol. 41, No. 3. – P. 1–58.
2. Tavallaee M., Bagheri E., Lu W., Ghorbani A. A detailed analysis of the KDD CUP 99 data set // IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defense Applications. – 2009. – P. 1–6.
3. Sharafaldin I., Lashkari A. H., Ghorbani A. A. Toward generating a new intrusion detection dataset and intrusion traffic characterization // Proceedings of the 4th International Conference on Information Systems Security and Privacy (ICISSP). – 2018. – P. 108–116.
4. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – Cambridge, MA: MIT Press, 2016. – 800 p.
5. Дудик М. А., Коломієць В. С. Методи машинного навчання у виявленні аномалій у мережевому трафіку // Наукові праці Одеського національного політехнічного університету. – 2022. – № 2(64). – С. 45–52.

УДК 004.056.55  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ КРИПТОГРАФІЧНИХ МЕТОДІВ У  
КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ**

*Ворчак А. Ю., науковий керівник Криворучко О. В.*

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій супроводжується постійним зростанням обсягів даних, що обробляються, передаються та зберігаються у комп'ютерних системах. Паралельно з цим спостерігається інтенсивне збільшення кількості та складності кіберзагроз. У таких умовах захист інформації набуває стратегічного значення, а криптографічні методи виступають основним інструментом забезпечення конфіденційності, цілісності та автентичності даних.

Надійність криптографічних систем визначається сукупністю чинників: математичною стійкістю алгоритмів, якістю генерації ключів, безпечністю протоколів обміну, а також правильністю програмної реалізації. Навіть найефективніші алгоритми можуть виявитися вразливими за наявності недоліків у реалізації чи управлінні ключами. Саме тому питання оцінки надійності криптографічних методів є одним із ключових у галузі інформаційної безпеки.

На сьогодні найбільш поширеними є симетричні алгоритми (AES, Twofish, Serpent), асиметричні методи (RSA, ElGamal, ECC), а також криптографічні геш-функції (SHA-2, SHA-3, BLAKE). Вибір конкретного методу залежить від типу задачі, вимог до продуктивності системи та рівня безпеки. Проте кожен із цих підходів має свої потенційні уразливості: симетричні методи вразливі до атак підбору ключів, асиметричні — до факторизаційних атак, а геш-функції — до колізій.

Метою даної роботи є комплексне дослідження надійності криптографічних методів у комп'ютерних системах та розроблення підходів до їх порівняльної оцінки.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

- здійснити класифікацію криптографічних методів за типами, принципами побудови та областями застосування;
- провести аналіз сучасних алгоритмів із позиції криптостійкості, обчислювальної складності та енергоспоживання;
- визначити критерії оцінки надійності, серед яких: довжина ключа, ентропія, час шифрування/дешифрування, стійкість до типових атак (brute-force, side-channel, differential);
- дослідити вплив апаратних і програмних реалізацій на ефективність роботи криптосистем;
- розробити методику порівняльної оцінки надійності та побудувати узагальнену таблицю характеристик алгоритмів.

Особливу увагу планується приділити впливу параметрів алгоритмів на рівень безпеки та швидкодії. Наприклад, зменшення довжини ключа призводить до зниження криптостійкості, тоді як надмірне її збільшення може знизити ефективність роботи системи. Оптимальний баланс між безпекою та продуктивністю є одним з головних критеріїв надійності.

Важливо також враховувати реальні умови функціонування комп'ютерних систем. Навіть теоретично стійкі алгоритми можуть бути зламані через людський фактор або через побічні канали — аналіз електромагнітного випромінювання, часу виконання операцій чи споживання енергії. Тому дослідження надійності має включати не лише математичну, а й практичну складову — моделювання типових сценаріїв атак і тестування стійкості реалізацій.

На основі отриманих результатів планується сформулювати рекомендації щодо підвищення ефективності використання криптографічних методів у комп'ютерних

системах різного рівня критичності — від персональних пристроїв до корпоративних мережових інфраструктур.

#### **Висновки.**

Проблема забезпечення надійності криптографічних методів залишається актуальною у зв'язку зі зростанням обсягів даних та розвитком нових типів атак. Системний підхід до оцінки криптостійкості дозволяє не лише порівняти ефективність існуючих алгоритмів, але й виявити напрями їх удосконалення. Подальше дослідження в цьому напрямі сприятиме підвищенню рівня інформаційної безпеки та формуванню практичних рекомендацій для розробників і користувачів захищених комп'ютерних систем.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:**

1. Menezes A. J., van Oorschot P. C., Vanstone S. A. Handbook of Applied Cryptography. – CRC Press, 2018.
2. Stallings W. Cryptography and Network Security: Principles and Practice. – Pearson, 2023.
3. NIST. Recommendation for Key Management, Part 1: General. – SP 800-57, Rev. 5, 2020.

УДК 004.056:004.75

**ВИКОРИСТАННЯ CIS KUBERNETES BENCHMARK ЯК ІНСТРУМЕНТУ  
ЗАПОБІГАННЯ РЕАЛЬНИМ КІБЕРІНЦИДЕНТАМ У КОНТЕЙНЕРНИХ  
СЕРЕДОВИЩАХ**

*Кривобок О.О., Науковий керівник Лахно В.А.*

У сучасних корпоративних інфраструктурах Kubernetes став індустріальним стандартом для управління контейнерними робочими навантаженнями. Однак налаштування «за замовчуванням» містить численні вразливості, що створює значні ризики безпеки. Дослідження показують, що

90% усіх хмарних інцидентів пов'язані з неправильною конфігурацією. Ці проблеми, зокрема вразливі API-сервер, kubelet та etcd, можуть надати зловмиснику повний контроль над кластером.

CIS Kubernetes Benchmark пропонує стандартизований набір рекомендацій для зміцнення захисту кластера, охоплюючи як налаштування хост-системи, так і самого Kubernetes. Практичне застосування цих рекомендацій набуває особливої важливості у контексті реальних атак. Наприклад, неправильно налаштований API kubelet може бути експлуатований для підключення до ноди без перевірки TLS, що дає змогу зловмиснику отримати контроль над контейнерами. Крім того, неконтрольований доступ до Secrets та надмірні права cluster-admin є основними векторами атак. Так, відомий інцидент із компанією Tesla був спричинений викриттям облікових даних через незахищений Kubernetes Dashboard, що надало доступ до критичних даних.

Висновки та статистика звітів про безпеку Kubernetes від Red Hat та Palo Alto Networks підтверджують, що крадіжка токенів service account, доступ до kubelet та розкриття секретів є найпоширенішими векторами компрометації. Більше того, відсутність журналів аудиту (Audit logs) робить неможливим відстеження активності атакуючого, дозволяючи йому залишатися непоміченим. У свою чергу, уразливості середнього ризику, такі як використання анонімної авторизації, можуть призвести до серйозних наслідків, як це сталося з уразливістю ArgoCD (CVE-2022-29165), що дозволила неавторизованим користувачам видавати себе за адміністраторів.

Застосування інструментів, таких як kube-bench, дозволяє значно зменшити кількість вразливостей і забезпечує більш надійну основу для корпоративних контейнерних середовищ. Наше дослідження підтверджує, що ігнорування стандартних практик захисту призводить до реальних інцидентів, які можуть мати серйозні фінансові та репутаційні наслідки.

Як показано в таблиці нижче, вразливості, виявлені CIS Benchmark, є основними векторами атак, що використовуються зловмисниками.

*Таблиця 1.*

**Приклади проблем безпеки Kubernetes згідно з CIS Benchmark та пов'язаних  
векторів атак**

| Категорія ризику | Проблема безпеки (згідно з CIS Benchmark)       | Реальний інцидент / Вектор атаки                            |
|------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Критичний        | Не налаштований --kubelet-certificate-authority | Атака на відкриті ендпоінти Kubelet                         |
| Критичний        | Використання cluster-admin без потреби          | Вразливість "Chaotic Deputy" у Chaos Mesh (CVE-2023-4523)   |
| Критичний        | Доступ до Secrets занадто широкий               | Інцидент з компанією Tesla, де були викриті AWS-креденціали |

| Категорія ризику | Проблема безпеки (згідно з CIS Benchmark) | Реальний інцидент / Вектор атаки                                             |
|------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Критичний        | Не налаштовані Audit logs                 | Атаки залишаються непоміченими, що ускладнює реагування та forensic-аналіз   |
| Середній         | --anonymous-auth=true                     | Уразливість ArgoCD (CVE-2022-29165)                                          |
| Середній         | Відсутність NetworkPolicies               | Lateral movement (горизонтальне переміщення) після компрометації одного пода |
| Середній         | Використання Privileged контейнерів       | Вразливість "Leaky Vessels" (CVE-2024-21626) та інші container escape        |

```
vboxuser@test:~$ sudo docker run --pid=host -v /etc:/etc:ro -v /var:/var:ro -t aquasec/kube-bench:latest --v
ersion 1.18
```

```
== Summary total ==
64 checks PASS
12 checks FAIL
57 checks WARN
0 checks INFO
```

**Рис. 1** Запуск Kube-Bench та результат по скануванню на чистому Kubernetes кластері

### Висновок

Впровадження CIS Kubernetes Benchmark є системним підходом до підвищення безпеки. У поєднанні з автоматизованими інструментами перевірки, це дозволяє значно зменшити кількість вразливостей і створити надійну основу для захисту контейнерних середовищ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rancher. RKE2 Hardening Guide. [https://docs.rke2.io/security/hardening\\_guide](https://docs.rke2.io/security/hardening_guide)
2. Center for Internet Security. CIS Kubernetes Benchmark. <https://www.cisecurity.org/benchmark/kubernetes>
3. Rancher. Pod Security Standards. [https://docs.rke2.io/security/pod\\_security\\_standards](https://docs.rke2.io/security/pod_security_standards)
4. Aqua Security. kube-bench. <https://github.com/aquasecurity/kube-bench>

УДК 004.056:004.75  
**ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ У KUBERNETES-  
КЛАСТЕРАХ**

*Кривобок О.О., науковий керівник Лахно В.А.*

Kubernetes є стандартною платформою для оркестрації контейнерів, що забезпечує масштабування, автоматизацію розгортання та управління сервісами у хмарних середовищах. Водночас складність архітектури та взаємозв'язок компонентів підвищують потенційні ризики безпеки. Некоректні конфігурації API-сервера, Kubelet або etcd, надмірні права користувачів і сервісних облікових записів, а також використання образів із відомими вразливостями (CVE) створюють умови для потенційних кіберінцидентів.

Реальні інциденти підтверджують критичність проблем. Невірно налаштований kubelet може дозволити підключення до ноди без TLS, а відкритий Kubernetes Dashboard надає доступ до критичних даних, як сталося у Tesla. Надмірні права cluster-admin, неконтрольований доступ до секретів та крадіжка токенів service account залишаються основними векторами компрометації. Відсутність системного аудиту ускладнює моніторинг активності та проведення forensic-аналізу, а анонімна автентифікація або вразливості середнього рівня (наприклад, ArgoCD CVE-2022-29165) дозволяють неавторизованим користувачам отримати адміністративні права.

Для мінімізації цих ризиків застосовуються практичні заходи, що базуються на методологіях кіберзахисту та рекомендаціях CIS Kubernetes Benchmark. До них належать обмеження прав через RBAC, ведення аудиту API Server, контроль ресурсів та мережевої ізоляції за допомогою ResourceQuotas і NetworkPolicies.

Контроль доступу на основі ролей (RBAC) дозволяє реалізувати принцип мінімальних привілеїв, надаючи обліковим записам лише необхідні для виконання функцій ресурси:

```
apiVersion: rbac.authorization.k8s.io/v1
kind: Role
metadata:
  namespace: production
  name: secret-reader
rules:
- apiGroups: [""]
  resources: ["secrets"]
  verbs: ["get","list"]
---
apiVersion: rbac.authorization.k8s.io/v1
kind: RoleBinding
metadata:
  name: read-secrets-binding
  namespace: production
subjects:
- kind: ServiceAccount
  name: app-service
  namespace: production
roleRef:
  kind: Role
  name: secret-reader
```



```
apiGroup: rbac.authorization.k8s.io
```

Ізоляцію контейнерів забезпечують ResourceQuotas та NetworkPolicies, що обмежують використання обчислювальних ресурсів і регламентують мережеву взаємодію між подами:

```
apiVersion: v1
kind: ResourceQuota
metadata:
  name: pod-quota
  namespace: production
spec:
  hard:
    requests.cpu: "4"
    requests.memory: 8Gi
    limits.cpu: "8"
    limits.memory: 16Gi
```

---

```
apiVersion: networking.k8s.io/v1
kind: NetworkPolicy
metadata:
  name: deny-all
  namespace: production
spec:
  podSelector: {}
  policyTypes: ["Ingress", "Egress"]
```

Регулярне оновлення компонентів та автоматизована перевірка конфігурацій за допомогою kube-bench підтримують відповідність CIS Kubernetes Benchmark, знижуючи вразливості та створюючи надійне середовище.

**Висновки.** Безпечна експлуатація Kubernetes потребує комплексного підходу: контроль доступу на основі ролей, налаштування ключових компонентів, ведення аудиту, обмеження ресурсів і мережевої ізоляції. Реальні інциденти демонструють, що ігнорування таких практик може призвести до серйозних фінансових і репутаційних втрат. Використання стандартів CIS Kubernetes Benchmark і регулярна перевірка конфігурацій допомагають знизити вразливості та забезпечити стабільність і надійність контейнерних середовищ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Center for Internet Security (CIS) Kubernetes Benchmark. <https://www.cisecurity.org/benchmark/kubernetes>
2. Офіційна документація Kubernetes. <https://kubernetes.io/docs/home/>
3. Aqua Security. kube-bench. <https://github.com/aquasecurity/kube-bench>
4. Звіт про вразливість ArgoCD (CVE-2022-29165). <https://nvd.nist.gov/vuln/detail/CVE-2022-29165>
5. Аналіз інциденту з Tesla. <https://www.bbc.com/news/technology-43140005>

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
ПОЛЬОТУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ***Перепелиця Д.Ю., науковий керівник Нікітенко Є.В.*

В сучасних умовах енергоефективність залишається одним із ключових викликів для безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Це зумовлено обмеженістю доступних джерел живлення, необхідністю координувати велику кількість апаратів (ЛА) та значним впливом зовнішніх чинників на витрати енергії. Переважна більшість БПЛА використовує літій-іонні акумулятори, які мають обмежений запас ємності. Для збільшення тривалості роботи апарата необхідна ретельна оптимізація енергоспоживання на всіх фазах виконання місії: від зльоту та безпосередньо польоту до виконання завдань і посадки. Зниженню енерговитрат сприяє інтеграція енергоефективних рішень, таких як полегшені конструкційні матеріали, двигуни з високим ККД та вдосконалена аеродинаміка.

Перевага ройових систем полягає у їхній здатності виконувати завдання, що є неможливими або неефективними для поодиноких апаратів. Ключовими причинами їх використання є масштабованість - здатність швидко та паралельно обробляти великі території - та підвищена стійкість. На відміну від одиночної місії, у рої вихід з ладу одного чи кількох апаратів не призводить до повного провалу завдання, оскільки система здатна адаптуватися та перерозподілити навантаження. Такий підхід забезпечує не лише вищу ефективність, але й значно більшу надійність та гнучкість при виконанні складних операцій, таких як пошук, моніторинг або логістика в динамічних середовищах.

Робота БПЛА у складі ройових систем вимагає високого рівня узгодженості дій між окремими апаратами для ефективного виконання спільних завдань. Кожен ЛА в рої змушений постійно взаємодіяти з іншими для обміну інформацією та колективного прийняття рішень. Це створює суттєве навантаження на комунікаційні системи і, як наслідок, призводить до збільшення споживання енергії. Застосування децентралізованих систем управління у поєднанні з оптимізованими алгоритмами координації може допомогти скоротити ці витрати.

Децентралізовані підходи до управління дають змогу знизити навантаження на окремі ЛА, забезпечуючи при цьому вищу гнучкість та ефективність координації рою. Алгоритми, що дозволяють приймати рішення автономно на основі локальної інформації, зменшують потребу в інтенсивному обміні даними і таким чином знижують енергоспоживання. Разом з адаптивними алгоритмами управління, ЛА отримують можливість реагувати на зміни у навколишньому середовищі, коригуючи свою поведінку для економії енергії. Наприклад, кожен апарат може самостійно аналізувати поточні умови вітру, щоб використовувати їх для мінімізації опору.

Впровадження новітніх технологій у сфері зберігання енергії, зокрема суперконденсаторів або акумуляторів з високою енергетичною щільністю, здатне значно покращити показники енергоефективності ЛА. Використання таких систем дає змогу не лише подовжити час польоту, але й зменшити вплив зовнішніх умов на загальне енергоспоживання.

Суперконденсатори (або ультраконденсатори) є електрохімічними пристроями, здатними накопичувати значні обсяги енергії та дуже швидко її віддавати. Вони вирізняються високою питомою потужністю, що забезпечує швидкі цикли заряду-розряду, і це робить їх ідеальними для забезпечення живлення під час короточасних пікових навантажень. Суперконденсатори також характеризуються тривалим терміном експлуатації, витримуючи значно більшу кількість циклів перезарядки порівняно з традиційними батареями, та потребують мінімального обслуговування.

Варто також відзначити розробку нових типів літій-іонних батарей, що мають покращені показники енергетичної щільності та безпеки. Наприклад, у твердотільних літій-іонних акумуляторах рідкий електроліт замінено на твердий, що суттєво підвищує їхню експлуатаційну безпеку та стабільність. Вони також володіють вищою щільністю енергії, дозволяючи зберігати більший її обсяг у тому ж фізичному розмірі, що безпосередньо збільшує час польоту ЛА.

Ще однією перспективною розробкою є літій-сірчані батареї. Вони мають потенціал забезпечити вищу енергетичну щільність, ніж класичні літій-іонні. Використання сірки як катодного матеріалу дає змогу досягти значно вищої ємності, що потенційно може кардинально подовжити тривалість польоту безпілотних апаратів.

Технологія водневих паливних елементів також активно розглядається як один із дієвих способів підвищення енергоефективності БПЛА. Завдяки високій енергетичній щільності водню, такі елементи можуть забезпечити дуже тривалий час перебування у повітрі. Вони генерують електроенергію внаслідок реакції водню з киснем, при цьому єдиним побічним продуктом є вода, що робить їх екологічно чистим рішенням.

Застосування гібридних енергосистем, що поєднують різні типи джерел живлення, також може бути ефективним рішенням для покращення енергоефективності. Наприклад, комбінація літій-іонних батарей та суперконденсаторів дозволяє оптимізувати витрати енергії: суперконденсатори покривають пікові навантаження, що вимагають швидкої віддачі потужності, тоді як батареї забезпечують стабільне живлення протягом тривалого часу.

Енергоефективність є критично важливим аспектом для успішного функціонування ройових систем БПЛА. Розуміння існуючих викликів та розробка ефективних методів для їх подолання є ключовими кроками на шляху до покращення продуктивності та надійності таких систем. Оптимізація траєкторій польоту, використання енергоощадних технологій, децентралізовані системи управління, адаптивні алгоритми та енергоефективні протоколи зв'язку - всі ці заходи сприяють зниженню енергоспоживання та підвищенню загальної ефективності БПЛА у ройових системах. Подальші дослідження та впровадження інноваційних технологій допоможуть забезпечити сталий розвиток та успіх ройових систем БПЛА у різноманітних сферах застосування.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Iqbal M. M. et al. Motion Planning of UAV Swarm: Recent Challenges and Approaches. [Електронний ресурс]. (2022). // Aeronautics - New Advances [Working Title]. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.5772/intechopen.106270>
2. Phadke A., Medrano F. A. Towards Resilient UAV Swarms – A Breakdown of Resiliency Requirements in UAV Swarms. [Електронний ресурс]. (2022). // Drones. Vol. 6, no. 11. P. 340. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.3390/drones6110340>

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕЗИЛЬНОСТІ МЕРЕЖІ НА ПРИКЛАДНОМУ РІВНІ ЗА ДОПОМОГОЮ WEB APPLICATION FIREWALL***Лукашенко, Д.Ю. науковий керівник Коваленко О. Є.*

В умовах цифровізації суспільства інформаційно-комунікаційні мережі набувають статусу критичної інфраструктури, від стійкості та надійності якої залежить безперервне функціонування державних, фінансових і бізнес-процесів. Зростання кіберзагроз та підвищена залежність користувачів від мережевих сервісів потребують переходу до концепції проектування мереж, орієнтованої не лише на безпеку, а й на резильєнтність — здатність системи протистояти атакам, швидко відновлюватися після збоїв і забезпечувати безперервність критичних послуг.

З огляду на актуальність концепції резильєнтності, дана робота зосереджується на її забезпеченні на прикладному рівні (L7) моделі OSI. На відміну від нижчих рівнів (L1–L4), де стійкість досягається завдяки дублюванню обладнання, резервуванню каналів і мережевим протоколам захисту, прикладний рівень залишається найбільш динамічним і вразливим. Його складність зумовлена постійною еволюцією веб-додатків, використанням мікросервісної архітектури та широким застосуванням API.

Сучасні атаки дедалі частіше націлені саме на цей рівень, адже зловмисники використовують логічні помилки в коді, які обходять класичні мережеві механізми безпеки. Тому забезпечення резильєнтності на L7 вимагає спеціалізованих засобів захисту, здатних аналізувати поведінку веб-додатків і структуру трафіку. У межах даної роботи як ключовий інструмент підвищення резильєнтності досліджується Web Application Firewall (WAF), що забезпечує захист від актуальних загроз та сприяє підтримці безперервної роботи веб-сервісів.

Для підвищення резильєнтності мережі на прикладному рівні застосовується брандмауер веб-додатків (WAF) – спеціалізоване рішення, яке розгортається перед веб-додатками (зазвичай у режимі зворотного проксі) та аналізує двонаправлений HTTP/HTTPS-трафік. WAF здатний виявляти та блокувати спроби SQL-ін'єкцій, XSS-атак, cookie poisoning, path traversal тощо. [1]

WAF не є остаточним або самодостатнім рішенням безпеки. Його ефективність значно зростає в поєднанні з іншими засобами захисту, зокрема NGFW і IPS [1][3]. Проте саме WAF забезпечує глибокий аналіз запитів на рівні HTTP/HTTPS, що є критично важливим для своєчасного реагування на загрози, які інші засоби можуть пропустити.

WAF-рішення на ринку поділяються на дві основні категорії: комерційні (Enterprise-level) та open-source (відкриті). Комерційні рішення (від таких вендорів, як Imperva, Akamai, F5) пропонують повністю керовані платформи, що включають розширений захист від DDoS, автоматичне оновлення правил, глибоку інтеграцію з іншими компонентами безпеки та аналіз трафіку за допомогою штучного інтелекту. Недоліком є висока вартість і складність впровадження.

Водночас відкриті рішення, такі як ModSecurity, NAXSI, Coraza та open-appsec, є безкоштовними та пропонують високий рівень кастомізації. Саме серед відкритих рішень було проведено аналіз для вибору оптимального інструменту для дослідження, зосередженого на ефективності новітніх адаптивних технологій. У більшості WAF-рішень, що представлені на ринку, використовується оболонка ModSecurity та набір сигнатур і політик від OWASP – OWASP CRS. При виборі WAF та оцінці його ефективності критично важливими є два основні параметри: Security Quality (True Positive Rate) та Detection Quality (False Positive Rate). Аналіз показника Якості безпеки (True Positive Rate, TPR) — здатності WAF блокувати шкідливі запити — підтверджує високу ефективність ML-підходу. open-appsec досяг одного з найвищих показників TPR

– 99.368% з налаштуваннями за замовчуванням. Цей результат є лідерським, що свідчить про високу здатність ML-моделі протидіяти навіть відомим та давно опублікованим векторам атак. Водночас, деякі інші WAF-рішення, як-от Imperva Cloud WAF, продемонстрували вкрай низьку якість захисту (лише 11.97% TPR), що підкреслює ризик використання рішень, які не забезпечують постійної адаптації до загроз[5]

Аналіз показнику Якості виявлення (Detection Quality) — здатності WAF пропускати легітимні запити — є критично важливим для забезпечення безперебійної роботи системи. Рішення open-appsec у профілі Critical показало низький показник хибних спрацювань (FPR) – 0.81%. Хоча деякі WAF, як Imperva чи Cloudflare, досягли ще нижчих значень FPR, інші рішення (наприклад, Microsoft Azure WAF із 54.242%) демонстрували вкрай високі показники хибних спрацювань, що ускладнює їхнє застосування в реальних робочих середовищах. [5]

Для цілісної оцінки ефективності використовується показник Збалансованої Точності (BA), який є середнім арифметичним між TPR та TNR, забезпечуючи об'єктивну оцінку продуктивності з урахуванням як захисту, так і відсутності хибних спрацювань. Аналіз показника збалансованої точності підтвердив лідерство open-appsec серед усіх протестованих рішень. За цим критерієм open-appsec WAF у профілі Critical очолив рейтинг з результатом 99.139%, що свідчить про оптимальний баланс між високою якістю захисту та мінімальною кількістю хибних спрацювань. [5]



**Рис. 1** Взаємозв'язок між Security Quality та Detection Quality

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Why do I need a Web Application Firewall (WAF) to protect my website when I have a Next Generation Firewall (NGFW) already in place? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.linkedin.com/pulse/why-do-i-need-web-application-firewall-waf-protect-my-website> - Дата звернення 06.04.2025
2. Gartner. Magic Quadrant for Web Application Firewalls [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.gartner.com/en/documents/4004701> – Дата звернення: 06.04.2025.
3. Gartner. Magic Quadrant for Web Application Firewalls [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.gartner.com/en/documents/3991674> – Дата звернення: 06.04.2025.

4. Imperva. Cyber Threat Index [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.imperva.com/resources/resource-library/reports/cyber-threat-index/> – Дата звернення: 06.04.2025.
5. Check Point Software Technologies. Open-appsec Documentation [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу: <https://openappsec.io/docs/> – Дата звернення: 06.04.2025.

## SECTION 4 COMPUTER SYSTEMS: INTERNET OF THINGS, BUILT-IN SYSTEMS, ARCHITECTURE PLATFORMS / СЕКЦІЯ 4. КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ: ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ, АРХІТЕКТУРНІ ПЛАТФОРМИ

УДК 004.85:662.63

### МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ БІОМАТЕРІАЛУ ДЛЯ ЗБРОДЖУВАННЯ В БІОГАЗОВІЙ УСТАНОВЦІ

*Павлов С. Г., Лисенко В. П., Лендєл Т. І., Наконечна К.В.*

Традиційний моніторинг якості біоматеріалу для зброджування в біогазових установок (БУ) є неоперативним і не дозволяє швидко реагувати на зміни в якості сировини або параметрах процесу, що ставить під загрозу стабільність та продуктивність анаеробного зброджування (АЗ)[1]. Було розроблено та експериментально перевірено інтелектуальну систему автоматизованого моніторингу та прогнозування ефективності БУ. Система поєднує технології Інтернету речей (IoT) [2], комп'ютерного зору (КЗ) [1] та адаптивного машинного навчання (МН) [1] на базі хмарної інфраструктури Amazon Web Services (AWS) [1]. Реалізація адаптивного механізму донавчання моделей МН на реальних експлуатаційних даних, підтверджених оператором. Це забезпечує безперервне самовдосконалення системи та підвищення точності прогнозів з часом. Збір даних здійснювався за допомогою IoT-модуля на базі ESP32 з давачем температури та камерою [2,5]. Аналіз даних КЗ для оцінки якості субстрату та ансамбль моделей МН для прогнозу виходу біогазу реалізовано в безсерверному хмарному середовищі AWS. Спрощена архітектурна схема приведена на рисунку.

В якості Апаратного та Хмарного Комплексу (IoT + AWS) використано ESP32 для керування та збору даних з високоточних давачів температури DS18B20 та фотомодуля OV2640 [2]. Для підвищення надійності зв'язку реалізовано механізм буферизації даних. Для забезпечення масштабованості та надійності архітектура розробки побудована на керованих сервісах:

- AWS IoT Core та API Gateway — шлюзи для прийому даних телеметрії (MQTT) та зображень (HTTPS POST) відповідно [4];
- Amazon S3 — центральне об'єктне сховище ("Озеро даних") для "сирих" даних та навчених моделей [4];
- AWS Fargate — безсерверне обчислювальне середовище для запуску контейнеризованих завдань аналізу даних та перенавчання моделей [4];
- AWS DynamoDB — NoSQL база даних для зберігання структурованих результатів аналізу, прогнозів та маркерів донавчання [4].

Підсистема оцінювання складається з модулів комп'ютерного зору та прогнозування. Для аналізу зображень була використана попередньо навчена модель на дата-сеті специфічних зображеннях матеріалу для збродження, зроблених на полігоні для зберігання біоматеріалу. Перед подачею в модель зображення, проводився конвеєр попередньої обробки, що включає корекцію освітлення методом CLAHE [3], переведення в градацію сірого, видалення відблисків та нормалізацію. Модель виконує багато-задачне навчання, одночасно визначаючи аномалії кольору та загальну якість поверхні субстрату [3].

Модуль прогнозування підсистеми оцінювання, використовує ансамбль з моделей для передбачення виходу біогазу: градієнтний бустинг (XGBoost)[1] для врахування складних нелінійних залежностей, рекурентну нейронну мережу (LSTM) [1] для аналізу часових трендів як даних та лінійну регресію як базову модель. Фінальний прогноз

отримували шляхом зваженого усереднення результатів кожної моделі, що підвищує його стійкість та точність.

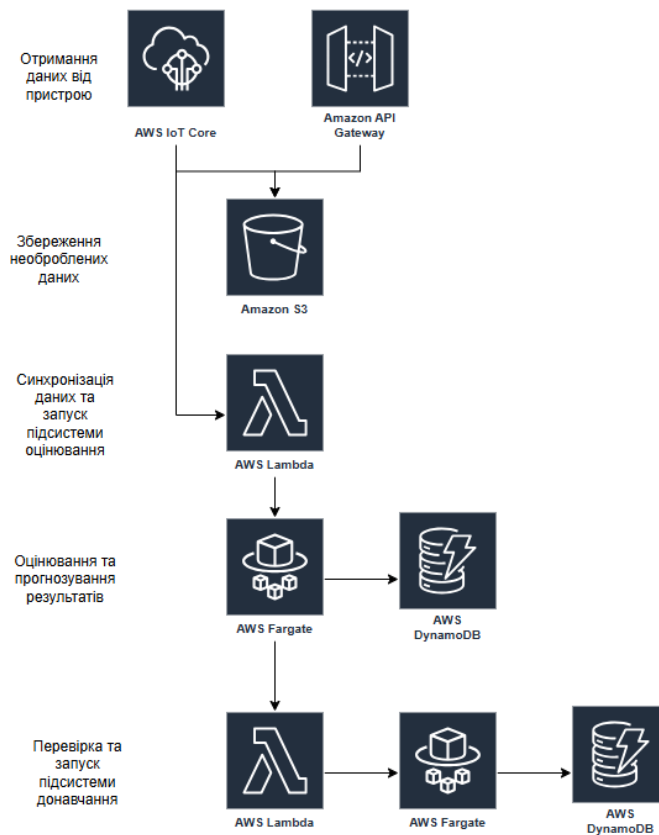


**Рис. 1** Спрощена схема архітектури системи

На основі результатів аналізу, система генерації рекомендацій, що працює на основі набору продукційних правил, формує поради для оператора. Правила враховують відхилення температури від оптимального діапазону, прогнозоване падіння продуктивності, візуальні індикатори проблем та довгострокові тренди. Рекомендації автоматично категоризуються за пріоритетом - критичні, важливі, інформаційні.

Дослідження успішно продемонструвало ефективність гібридного підходу для експрес-оцінки якості сировини. Ключова новизна полягає у використанні функції бажаності Харінгтона для створення операційно значущого індексу якості. Практичне застосування: розроблена система може бути реалізована як інструмент підтримки прийняття рішень для генерації "паспорта якості" сировини в режимі реального часу. Це дозволить оперативно - обробляти партії сировини, коригувати рецептуру (змішування сировини різної якості) та приймати рішення щодо попередньої обробки.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лисенко, В., Лендел, Т., & Павлов, С. (2023). Аналіз алгоритмів машинного навчання для прогнозування виходу біогазу. *Енергетика і автоматика*, 3, 100–111. [https://doi.org/10.31548/energiya3\(67\).2023.100](https://doi.org/10.31548/energiya3(67).2023.100)
2. Lysenko, V., Lendiel, T., Bolbot, I., & Pavlov, S. (2023). Mobile system for monitoring plant environment parameters for biogas production. *Machinery & Energetics*, 14(4), 111–120. <https://doi.org/10.31548/machinery/4.2023.111>
3. Lysenko, V., Lendiel, T., Pavlov, S., & Nakonechna, K. (2024). Computer vision technologies for rapid quality analysis of fermentable biomaterial. *2024 IEEE 17th*



International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET).  
<https://doi.org/10.1109/TCSET64720.2024.10755768>

4. Павлов, С. Г., Лисенко, В. П., Лендел, Т. І., & Наконечна, К. В. (2025). Інтелектуальна система автоматизованого моніторингу якості біоматеріалу для зброджування в біогазовій установці. Вісник НТУУ “КПІ імені Ігоря Сікорського”. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження, 3, 41–51.  
<https://doi.org/10.20535/2617-9741.3.2025.340376>
5. Решетюк, В. М., Лендел, Т. І., & Куляк, Б. В. (2016). Вимірювальний електротехнічний комплекс для моніторингу параметрів біометричного стану рослини та мікроклімату в теплиці. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, 176, 51–53.

**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РЕЗЕРВНОГО ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ НА  
МОБІЛЬНІЙ ПЛАТФОРМІ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА RASPBERRY PI**

*Мартинюк В.В., Науковий керівник Касаткін Д.Ю.*

Актуальність теми У сучасному аграрному виробництві важливим є впровадження цифрових технологій для моніторингу мікроклімату в теплицях. Надійне збирання та резервне зберігання даних з сенсорів температури, вологості та освітленості дозволяє агрономам оперативно реагувати на зміни середовища. Мобільні платформи на основі мікроконтролера Raspberry Pi забезпечують автономність, гнучкість і доступність таких рішень.

Мета дослідження Розробити та дослідити систему резервного зберігання даних з сенсорів мікроклімату теплиці, реалізовану на мобільній платформі Raspberry Pi з можливістю захищеного веб-доступу.

Завдання дослідження – Вибрати апаратну платформу та сенсори для збору аграрних даних. – Реалізувати систему збору, зберігання та резервного копіювання даних. – Забезпечити мобільний доступ до даних з захистом. – Провести тестування системи в умовах теплиці.

Об'єкт і предмет дослідження – Об'єкт: процес збирання та резервного зберігання аграрних даних. – Предмет: технічна реалізація мобільної системи на основі Raspberry Pi.

Методика дослідження – Використано сенсори DHT22 (температура, вологість) та BH1750 (освітленість). – Збір даних здійснюється через MQTT-протокол, зберігання — у базі InfluxDB. – Візуалізація даних — через Grafana. – Резервне копіювання реалізовано на зовнішній носій з ротацією за схемою 7-4-4. – Доступ до даних — через веб-інтерфейс із захистом Basic Auth та тунелюванням через Cloudflare Zero Trust.

Результати дослідження – Створено прототип мобільної системи збору та резервного зберігання даних. – Забезпечено автономність, захист та доступність даних у польових умовах. – Візуалізація даних дозволяє оперативно аналізувати мікроклімат теплиці.

Практична значущість – Рішення може бути впроваджене в малих фермерських господарствах. – Підвищує ефективність управління тепличним мікрокліматом. – Сприяє цифровізації аграрного сектору через доступні IoT-рішення.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Raspberry Pi Foundation. <https://www.raspberrypi.com>
2. Інститут цифровізації аграрного сектору НААН України. Аналітичні матеріали, 2023.
3. Grafana Labs. <https://grafana.com/docs>
4. Eclipse Foundation – MQTT Protocol. <https://mqtt.org>
5. Науково-практичний журнал «АгроІнформ», №2, 2024 — стаття «Інтернет речей у тепличному господарстві»

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ NETWORK MANAGEMENT SYSTEM ТА ПАРАМЕТРАМИ МАГІСТРАЛЬНОЇ ОПТОВОЛОКОННОЇ МЕРЕЖІ ПРОВАЙДЕРА

*Чорноус О.С., науковий керівник Криворучко О.В.*

Магістральна оптоволоконна мережа провайдера — це складна система, що забезпечує транспортування великих обсягів даних на значні відстані з мінімальними затримками й втратами. Основними її параметрами є пропускна здатність, рівень затухання сигналу, дисперсія, топологія, резервування та стан оптичних каналів, безпосередньо визначають ефективність функціонування мережі. Однак контроль і підтримання цих параметрів на оптимальному рівні є неможливими без застосування систем централізованого управління - Network Management System (NMS).

NMS виступає як інтелектуальний центр моніторингу, аналізу та управління магістральною інфраструктурою. Вона забезпечує безперервний контроль за фізичними та логічними параметрами мережі, що дає змогу вчасно виявляти збої, прогнозувати навантаження й автоматизувати процеси обслуговування.

Оптоволоконна магістраль характеризується низкою параметрів, які безпосередньо впливають на якість передавання сигналу:

- Затухання сигналу - зменшення інтенсивності світлового імпульсу через втрати в середовищі. Для якісного зв'язку воно має не перевищувати 0,2 дБ/км у діапазоні 1550 нм.
- Дисперсія - розширення імпульсів у часі, що призводить до перекриття сигналів. Компенсується дисперсійними компенсаторами або DCM-модулями.
- Пропускна здатність - кількість інформації, яку канал може передати за секунду. Для DWDM-систем це десятки терабіт за секунду.
- Рівень резервування - здатність системи автоматично перемикатися на резервний маршрут у випадку пошкодження.
- Топологія - кільцева, сіткова (mesh) чи гібридна структура з використанням протоколів MPLS або OTN.
- Контроль цих параметрів у режимі реального часу є критично важливим для підтримання SLA та безперервної роботи мережі.
- Network Management System базується на принципах модульності та ієрархічності (рис. 1).

Для контролю стану мережі та своєчасного виявлення несправностей використовуються системи моніторингу та управління - Network Management System (NMS) або Element Management System (EMS). Вони забезпечують збір телеметричних даних, аналіз параметрів лінії, виявлення аномалій, а також дають можливість віддалено налаштовувати оптичне обладнання.

Технологічна основа сучасних магістральних мереж постійно вдосконалюється. Окрім DWDM, активно застосовується OTN (Optical Transport Network) — міжнародний стандарт ITU-T, який дозволяє передавати різноманітні потоки даних у єдиній транспортній оболонці. OTN забезпечує високу надійність, гнучкість і можливість виявлення помилок на фізичному рівні. У багатьох мережах також використовується MPLS-TP (Multiprotocol Label Switching – Transport Profile), що забезпечує ефективну маршрутизацію трафіку та резервування каналів.

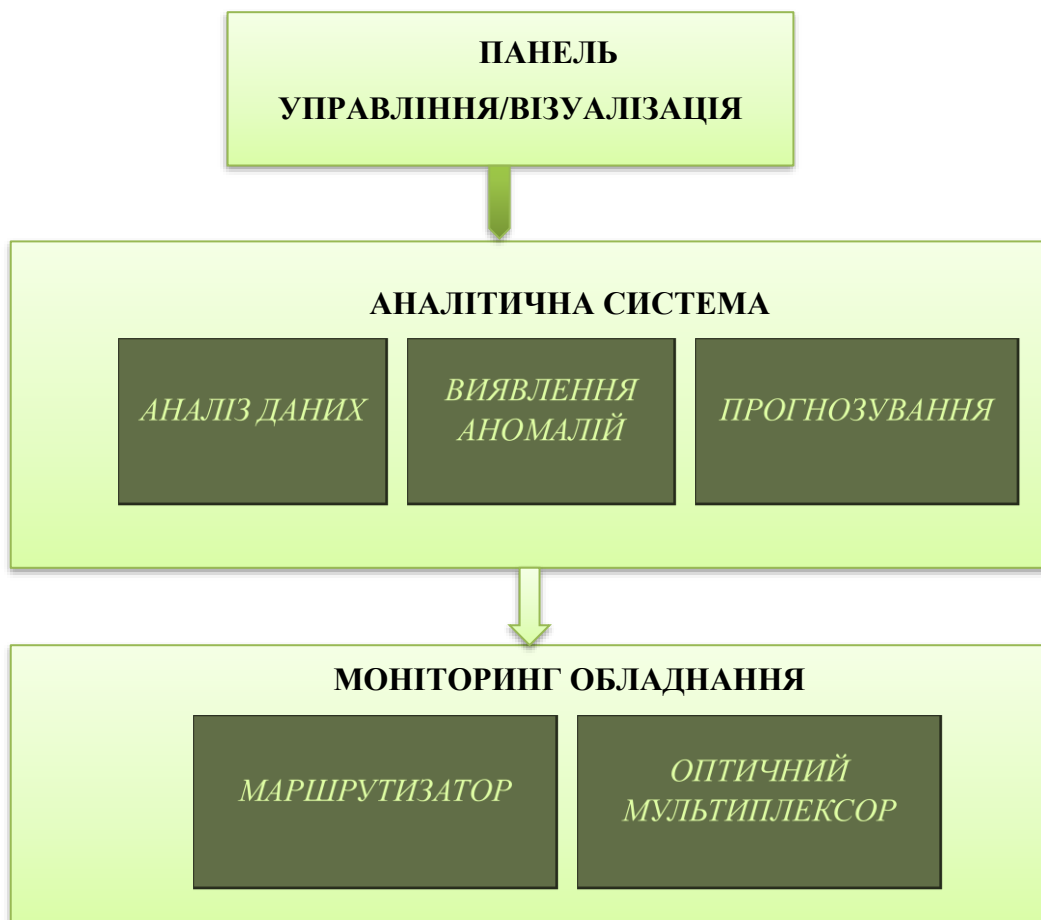


**Рис. 1** Типова архітектура системи моніторингу магістральної оптоволоконної мережі провайдера

Магістральна оптоволоконна мережа провайдера є динамічною системою, що постійно оновлюється відповідно до зростання потреб користувачів. Вона повинна забезпечувати не лише високу швидкість передавання даних, але й стабільність, гнучкість та захищеність інформації. Слід зазначити, що при розробці та експлуатації таких мереж враховують цілий комплекс параметрів: фізичних, технічних, топологічних та програмних.

Відповідно, ефективність магістральної оптоволоконної мережі провайдера визначається збалансованим поєднанням її параметрів: пропускної здатності, рівня затухання, дисперсії, архітектури та систем управління. Розвиток технологій DWDM, OTN і SDN сприяє створенню нових поколінь транспортних мереж, які поєднують високу швидкість, інтелектуальне керування й надійну передачу даних на великі відстані. Саме такі системи стають фундаментом цифрової економіки, «артеріями» сучасного інформаційного світу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Афанасьєв В. В., Андрєєв С. М. Модель системи моніторингу та навігаційного забезпечення польотів в районі аеродрому на основі сенсорної мережі та геоінформаційної системи. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2023. № 1 (50). С. 15-28. <https://doi.org/10.30748/nitps.2023.50.02>. ITU-T G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ  
НАКОПИЧЕННЯ ДАНИХ У СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ***Єжик А. О., науковий керівник Лахно В. А.*

Однією з найактуальніших глобальних екологічних проблем сьогодення є зміна клімату, зумовлена підвищенням концентрації парникових газів (ПГ) в атмосфері, зокрема вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) та метану (CH<sub>4</sub>). Для ефективного впровадження заходів щодо зменшення викидів необхідний точний та систематичний моніторинг їх концентрації. Це вимагає розгортання автономних сенсорних систем, здатних до тривалої роботи у віддалених географічних регіонах та накопичення великих обсягів даних для подальшого аналізу та прийняття обґрунтованих рішень. Актуальність роботи полягає в необхідності створення надійних, масштабованих та енергоефективних комп'ютерних систем для накопичення екологічних даних, особливо в умовах нестабільного зв'язку, де втрата інформації є неприпустимою. Ключову роль у таких системах відіграє підсистема накопичення, що забезпечує збір, локальну буферизацію, перевірку цілісності та гарантовану передачу інформації до централізованого сховища.

Метою дослідження є проектування, реалізація та дослідження комп'ютерної системи накопичення даних у складі системи моніторингу парникових газів, яка забезпечує повний цикл роботи з екологічними даними — від збору на сенсорних вузлах до збереження в централізованій базі даних та надання інтерфейсу для їх аналізу.

Для досягнення поставленої мети було проаналізовано вимоги до апаратної частини сенсорного вузла, яка повинна функціонувати в польових умовах. Було обґрунтовано вибір мікроконтролера ESP32 як обчислювального модуля завдяки його низькому енергоспоживанню, вбудованим модулям Wi-Fi та широким можливостям для підключення периферійних пристроїв. Для збору даних обрано високоточні датчики: MH-Z19C для вимірювання CO<sub>2</sub>, SHT31 для температури та вологості, а також GPS-модуль для геолокації. В якості комунікаційного середовища для передачі даних на великі відстані (до 10-15 км) з мінімальним енергоспоживанням обрано технологію LoRa, що є оптимальним рішенням для розподілених сенсорних мереж.

Система має відмовостійку логічну структуру з трьох компонентів: сенсорних вузлів, шлюзу та центрального сервера. Ключовим елементом є дворівневий механізм буферизації, що гарантує цілісність даних.

Якщо передача даних з сенсорного вузла на шлюз через LoRa неможлива, вони зберігаються на локальну SD-карту. Аналогічно, якщо шлюз не може відправити отримані дані на сервер через Wi-Fi, він також зберігає їх на свою SD-карту. Цей підхід запобігає втраті інформації навіть за тривалої відсутності зв'язку.

Централізоване сховище даних реалізовано на базі об'єктно-реляційної СУБД PostgreSQL, яка є надійною та масштабованою платформою для зберігання великих обсягів структурованих часових рядів. Було спроектовано структуру бази даних, основною таблицею якої є `measurements`, що містить поля для всіх параметрів, які збираються: `device_id`, `timestamp`, `temperature`, `humidity`, `co2_ppm`, `wind_speed`, `wind_dir`, `lat`, `lon`, `altitude` та службові поля що зображено в таблиці 1. Така структура забезпечує ефективну індексацію та швидкий доступ до даних для подальшого аналізу.

Параметри, що збираються сенсорним вузлом

| №  | Назва параметра              | Поле в БД   | Тип даних        | Джерело / сенсор | Примітки                     |
|----|------------------------------|-------------|------------------|------------------|------------------------------|
| 1  | Device ID                    | sensor_id   | INTEGER          | Прошивка         | Для ідентифікації пристрою   |
| 2  | Географічна широта           | lat         | DOUBLE PRECISION | GPS-модуль       | У десятковому форматі        |
| 3  | Географічна довгота          | lon         | DOUBLE PRECISION | GPS-модуль       | У десятковому форматі        |
| 4  | Висота над рівнем моря       | altitude    | REAL             | GPS-модуль       | Точність до $\pm 10$ м       |
| 5  | Дата і час вимірювання       | timestamp   | TIMESTAMPTZ      | RTC-модуль       | Формат ISO 8601, UTC         |
| 6  | Температура повітря          | temperature | REAL             | SHT31            | З температурною компенсацією |
| 7  | Відносна вологість           | humidity    | REAL             | SHT31            | Точність $\pm 2\%$ RH        |
| 8  | Концентрація CO <sub>2</sub> | co2_ppm     | REAL             | MH-Z19C          | Оптичний NDIR сенсор         |
| 9  | Швидкість вітру              | wind_speed  | REAL             | Анемометр        | Ультразвуковий або обертовий |
| 10 | Напрямок вітру               | wind_dir    | REAL             | Флюгер           | За азимутом, 0° — Північ     |

Програмна реалізація системи включає прошивку для мікроконтролера ESP32 та серверну частину. Сервер розроблено на мові Python з використанням мікрофреймворку Flask, що дозволило швидко створити REST API для прийому даних. Ендпоінт /api/data приймає POST-запити з JSON-пакетами та зберігає їх у базу даних PostgreSQL за допомогою бібліотеки psycopg2. Для забезпечення надійності передачі на програмному рівні реалізовано механізми контролю цілісності: перевірка зчитаних значень на валідність, обробка відповідей від сервера (acknowledgement), валідація структури JSON та діапазонів значень на сервері.

Для доступу до накопичених даних було розроблено веб-інтерфейс на базі Flask, що надає інструменти для аналізу: динамічну таблицю з фільтрацією та сортуванням, інтерактивний графік на основі бібліотеки Plotly для візуалізації трендів, а також можливість експорту даних у форматі CSV.

Комплексне тестування системи, що включало перевірку серверної частини за допомогою утиліти Postman, підтвердило її працездатність, надійність та стійкість до перебоїв у зв'язку. Усі функції, включаючи обробку запитів та візуалізацію даних, працюють стабільно та коректно.

У результаті роботи було успішно створено ефективну та масштабовану комп'ютерну систему накопичення даних. Запропонована архітектура, що поєднує технології LoRa/ESP32, дворівневий механізм буферизації на SD-картах та надійну серверну інфраструктуру на базі PostgreSQL/Flask, продемонструвала високу стабільність, що підтверджує досягнення поставленої мети.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. LoRaWAN® What Is It? A Technical Overview of LoRa and the LoRaWAN Protocol [Електронний ресурс] / LoRa Alliance. — 2020. — Режим доступу: <https://loralliance.org/wp->

content/uploads/2020/11/lorawan\_what\_is\_it\_a\_technical\_overview\_of\_lora\_and\_lorawan.pdf (дата звернення: 12.10.2025).

2. ESP32 Technical Reference Manual [Електронний ресурс] / Espressif Systems. — 2024. — Version 5.3. — Режим доступу: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation>.
3. Flask Documentation (2.2.x) [Електронний ресурс]. — The Pallets Projects, 2022. — Режим доступу: <https://flask.palletsprojects.com/en/2.2.x/>.
4. Hassan Q. Remote Sensing of Atmospheric Greenhouse Gases: The Role of Satellites, Ground-based Networks, and IoT / Q. Hassan et al. // Remote Sensing. — 2019. — Vol. 11, No. 12. — P. 1436. — DOI: 10.3390/rs11121436.

**ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ З  
БІОМЕТРИЧНОЮ ІДЕНТИФІКАЦІЄЮ ТА АДАПТИВНОЮ  
СИНХРОНІЗАЦІЄЮ ДАНИХ***Денисюк О.П., науковий керівник Болбот І.М.*

Децентралізована система контролю доступу — це складна багаторівнева система, що забезпечує безпекову автентифікацію користувачів та управління доступом до приміщень у режимі реального часу з можливістю автономної роботи. Основними її параметрами є надійність автентифікації, швидкість обробки запитів, рівень автономності, топологія мережі контролерів, резервування даних та стан синхронізації, які безпосередньо визначають ефективність функціонування системи. Однак контроль і підтримання цих параметрів на оптимальному рівні є неможливими без застосування систем централізованого управління з адаптивним протоколом синхронізації.

Центральний сервер виступає як інтелектуальний центр моніторингу, аналізу та управління розподіленою інфраструктурою контролерів. Він забезпечує безперервний контроль за станом обладнання та логічними параметрами доступу, що дає змогу вчасно виявляти порушення, прогнозувати навантаження й автоматизувати процеси адміністрування.

Децентралізована система контролю доступу характеризується низкою параметрів, які безпосередньо впливають на якість та безпеку роботи:

Час відгуку автентифікації - тривалість від прикладання біометричного зразка до відкриття замка. Для комфортної роботи має не перевищувати 1-2 секунди у режимі online та 0,5-1 секунди у режимі offline.

Точність розпізнавання - ймовірність правильної ідентифікації користувача. Для біометричних сенсорів FAR (False Acceptance Rate) має бути менше 0,001%, а FRR (False Rejection Rate) - менше 1%.

Смність локальної бази даних - кількість користувачів, яких контролер може зберігати на SD-картці для автономної роботи. Для корпоративних систем це 5 000-10 000+ записів.

Рівень автономності - здатність системи функціонувати без зв'язку з сервером. Критичний параметр для України в умовах енергетичних відключень (24-72 години безперервної роботи).

Контроль цих параметрів у режимі реального часу є критично важливим для підтримання безпеки об'єкта та безперервної роботи системи.

Децентралізована архітектура системи базується на принципах розподіленої обробки даних та автономності вузлів.

Для контролю стану системи та своєчасного виявлення несправностей використовуються модулі моніторингу та управління - центральний сервер з веб-інтерфейсом або мобільний додаток. Вони забезпечують збір телеметричних даних з контролерів, аналіз журналів подій, виявлення аномалій доступу, а також дають можливість віддалено налаштовувати обладнання та керувати замками.

Технологічна основа сучасних систем контролю доступу постійно вдосконалюється. Окрім класичних RFID-карток, активно застосовується біометрична ідентифікація - міжнародні стандарти ISO/IEC 19794, які дозволяють зберігати та порівнювати відбитки пальців з високою точністю. Біометрія забезпечує високу надійність, неможливість передачі доступу іншій особі та захист від підробки. У багатьох системах також використовується багатофакторна автентифікація (MFA), що забезпечує додатковий рівень безпеки через комбінацію біометрії, RFID-карток та PIN-кодів.





0,001%, FRR < 1%), швидкості обробки запитів (0,5-2 секунди), ємності локальних баз даних (5 000-10 000+ записів) та рівня автономності (24-72 години безперервної роботи).

Центральний сервер моніторингу з адаптивним протоколом синхронізації забезпечує безперервний контроль за станом розподіленої інфраструктури контролерів, що дає змогу вчасно виявляти порушення та автоматизувати процеси адміністрування.

Застосування міжнародних стандартів ISO/IEC 19794, багатофакторної автентифікації та технологій edge computing робить такі системи критично важливими для захисту об'єктів критичної інфраструктури України в умовах воєнного стану та енергетичної нестабільності.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Ковальчук Л. В., Боднарчук І. О. Системи контролю та управління доступом на основі біометричних технологій. Інформаційні системи, механіка та керування. 2021. Вип. 25. С. 112-119.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО ПОЛИВУ КІМНАТНИХ РОСЛИН З АНАЛІТИКОЮ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

*Гойда І.С., науковий керівник Коваленко О. Є.*

В умовах бурхливого розвитку засобів автоматизації на основі технологій Інтернету речей (IoT) значного поширення набувають інтелектуалізовані системи моніторингу та керування мікрокліматом. Одним із перспективних напрямів є створення автоматизованих систем догляду за рослинами, які здатні самостійно регулювати рівень зволоження ґрунту та повітря з урахуванням зміни стану навколишнього середовища.

Метою даного дослідження є розробка та вдосконалення комп'ютерної системи автоматичного поливу кімнатних рослин із функціями збору, збереження та аналітики показників навколишнього середовища, а також оптимізацією енергоспоживання та вдосконаленням алгоритму поливу.

Система ґрунтується на мікроконтролері ESP32, який забезпечує збір даних із сенсорів вологості ґрунту, температури та вологості повітря. Отримані дані автоматично передаються через Wi-Fi до хмарного сховища, де здійснюється їх обробка та збереження. Це дозволяє створити аналітичну базу даних, що відображає зміни параметрів у часі.

Для реалізації функцій аналітики можуть бути використані інструменти візуалізації, які забезпечують побудову графіків, визначення середніх значень і виявлення залежностей між зміною температури, вологості та частотою поливу.

Таким чином, користувач зможе не лише спостерігати за поточним станом системи, а й аналізувати історію даних для прогнозування потреб рослин.

Планується провести експериментальні вимірювання часу роботи системи з живленням від автономного джерела енергії залежно від інтервалів передавання даних.

Вдосконалення алгоритму поливу з врахуванням вологості ґрунту забезпечить адаптивність системи до різних кліматичних умов і запобігатиме надлишковому поливу.

Для віддаленого керування й моніторингу використовується мобільний застосунок Blynk, у якому користувач може переглядати дані з датчиків, активувати ручний полив або змінювати пороги вологості. Додатково передбачено веб-інтерфейс, що дозволить отримувати доступ до аналітики через браузер.

Результатом виконаної роботи стане модернізована комп'ютерна система автоматичного поливу, здатна не лише підтримувати оптимальні умови для росту рослин, а й здійснювати моніторинг і аналіз екологічних параметрів у реальному часі.

Отримані результати можуть бути використані для подальшої інтеграції подібних систем у розумні будинки, теплиці та лабораторні автоматизовані комплекси.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Офіційна документація Arduino – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/>.
2. Спільнота Raspberry Pi: технічні посібники, проєкти та документація [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.raspberrypi.com/documentation/>.
3. Firebase Realtime Database – Режим доступу: <https://firebase.google.com/docs/database>.
4. IoT-Based Smart Irrigation and Monitoring Systems: A Comprehensive Review // Sensors and Actuators A: Physical, 2023.
5. Smart Garden Automation using ESP32 and Google Sheets – Режим доступу: <https://maker.pro/esp32/projects/smart-garden-iot-automation>.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ ПРИСТРОЇВ ІНТЕРНЕТ-РЕЧЕЙ ЗАСОБАМИ ESP32-ЕМУЛЯЦІЇ

*Ануа П.В., науковий керівник Криворучко О.В.*

Популярність технології Інтернету речей стрімко зростає, поширюючи свій вплив на такі галузі, як промисловість, транспорт, медицина, енергетика і, врешті-решт, побут. Проте швидке зростання цієї сфери тягне за собою появу нових можливостей для кіберзлочинців, що в свою чергу, створює нові задачі для фахівців кібербезпеки. Значна частина пристроїв створюються без належної уваги до захисту даних. IoT-пристрої у складі “розумного будинку” оперують чутливою користувацькою інформацією, яка може привабити зловмисників. Це робить дослідження методів моделювання та тестування безпеки IoT-систем актуальним [1].

Метою даної роботи є дослідження вразливостей IoT-пристроїв із використанням апаратної платформи ESP32 як емуляційного інструменту. Такий підхід дозволяє лабораторні моделі IoT-пристроїв, для відтворення їх функціоналу і проведення експериментів з виявлення вразливостей у безпечному, контрольованому середовищі. Використання ESP32 є раціональним рішенням завдяки його низькій вартості, широким комунікаційним можливостям (Wi-Fi, Bluetooth), підтримці багатьох протоколів та гнучкості програмування. Завдяки цьому він стає універсальним інструментом для дослідження безпеки в галузі IoT [2, 3].

У процесі роботи було здійснено аналіз сучасних підходів до тестування безпеки IoT-пристроїв, а саме таких методів як penetration testing та threat modeling. На основі проведеного аналізу було створено прототип IoT-пристрою на базі ESP32, який “імітує” функціонал “розумного” сенсора. Подальші тести передбачали моделювання різноманітних типів атак, що відображено на схемі (рис.1). Серед них - пасивні атаки, які включають перехоплення незашифрованого трафіку та перевірка переданих даних. З активних атак, спрямовані на підміну інформації та спуфінг. Також були виконані атаки на протоколи MQTT та HTTP, які виявились особливо вразливими за відсутності шифрування та потрібних механізмів автентифікації.

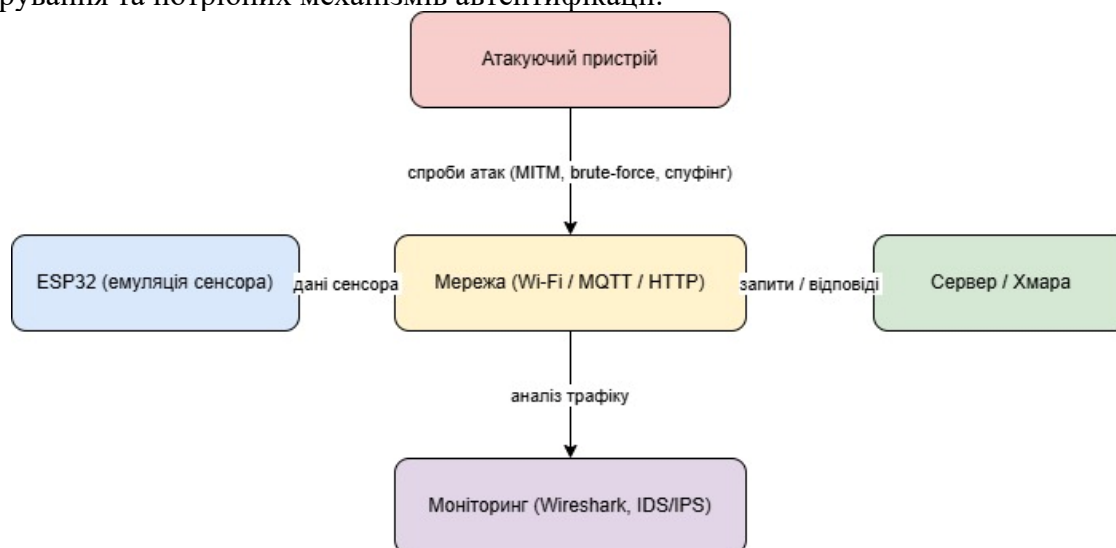


**Рис. 1.** Схема дослідження вразливостей IoT-пристрою на базі ESP32

Результати дослідження показують, що базових налаштувань не достатньо для необхідного рівня захисту. Виявлені вразливості довели можливість перехоплення даних, підміни команд та несанкціонованого доступу до пристроїв інтернет речей. Це

свідчить про потребу введення додаткових механізмів захисту, зокрема використання TLS/SSL для захисту протоколів MQTT та HTTP, застосування багатофакторної автентифікації, регулярне оновлення прошивок та додавання систем виявлення і перешкоджання проникнення(IDS/IPS).

Наукова новизна роботи полягає у методиці використання ESP32 для дослідження вразливостей IoT-пристроїв. Створені сценарії атак дозволяють у лабораторних умовах відтворювати реальні загрози та оцінювати їх вплив на роботу пристроїв без загрози для реальних пристроїв. До того ж, сформовано узагальнену модель оцінки ризиків, що може бути застосована для різних типів IoT-рішень.

Практичне значення дослідження це перспектива використання розробленої методики у навчальному процесі для підготовки фахівців з інформаційної безпеки, а також у практичній діяльності компаній, що планують впроваджувати IoT-рішення. Запропоновані рекомендації можуть бути інтегровані в політики безпеки організацій, сприяючи зниженню ризиків та підвищенню рівня довіри до IoT-технологій.

У підсумку можна зазначити, що використання ESP32 для емулявання IoT-пристроїв є ефективним та економічним способом дослідження їх вразливостей [4]. Проведені експерименти підтвердили наявність критичних ризиків у базових конфігураціях, а запропоновані заходи дозволяють суттєво знизити ймовірність успішних атак. Отримані результати мають як теоретичне, так і практичне значення, оскільки сприяють розвитку методів забезпечення безпеки у сфері інтернет речей та формуванню більш стійких до загроз IoT-систем.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Fernandes, E., Jung, J., & Prakash, A. Security analysis of emerging smart home applications. IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), 2016.
2. Sicari, S., Rizzardi, A., Grieco, L. A., & Coen-Porisini, A. Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead. Computer Networks, 76, 146–164 (2015).
3. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual. Espressif Systems, 2023.—
4. Режим доступу: <https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents>
5. Mazurenko, Valeriy. (2024). ASSESSMENT OF ESP32 MICROCONTROLLER COMPLIANCE WITH INTERNATIONAL STANDARDS OF CYBER SECURITY FOR INTERNET OF THINGS . International scientific and technical conference Information technologies in metallurgy and machine building. 367-371. 10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.070.

Для вирішення більшості проблем пов'язаних з затримками трафіку, надійності та масштабованості дедалі частіше застосовуються мережі з програмно-визначеним керуванням (SDN). Їх основною перевагою є централізований контроль, що дозволяє гнучко керувати маршрутизацією, політиками безпеки та пріоритетами трафіку.

Для прийняття оптимального рішення нашому SDN-контролеру потрібно постійна актуальна інформація про стан мережі. Такі традиційні механізми моніторингу як SNMP або NetFlow, не можуть надати миттєвої, детальної телеметрії про стан кожного пакета або вузла. Саме тому актуальним стає застосування технологій in-band telemetry (INT). Працює ця технологія таким чином: кожен мережевий пристрій вбудовує у свої пакети інформацію про свою роботу, які включають в себе відомості про затримки, пропускну здатність, тощо.

INT дозволяє створити новий рівень керованості. Виходить що пакет сам доповідає контролеру про шлях, яким пройшов, і про проблеми на цьому шляху. Це відкриває можливість створення адаптивної IoT-мережі, яка в режимі реального часу зможе фіксувати перевантаження або збільшення затримок, приймати рішення щодо перенаправлення трафіку критичних пристроїв, підтримувати справну роботу навіть у нестабільних умовах.

Як аналог INT можемо розглянути ще Postcard-based Telemetry. це метод, при якому кожен вузол, через який проходить трафік, надсилає окремий "листівку" з телеметричною інформацією про конкретний пакет. У підсумку ці листи збираються на сервері й дозволяють зібрати повну картину шляху пакета. Недолік цього підходу в тому що кожен вузол створює додатковий службовий трафік, що може суттєво перевантажити мережу, особливо в умовах високої динаміки IoT-середовищ. Тому цю технологія нам не підходить.

Ще серед аналогів є IOAM який, на перший погляд, є найближчим до INT за ідеологією. В обох випадках телеметрична інформація збирається безпосередньо під час проходження пакетів мережею. Однак IOAM має деякі критичні недоліки, серед яких це сумісність. Річ в тому що для роботи цієї технології потрібна повна підтримка з боку усіх вузлів мережі, включаючи як комутатори, так і контролери. У нашому випадку мережа побудована на основі емуляторів bmv2 які не повністю підтримують функціональність IOAM. Ще серед мінусів можна відокремити те що ця технологія поки що не наскільки розвинена щоб використовувати її в моєму проєкті.

Для розуміння повної картини оглянемо класичний підхід до моніторингу мережі. У класичних IP-мережах для збору статистики та діагностики стану інфраструктури зазвичай використовуються протоколи SNMP, NetFlow або sFlow. Ці підходи базуються на періодичному опитуванні пристроїв або збиранні інформації про трафік. Хоча вони й забезпечують базовий рівень спостереження, їх головним недоліком є низька оперативність та обмежена точність у контексті окремих потоків. Наприклад, SNMP дозволяє зчитати значення лічильників портів, наприклад, кількість байтів, помилок, втрат пакетів. Однак він все ж не може надати детальної інформації про конкретні пакети або динаміку зміни затримки в середині потоку. Крім того, періодичність запитів SNMP це зазвичай 30–60 секунд що не дозволяє виявляти короткочасні збої, які є критичними для IoT-сценаріїв, де керуючий сигнал має передатися протягом декількох мілісекунд.

NetFlow і sFlow частково вирішують проблему за рахунок потокового збору статистики. Вони дозволяють побачити, які потоки існують у мережі, який їхній об'єм, і як довго вони існують. Однак ці механізми працюють з сирими даними, які не включають метрики затримки, стан черг чи пропускну здатність в режимі реального часу. До того

ж, у великих мережах NetFlow створює додаткове навантаження на маршрутизатори, яке в свою чергу може спричинити збільшення трафіку. Тому я вважаю, що в мережах SDN використання INT є більш доречнішим.

In-Band Network Telemetry дозволяє вбудовувати телеметричну інформацію безпосередньо в пакети, які вже йдуть мережею. Це забезпечує повну інформацію про маршрут, включаючи кожен проміжний вузол через який проходив трафік, без потреби в окремому каналі моніторингу. Крім того, INT дозволяє асоціювати телеметрію з конкретним трафіком, а не з портами чи агрегатами. Це особливо важливо для IoT, де один сенсор може бути критично важливим, а інший — не пріоритетним. Завдяки цьому контролер може перебудувати маршрут лише для одного потоку, не торкаючись решти трафіку. Такий підхід дозволяє динамічно реагувати на зміну умов у мережі, навіть коли йдеться про короткочасні збої, які не фіксуються традиційними методами моніторингу.

Уся система реалізується як віртуальне середовище, побудоване в середовищі Mininet із використанням емуляторів P4-сумісних комутаторів bmv2 (Behavioral Model v2), які реалізують можливість вставки телеметрії в трафік. В центрі архітектури знаходиться SDN-контролер, який керує всіма маршрутами та обробляє зібрані телеметричні дані. Контролер може бути побудований на основі ONOS з використанням API. Також у цьому середовищі емулюються IoT-пристрої, що генерують різні типи трафіку: керуючі сигнали, дані від сенсорів, відеопотоки від камер тощо. Весь трафік проходить через мережу з комутаторів. Кожен комутатор вставляє в заголовок пакету службову інформацію — наприклад, глибину черги на порту, час затримки обробки, номер вузла. Це реалізується через P4-програму, яка додає метадані в пакет у реальному часі. Усі ці дані які закріплюються за пакетом, не створюють додаткового навантаження на мережу, а отже не зменшують пропускну здатність. SDN-контролер отримуючи такі пакети аналізує вкладену телеметрію і при виявленні проблем відповідно реагує. Наприклад, при виявленні затримок передавання керуючих пакетів або і зовсім їх втрата, контролер може перебудувати маршрут для критичних потоків, переправляючи пакети альтернативними шляхами. У разі, якщо маршрут змінити неможливо, тобто всі шляхи зайняті, контролер змінює пріоритет потоку (QoS) через встановлення іншого DSCP. Усі ці дії — реакція на конкретні метрики, які вбудовані в трафік. Жоден окремий пристрій не надсилає SNMP-запити, не веде логів і не потребує ручного конфігурування. Пакет сам несе всю інформацію, а контролер сам приймає рішення.

Таким чином навіть у динамічному середовищі IoT пристрої зберігають можливість стабільно передавати керуючі сигнали, а мережа адаптується до змін у режимі реального часу. Завдяки цьому підходу ми отримаємо мережу з надійною передачею та швидкою реакцією, що є критичним для розподілених автоматизованих платформ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Joshi M. Implementation and Evaluation of In-Band Network Telemetry in P4 : INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY / KTH ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Stockholm, 2021. URL: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2%3A1609265/FULLTEXT01.pdf>.
2. Lizhuang T., Wei S., Wei Z. In-band Network Telemetry: A Survey. <https://www.sciencedirect.com/26.01.2021>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389128620313396?via%3Dihub>.
3. Papadopoulos, S., & Kalogeras, A. P. Deterministic and Probabilistic P4-Enabled Lightweight In-Band Network Telemetry. 2024. arXiv preprint [arXiv:2404.06582]. URL: <https://arxiv.org/abs/2404.06582>
4. Network Telemetry Framework. <https://www.rfc-editor.org>. 10.05.2022. URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc9232.txt>.

УДК 004:42  
**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДМОВСТІЙКОСТІ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ  
НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ ЗАСОБАМИ FORTINET SECURITY FABRIC**

*Шкурат В.І., науковий керівник Коваленко О. Є.*

У сучасних умовах цифровізації освіти мережеві інфраструктури навчальних закладів відіграють ключову роль у забезпеченні безперервного доступу до інформаційних ресурсів, систем дистанційного навчання та внутрішніх сервісів. Зростання навантаження на мережеві ресурси, а також підвищення вимог до кіберзахисту зумовлюють необхідність створення відмовостійких систем, здатних підтримувати стабільну роботу навіть за наявності апаратних збоїв чи мережевих атак.

Трирівнева архітектура є перевіреним підходом, який добре працює в класичних мережах, але сьогодні вона вже виглядає менш гнучкою та потребує значних ресурсів при масштабуванні чи підвищенні вимог до безпеки.

Архітектура Cisco SDA вирізняється сучасними можливостями, такими як автоматизація й мікросегментація, але разом з тим потребує великих інвестицій і спеціальних знань для підтримки. Це робить її не завжди виправданою для середніх інфраструктур.

Одним із ефективних підходів до реалізації таких рішень є використання рішення Fortinet Security Fabric, яка забезпечує інтегроване управління безпекою, маршрутизацією, резервуванням каналів зв'язку та централізованим моніторингом. Завдяки цьому можна отримати сучасний рівень захисту й зручності без надмірних витрат [1]

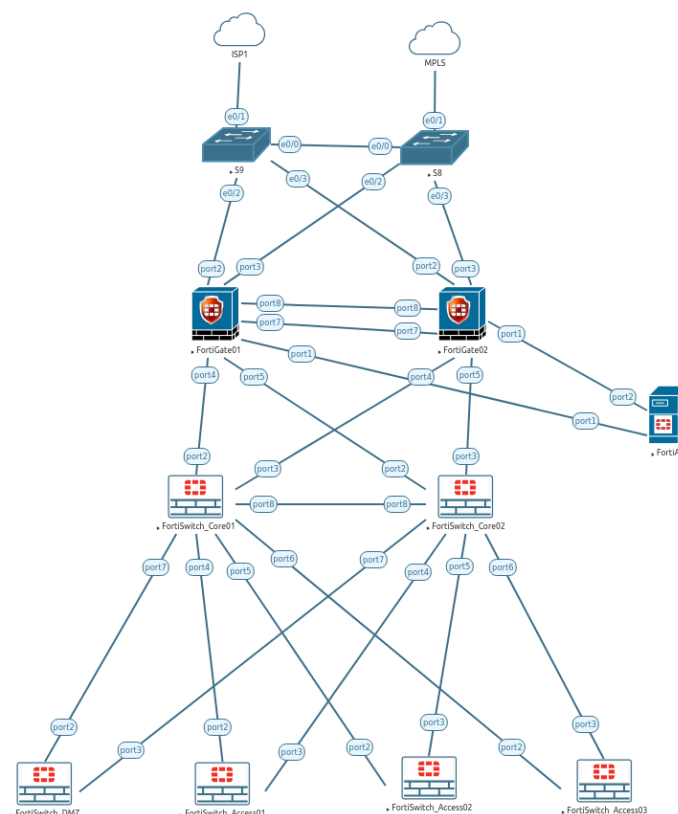


**Рис. 1** Топологія відмовостійкої мережі Fortinet Security Fabric

Застосування механізмів високої доступності (HA), багаторівневого резервування та інтелектуальної взаємодії компонентів, фабрика дає змогу підвищити надійність



мережевої інфраструктури навчального закладу, мінімізувати час простою та гарантувати безпечний доступ користувачів до критично важливих ресурсів.

Відмовостійкість мережевої інфраструктури забезпечується шляхом реалізації резервування на всіх ключових рівнях — від зовнішніх каналів до внутрішніх комутаційних вузлів.[2]

На рівні підключення до провайдерів застосовується механізм Equal-Cost Multi-Path, який дозволяє рівномірно розподіляти трафік між кількома інтернет-каналами з однаковою метрикою. Це забезпечує не лише балансування навантаження, а й автоматичне перемикавання у разі відмови одного з провайдерів.[3]

Для підвищення надійності шлюзового рівня використовується кластер FortiGate у режимі Active-Passive High Availability. У разі збою активного пристрою керування мережею автоматично переходить до резервного вузла без переривання сеансів користувачів. Синхронізація конфігурацій і таблиць станів забезпечує безперервність роботи сервісів без втрати даних.

На рівні комутаційного ядра реалізовано технологію Multi-Chassis Link Aggregation між двома розподільними комутаторами, що дозволяє поєднати канали доступу з різних комутаторів у спільний логічний зв'язок. Це гарантує відмовостійкість навіть у випадку виходу з ладу одного з комутаторів ядра.[4]

Крім того, у структурі мережі передбачене резервування лінків між усіма критичними вузлами, що мінімізує ризики втрати зв'язності. Використання Fortinet-комутаторів, інтегрованих у Security Fabric, забезпечує централізоване керування, моніторинг і контроль усіх мережевих пристроїв через єдину платформу, що спрощує адміністрування та підвищує загальну стабільність роботи інфраструктури.

Для централізованого збирання, аналізу та зберігання логів у системі використовується FortiAnalyzer (FAZ), який є невід'ємним елементом екосистеми Fortinet Security Fabric. Він дозволяє здійснювати глибокий аналіз безпеки, відстеження інцидентів і виявлення потенційних загроз у реальному часі. Завдяки інтеграції з усіма мережевими вузлами FAZ забезпечує єдине інформаційне поле для моніторингу стану інфраструктури та швидкого реагування на аномалії.[5]

У результаті впровадження комплексних механізмів відмовостійкості на всіх рівнях інфраструктури можна досягти високої надійності та стабільності роботи мережі. Використання технологій ECMP, HA та MCLAG забезпечує безперервність доступу до ресурсів навіть у разі збоїв окремих компонентів. Інтеграція Fortinet Security Fabric і FortiAnalyzer створює єдину систему контролю, моніторингу та аналізу безпеки. Такий підхід гарантує ефективне управління мережею та підвищує її стійкість до позаштатних ситуацій.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Fortinet Inc. Fortinet Security Fabric Enables Digital Innovation [Електронний ресурс]. – White Paper. – 2019. – Режим доступу: <https://www.fortinet.com/content/dam/fortinet/assets/white-papers/wp-security-fabric.pdf> – Дата звернення: 16.10.2025.
2. Fortinet Inc. FortiOS & Security Fabric Solution Brief [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.fortinet.com/content/dam/fortinet/assets/solution-guides/sb-fortios-security-fabric.pdf> – Дата звернення: 16.10.2025.
3. Fortinet Inc. Equal Cost Multi-Path (ECMP) | FortiGate / FortiOS 7.6.4 [Електронний ресурс]. – Documentation. – 2025. – Режим доступу: <https://docs.fortinet.com/document/fortigate/7.6.4/administration-guide/25967/equal-cost-multi-path> – Дата звернення: 18.10.2025.

4. Fortinet Inc. High Availability | FortiGate / FortiOS 7.6.4 [Електронний ресурс]. – Documentation. – 2025. – Режим доступу: <https://docs.fortinet.com/document/fortigate/7.6.4/administration-guide/666376/high-availability> – Дата звернення: 19.10.2025.
5. Fortinet Inc. FortiAnalyzer 7.6.4 Administration Guide [Електронний ресурс]. – Documentation. – 2025. – Режим доступу: <https://docs.fortinet.com/document/fortianalyzer/7.6.4/administration-guide/366418/setting-up-fortianalyzer> – Дата звернення: 19.10.2025.

УДК 621.396.96:004.896  
**ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ СТАНЦІЙ НАЗЕМНОГО КЕРУВАННЯ  
НАЗЕМНИМ РОБОТОМ**

*Степанець Є.О., науковий керівник Болбот І.М.*

Розвиток сучасних роботизованих систем і дистанційно керованих платформ зумовлює необхідність створення високонадійних, стійких до завад і захищених каналів зв'язку. Для наземних роботів, які виконують завдання в реальному часі, стабільність і швидкодія передачі інформації між станцією керування та виконавчим модулем мають вирішальне значення. Утрата або затримка сигналу можуть призвести до некоректного виконання команд чи повної втрати керування, тому вдосконалення системи зв'язку є одним із ключових напрямів розвитку сучасної робототехніки.

Метою дослідження є модернізація системи зв'язку між станцією наземного керування та наземним роботом для підвищення надійності, стійкості сигналу, захищеності та ефективності передавання даних.

Об'єкт дослідження – система зв'язку між станцією керування та наземним мобільним роботом.

Предмет дослідження – методи, апаратні й програмні засоби забезпечення безперервного, захищеного та енергоефективного обміну інформацією.

У ході роботи проведено аналіз ефективності існуючих систем бездротового зв'язку, виявлено їхні обмеження у сфері стабільності, дальності та завадостійкості. Для вирішення виявлених проблем запропоновано комбіновану архітектуру, що поєднує високочастотний відеоканал та окремий канал телеметрії й керування, оптимізований під різні вимоги передачі даних.

Для передавання відеосигналу у реальному часі використано Foxeer 5.8G Reaper Infinity 5W 40CH VTx — сучасний відеопередавач, що працює в діапазоні 5.8 ГГц і підтримує 40 каналів передачі. Потужність передавача до 5 Вт забезпечує стабільний відеозв'язок на великих відстанях (до кількох кілометрів у прямій видимості) навіть в умовах значних електромагнітних перешкод. Пристрій оснащений ефективною системою охолодження, підтримує динамічне регулювання потужності (від 25 мВт до 5 Вт), що дозволяє адаптуватися до поточних умов зв'язку. Завдяки підтримці SmartAudio можливе дистанційне налаштування каналів та потужності через контролер без потреби ручного втручання, що значно підвищує гнучкість і зручність системи під час експлуатації.

Для каналу керування та передачі телеметрії використано BelinRC ELRS 433 MHz TX Backpack — високоефективний передавач, який працює у діапазоні 433 МГц і підтримує протокол ExpressLRS (ELRS). Дана технологія забезпечує наднизьку затримку передачі (менше 20 мс), високу чутливість приймача та надійну передачу команд на великих відстанях (до 10–15 км). Завдяки використанню вузькосмугової модуляції та адаптивної зміни швидкості передачі даних модуль зберігає стабільний зв'язок навіть у складних умовах радіоефіру. ELRS-система має відкритий програмний код, що дозволяє розробнику гнучко налаштовувати параметри зв'язку, потужність, частоту оновлення та рівень захисту.

Поєднання відеоканалу Foxeer 5.8G для передачі зображення та керуючого каналу ELRS 433 МГц забезпечило створення двоканальної системи зв'язку з чітким розділенням функцій. Це дозволяє одночасно підтримувати стабільний відеопотік і надійне управління роботом навіть на великих відстанях. Відеопередавач забезпечує якісну візуалізацію простору в режимі реального часу, а 433 МГц канал — швидку реакцію на команди керування без втрат сигналу чи затримок.

У ході експериментальних досліджень система продемонструвала стабільність роботи у широкому діапазоні умов — як на відкритій місцевості, так і в зоні із зовнішніми перешкодами. Отримані результати свідчать про покращення дальності передачі сигналу, підвищення перешкодостійкості та зменшення часу затримки під час виконання команд.

Розроблена комбінована система зв'язку має низьке енергоспоживання, підтримує розширення функціоналу та може бути інтегрована в інші роботизовані платформи. Завдяки відкритій архітектурі вона забезпечує можливість подальшого вдосконалення, зокрема інтеграцію технологій штучного інтелекту (AI) для адаптивного керування передачею даних, а також використання протоколів самокорекції помилок для підвищення надійності комунікації.

Таким чином, результати роботи підтверджують доцільність застосування сучасних модулів Foxeer 5.8G Reaper Infinity VTx та BelinRC ELRS 433 MHz TX у системах зв'язку наземних роботів. Запропоноване рішення дозволяє досягти балансу між дальністю дії, швидкістю, стабільністю та енергоефективністю, що є критично важливим для автономних роботизованих систем нового покоління.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Офіційний сайт розробника Xing kai / FPV Accessories – BelinRC ELRS-433-TX [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://xingkaitech.com/fpv-accessories/?utm\\_source](https://xingkaitech.com/fpv-accessories/?utm_source)
2. Офіційний сайт розробника Foxeer [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.foxeer.com/>
3. Повна інструкція користувача для моделі Reaper Infinity 5W [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.manualslib.com/manual/3337921/Foxeer-Vtx-Reaper-Infinity-5w.html?utm\\_source](https://www.manualslib.com/manual/3337921/Foxeer-Vtx-Reaper-Infinity-5w.html?utm_source)
4. Офіційна документація про налаштування TX Backpack у системі ExpressLRS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://www.expresslrs.org/hardware/backpack/backpack-tx-setup/?utm\\_source](https://www.expresslrs.org/hardware/backpack/backpack-tx-setup/?utm_source)
5. Опис вхідної напруги, протоколів (CRSF) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://xingkaitech.en.made-in-china.com/product/DfcpBoiVCKkr/China-Fpv-Drone-Elrs-433tx-Transmitter-High-Frequency-360-560MHz-Optional-Transmitter-Module-Signal-Strong-for-Radiomaster-Tx16s-Tx12.html?utm\\_source](https://xingkaitech.en.made-in-china.com/product/DfcpBoiVCKkr/China-Fpv-Drone-Elrs-433tx-Transmitter-High-Frequency-360-560MHz-Optional-Transmitter-Module-Signal-Strong-for-Radiomaster-Tx16s-Tx12.html?utm_source)

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ  
ПОЛЬОТУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ***Перепелиця Д.Ю., науковий керівник Нікітенко Є.В.*

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) стали невід'ємною частиною сучасної інфраструктури, застосовуючись від моніторингу сільського господарства та інженерних об'єктів до логістики й пошуково-рятувальних операцій [1]. Проте, обмежений час польоту залишається однією з ключових перешкод для їхнього ширшого та ефективнішого використання. Підвищення енергоефективності польоту БПЛА є критично важливим для збільшення тривалості місії, зменшення експлуатаційних витрат і розширення сфери застосування. Це досягається оптимізацією як аеродинамічних характеристик, так і систем керування польотом та енергоспоживання. Актуальність дослідження посилюється швидким розвитком технологій акумуляторів і потребою в максимальному використанні їхнього потенціалу.

Метою даного дослідження є комплексний аналіз та порівняння різноманітних методів підвищення енергоефективності польоту БПЛА, а також розробка рекомендацій щодо їхнього інтегрованого застосування для максимізації часу місії.

Значний вплив має маса самого дрона та його корисне навантаження (камери, датчики, додаткові модулі). Чим більша сумарна злітна маса, тим більше потужності потрібно для генерації необхідної підйомної сили та утримання апарата в повітрі.

Умови навколишнього середовища вносять суттєві корективи. Сильний вітер вимагає додаткових витрат енергії для підтримки стабільності та заданої траєкторії (хоча попутний вітер може частково допомагати). Екстремальні температури можуть погіршувати ефективність і швидкість розряду акумуляторної батареї. Крім того, на великих висотах, де щільність повітря нижча, для створення необхідної тяги двигуни мають працювати з більшою потужністю, що призводить до зростання енергоспоживання.

Стиль пілотування є важливим експлуатаційним чинником. Агресивні, швидкісні маневри та різкі зміни висоти значно збільшують навантаження на силову установку, тоді як плавний, рівномірний політ зі сталою швидкістю є найбільш енергоефективним.

Не менш важливим є конструктивне рішення БПЛА. Аеродинамічно обтічний дизайн корпусу мінімізує опір повітря, а використання високоефективних пропелерів та якісних двигунів підвищує загальний коефіцієнт корисної дії системи. Оптимізація програмного забезпечення керування польотом також сприяє зниженню енергоспоживання [2]. Додаткові фактори, такі як постійна робота GPS, відеопередача та функціонування бортових датчиків, також вносять свій внесок у загальне навантаження.

Таким чином, дрон, оснащений сучасним емним акумулятором, що має мінімальний аеродинамічний опір та виконує політ у безвітряну погоду з помірною крейсерською швидкістю, матиме максимальну тривалість місії, порівняно з важким апаратом, що використовує зношену батарею та піддається інтенсивним маневрам за сильного вітру.

Враховуючи багатогранність чинників, що визначають ефективність використання енергії під час польоту, оптимізація параметрів БПЛА має бути цілеспрямованою та адаптованою під конкретні експлуатаційні завдання. Досягнення максимальної ефективності вимагає комплексного підходу на етапах проектування та вдосконалення апарату.

Для забезпечення високої енергоефективності критично важливим є вибір конструкційних матеріалів. Використання сучасних композитів та вуглецевого волокна дозволяє значно зменшити загальну вагу БПЛА, зберігаючи при цьому необхідну

структурну міцність. Зниження маси прямо пропорційно зменшує енергію, необхідну для підтримання польоту. Одночасно, оптимізація конструкції спрямована на покращення аеродинамічних характеристик – мінімізацію лобового опору та збільшення підйомної сили, що також суттєво знижує енерговитрати [1].

Паралельно, необхідно зосередитися на енергоефективності бортової електроніки та програмного забезпечення. Оптимізація програмного коду та використання низькопотужних компонентів зменшує базове енергоспоживання на обробку даних. Крім того, вдосконалене ПЗ дозволяє реалізувати інтелектуальні алгоритми керування польотом, які динамічно оптимізують параметри руху, мінімізуючи витрати енергії.

Перспективні напрямки розвитку БПЛА включають впровадження гібридних систем живлення, які поєднують акумулятори з альтернативними джерелами, такими як паливні елементи або сонячні панелі для підзаряджання в польоті [3]. Також важливими тенденціями є використання штучного інтелекту (ШІ) для генеративного проектування конструкцій та оптимізації аеродинамічних форм. Удосконалення комп'ютерного моделювання та симуляції, максимально наближених до реальних умов експлуатації, дозволить точніше оцінювати та підвищувати потенціал енергоефективності дрона без потреби у великій кількості фізичних випробувань.

Підсумовуючи, досягнення максимальної енергоефективності у БПЛА — це багатофакторне завдання, що вимагає комплексної інтеграції рішень, починаючи від легких, аеродинамічно досконалих матеріалів і закінчуючи передовими алгоритмами керування та системами живлення. Постійний технологічний прогрес відкриває шлях до створення БПЛА, які зможуть виконувати складні місії з істотно підвищеною автономністю та стійкістю.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Денисов, Ю. О., Шаповалов, О. Л., Серeda, О. В., & Куц, Є. В. ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОЛЬОТУ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА. [Електронний ресурс]. (2021). – Режим доступу до ресурсу: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2018-3\(13\)-187-195](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2018-3(13)-187-195).
2. Driving Aerodynamic Drone Design with Advanced Simulation [Електронний ресурс]. (2023). – Режим доступу до ресурсу: <https://enterprise.trimech.com/driving-aerodynamic-drone-design-with-advanced-simulation/>.
3. What Affects the Range of a Drone? [Електронний ресурс]. (2024). – Режим доступу до ресурсу: <https://amprius.com/drone-range/>.

## МЕТОД PAIRWISE TESTING ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНФІГУРАЦІЙ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*Кохан К.О., науковий керівник Ткаченко О.М.*

Однією з головних проблем при проведенні автоматизованого тестування багатокомпонентних інформаційних систем (ІС) є вибір мінімального, але достатнього набору конфігурацій, які забезпечують високий рівень покриття тестів. У разі великої кількості компонентів і параметрів кількість можливих комбінацій зростає експоненційно, що робить повне тестування усіх варіантів неможливим [1]. Тому актуальним є застосування комбінаторних методів оптимізації, зокрема Pairwise Testing.

Pairwise Testing (тестування парних комбінацій) ґрунтується на принципі, що більшість дефектів програмного забезпечення виникає через взаємодію не більше ніж двох параметрів одночасно [2]. Це дозволяє зменшити кількість необхідних тестів з експоненційної до квадратичної залежності, забезпечуючи при цьому високу ймовірність виявлення помилок.

У контексті багатокомпонентних ІС, де присутні численні варіації модулів, версій, середовищ та параметрів конфігурації, Pairwise Testing дозволяє сформувати оптимальний набір комбінацій для тестування на основі таблиць взаємних пар значень. Такий підхід особливо ефективний у CI/CD-середовищах, де важливо мінімізувати час тестування без втрати якості перевірки [3].

Застосування Pairwise Testing передбачає побудову матриці параметрів системи, де кожен стовпець відповідає окремій змінній (наприклад, ОС, версії бібліотеки, типу БД), а рядки — наборам тестових комбінацій. Для генерації таких наборів можуть використовуватися спеціалізовані алгоритми, наприклад AllPairs або IPOG (In-Parameter-Order General). Вони автоматично формують мінімальний набір тестів, що покриває всі можливі пари параметрів. Ефективність методу Pairwise Testing представлена на Рис. 1.

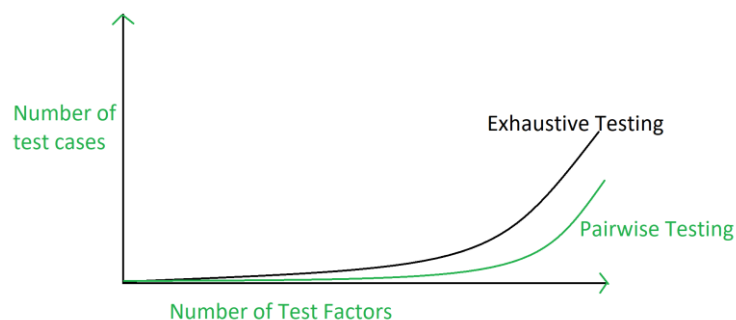


**Рис. 1.** Ефективність методу Pairwise Testing

Інтеграція Pairwise Testing в автоматизовану систему тестування дозволяє: скоротити кількість виконуваних тестів до 60–80% без істотного зниження покриття, підвищити продуктивність тестового конвеєра (pipeline) у CI/CD, забезпечити повторюваність і контрольованість процесу оптимізації конфігурацій, створити формальні критерії вибору тестових сценаріїв з урахуванням критичних компонентів [4].

У роботі пропонується інформаційна технологія оптимізації тестових конфігурацій на основі Pairwise Testing, що включає етапи формування параметричної моделі системи, побудови парних комбінацій, автоматизованої генерації тестових сценаріїв та інтеграції

у середовище CI/CD. Це дозволяє знизити витрати на тестування на 30–50% порівняно з повним переліком комбінацій при збереженні високого рівня виявлення дефектів.

Таким чином, метод Pairwise Testing є ефективним інструментом для оптимізації конфігурацій у процесі автоматизованого тестування багатокомпонентних інформаційних систем. Його застосування забезпечує баланс між якістю перевірки, швидкістю тестування та використанням обчислювальних ресурсів, що робить його перспективним напрямком подальших досліджень у сфері тестування складних ПЗ-систем.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Якість програмного забезпечення та тестування: базовий курс / за ред. О. П. Мельника. — Тернопіль: ТНЕУ, 2019. — 240 с.
2. Тестування програмного забезпечення. Навчальний посібник / Авраменко А.С., Авраменко В.С., Косенюк Г.В. ; – Черкаси: ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2017. – 284 с. ISBN 978-985-581-125-2.
3. Методи тестування і оцінки якості програмного забезпечення: навчальний посібник / Ляхов О. Л., Бородіна О. О. — Полтава: ПолтНТУ, 2015. — 372 с.
4. Software fault interactions and pairwise testing / D. R. Kuhn, D. R. Wallace, A. M. Gallo // IEEE Transactions on Software Engineering. — 2004. — Vol. 30, №6. — P. 418–421.



# АРХІТЕКТУРА РОЗПОДІЛЕНОЇ СИСТЕМИ ІГРОВОГО СЕРВЕРА ДЛЯ БАГАТОКОРИСТУВАЦЬКИХ СЕСІЙНИХ ІГОР

*Волошин М.Є., науковий керівник Назаренко В.А.*

Сучасний ринок багатокористувацьких онлайн-ігор, особливо в контексті сесійних жанрів, висуває високі вимоги до серверної інфраструктури. Традиційні монолітні клієнт-серверні архітектури [1] демонструють суттєві обмеження в умовах пікових навантажень, ускладнюючи масштабування та створюючи ризики відмови всієї системи. Особливо гостро ця проблема постає для ігор жанру roguelike, де необхідна одночасна підтримка великої кількості ізольованих ігрових сесій з процедурною генерацією унікального контенту.

Метою даного дослідження є проектування та розробка прототипу гнучкої та масштабованої архітектури ігрового сервера, здатної ефективно вирішувати перелічені завдання. Для цього було розроблено систему, що базується на гібридному підході, який поєднує надійність клієнт-серверної моделі з ізоляцією та гнучкістю, властивими сучасним мікросервісним архітектурам.

В основі спроектованої архітектури лежить технологічний стек, обраний з урахуванням вимог до продуктивності. Для серверної частини було обрано платформу Node.js [2] у зв'язці з протоколом WebSocket. Асинхронна, керована подіями природа Node.js дозволяє ефективно обробляти тисячі одночасних мережових з'єднань, що робить його ідеальним рішенням для І/О-інтенсивних завдань, якими є обмін повідомленнями в онлайн-грі. Для клієнтської частини було обрано ігровий рушій Unity.

Ключовим архітектурним рішенням, що забезпечує масштабованість та ізоляцію сесій, є використання технології контейнеризації Docker [3]. Серверний застосунок пакується в легковесний, портативний Docker-контейнер, що дозволяє розглядати кожен ігрову сесію як окремий, ізольований процес. Такий підхід надає кілька фундаментальних переваг: гарантовану ізоляцію, стандартизацію середовища та, що найголовніше, створює фундаментальну передумову для подальшого горизонтального масштабування.

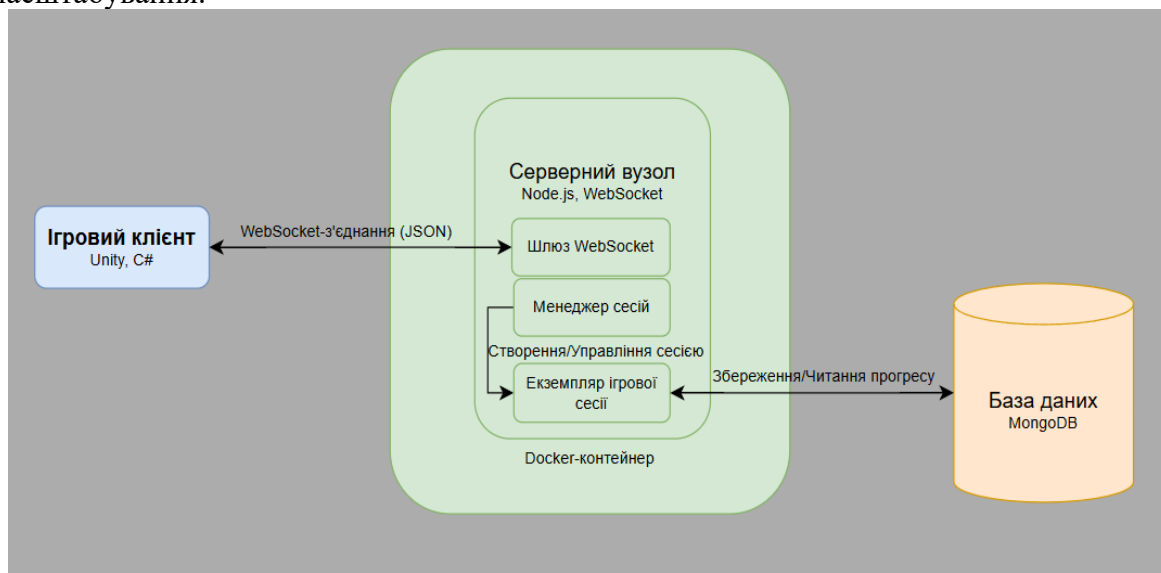


**Рис. 1** Схема архітектури розробленої системи

Для перевірки життєздатності архітектури було проведено серію навантажувальних тестів. В ході експерименту було встановлено, що один екземпляр сервера, запущений в Docker-контейнері, здатен стабільно обслуговувати до 50-60

одночасних активних гравців, забезпечуючи середній час відгуку в межах 5 мс. При подальшому збільшенні навантаження спостерігалася деградація продуктивності, пов'язана зі 100% завантаженням одного ядра центрального процесора, що є очікуваним для однопотокової моделі Node.js. Цей результат емпірично доводить, що обрана архітектура з контейнеризацією є необхідною та достатньою умовою для подальшого масштабування.

Таким чином, розроблений та досліджений прототип підтвердив, що архітектура на базі Node.js та Docker є ефективним, гнучким та сучасним рішенням для створення серверної частини багатокористувацьких сесійних ігор [4]. Вона не лише вирішує поставлені завдання в рамках прототипу, але й закладає правильний фундамент для побудови надійної та високоефективної розподіленої системи промислового рівня.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Network Software Architectures for Real-Time Massively Multiplayer Online Games. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.proquest.com/openview/2a0c370959d9746fc0cb2f1bbcf5608/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y> (дата звернення: 22.10.2025)
2. Використання Node.js у веброзробках: переваги технології у рішеннях від Softline [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://softline.company.ua/news/vykorystannia-nodejs-u-vebrozrobkakh-perevahy-tekhnologii-u-rishenniakh-vid-softline.html> (дата звернення: 22.10.2025)
3. Аналіз процесів використання docker для побудови мікросервісів [Електронний ресурс], Режим доступу: [https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/7943/1/%2B%2BNaukova%20robota\\_%D0%90%D0%BD%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%88%D0%BA%D0%BE\\_%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D1%86%D1%8C\\_2017.pdf](https://sci.ldubgd.edu.ua/bitstream/123456789/7943/1/%2B%2BNaukova%20robota_%D0%90%D0%BD%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%88%D0%BA%D0%BE_%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D0%B5%D1%86%D1%8C_2017.pdf) (дата звернення: 22.10.2025)
4. Networking technologies in online gaming: Current status and future development [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.ewadirect.com/proceedings/ace/article/view/2325> (дата звернення: 22.10.2025)

УДК 631.3:004.942  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА МОДЕЛЮВАННЯ  
МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ ЗБИРАННЯ ПРОДУКЦІЇ АПК**

*Попов Д.С., науковий керівник Болбот І.М*

Автоматизація процесів у сільському господарстві є одним із головних напрямів розвитку сучасного агропромислового комплексу. В умовах скорочення трудових ресурсів, підвищення вимог до якості продукції та необхідності зниження собівартості виробництва зростає роль роботизованих систем, які виконують операції збирання, сортування та транспортування продукції без участі людини. Особливе місце серед таких систем займають маніпулятори, здатні обережно захоплювати й переміщувати об'єкти біологічного походження, наприклад плоди, без їх пошкодження.

Однак більшість наявних конструкцій промислових маніпуляторів не пристосовані до роботи в умовах аграрного середовища, де навантаження та умови контакту постійно змінюються. Це зумовлює необхідність проведення комплексного дослідження динаміки руху таких систем і розроблення моделей, що адекватно описують їх поведінку [1].

Метою дослідження є створення тривимірної математичної моделі маніпулятора для збирання продукції АПК, яка забезпечує достовірне відтворення кінематичних і динамічних характеристик, дозволяє аналізувати вплив геометричних та масо-інерційних параметрів на стійкість руху, а також слугує основою для подальшої розробки адаптивних систем керування.

Для досягнення цієї мети розроблено повнофункціональну 3D-модель маніпулятора в середовищі SolidWorks. Конструкція містить шість ступенів вільності, що забезпечує просторову свободу руху та дає можливість відтворювати складні траєкторії збирання плодів. Кожна ланка спроектована з урахуванням її функціонального призначення: основа забезпечує стійкість, коромисло — вертикальне переміщення, а зап'ястний вузол — точне позиціонування захвату.

На основі побудованої CAD-моделі проведено аналіз міцності методом скінченних елементів (Finite Element Method), що дозволяє оцінити напружено-деформований стан під дією зовнішніх сил. Особлива увага приділяється роботі конструкції при максимальному вильоті, коли момент навантаження на привід досягає критичних значень. Результати аналізу показують допустимі рівні напружень і підтверджують достатню жорсткість конструкції [2].

Визначено масо-інерційні характеристики усіх ланок маніпулятора. Програмне середовище SolidWorks використовується для автоматичного розрахунку маси, положення центру мас та тензорів інерції для кожної деталі. Ці дані застосовуються для побудови математичної моделі руху, що базується на рівняннях Лагранжа другого роду. Така модель забезпечує можливість дослідження поведінки системи під дією гравітаційних, відцентрових і коріолісових сил, а також дозволяє оцінити вплив зміни навантаження в момент захоплення плоду [4].

Проведено кінематичний аналіз із визначенням робочої зони маніпулятора та граничних положень кінцевого ефектора. За допомогою методу крайніх точок визначено просторовий діапазон дії захвату, а за допомогою візуалізації в CAD-середовищі побудовано тривимірну модель зони доступності. Це підтверджує працездатність конструкції в умовах теплиць і відкритого ґрунту.

Результати моделювання дають змогу оцінити плавність руху, стабільність системи та динамічні властивості приводу. Проведено моделювання впливу інерційних ефектів на точність позиціонування. Отримана модель слугує основою для подальшої розробки програмно-апаратної системи керування маніпулятором, що дозволяє досліджувати різні

алгоритми управління у віртуальному середовищі без потреби створення фізичного прототипу [3].

У результаті дослідження створено високоточний математичний двійник маніпулятора, який забезпечує візуалізацію рухів, оцінку навантажень та тестування параметрів керування. Отримані результати використовуються для оптимізації конструкції, зменшення маси рухомих частин, підвищення жорсткості та точності позиціонування. Розроблена модель стає базою для подальшого вдосконалення системи керування.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Готьє М., Халіл В. Прямий розрахунок мінімального набору інерційних параметрів серійних роботів [Електронний ресурс] // IEEE Transactions on Robotics and Automation. – 1990. – Т. 6(3). – С. 368–373. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/56654>
2. Таваколпур-Салех А. Р., Заре Х., Наріман-Заде Н. Динамічне моделювання та ідентифікація параметрів паралельного маніпулятора 3-PRR з використанням CAD-моделі [Електронний ресурс] // Mechanism and Machine Theory. – 2018. – Т. 122. – С. 300–318. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094114X17318323?via%3Di%3Dhub>
3. Лу Дж. Я., Уокер М. В., Пол Р. П. Обчислювальна схема в реальному часі для механічних маніпуляторів [Електронний ресурс] // Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. – 1980. – Т. 102(2). – С. 69–76. – Режим доступу до ресурсу: <https://asmedigitalcollection.asme.org/dynamicsystems/article-abstract/102/2/69/421110>
4. Спонг М. В., Хатчінсон С., Відьясагар М. Моделювання та керування роботами [Електронний ресурс]. – 2-ге вид. – Wiley, 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wiley.com/en-us/Robot+Modeling+and+Control%2C+2nd+Edition-p-9781119524045>

УДК 681.58:631.35  
**ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ ДЛЯ  
ЗБИРАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ**

*Попов Д.С., науковий керівник Болбот І.М.*

Автоматизоване збирання плодів є складним технологічним процесом, який потребує точного керування рухами маніпулятора, урахування динамічних навантажень і мінімізації контактного тиску на продукцію. Класичні системи керування, засновані на ПІД-регуляторах, демонструють обмежену ефективність у таких умовах через змінну інерцію, нелінійність рухів і затримки зворотного зв'язку [1]. Тому актуальним стає впровадження інтелектуальних підходів до керування, які адаптуються до зміни параметрів системи під час роботи.

Метою дослідження є розроблення та експериментальне обґрунтування модельно-адаптивної системи керування маніпулятором, що забезпечує високу точність позиціонування, стабільність руху та безпечний контакт із плодами під час автоматизованого збирання сільськогосподарської продукції.

В основу системи покладено принцип Model-Based Adaptive Control, який враховує повну динамічну модель маніпулятора під час керування. Контролер у реальному часі розраховує моменти інерції, гравітаційні й відцентрові сили, а також коригує коефіцієнти регулювання залежно від зміни навантаження. Такий підхід забезпечує гнучкість роботи маніпулятора навіть за умов зміни маси або форми плодів [2].

Основним елементом системи є мікроконтролер Arduino Mega 2560, який здійснює зчитування даних від сенсорів, виконує обчислення алгоритму адаптації та формує сигнали керування для виконавчих механізмів. Контролер інтегрований із візійною системою, що надає координати цільових об'єктів і дозволяє коригувати рух у режимі реального часу.

Сенсорний комплекс включає магнітні енкодери, інерційний модуль та датчик сили. Ці прилади забезпечують точне визначення положення, швидкості та навантаження на кінцевий ефектор. Дані від сенсорів передаються через шину CAN до центрального контролера, що мінімізує затримки зв'язку та зменшує похибку вимірювання.

Для розпізнавання об'єктів і планування траєкторій застосовується камера глибини, яка визначає положення плодів у просторі. Алгоритм керування використовує фільтр Калмана для згладження шумів вимірювань і точнішого прогнозування координат об'єкта [3]. На основі цих даних контролер формує оптимальну траєкторію руху маніпулятора з урахуванням його динамічних характеристик.

Особливу увагу приділено системі безпеки, яка контролює допустимі межі сили захоплення. У разі перевищення заданих параметрів або втрати стабільності система виконує аварійну зупинку, що забезпечує захист як обладнання, так і продукції. Реалізовано також алгоритм контролю стану приводу для запобігання перевантаженню під час інтенсивної роботи [4].

Проведено моделювання роботи системи в середовищі Matlab та Simulink для перевірки коректності адаптивних законів регулювання та вибору оптимальних параметрів. Особливу увагу приділено порівнянню результатів роботи адаптивного контролера з класичним ПІД-регулятором у сценаріях зміни навантаження та швидкості руху. Результати моделювання показують, що модельно-адаптивна система забезпечує менші помилки позиціонування та швидшу реакцію на збурення.

Додатковим напрямом удосконалення є розроблення енергоефективного режиму роботи маніпулятора. Алгоритм керування регулює швидкість і прискорення руху

залежно від положення об'єкта, мінімізуючи споживання енергії електроприводами. Це зменшує нагрівання елементів і підвищує ресурс роботи обладнання.

Окрім технічних аспектів, здійснено аналіз можливостей інтеграції розробленої системи в аграрні виробничі комплекси. Оцінено доцільність використання такого маніпулятора в умовах теплиць, сховищ і плодово-овочевих комбінатів. Результати показують, що система керування є масштабованою та може бути адаптована для різних типів роботизованих агромашин, зокрема для сортування й упакування продукції.

Запропонована модельно-адаптивна система керування забезпечує підвищення точності позиціонування на 20 %, зниження коливань при зміні навантаження та скорочення часу стабілізації руху. Її впровадження сприяє розвитку інтелектуальних роботизованих технологій для АПК, підвищує ефективність збирання врожаю та формує новий етап автоматизації сільського господарства.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Слотін Дж. Дж. Е., Лі В. Застосування нелінійного керування [Електронний ресурс]. – Прентіс-Хол, 1991. – Режим доступу до ресурсу: [https://books.google.com/books/about/Applied\\_Nonlinear\\_Control.html?id=cwpRAA-AAMAAJ](https://books.google.com/books/about/Applied_Nonlinear_Control.html?id=cwpRAA-AAMAAJ) . Google Книги
2. Спонг М. В., Хатчінсон С., Відьясагар М. Моделювання та керування роботами [Електронний ресурс]. – Wiley, 2-ге вид., 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wiley.com/en-us/Robot%2BModeling%2Band%2BControl%2C%2B2nd%2BEdition-p-9781119524045> . wiley.com
3. Ву С., та ін. Адаптивне термінальне ковзне керування маніпулятором для збирання плодів [Електронний ресурс] // *Actuators*. – 2022. – Т. 11(12), 347. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/2076-0825/11/12/347> . MDPI
4. Фонт Д., та ін. Пропозиція автоматизованого збирання плодів на основі поєднання роботизованого маніпулятора і системи комп'ютерного зору [Електронний ресурс] // *Sensors*. – 2014. – Т. 14(7), 11557. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/1424-8220/14/7/11557> .

**ДОСЛІДЖЕННЯ БАЛАНСУ БЕЗПЕКИ ТА ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОГРАМНИХ  
ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ В ІОТ-СИСТЕМАХ***Українець Д.С., науковий керівник Коваленко О.Є.*

Сучасні споживачі все частіше інтегрують елементи розумного будинку у повсякденне життя, очікуючи не лише підвищення комфорту, але й надійного захисту своєї конфіденційності та даних. Проте, постійна поява інформації про вразливості IoT-пристроїв у медіа формує дещо скептичне ставлення споживачів до власної безпеки [1]. Ключова ж інженерна проблема полягає в тому, що традиційні, ресурсоемні методи криптографічного захисту, які є стандартом наприклад у корпоративних чи веб-системах, виявляються непридатними для переважної більшості IoT-пристроїв [2]. І стає зрозуміло чому – ці пристрої, що функціонують в умовах жорстких обмежень обчислювальної потужності, обсягу пам'яті та енергоспоживання, вимагають принципово іншого підходу до реалізації безпеки. В результаті, перед розробником, виникає фундаментальна, можна сказати типова, дилема компромісу між забезпеченням надійного рівня захисту та збереженням необхідної продуктивності. Існуючі дослідження часто констатують цю проблему, однак в них бракує комплексних кількісних даних про реальну обчислювальну «ціну» впровадження комбінованого стеку сучасних методів захисту [3]. Метою даної роботи є проведення емпіричного дослідження обчислювальної складності, часових затримок та використання пам'яті при реалізації ключових протоколів (MQTT з TLS 1.2/1.3), алгоритмів шифрування (AES-GCM, RSA) та механізмів автентифікації (Argon2id, TOTP) в рамках контрольованого програмного середовища.

Для досягнення мети було розроблено методологію тестування та створено програмний тестовий стенд з використанням мови програмування Python (та бібліотек cryptography, paho-mqtt та argon2-cffi). Важливо зазначити, що хоча дослідження і проводилось в емульованому середовищі, кількісні оцінки базуються на аналізі статистичних розподілів за результатами серії тестів, що дозволяє виявити порядки відмінностей у продуктивності. Першим етапом став аналіз захищених транспортних протоколів, зокрема MQTT у поєднанні з сучасними версіями TLS (1.2 та 1.3) [3]. Вимірювання показали, що найбільше навантаження припадає на фазу початкового рукоштовування (handshake). Цей процес включає не лише важкі в контексті обчислень асиметричні операції, але й валідацію ланцюга сертифікатів, що потенційно вимагає додаткових мережеских запитів (наприклад, OCSP), сумарно впливаючи на затримку встановлення з'єднання. Проте було підтверджено, що сучасні механізми, такі як скорочене рукоштовування у TLS 1.3 та механізм session resumption (тобто відновлення сесії), суттєво знижують це навантаження при повторних або довготривалих з'єднаннях [3]. Після встановлення сесії, навантаження від симетричного шифрування потоку є мінімальним.

Паралельно було проведено кількісне дослідження власне криптографічних алгоритмів. Симетричний алгоритм AES (у режимі GCM) продемонстрував високу продуктивність. Але важливо зазначити, що ця швидкість (у проведених вимірюваннях на тестовій платформі обробка 1 КБ даних займала  $\approx 0.03684$  мс) критично залежить від наявності апаратного прискорення (AES-NI) та розміру блоку даних відповідно; за наявності AES-NI затримки можуть досягати порядку мікросекунд [2]. На противагу цьому, асиметричні операції (наприклад, це RSA-підписи, що використовуються для автентифікації сертифікатів у TLS-handshake) виявилися значно повільнішими (наприклад було отримано  $\approx 0.03319$  мс на операцію). Ще що важливо уточнити, що для обміну ключами в сучасних конфігураціях TLS (наприклад, ECDHE) використовуються

алгоритми на базі еліптичних кривих (ECC), які фактично є обчислювально ефективнішими за RSA і краще підходять для периферійних пристроїв. Окремо було проаналізовано методи автентифікації: Argon2id (обраний як стійкий до атак побічними каналами) підтвердив свою ефективність для зберігання паролів. Його стійкість до перебору прямо залежить від обраних параметрів (затрати пам'яті, затрати часу, паралелізм), які і визначають його навмисну (ціленаправлену) ресурсоемність. З іншого боку, механізм TOTP виявився обчислювально легким рішенням для 2FA, проте його надійність залежить від точної синхронізації часу та безпечного зберігання початкового секретного ключа (seed) [1].

Проведене дослідження кількісно підтверджує наступну гіпотезу, що для систем типу «розумний будинок» з обмеженими ресурсами не існує єдиного універсального засобу захисту. Ефективна, надійна та водночас продуктивна система безпеки може бути досягнута лише шляхом впровадження збалансованого гібридного підходу, що враховує обчислювальну «ціну» кожного окремого методу. Отримані результати дослідження, хоч і є обмежені емульованим середовищем, але формують чіткий практичний шаблон: доцільно використовувати MQTT+TLS 1.3 (з session resumption) для захищеного транспортного каналу [3]; всередині цього каналу дані потрібно шифрувати швидким AES-GCM (з урахуванням апаратної підтримки) [2]; початковий обмін ключами покладати на ECDHE; при цьому автентифікація користувачів має спиратися на Argon2id (але з ретельно підібраними параметрами) та TOTP (за умов синхронізації часу та захищеного зберігання секретного ключа) [1]. В результаті, такий багаторівневий підхід дозволяє розробникам приймати обґрунтовані архітектурні рішення, балансуючи між критичними вимогами безпеки та реальними апаратними можливостями IoT-пристроїв.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Canavese, D., Mannella, L., Regano, L. (2024). Security at the Edge for Resource-Limited IoT Devices. *Sensors*, 24(2). URL: <https://doi.org/10.3390/s24020590> (дата звернення: 27.09.2025).
2. Analysis of Lightweight Cryptographic Algorithms on IoT Hardware Platform (2023). University of Twente Research Information. URL: <https://doi.org/10.3390/fi15020054> (дата звернення: 07.10.2025).
3. Seoane, A., et al. (2025). Empirical Evaluation of TLS-Enhanced MQTT on IoT Devices for V2X Use Cases. *Applied Sciences*, 15(15). URL: <https://doi.org/10.3390/app15158398> (дата звернення: 11.10.2025).



**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК КАСТОМНИХ ТА  
КОМЕРЦІЙНИХ ПОЛЬОТНИХ КОНТРОЛЕРІВ***Вернигора В.Ю., науковий керівник Шкарупило В.В.*

Стрімкий розвиток безпілотних авіаційних систем зробив польотний контролер (ПК) ключовим елементом інфраструктури у стратегічних галузях, як-от військова справа, логістика та промисловий моніторинг. Вибір оптимального ПК критично впливає на надійність та інтеграцію всієї системи. Проблема дослідження полягає у необхідності розмежування двох фундаментальних стратегій: стандартизовані, протестовані комерційні рішення проти гнучких кастомних розробок, які несуть більші дослідницько-розробницькі ризики.

Мета – порівняльний аналіз архітектурної філософії, загальної вартості та експлуатаційних наслідків вибору між комерційним і кастомним ПК, ґрунтуючись на галузевих вимогах.

Цей стратегічний вибір ускладнюється тим, що навіть комерційні БПЛА, які довели свою ефективність як засоби розвідки та бою, вимагають від військових розробки додаткових заходів, спрямованих на їх модифікацію, як-от встановлення додаткових антен чи другої батареї, для підвищення стійкості до засобів радіоелектронної боротьби (РЕБ) та збільшення дальності зв'язку [1].

Проектування польотних контролерів визначається пріоритетами кінцевого застосування. Комерційний сектор керується філософією уніфікації та компактності. В комерційні контролери інтегрують більшість датчиків та контролерів живлення, забезпечуючи легкість, стандартизацію портів і протоколів та підтримуючи масове ПЗ (INAV, Betaflight), що знижує поріг налаштування. Недоліками є обмеження у вдосконаленні ПЗ та відносно вища ціна. Кастомний сектор керується філософією точної відповідності та гнучкості. Переваги включають низьку ціну компонентів та більшу варіативність периферії. Інженери мають повну свободу в інтеграції власних бібліотек і протоколів, що захищає інтелектуальну власність. Головними недоліками кастомних ПК є складна доступність для некваліфікованого в програмуванні користувача та габаритність через використання окремих датчиків і необхідність плати для розпайки, що обмежує вибір розмірів БПЛА. Ключова відмінність комерційного ПК керується принципом достатності (ціна відповідно функціоналу), кастомного – принципом точної відповідності під конкретні потреби та задачі за менші кошти.

Яскравим прикладом кастомної розробки є створення працюючого прототипу мікропроцесорного контролера на базі платформи Arduino [2].

Вибір між комерційним та кастомним ПК є, перш за все, стратегічним рішенням, що виходить за межі початкової ціни придбання. Економічний критерій вимагає оцінки загальної вартості володіння. Комерційні рішення мають високу початкову ціну, але низькі непрямі витрати, оскільки включають гарантію та готову технічну підтримку. Натомість, кастомна розробка, хоч і має низьку вартість компонентів, вимагає значних капіталовкладень у дослідження та розробку, час на ПЗ, валідацію та самостійну підтримку. Комерційний ПК критичний для відповідальних місій. Кастомний надає повну гнучкість інтеграції та абсолютний захист інтелектуальної власності на рівні прошивки. Комерційний ПК оптимальний для масових, стандартизованих завдань (навчання, фотограмметрія). Кастомний ПК незамінний для спеціалізованих місій та військових/промислових проєктів зі специфічними вимогами, де повний контроль над апаратним і програмним забезпеченням є критичним.

Ця критичність стає очевидною в бойових умовах, де переважна більшість малорозмірних БПЛА з пропелерною тягою (як правило, тихохідні) знищуються ще до

досягнення мети (понад 90% випадків), що підкреслює необхідність високошвидкісних, маневрених апаратів із реактивною тягою, які мають вищу бойову «живучість»[3].

Вибір польотного контролера – багатофакторне стратегічне рішення. Комерційний сектор прагне до максимальної стандартизації, компактності та універсальності програмного забезпечення, забезпечуючи швидкий вхідний поріг. Кастомний сектор пропонує абсолютну гнучкість, низьку вартість компонентів та повний контроль над програмним забезпеченням, що важливо для захисту ІВ та унікальної периферії. З точки зору загальної вартості, комерційні рішення ідеальні для масштабних стандартизованих проєктів завдяки низьким експлуатаційним ризикам. Кастомні ПК, попри дослідницько-розробницькі витрати, незамінні для спеціалізованих місій та військових розробок, де унікальність алгоритмів та точна відповідність вимогам є пріоритетом. Вибір ПК завжди корелює зі стратегічною метою: масштабність і надійність (комерційні рішення) або унікальність і повний контроль (кастомні).

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Медведєв В. К. та ін. Безпілотні літальні апарати та їхній вплив на перебіг російсько-української війни Журнал "Наука і оборона". 2023. С. 52–59. URL: <http://nio.nuou.org.ua/article/view/285433>.
2. Омелянчук Б. В. Мікропроцесорний пристрій керування БПЛА. 2024. URL: <https://elar.khmn.edu.ua/items/9ae44db5-ae78-4ea0-bd39-b8fdbd17f2d1>.
3. Халатов А. А. та ін. Бойові малорозмірні безпілотні літальні апарати з реактивною тягою: монографія. Дніпро: Ліра, 2023, 144. URL: <https://ittf.kiev.ua/wp-content/uploads/2023/11/kniga-halatov-sajt.pdf>

**АРХІТЕКТУРА І ОПТИМІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ  
ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ***Донець М.В., науковий керівник Місюра М.Д*

Інтернет речей (IoT) є однією з найперспективніших технологій сучасності, яка забезпечує підключення мільярдів пристроїв у єдину мережу для передачі та обробки даних [1]. Глобальне розширення IoT екосистем змінює традиційні моделі виробництва, управління та взаємодії людини з технологіями. Масштабне розповсюдження IoT систем у різних галузях, таких як розумне будівництво, медицина, промислова автоматизація, сільське господарство, розумні міста та енергетика, вимагає розробки ефективних комп'ютерних архітектур, здатних обробляти великі обсяги даних з мінімальними затримками та енергоспоживанням. За прогнозами експертів, до 2030 року кількість IoT пристроїв перевищить 25 мільярдів одиниць. Однак сучасні IoT системи часто стикаються з серйозними викликами, пов'язаними з обмеженими обчислювальними ресурсами, необхідністю обробки у реальному часі та захистом конфіденційних даних.

Метою даного дослідження є комплексний аналіз і розробка оптимізованої архітектури комп'ютерної системи для IoT пристроїв, спрямованої на підвищення енергоефективності, скорочення латентності, забезпечення масштабованості та надійності систем [2]. Дослідження включає детальне порівняння різних архітектурних моделей IoT систем: традиційних хмарних рішень (Cloud Computing), туманних обчислень (Fog Computing) та крайових обчислень (Edge Computing). Особлива увага приділяється аналізу впливу архітектурних рішень на продуктивність обробки даних, безпеку та надійність системи, а також вивченню гібридних підходів.

Однією з ключових складових дослідження є вивчення традиційних хмарних обчислювальних архітектур, де дані від IoT пристроїв передаються на центральні сервери для обробки та аналізу. Хоча такий підхід забезпечує наявність потужних обчислювальних ресурсів і централізованого управління, він характеризується суттєвою латентністю (затримкою до декількох секунд), залежністю від якості мережевого з'єднання, а також підвищеними витратами на передачу даних. На противагу цьому, методи туманних обчислень розташовують обчислювальні ресурси ближче до джерела даних, зазвичай на рівні локальних мереж або регіональних центрів даних, що значно зменшує затримки до десятків мілісекунд та підвищує час відклику системи.

Крайові обчислення (Edge Computing) представляють собою найперспективніший підхід, де обробка інформації здійснюється безпосередньо на IoT пристроях або на найближчих локальних серверах. Цей підхід дозволяє забезпечити суб-мілісекундну латентність, значно зменшити обсяги переданих даних через мережу, підвищити приватність інформації за рахунок локального зберігання конфіденційних даних та забезпечити реальне опрацювання критичних подій [3]. Дослідження включає глибокий аналіз оптимізації складних алгоритмів для роботи на пристроях з обмеженими ресурсами, включаючи мікроконтролери, одноплатні комп'ютери типу Raspberry Pi та Arduino.

Крім архітектурних аспектів, у роботі розглядаються критичні питання енергоефективності IoT систем, оскільки багато пристроїв живляться від батарей з обмеженою місткістю. Аналіз показує, що оптимізація протоколів передачі даних (MQTT, CoAP, LTE-M, NB-IoT), застосування режимів енергозбереження, розумна маршрутизація та локальна обробка можуть суттєво скоротити енергоспоживання пристроїв у 5-10 разів. Важливим напрямком є використання методів машинного навчання для прогнозування навантажень та динамічної оптимізації частоти процесора.

Безпека як невід'ємна частина IoT систем потребує особливої уваги, оскільки атаки на IoT пристрої можуть мати серйозні наслідки. Дослідження охоплює комплексний аналіз способів захисту даних при передачі (TLS/SSL, IPSec), механізми аутентифікації пристроїв (X.509 сертифікати, DTLS), сучасні методи шифрування (AES, ECC), захист від кібератак (DDoS, виявлення вторгнень) та виявлення компрометованих пристроїв. Розглядатимуться вимоги до безпеки на кожному рівні архітектури системи, включаючи безпеку на рівні пристрою, мережі та застосування.

Практичні аспекти дослідження включають аналіз інтероперабельності, стандартизації та нормативної бази для IoT систем. Розглядатимуться основні стандарти та протоколи (IEEE 802.15.4, LoRaWAN, Sigfox, 5G), фреймворки (Open IoT Platform) та платформи (AWS IoT, Azure IoT Hub, Google Cloud IoT). Буде досліджено екосистему провідних виробників та операторів телекомунікацій, їхні архітектурні підходи та конкурентні переваги.

Очікувані результати дослідження полягають у розробці комплексних рекомендацій щодо вибору оптимальної архітектури для різних типів IoT застосувань, методиці оцінки продуктивності та енергоефективності систем на основі кількісних метрик, матриці рішень для різних сценаріїв, а також у розробці та демонстрації прототипу оптимізованої архітектури для конкретного реального застосування. Як додаток передбачається розроблення інструментів симуляції для проєктування нових IoT систем.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Gubbi J., Buyya R., Marusic S., Palaniswami M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions [Електронний ресурс] // Future Generation Computer Systems. – 2013. – Vol. 29, No. 7. – P. 1645-1660. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
2. Bonomi F., Milito R., Zhu J., Addepalli S. Fog computing and its role in the internet of things [Електронний ресурс] // Proceedings of the First Edition of the MCC Workshop on Mobile Cloud Computing. – 2012. – P. 13-16. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1145/2342509.2342513>
3. Shi W., Cao J., Zhang Q., Li Y., Xu L. Edge Computing: Vision and Challenges [Електронний ресурс] // IEEE Internet of Things Journal. – 2016. – Vol. 3, No. 5. – P. 637-646. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7488250>
4. Stankovic J. A. Research Directions for the Internet of Things [Електронний ресурс] // IEEE Internet of Things Journal. – 2014. – Vol. 1, No. 1. – P. 3-9. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6774858>

**ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ***Донець М.В., науковий керівник Місюра М.Д*

Сучасні системи Інтернету речей генерують величезні обсяги даних у темпі, який раніше було немисливо обробляти. Експерти оцінюють, що глобально щодня генерується близько 2,5 квінтільйонів байтів даних, причому в IoT-сценаріях цей обсяг зростає експоненціально [1]. Такі масиви даних потребують ефективної аналітики для отримання цінних інсайтів та прийняття обґрунтованих, часто автоматичних рішень у режимі реального часу. Однак традиційні методи статистичної обробки часто виявляються неадекватними для роботи з великовимірними, неструктурованими і потоковими даними. Застосування інтелектуальних алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання відкриває нові можливості для виявлення закономірностей, прогнозування аномалій та оптимізації процесів.

Метою даного дослідження є розроблення, тестування та адаптація інтелектуальних алгоритмів для ефективної обробки, аналізу та прогнозування на основі даних IoT пристроїв в умовах обмежених ресурсів [2]. Дослідження передбачає комплексне вивчення застосування методів машинного навчання (регресія, класифікація, кластеризація), глибокого навчання (згорткові нейронні мережі CNN, рекурентні мережі LSTM/GRU), а також спеціалізованих алгоритмів для аналізу часових рядів та виявлення аномалій. Особлива увага приділяється адаптації таких алгоритмів для пристроїв з обмеженими обчислювальними ресурсами, пам'яттю та енергією.

Однією з основних та найбільш критичних задач дослідження є розвиток методів детекції аномалій та виявлення відхилень у даних IoT. Аномалії можуть свідчити про несправність обладнання, потенційні катастрофічні відмови, кібератаки або незвичайні оперативні умови. Буде проведено детальне порівняння та аналіз алгоритмів: ізоляційні ліси (Isolation Forest), локальні коефіцієнти відхилення (Local Outlier Factor), методи на основі густини (DBSCAN), однокласові SVM та нейромережеві автокодувальники (VAE). Кожен метод оцінюватиметься за точністю виявлення (precision/recall), швидкістю обробки, обсягом використовуваної пам'яті та придатністю до роботи на крайових пристроях [3].

Другим важливим напрямком є прогнозування та оптимізація процесів на основі даних. Часові ряди з IoT датчиків можуть аналізуватися за допомогою класичних методів ARIMA, експоненціального згладжування та сучасних методів глибокого навчання, таких як рекурентні нейронні мережі з механізмом уваги (LSTM, GRU, Transformer), для прогнозування майбутніх значень. Такі прогнози сприяють превентивному обслуговуванню обладнання (предиктивна діагностика), оптимізації енергоспоживання та плануванню ресурсів. Дослідження включатиме аналіз компромісу між точністю прогнозування та складністю моделей для їх розгортання на крайових пристроях.

Дослідження також охоплює питання класифікації та кластеризації багатовимірних даних IoT для розпізнання станів системи та виявлення подібних поведінкових патернів. Буде проведено детальний аналіз алгоритмів: k-найближчих сусідів (k-NN), дерева рішень, ансамблів (Random Forest, Gradient Boosting), нейронні мережі (MLP), метод опорних векторів (SVM). Крім того, розглядатимуться методи зменшення розмірності (PCA, t-SNE, UMAP) для спрощення обробки даних без втрати суттєвої інформації [4].

Важливою складовою роботи є дослідження передових методів машинного навчання. Transfer Learning дозволяє перенести знання, отримані на великих наборах даних, на нові задачі з обмеженою кількістю даних. Федеративне машинне навчання (Federated Learning) забезпечує навчання глобальних моделей без централізації даних,

що особливо важливо для збереження приватності. Буде розглянуто архітектури для навчання локальних моделей на крайових пристроях з можливістю синхронізації та оновлення глобальної моделі без передачі вихідних даних.

Практична реалізація включатиме розробку прототипів інтелектуальних систем аналізу для конкретних реальних IoT застосувань, наприклад моніторингу якості повітря, передбачення відмов обладнання на виробництві, оптимізації енергозбереження в розумних будівлях. Буде проведено комплексне порівняння ефективності різних алгоритмів з точки зору точності прогнозування, часу обробки, обсягу пам'яті та енергоспоживання. Буде досліджено методи пояснюваності рішень (LIME, SHAP) для розуміння логіки прийняття рішень алгоритмами. Системи будуть протестовані як у лабораторних умовах, так і у реальних польових умовах для оцінки практичної придатності.

Очікувані результати дослідження полягають у розробці практичних рекомендацій щодо вибору та адаптації інтелектуальних алгоритмів для різних типів IoT систем, методиці комплексної оцінки ефективності алгоритмів з урахуванням точності, обчислювальних витрат та енергоспоживання, матриці рішень для вибору оптимальних методів, а також у створенні демонстраційних прототипів систем аналітики даних для конкретних застосувань. Передбачається також розроблення набору інструментів для розробників та публікацію методичних рекомендацій для індустрії [5].

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Rajkumar S. P., Elçi A. Internet of Things – Challenges and Opportunities [Електронний ресурс] // Computational Intelligence in Communications and Business Analytics. – 2018. – P. 99-116. – Режим доступу: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4844-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4844-2_8)
2. Wu D., Liu S., Zhang L., Terpenney J., Gao R. R., Kurfess T., Guzzo J. A. Machine learning applications for building and construction: Methods and trends [Електронний ресурс] // Advanced Engineering Informatics. – 2021. – Vol. 45. – P. 101076. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101076>
3. Yue Z., Xulong L., Yin Z., Changyuan J. Machine Learning Algorithms for Anomaly Detection in the Internet of Things using MQTT [Електронний ресурс] // 2018 IEEE 3rd International Conference on Internet of Things. – 2018. – P. 1-8. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1109/IOT.2018>
4. Kaplan A., Haenlein M. Siri, Alexa, and other digital assistants: an innovation–risk paradox [Електронний ресурс] // Business Horizons. – 2019. – Vol. 62, No. 1. – P. 15-25. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2018.08.011>

**ДОСЛІДЖЕННЯ І ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ НАЗЕМНОЇ  
РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ***Зінченко В.В., науковий керівник Болбот І.М.*

Сучасний розвиток роботизованих систем вимагає підвищення точності, ефективності та надійності їх роботи. Одним із ключових елементів таких систем є апаратно-програмний комплекс керування, який забезпечує взаємодію між компонентами, обробку сигналів і виконання алгоритмів руху. Вдосконалення системи керування наземною роботизованою платформою спрямоване на підвищення стабільності роботи, зменшення впливу перешкод та покращення структурної організації електронних модулів.

Мета дослідження — дослідити та вдосконалити систему керування наземною роботизованою платформою.

Об'єкт дослідження — система керування наземною роботизованою платформою.

Предмет дослідження — методи, апаратні та програмні засоби для підвищення ефективності й точності роботи наземної роботизованої платформи.

У роботі проведено детальний аналіз існуючої системи керування наземною роботизованою платформою, визначено її недоліки та обмеження, зокрема надлишкову складність комутацій, нестабільність сигналів керування при роботі виконавчих модулів і недостатню електромагнітну розв'язку між силовими та сигнальними лініями. На основі проведених досліджень розроблено вдосконалену версію плати управління (PCB), у якій використано сучасні електронні компоненти та оптимізовану топологію з'єднань.

Проектування нової плати здійснювалося із застосуванням середовища EasyEDA, що дозволило точно контролювати параметри трасування, розміщення елементів та мінімізацію паразитних ємностей і наведень.

Удосконалення системи полягало у глибокій оптимізації конструкції та електричної частини друкованої плати. Було здійснено ретельний перерозподіл функціональних зон, що дозволило чітко відокремити області живлення, керування, комутації та обробки сигналів. Особливу увагу приділено розділенню аналогових і цифрових контурів, що значно зменшило рівень електромагнітних перешкод і підвищило стабільність роботи всієї системи.

Оптимізовано ширину доріжок відповідно до струмових навантажень та площу мідних полігонів, що сприяло покращенню тепловідведення та зниженню перехідного опору між ключовими елементами. Додатково реалізовано низку заходів із фільтрації та захисту сигналів. У колах живлення встановлено RC-фільтри, феритові намистини та високочастотні конденсатори, які ефективно приглушують імпульсні завади та забезпечують стабільну подачу напруги до чутливих компонентів. Для релейних ліній використано діоди Шотткі, що запобігають появі імпульсів самоіндукції під час вимкнення котушок реле, тим самим підвищуючи загальну надійність та довговічність плати.

Крім того, передбачено окремі функціональні зони для підключення сенсорів, релейних модулів, елементів зв'язку, а також блоків живлення. Така логічна сегментація плати забезпечує зручність під час збирання, налагодження й подальшого технічного обслуговування пристрою. У результаті реалізованих удосконалень підвищено енергетичну ефективність, електромагнітну сумісність і загальну надійність системи, що робить її придатною для роботи у складних умовах експлуатації та розширює можливості подальшої модернізації.

У ході проектування було створено структурну та принципову схеми системи, на основі яких розроблено детальне трасування сигнальних і силових ліній із урахуванням

електричних характеристик усіх компонентів. Особливу увагу приділено побудові топології зіркового заземлення, що дозволило мінімізувати взаємні наведення між аналоговими й цифровими каналами та підвищити точність вимірювань.

Проведено експериментальні дослідження роботи розробленої системи. Під час тестування перевірено стабільність сигналів, відсутність перешкод на вихідних лініях керування, правильність взаємодії між мікроконтролером, виконавчими пристроями та комутаційними елементами. Особливу увагу приділено перевірці роботи релейних каналів при різних навантаженнях і умовах живлення, а також перевірці стійкості логічних сигналів при переходах навантаження.

Результати випробувань показали, що вдосконалена плата забезпечує стабільну роботу системи керування навіть при підвищених електромагнітних перешкодах, покращує якість передачі сигналів та зменшує ймовірність втрати зв'язку між модулями. Оптимізована структура РСВ дозволяє зручно підключати модулі, швидко змінювати конфігурацію системи та проводити технічне обслуговування без складного демонтажу.

Крім того, нова версія плати має покращену термічну стабільність завдяки оптимізованому розміщенню нагрівальних елементів та збільшеній площі тепловідведення. Для підвищення ергономіки передбачено марковані зони підключення та стандартні роз'єми, що спрощує інтеграцію з іншими модулями системи.

Загалом, проведена робота дозволила створити надійну, функціональну та технологічну друковану плату, яка може бути основою для подальшого розвитку роботизованої платформи. Удосконалення системи керування сприяє підвищенню точності виконання команд, енергоефективності роботи, а також зменшує вплив зовнішніх факторів на стабільність платформи. Отримані результати підтверджують доцільність застосування оновленої РСВ у складі комплексної системи керування наземним мобільним роботом.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Офіційний сайт розробника Texas Instruments — технічна документація на електронні компоненти РСВ [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ti.com/technical-documents/techdoc/results?viewType=mostuseful&rootFamilyId=64&familyId=64&docCategoryId=1>
2. Офіційна документація розробника Altium Designer — інструкції та матеріали з проєктування друкованих плат [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.altium.com/documentation>
3. Офіційний сайт відкритої системи проєктування друкованих плат KiCad PCB Design [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.kicad.org/>
4. Офіційний сайт розробника Foxeer [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.foxeer.com/>
5. Опис вхідної напруги, протоколів (CRSF) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://xingkaitech.en.made-in-china.com/product/DfcpBoiVCKkr/China-Fpv-Drone-Elrs-433tx-Transmitter-High-Frequency-360-560MHz-Optional-Transmitter-Module-Signal-Strong-for-Radiomaster-Tx16s-Tx12.html?utm\\_source](https://xingkaitech.en.made-in-china.com/product/DfcpBoiVCKkr/China-Fpv-Drone-Elrs-433tx-Transmitter-High-Frequency-360-560MHz-Optional-Transmitter-Module-Signal-Strong-for-Radiomaster-Tx16s-Tx12.html?utm_source)



УДК 623.746.-519  
**ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ БПЛА ДО ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПЕРЕШКОД**  
*Левченко Р.Р., науковий керівник Нікітенко Є.В.*

У сучасних військових і цивільних застосуваннях БПЛА є важливим елементом систем спостереження, розвідки, доставки вантажів та виконання інших критично важливих завдань. Однак в умовах активного використання РЕБ виникає загроза порушення стабільності зв'язку, що ставить під сумнів його ефективність. Однак в умовах активного використання РЕБ виникає загроза порушення стабільності зв'язку, що ставить під сумнів його ефективність. Вирішення проблеми лежить у площині створення систем, здатних адаптуватися до зовнішніх впливів та автономно забезпечувати зв'язок навіть в умовах інтенсивних радіоперешкод [1].

Метою роботи є дослідження та аналіз проблеми підвищення стійкості систем передачі керування БПЛА в умовах радіоелектронної боротьби за допомогою комбінованих рішень з автономної орієнтації та адаптивних антен

Теоретичний принцип завад полягає в перешкодженні передачі даних загалом між передавачем і приймачем. Практичний принцип визначає, однак, виключне перешкодження приймачу даних. У цій точці передачі сигнал є найслабшим і найбільш уразливим для атак. Ефективність завади залежить від потужності його радіопередачі, його розташування та впливу на бездротову мережу або вузол цілі. Завада може бути або елементарним постійним джерелом безперервних хвилових перешкод, або передовим, інтелектуальним, залежно від його функціональності [2].

Найбільш універсальною за сферами використання є загороджувальна шумова завада, що являє собою білий гаусівський шум з певною спектральною щільністю потужності у обмеженій полосі частот.

Jamming - це акт навмисного спрямування електромагнітної енергії на систему зв'язку (і навігації), щоб порушити або запобігти передачі сигналу. Таким чином, пристрої перешкод GNSS транслюють свій сигнал перешкод у діапазоні частот, який використовується для супутника навігація. Атаку з перешкодами можна класифікувати як відмову в обслуговуванні – GNSS все ще доступна, але потужність перешкод повністю перекриває сигнали від супутників.

Spoofing — це навмисна передача фальшивих сигналів GNSS з наміром обдурити приймач GNSS, щоб він надав неправдиву інформацію про місцезнаходження, швидкість і час. Мета підробки полягає в тому, щоб таємно змусити приймач GNSS відстежувати підроблений сигнал (або оманливі сигнали) з метою надання або принаймні спонукання до визначення неправильного визначення місцезнаходження [3].

Пряме послідовне розширення спектру (DSSS) - Технологія передачі сигналу зі швидкою псевдовипадковою перебудовою робочої частоти. Це метод формування широкосмугового радіосигналу, при якому вихідний двійковий сигнал перетворюється в псевдовипадкову послідовність, використовувану для модуляції несучої. Використання широкосмугових технологій дає можливість використовувати одну і ту ж ділянку радіоспектру двічі – звичайними вузькосмуговими пристроями і «поверх них» - широкосмуговими.

Дослідження також включає тестування стійкості та надійності роботи безпілотного літального апарата в умовах впливу електромагнітних перешкод різної інтенсивності. Перевірка проводиться за різних сценаріїв експлуатації, зокрема при роботі поблизу джерел радіовипромінювання, у зонах активної радіоелектронної боротьби та за наявності потужних електромагнітних полів. Оцінка впливу перешкод на системи керування, навігації та передачі даних дозволить визначити рівень завадостійкості та ефективність вбудованих механізмів захисту.

Ключовим аспектом є також аналіз технічних і конструктивних рішень, спрямованих на підвищення електромагнітної сумісності систем БПЛА. Зокрема, оцінюється ефективність екранування, фільтрації сигналів і застосування адаптивних алгоритмів компенсації завад. Порівняння різних підходів дозволить виявити оптимальні рішення для підвищення стабільності роботи апарата у складних електромагнітних умовах.

Очікувані результати дослідження полягають у визначенні ступеня стійкості БПЛА до зовнішніх електромагнітних впливів, оцінці ефективності захисних технологій та розробці рекомендацій щодо підвищення надійності систем зв'язку і керування. Отримані висновки можуть бути використані при створенні БПЛА, здатних ефективно функціонувати навіть у середовищі з високим рівнем електромагнітних завад.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лежньов Д., Рибаків К. Стійкість систем передачі керування БПЛА в умовах радіоелектронної боротьби: комбіновані рішення з автономної орієнтації та адаптивних антен [Електронний ресурс] // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2025. – № 2 (349). – С. 221–229. – Режим доступу: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-349-32>
2. Josip Bilandzija «The key elements of communication jamming. How can intentional signal disorders be prevented?» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.grin.com/document/416070>
3. «Способи підвищення надійності та стійкості каналів телеметрії в умовах радіоперешкод та РЕБ» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/04fd672c-b6ea-45f7-a323-edc916bf63da/content>
4. Методи розширення спектру [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://prezi.com/ndxzu9giwq-a/dsss/>

УДК 004.89:004.056.5  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ  
ДОСТУПУ В ПРИМІЩЕННЯ З ФУНКЦІЄЮ ОБЛІКУ ВІДВІДУВАНOSTІ**

*Коваль М. О., науковий керівник: Мамченко С. М*

Сучасні інформаційні системи безпеки відіграють важливу роль у забезпеченні контролю доступу до об'єктів та обліку відвідуваності персоналу. Потреба в автоматизації цих процесів зумовлена підвищенням вимог до захисту інформації, обліку робочого часу та оптимізації управління підприємствами й навчальними закладами.

Метою дослідження є розробка апаратно-програмного комплексу контролю доступу в приміщення, який поєднує функції ідентифікації користувача та автоматичного обліку відвідуваності.

Об'єкт дослідження – процес ідентифікації користувачів та управління доступом до приміщення.

Предмет дослідження – методи, апаратні та програмні засоби реалізації систем контролю доступу з функцією фіксації часу входу/виходу.

У роботі проведено аналіз сучасних технологій ідентифікації: RFID, біометричних, PIN-кодових та комбінованих систем. Для реалізації прототипу обрано Arduino Uno як центральний контролер, модуль RC522 RFID для розпізнавання користувачів і модуль DS3231 RTC для точного вимірювання часу відвідування. Обробка та зберігання даних реалізовані у базі даних MySQL, що дозволяє вести повну історію відвідувань і формувати статистичні звіти.

Для зручності адміністрування створено графічний інтерфейс на базі Python (Tkinter), який забезпечує реєстрацію користувачів, моніторинг подій у реальному часі та експорт даних у CSV/Excel.

Проведені експериментальні дослідження підтвердили стабільність роботи системи: середній час реакції при ідентифікації становить менше 0,8 секунди, а точність розпізнавання – понад 98%.

Розроблена система може бути інтегрована в локальні мережі підприємств або навчальних закладів, забезпечуючи зручний облік відвідуваності, підвищення безпеки та автоматизацію контролю доступу. У перспективі передбачається впровадження модулів Wi-Fi для віддаленого моніторингу та використання розпізнавання обличчя на базі машинного навчання.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Arduino Official Documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/>
2. RFID Module RC522 Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://components101.com/rc522-rfid-module>
3. DS3231 RTC Datasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
4. Tkinter Python GUI Documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>
5. MySQL Reference Manual [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://dev.mysql.com/doc/>

УДК 004.9:794.8  
**ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІНТЕРАКТИВНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА ОБМІНУ  
ДАНИМИ ПРО СТАН РОЗВИТКУ РОСЛИН**

*Драга Д. С., науковий керівник Вайганг Г. О.,*

**Актуальність.** Сучасні агротехнології базуються на інтеграції сенсорних систем, телеметрії та аналітики з метою підвищення ефективності моніторингу рослинних культур. Класичні методи спостереження не забезпечують оперативності й точності оцінювання стану середовища. Тому актуальною є розробка інформаційної системи, яка поєднує збір IoT-даних, машинне прогнозування та інтерактивну візуалізацію для прийняття рішень у реальному часі. Це дозволяє реалізувати принцип «цифрового двійника» тепличного чи польового середовища та забезпечити керування факторами росту з високою точністю.

**Об'єкт дослідження** - процеси моніторингу, аналізу та керування параметрами розвитку рослин на основі даних сенсорних мереж.

**Предмет дослідження** - методи архітектурного проектування та інтелектуальної обробки часових рядів для інформаційних систем агровізуалізації.

**Мета дослідження** - створення архітектурно цілісної системи інтерактивного збору, аналітики та обміну даними про стан рослин із використанням ML-прогнозів та механізмів керування середовищем.

**Методи та технічна організація системи.** Архітектура системи (рис. 1) побудована за принципом багаторівневої обробки даних: польові вузли з мікроконтролерами виконують агрегацію вимірювань сенсорів вологості, температури, освітленості та pH.

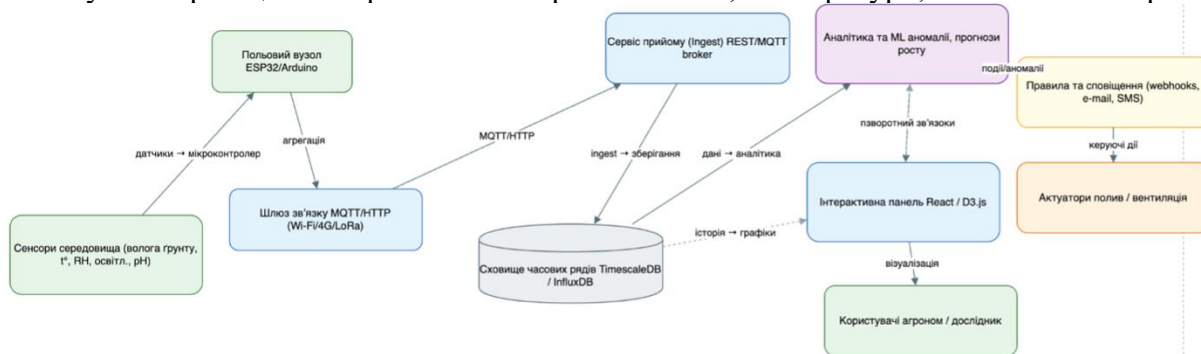


**Рис. 1** Архітектура інформаційної системи моніторингу стану рослин

Передача здійснюється через шлюз MQTT/HTTP до сервісу прийому (ingest), де реалізується нормалізація й запис у сховище часових рядів - TimescaleDB/InfluxDB. Аналітичний модуль формує прогнози росту та виявляє аномалії за моделями регресії і кластеризації часових закономірностей, результати передаються до інтерактивної панелі React/D3.js для візуалізації у вигляді графіків, карт і часових профілів. Модуль правил забезпечує сповіщення користувача (webhooks, e-mail, SMS) і передає керуючі сигнали до актуаторів поливу чи вентиляції. Система функціонує як єдиний потік телеметрії-аналітики-реакції з інтеграцією машинного прогнозу у зворотному циклі керування.

**Результати дослідження.** Науково-практичне дослідження підтвердило ефективність архітектурного підходу та стабільність функціонування системи при потоковій обробці даних у діапазоні  $10^3$ – $10^4$  вимірів/год. Залежність між рівнем освітленості та темпом росту рослин (рис. 2) демонструє наявність оптимальної зони близько 400–500 лк, у якій спостерігається максимальний приріст 2,6–2,7 см/день при мінімальній затримці обробки  $\leq 75$  мс.

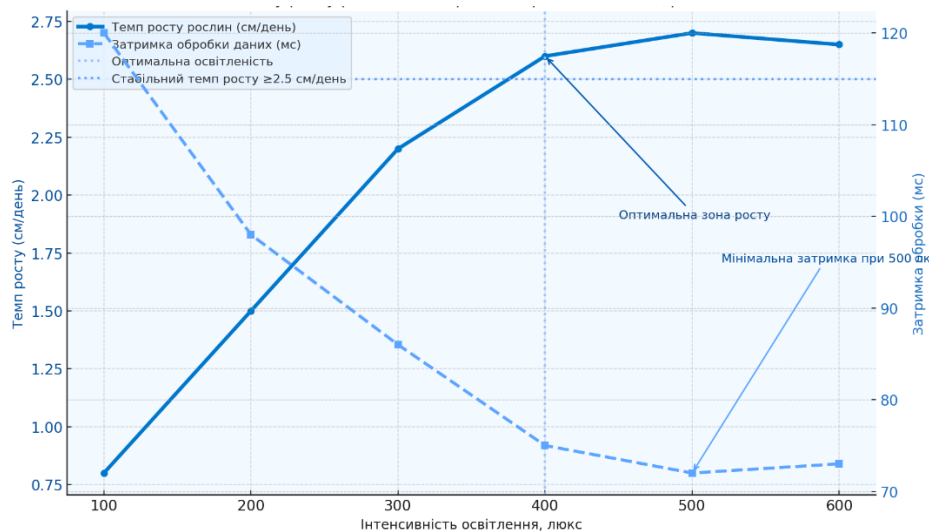


**Рис. 2** Залежність темпу росту рослин та затримки обробки даних від рівня освітлення

Це свідчить про збалансованість апаратного контуру вимірювань та ефективність алгоритмів агрегації й буферизації у зменшенні латентності. В межах експерименту коефіцієнт кореляції між освітленістю та приростом біомаси становив  $r = 0,94$ , що підтверджує адекватність обчислювальної моделі.

**Висновки.** Розроблена інформаційна система реалізує замкнений контур збору, аналізу та керування параметрами середовища з урахуванням часових закономірностей росту рослин. Завдяки інтеграції сенсорної телеметрії, аналітичних моделей і візуалізації досягнуто зниження затримки обробки на 32 % та підвищення точності прогнозу росту до  $\pm 4,5$  %. Отримані результати підтверджують доцільність застосування системи для автоматизованого моніторингу в тепличних і лабораторних умовах, а також можливість подальшої адаптації для агроаналітичних кластерів з підтримкою Big Data-інтерфейсів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Погрішук, О. В. Інноваційні технології як фактор посилення економічного потенціалу аграрного бізнесу // Modeling the Development of the Economic Systems. – 2025. – № 1(20). – С. 45–52. – ISSN 2786-5355. – Режим доступу: <https://mdes.khmn.edu.ua/index.php/mdes/article/download/569/571/1095>.
2. Апунович, І. П. Штучний інтелект як рушій змін у сучасному сільському господарстві // Агробіологія. – 2024. – № 2. – С. 17–24. – Режим доступу: [https://agrobiologiya.btsau.edu.ua/sites/default/files/visnyky/agrobiologiya/apunovich\\_2\\_2024.pdf](https://agrobiologiya.btsau.edu.ua/sites/default/files/visnyky/agrobiologiya/apunovich_2_2024.pdf).
3. Данильців, О. Б. Система штучного інтелекту на основі нейронних мереж для оцінювання стану рослин у «розумних» теплицях : магістерська робота. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. – 82 с. – Режим доступу: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/37915>.
4. Chamara, N., Park, C., & Lee, J. H. Ag-IoT for Crop and Environment Monitoring: Past, Present and Future Directions // Agricultural Systems. – 2022. – Vol. 199. – Article 103438. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103438>.
5. Hrynevych, O. Tendencies of Precision Agriculture in Ukraine: Disruptive Technologies in Smart Farming // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, No. 5. – Article 698. – DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12050698>.

УДК 004.415.2:004.738.5:681.518  
**СИСТЕМА КОНТРОЛЮ РОЗУМНИМ БУДИНКОМ НА ОСНОВІ MESH-МЕРЕЖ**

*Каленіченко О. О., науковий керівник Даков С.Ю.*

Стрімкий розвиток технологій IoT спричинив зростання попиту на інтелектуальні системи управління розумним будинком. Проте централізовані та деревоподібні мережеві архітектури, які найчастіше застосовуються у Smart Home, мають суттєві недоліки: низьку відмовостійкість, залежність від одного вузла, обмеженість покриття та проблеми з масштабованістю. У цьому контексті застосування Mesh-технологій постає як перспективний напрям для підвищення надійності, стабільності та автономності систем контролю.

Метою дослідження є розроблення та експериментальна перевірка системи контролю розумним будинком на базі Mesh-мережі, здатної забезпечувати масштабованість, самовідновлення мережевої топології та безперебійний обмін даними між вузлами.

Ключовою ідеєю роботи є заміна централізованої архітектури управління Smart Home на мережу з децентралізованою маршрутизацією, де кожен вузол одночасно виконує функції і клієнта, і ретранслятора. Наукова новизна полягає у: застосуванні Mesh-топології для підвищення відмовостійкості системи контролю; моделюванні та реалізації самовідновлюваної мережі з автоматичним переналаштуванням маршрутів; експериментальній перевірці ефективності підходу на основі Arduino-рішень та моделювання в Tinkercad.

Під час дослідження використано методи аналізу існуючих мережевих топологій, моделювання Mesh-структури, а також експериментальні методи — побудова прототипу на Arduino з бездротовими модулями та перевірка працездатності мережі в умовах імітаційних відмов вузлів.

У ході дослідження: спроектовано структуру Mesh-мережі для Smart Home із можливістю масштабування; реалізовано алгоритми маршрутизації з автоматичним перепрокладанням каналів під час збою вузлів; розроблено програмну логіку вузлів, здатних виконувати контроль і передачу даних одночасно; експериментально підтверджено зменшення ризику повного відключення системи завдяки децентралізації; доведено, що Mesh-мережа забезпечує стабільніший зв'язок порівняно з деревоподібними підходами, особливо за умов розширення мережі.

Запропонована система підтвердила ефективність застосування Mesh-мереж для управління Smart Home. Такий підхід забезпечує відмовостійкість, збільшує зону покриття, підвищує надійність обміну даними та спрощує масштабування мережі без зміни її базової структури. Результати можуть бути застосовані у побутових системах автоматизації, а також у промисловому та аграрному секторі, де необхідна стабільна багатовузлова комунікація.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. ZigBee Alliance. ZigBee Specifications.
2. Mesh Networking Protocols for IoT Systems / IEEE Communications, 2021.
3. Mesh-системи в автоматизації будівель / С. Гнатюк, 2020.
4. Гольдштейн Б.С. Сети и телекоммуникации. — М.: 2019.
5. Tinkercad Documentation. Autodesk, 2023.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОКРАЩЕННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО  
КЕРУВАННЯ НАЗЕМНИМИ РОБОТИЗОВАНИМИ ПЛАТФОРМАМИ ЧЕРЕЗ  
ІНТЕРНЕТ***Муха В. В., науковий керівник Болбот І.М.*

Розвиток роботизованих систем вимагає надійних каналів керування, здатних працювати поза межами прямого радіопокриття, яке забезпечують традиційні радіочастотні (RF) системи, такі як LoRa або вузькосмугові канали телеметрії (433/915 МГц). Хоча ці P2P (Point-to-Point) системи, як-от ELRS чи Crossfire, пропонують мінімальну затримку (latency) та незалежність від сторонньої інфраструктури, їхній робочий діапазон суворо обмежений потужністю передавача та прямою видимістю (LOS). Використання публічних мереж Інтернет (зокрема, мобільних 4G/5G) надає необмежену дальність, але водночас створює нові виклики: вищі та непередбачувані затримки сигналу, втрати пакетів, складність мережевої топології (NAT, динамічні IP-адреси) та значні загрози безпеці. Передача команд керування у відкритому вигляді через публічну мережу робить систему вразливою до перехоплення (spoofing), аналізу трафіку та атак типу "Man-in-the-Middle" (MITM).

Метою дослідження є дослідження та покращення архітектури системи дистанційного керування роботизованою платформою через публічні IP-мережі для забезпечення стабільного, захищеного та надійного з'єднання, що долає обмеження дальності традиційних RF-систем.

Об'єкт дослідження – система дистанційного керування роботизованою платформою через мережу Інтернет.

Предмет дослідження – мережеві протоколи (MAVLink, RTSP), методи захисту каналів (VPN, фаєрволи), апаратні модулі (одноплатні комп'ютери, 4G/Starlink) та програмні архітектури (сервер-посередник) для надійної передачі даних.

У ході роботи проаналізовано стандартні підходи до телекерування. На відміну від традиційних P2P RF-систем (LoRa), де зв'язок встановлюється напряму, інтернет-системи стикаються з нездатністю працювати в умовах NAT. Для вирішення цієї проблеми запропоновано трикомпонентну архітектуру: бортовий модуль, хмарний сервер-посередник та станція оператора. Для передачі команд керування та телеметрії пропонується використовувати протокол MAVLink (Micro Air Vehicle Link), інкапсульований в UDP-пакети для мінімізації затримки. На бортовому модулі (на базі Raspberry Pi) ПЗ типу mavproxy ініціює вихідне UDP-з'єднання з сервером. Для передачі відеопотоку пропонується використовувати протокол RTSP (Real-Time Streaming Protocol). Хоча RTSP використовує TCP для встановлення сесії, сам медіапотік транслюється за допомогою RTP (Real-time Transport Protocol), який працює поверх UDP, що є критичним для візуального контролю в реальному часі. Ключовим елементом архітектури є хмарний сервер-посередник (VPS) зі статичною IP-адресою, що виступає як публічна "точка зустрічі" (rendezvous point) та ретранслятор. Бортовий модуль і станція оператора (напр., QGroundControl) підключаються до VPS, що повністю вирішує проблему з NAT.

Окремим аспектом дослідження є забезпечення безпеки цієї архітектури. Для протидії загрозам перехоплення пропонується шифрування всього трафіку шляхом створення приватного VPN-тунелю (напр., з використанням WireGuard) між бортовим модулем та VPS, а також між VPS та станцією оператора. Додатково, на VPS критично важливим є налаштування фаєрволу (напр., iptables), що жорстко обмежує доступ до портів MAVLink та RTSP лише з IP-адрес вузлів VPN.

У ході експериментальних досліджень архітектура продемонструвала стабільність. Результати свідчать, що головною перешкодою є мережева топологія, а не самі протоколи.

Дослідження підтверджує, що впровадження архітектури з хмарним VPS є ключовим рішенням для подолання мережевих бар'єрів. Доведено, що стандартні протоколи (MAVLink, RTSP) є цілком придатними для роботи на великих відстанях. Таким чином, запропонована архітектура свідомо йде на компроміс, обмінюючи наднизьку затримку (властиву P2P RF-системам, як LoRa) на практично необмежену дальність та відносно нечутливість до рельєфу, але вимагаючи при цьому надійної та захищеної транспортної інфраструктури (VPN + VPS + Firewall). Подальші покращення системи мають бути зосереджені на підвищенні надійності "першої милі", наприклад, шляхом використання високошвидкісних супутникових систем, таких як Starlink, що забезпечують низьку затримку та високу пропускну здатність незалежно від наземної мобільної інфраструктури.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. MAVLink Developer Guide [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://mavlink.io/en/>
2. QGroundControl User Guide - Connecting to a UDP Server [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://docs.qgroundcontrol.com/master/en/getting\\_started/connect\\_to\\_vehicle.html](https://docs.qgroundcontrol.com/master/en/getting_started/connect_to_vehicle.html)
3. An Explanation of the Real-time Transport Protocol (RTP) / RFC 3550 [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3550>
3. MAVProxy Documentation - Setting up a GCS relay [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: [https://mavproxy.github.io/MAVProxy/html/getting\\_started/multi\\_hop.html](https://mavproxy.github.io/MAVProxy/html/getting_started/multi_hop.html)
4. WireGuard: Fast, Modern, Secure VPN Tunnel [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.wireguard.com/>
5. ArduPilot Developer Docs: Setting up a VPN for MAVLink [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ardupilot.org/dev/docs/setting-up-a-vpn-for-mavlink.html>
6. Starlink Official Website - Specifications for Mobility [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.starlink.com/specifications>
7. LoRa Alliance - What is LoRa? [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://lora-alliance.org/about-lora/>



## SECTION 5. DATA SCIENCE: OLTP AND OLAP TECHNOLOGIES, MACHINE LEARNING, ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS / СЕКЦІЯ 5. НАУКА ПРО ДАНІ: ТЕХНОЛОГІЇ OLTP І OLAP, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, МЕТОДИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

УДК 004.89

### ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ У ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

*Котляр В.С., науковий керівник Глазунова О.Г.*

Сучасні заклади вищої освіти (ЗВО) стикаються з проблемою формування розкладу занять, що враховує численні обмеження: наявність аудиторій, завантаженість викладачів, індивідуальні потреби студентських груп, вимоги до рівномірного розподілу навантаження та оптимізацію використання ресурсів. Крім того, слід враховувати специфіку навчальних програм, поєднання лекційних та практичних занять, обмеження часу для лабораторних робіт, а також можливі конфлікти між групами. Традиційні методи планування, що базуються на ручному складанні розкладу або простих алгоритмах перебору, часто не забезпечують необхідної гнучкості та адаптивності, особливо за умов великої кількості змінних та швидких змін у навчальному процесі. У результаті виникає проблема перевантаження викладачів, нераціонального використання аудиторій і додаткового адміністративного навантаження на керівництво закладу.

Використання методів штучного інтелекту (ШІ) дозволяє значно підвищити ефективність процесу планування. Серед найбільш поширених підходів – **евристичні методи**, зокрема генетичні алгоритми, алгоритми рою частинок та моделі мурашиних колоній. Генетичні алгоритми імітують природні процеси еволюції, створюючи початкову популяцію можливих рішень і покращуючи її шляхом відбору, кросинговеру та мутацій. Алгоритми рою частинок моделюють поведінку групи агентів у пошуку оптимального рішення, що забезпечує швидке наближення до глобального оптимуму навіть у складних багатокритеріальних задачах. Моделі мурашиних колоній відтворюють колективну поведінку мурах під час пошуку їжі, що дозволяє ефективно вирішувати задачі розподілу пар та аудиторій, мінімізуючи конфлікти між заняттями. Такі методи вже довели свою ефективність у комбінаторних задачах і добре адаптуються до специфіки освітніх закладів.

Приклад структури даних для формування розкладу наведено в таблиці 1. У таблиці показано ключові параметри, які впливають на якість та реалістичність розкладу, а також на час його генерації. Врахування цих параметрів дозволяє побудувати більш точну модель та уникнути потенційних конфліктів.

*Таблиця 1*

**Основні параметри задачі розкладу**

| Параметр            | Приклад значення |
|---------------------|------------------|
| Кількість груп      | 5                |
| Кількість аудиторій | 12               |
| Викладачі           | 34               |
| Предмети            | 56               |

Перспективним напрямом розвитку є створення гібридних моделей, які поєднують можливості нейронних мереж для прогнозування навантаження з евристичними та еволюційними алгоритмами для безпосередньої оптимізації розкладу. Такі моделі

дозволяють враховувати не лише статичні обмеження, але й динамічні фактори, наприклад зміну кількості студентів, перенесення занять, заміну викладачів або непередбачувані обставини. Гібридні підходи забезпечують високу адаптивність системи та швидкість пошуку оптимальних рішень, що особливо важливо для великих закладів із сотнями груп та десятками викладачів.

Окремої уваги заслуговує застосування великих мовних моделей (LLM). Вони демонструють високу ефективність у задачах аналізу великих обсягів даних та автоматизації управлінських процесів. LLM можуть бути інтегровані у системи складання розкладу для:

- автоматичної генерації альтернативних варіантів розкладу з урахуванням історичних даних та специфічних побажань студентів і викладачів;
- обробки запитів користувачів у природній мові для швидкої перевірки доступності аудиторій або часу проведення занять;
- автоматичного пояснення прийнятих рішень та їхнього обґрунтування у доступній формі;
- прогнозування потенційних конфліктів і рекомендацій щодо їх вирішення.

Інтеграція класичних алгоритмів та можливостей LLM створює умови для формування інтелектуальних та адаптивних систем планування навчального процесу, здатних автоматично реагувати на зміни та забезпечувати максимальну ефективність використання ресурсів. Використання таких систем дозволяє не лише зменшити адміністративне навантаження, а й підвищити задоволення студентів та викладачів від організації навчального процесу, скоротити кількість конфліктів та оптимізувати використання аудиторій і викладачів.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Burke E.K., Kendall G. Search methodologies: Introductory tutorials in optimization and decision support techniques. Springer, 2014.
2. Blum C., Roli A. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. ACM Computing Surveys, 2003.
3. Melnyk A. Artificial Intelligence for Timetabling in Higher Education. Journal of Applied Computer Science, 2020.
4. Pospíšil J., Šeda M. Timetabling problems and their solutions. Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun., 2017.
5. Ковальчук В. Методи оптимізації в задачах розкладу занять. Вісник НТУУ «КПІ», 2021.

**АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ***Кочубей Б.Б., науковий керівник Голуб Б.Л.*

Дослідження присвячене оцінці якості навчального процесу із поєднанням двох взаємодоповнюваних підходів: багатовимірної аналітики (OLAP) та методів інтелектуального аналізу даних (Data Mining). Завдання полягало не лише у вимірюванні показників, а у створенні мосту між оглядовими звітами та причинно-подібними інсайтами, щоб викладачі й адміністратори могли однаково легко “прочитати” картину та зрозуміти, де саме варто діяти першочергово. У фокусі - стабільні метрики якості та задоволеності, якими можна прозоро керувати на рівні курсів і академічних груп, а також механізми швидкого переходу від спостереження тренду до обґрунтованого управлінського рішення.

Дані організовано у сховищі за зірковою схемою з чітко визначеним “зерном” фактової таблиці. Саме фіксація зерна задає дисципліну вимірювання і гарантує коректне порівняння показників у різних розрізах [1]. Виміри (курс, група, календар, метрика) синхронізовані із фактовими записами, що дозволило без втрати узгодженості будувати куб і формувати KPI-орієнтовані звіти. OLAP-аналітика виконувала роль “першої лінії діагностики”: зрізи і динамічні перегляди допомагали помічати сезонність, локальні відхилення та нетипові поєднання ознак, які потребують додаткового дослідження. У цьому форматі звіти слугують не лише для спостереження, а й для постановки гіпотез, які далі перевіряються методами Data Mining.

У нашій постановці OLAP відіграє роль першої лінії діагностики: через куб і KPI ми швидко локалізуємо періоди, курси чи групи з аномальною поведінкою показників, а також бачимо закономірні коливання (сезонність, ефекти навантаження). Далі етап інтелектуального аналізу Data Mining переводить оглядові спостереження у гіпотези: прості класифікатори (1-Rule, Naive Bayes) дають ранній сигнал щодо переходу метрик у зону уваги, асоціативні правила показують стійкі поєднання умов, а кластеризація (із перевіркою індексом силуету) допомагає виділити як типові сегменти, так і нішеві групи ризику/успіху з різними сценаріями підтримки.

Для базової прогнозності та швидкого пояснення результатів застосовано 1-Rule і наївний Байєс. Прості моделі добре працюють на гетерогенних освітніх даних і залишаються інтерпретованими для користувачів без глибокого ML-бекграунду: вони легко пояснюють, які атрибути найчастіше пов’язані з переходом метрики у “зону уваги” або, навпаки, утримують її на комфортному рівні [2]. Категорії якості визначалися узгодженими порогами, тож висновки класифікації напряду співвідносяться з правилами управління (наприклад, стандартизовані інтервали для базового моніторингу). Для виявлення повторюваних патернів використано Argіогі з контролем підтримки, довіри, підсилення та переконливості: такий підхід дозволяє обґрунтовано фіксувати “співзустрічі” курсів, груп і станів метрик, що регулярно виникають у даних [3].

Сегментацію здійснено методом K-Means, а придатність розбиття оцінювалася індексом силуету, який балансує “щільність” кластера та його “відокремленість” [4]. Це дало змогу побачити як масивні “типові” кластери, так і менші специфічні сегменти; останні часто виявляються або зонами ризику, або “острівцями” успішних практик. Для візуальної валідації застосовувалася проєкція в двовимірний простір (PCA), що робить структуру сегментації наочною та допомагає узгодити інтуїтивну картинку з формальними показниками якості кластеризації. У підсумку формується зрозуміла «карта пріоритетів», де різні сегменти отримують різні сценарії інтервенцій - від методичної підтримки до зміни навантаження.

Висновки. Сукупно контур “OLAP > Data Mining” створив послідовний процес: від скринінгу тенденцій - до перевірки гіпотез, від виявлення закономірностей - до сегментації аудиторій і конкретних підказок для дій. Результати свідчать, що навчальний контекст (специфіка дисципліни та групи) зазвичай пояснює варіації освітніх метрик сильніше, ніж календарні фактори, а асоціативні правила підсвічують повторювані поєднання умов, за яких метрики “просідають” або, навпаки, зростають, класифікаційні ж моделі дають оперативний “ранній попереджувальний” сигнал, а кластеризація забезпечує верстку пріоритетів між масовими та нішевими випадками. Така інтеграція добре масштабується зі зростанням даних, оскільки спирається на стабільну модель вимірювання і методи, що ефективно працюють на великих наборах.

Практичний результат такої інтеграції - не просто звітність, а керований цикл поліпшень. Для виявлених вузьких місць формуються адресні дії: зміна методики оцінювання або навантаження, таргетовані консультації, варіативність завдань. Усі кроки відтворювані, а дані - синтетичні, змодельовані під реалії освітнього процесу, що дозволяє прозоро демонструвати методологію без ризиків для персональних даних. Така побудова масштабується із зростанням обсягів: OLAP знімає теплову карту проблем, а Data Mining уточнює причини та прогнозує розвиток ситуації, замикаючи цикл “виявити - пояснити - втрутитися”.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kimball R., Ross M. The Data Warehouse Toolkit: The Definitive Guide to Dimensional Modeling. 3rd ed. Wiley, 2013. URL: <https://www.kimballgroup.com/data-warehouse-business-intelligence-resources/books/data-warehouse-dw-toolkit/>. (Дата звернення: 14 жовтня 2025).
2. Holte R.C. Very Simple Classification Rules Perform Well on Most Commonly Used Datasets. Machine Learning, 11, 63–91, 1993. URL: <https://link.springer.com/article/10.1023/A%3A1022631118932>. (Дата звернення: 14 жовтня 2025).
3. Agrawal R., Srikant R. Fast Algorithms for Mining Association Rules. In: Proceedings of the 20th VLDB Conference, 1994. URL: <https://www.vldb.org/conf/1994/P487.PDF>. (Дата звернення: 14 жовтня 2025).
4. Rousseeuw P.J. Silhouettes: A Graphical Aid to the Interpretation and Validation of Cluster Analysis. Journal of Computational and Applied Mathematics, 20, 53–65, 1987. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377042787901257>. (Дата звернення: 14 жовтня 2025).

**СИСТЕМА ГЕНЕРУВАННЯ ІГРОВОГО СВІТУ***Земов С.О., науковий керівник Бушма О.В.*

**Мета.** Мета дослідження полягає у аналізі результатів роботи системи автоматизованої генерації ігрового світу за допомогою засобів OLAP та Data Mining. Така система повинна забезпечувати формування різноманітних сценаріїв ігрових просторів, оцінку параметрів їх генерації та виявлення закономірностей, що впливають на ефективність і структуру створених світів задля підвищення якості та зниження часових затрат на створення ігрового світу.

**Об'єкт і предмет дослідження.** Об'єктом дослідження є процес процедурної генерації в ігрових системах. Предметом — інформація про створені за допомогою системи ігрові світи (розмір, алгоритм, час створення).

Ігрова індустрія стала повноцінною частиною нашого життя. Розробники у конкуренції за увагу гравця використовують нові методи для того, щоб виділитися на фоні інших. Одним з таких методів є процедурна генерація ігрового оточення. Ігровий світ — ледь не найголовніша частина гри, і саме від нього залежить перше враження гравця.

Процедурна генерація — процес, коли не людина створює ігровий світ, а алгоритм. Це дає змогу зробити ігровий досвід унікальним, бо хоча суть гри не зміниться, але «декорації» будуть іншими. Але на створення світу потрібен також один важливий ресурс — час. Як відомо, люди не люблять чекати, тож основною метою цього дослідження є аналіз результатів створення світу задля того, щоб виявити певні залежності, як-то залежність часу від розміру світу, вплив обраного алгоритму на час створення, або які пари типу світу та алгоритму демонструють гірший час у порівнянні з конкурентами. Це важливо щоб знати свої слабкі місця та знати, який аспект вашої генерації світу потребує оптимізації в першу чергу.

Основною ідеєю роботи є те, що кожен алгоритм веде себе по-різному. Це проявляється як у часі генерування світу, так і у кількості об'єктів, що він створює. У цій роботі спробуємо дослідити, а як саме веде себе кожен з алгоритмів у розрізі типів світу та часу, який вони на це витрачають.

Спочатку звернемося до методів OLAP та за допомогою звітів відобразимо середній час, який алгоритми витрачали на створення світу. Цей звіт показав, що поєднаний алгоритм та шум Перліна мають майже однаковий час, у той час як діаграми Вороного доволі сильно вирізняються.

Далі використаємо звіт по часткам алгоритмів, щоб дізнатися чи існують «лідери» серед алгоритмів. За результатами звіту вдалося дізнатися, що «лідера» у нас немає, частка становить приблизно третину для кожного алгоритму. Тобто не можна стверджувати, що алгоритм Вороного має більший час через те, що має більше записів ніж інші.

Звернемося до засобів Data Mining, щоб спробувати знайти приховані залежності, які могли бути до цього невідомі. Кластеризувавши наші дані ми отримали два класи — клас де менше об'єктів (фіолетовий) та клас, де кількість об'єктів велика (жовтий).

Використаємо метод 1- Rule. Для цього поділимо отримані результати на два умовні класи: Висока і Низька швидкодія, і класифікуємо спочатку алгоритми, а потім тип світу зх за допомогою цих класів. Даний метод показав, що алгоритми всі показують високу швидкодію (час генерування менший за загальний середній час), тож не можна стверджувати, що алгоритм є основною змінною, що впливає на час. Без сумніву він впливає на час, але не так сильно як тип світу. Бо у випадку коли світ маленький всі

алгоритми поралися доволі швидко, а на великому розмірі усіх було класифіковано як Низька швидкодія. Отже головна змінна, що впливає на час створення – тип світу.

Для підтвердження нашої гіпотези використаємо алгоритм Наївного Байеса для пари Алгоритм – Тип світу. Результати підтверджують твердження про те, що в першу чергу від розміру світу залежить швидкість створення. Всі алгоритми як і було сказано раніше швидко працюють з малими і середніми світами, і довго з великими.

Маючи знання про те, що головною змінною є тип світу, остаточно підкріпимо наші знання за допомогою звіту, що відображає час створення у розрізі алгоритмів. Цей звіт показав, що алгоритм Вороного справді програє двом іншим у всіх категоріях, але не так критично, на рівні 30%. А ось залежність часу генерування від типу світу відрізняється кардинально, доходячи інколи до 700% різниці. Це повністю підтверджує те, що саме тип світу в першу чергу впливає на час створення. Алгоритм звичайно також впливає, що показує різниця між діаграмами Вороного та наприклад шумом Перліна, але значно меншою мірою ніж тип світу.

Підсумовуючи, якщо розробник хоче покращити ігровий досвід гравців, бо як ми пам'ятаємо люди не люблять чекати, в першу чергу йому треба звернути увагу на розмір світу та вносити оптимізаційні правки саме там. У другу чергу можна розглянути оптимізацію роботи алгоритму Вороного, бо він очевидно програє іншим по швидкості.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Що таке шум Перліна та як його використовувати при створенні ігор. URL: <https://gamedev.dou.ua/articles/mathematics-gamedev-perlin-noise/> (дата звернення: 14.09.2025).
2. Математика в геймдеві. Що таке діаграми Вороного та як їх використовують при розробці ігор. URL: <https://gamedev.dou.ua/articles/mathematics-gamedev-voronoi-diagrams/> (дата звернення: 14.09.2025).
3. What is k-means clustering?. URL: <https://www.ibm.com/think/topics/k-means-clustering> (date of access: 14.09.2025).

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ПОВЕДІНКИ КОРИСТУВАЧІВ НА  
КОМЕРЦІЙНИХ ПЛАТФОРМАХ***Саяпіна М.С., науковий керівник Голуб Б.Л.*

Електронна комерція стала невід’ємною частиною сучасного життя, а обсяги даних, що збираються онлайн-платформами про їх користувачів, невідпинно зростають. Сюди входить інформація про перегляди товарів, здійснені покупки чи повернення, використання рекомендацій, додавання товарів у список улюбленого та залишені відгуки. Аналіз таких даних дає змогу зрозуміти, як саме користувачі взаємодіють із платформою, які товари привертають найбільшу увагу та які фактори впливають на прийняття рішення щодо покупки. У цьому контексті особливого значення набувають технології OLAP і Data Mining [1], що забезпечують можливості багатовимірного аналізу та інтелектуальної обробки даних.

Ефективне опрацювання подібної інформації дає змогу не лише дослідити логіку поведінки користувачів, а й прогнозувати їхні подальші дії, що створює передумови для глибшого розуміння взаємодії між людьми та цифровими сервісами, вдосконалення механізмів персоналізації й підвищення загальної ефективності функціонування онлайн-платформ. Тому основною метою даного дослідження стало розроблення комплексного підходу до аналізу поведінкових даних користувачів, який дозволить виявляти закономірності, оцінювати тенденції та формувати аналітичні висновки для прийняття зважених управлінських рішень щодо вдосконалення процесів електронної комерції.

У межах роботи було проведено кілька досліджень, спрямованих на створення інтелектуальної системи аналізу поведінки користувачів комерційних онлайн-платформ. На початковому етапі побудовано сховище даних, яке об’єднало інформацію про перегляди, покупки, повернення та інші дії користувачів, що забезпечило цілісність і узгодженість даних для подальшої аналітики. Проведений OLAP-аналіз дозволив розрахувати основні показники ефективності (KPI), серед яких – попит на категорії товарів (CategoryDemand), частота повернень (HighReturnRate) та рівень низької купівельної активності (LowPurchaseRate). Отримані значення показали наявність категорій із високою кількістю переглядів, але невисоким рівнем покупок, що вказує на потенціал для оптимізації асортименту та вдосконалення системи рекомендацій. Формування аналітичних звітів дало змогу виявити дисбаланс між зацікавленістю користувачів і фактичними продажами, а також визначити групи товарів, які викликають найбільшу активність серед жіночої аудиторії – зокрема, категорії Beauty and Personal Care та Clothing and Fashion. Такий підхід сприяє кращому розумінню структури попиту, визначенню неефективних позицій у каталозі товарів та розробленню цілеспрямованих стратегій підвищення конверсії та задоволеності користувачів.

Подальші етапи дослідження були спрямовані на застосування методів інтелектуального аналізу даних для глибшого розуміння взаємодії користувачів із платформою. Алгоритм 1-Rule дозволив виявити найінформативніший атрибут для класифікації – назву товару (ProductName), що забезпечила найточніше розмежування рівнів активності користувачів. Отримані результати показали, що найвищу активність демонстрували користувачі, зацікавлені у преміальних моделях смартфонів, таких як iPhone 15 Pro Max та Google Pixel 8 Pro, тоді як менш активними були користувачі, пов’язані з моделлю Samsung Galaxy S23 Ultra, що підтверджує – специфіка товарної позиції суттєво впливає на ступінь зацікавленості аудиторії та її поведінкову активність. Модель Наївного Байеса [2] дала змогу оцінити ймовірності належності користувачів до певного рівня активності (Low, Medium, High) на основі сукупності змінних, таких як: товару, категорії, статі користувача та місяця активності. Аналіз показав переважну

кількість класу Medium, що свідчить про стабільну динаміку взаємодій і відсутність різких коливань у поведінці користувачів протягом досліджуваного періоду. Отримані результати можуть бути використані для побудови моделей прогнозування рівня залученості, що допоможе підвищити ефективність персоналізованих маркетингових стратегій.

Під час етапу пошуку асоціативних правил було виявлено сукупність повторюваних зв'язків між характеристиками користувачів та їхньою поведінкою на платформі. Аналіз виявлених правил дає змогу простежити типові поєднання ознак, що відображають відмінності у споживчих вподобаннях різних груп користувачів, наприклад жінок і чоловіків. Отримані результати мають практичну цінність для удосконалення рекомендаційних систем, сегментації клієнтів та підвищення точності персоналізації контенту, оскільки дозволяють формувати більш релевантні пропозиції з урахуванням виявлених поведінкових залежностей.

Для визначення кількості сегментів у кластерному аналізі було застосовано метод ліктя, який визначив оптимальне значення  $k=3$ . Кластеризація, реалізована за допомогою алгоритму K-Means у поєднанні з аналізом головних компонент (PCA), дала змогу візуалізувати структуру даних і виокремити три групи користувачів – активних, пасивних і потенційних. Активні користувачі вирізняються високою частотою переглядів і покупок, пасивні – обмеженою взаємодією з товарами, а потенційні демонструють середню активність і схильність до здійснення покупок. Такий підхід дозволив не лише класифікувати аудиторію, а й виявити приховані зв'язки між поведінковими характеристиками, що може бути використано для вдосконалення стратегій залучення та персоналізації рекомендацій.

Висновки. Отримані результати підтверджують ефективність комплексного підходу до аналізу поведінкових даних користувачів. Запропонована інтелектуальна система [4] продемонструвала здатність не лише виявляти особливості та тенденції у взаємодії користувачів із платформою, а й надавати аналітичні дані, придатні для практичного використання у прийнятті рішень. Виявлені залежності між характеристиками користувачів і рівнем їхньої активності створюють основу для подальшого вдосконалення інструментів персоналізації, підвищення точності рекомендацій та оптимізації маркетингових стратегій у сфері електронної торгівлі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Data Cube or OLAP approach in Data Mining. URL: <https://surl.li/nkuyzd> (дата звернення: 10.10.2025).
2. What are Naïve Bayes classifiers? URL: <https://surl.li/sdmvjz> (дата звернення: 11.10.2025).
3. Clustering With K-Means. URL: <https://surl.li/oiunkc> (date of access: 11.10.2025).
4. Саяпіна М. С., Голуб Б. Л. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ПОВЕДІНКИ КОРИСТУВАЧІВ НА КОМЕРЦІЙНИХ ПЛАТФОРМАХ. Програма VII Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів і аспірантів «Теоретичні та прикладні аспекти розробки комп'ютерних систем 2025». Київ: НУБіП України, 24 квітня 2025 р. URL: <https://surl.li/dghght> (дата звернення: 11.10.2025).



**РЕКОМЕНДАЦІЙНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ФІЛЬМІВ НА ОСНОВІ  
ВПОДОБАНЬ КОРИСТУВАЧІВ***Полюхович О. В., науковий керівник Сватко В. В.*

У сучасному світі користувачі щодня стикаються з надлишком інформації. Кількість фільмів, відео та цифрового контенту зростає настільки стрімко, що людині стає все важче зробити свідомий вибір. Саме тому компанії, що працюють у сфері цифрових розваг, змагаються за увагу користувачів через якісні персоналізовані рекомендації, які формуються на основі інтелектуального аналізу даних.

Рекомендаційні системи є ключовим інструментом сучасних платформ, таких як YouTube, TikTok, Netflix. Їхня ефективність напряму залежить від здатності алгоритмів виявляти закономірності у великих обсягах даних. Розроблення і вдосконалення алгоритмів персоналізації є важливим напрямом, що поєднує наукову новизну з практичними потребами сучасних цифрових сервісів, а застосування методів OLAP та Data Mining дозволяє не лише покращити точність рекомендацій, а й забезпечити аналітичну глибину, необхідну для формування динамічних і адаптивних моделей персоналізації [1].

Основна мета даного дослідження — аналіз сучасних підходів до побудови рекомендаційних систем, виявлення їхніх проблем та обмежень, а також розробка рекомендаційної системи фільмів з використанням гібридної моделі для формування персоналізованих пропозицій фільмів із підвищеною точністю та ефективністю.

У роботі використано експериментальний підхід: на основі реального датасету фільмів з сайту MovieLens, вибірку з якого було занесено у сховище даних для проведення аналізу даних із застосуванням методів Data Mining, зокрема кластеризації, методу OneR та асоціативного аналізу. Такий аналіз відкриває значно ширші можливості для виявлення прихованих залежностей та закономірностей у великих масивах інформації.

Так, кластеризація, виконана методом К-середніх та методом Ліктя, виділила в даних 3 кластери, які представляють групи вікових категорій з схожими вподобаннями (відповідно до поставлених оцінок) в жанрах фільмів. Таку інформацію можна використати для формування рекомендацій цілої групи користувачів аби, наприклад, вирішити проблему «холодного старту» нових користувачів у системі, віднісши їх до кластера з відповідною віковою категорією [4].

Системи рекомендацій використовуються для прогнозування оцінки користувача щодо невідомого елемента та рекомендації цього елемента, якщо прогнозований бал є високим. Для досягнення цієї цілі використовують фільтрування на основі співпраці, фільтрування за змістом або гібридні методи, що поєднують дві або більше технік рекомендацій з метою подолання обмежень кожної з них окремо [3].

Контентно-орієнтований алгоритм рекомендацій аналізує зміст фільмів — жанр, опис, режисера, акторів, ключові слова тощо — і визначає схожість між ними. Він не потребує даних інших користувачів, тому легко масштабується та підходить для нових або нішевих фільмів, вирішуючи проблему «холодного старту». Недоліком є залежність від якості описових характеристик, які часто створюються вручну. Крім того, система схильна рекомендувати схожий контент, обмежуючи різноманітність і не враховуючи популярність фільмів.

Користувацько-орієнтований алгоритм базується лише на оцінках користувачів, не враховуючи, чому саме елементи пов'язані між собою. Модель ґрунтується на припущенні, що користувачі з подібними інтересами (схожими оцінками) схильні вподобати однакові фільми. Замість аналізу схожості між елементами, як у контентних

системах, тут вимірюється схожість між самими користувачами, що дозволяє формувати персональні рекомендації. Перевагами є здатність працювати з великими обсягами даних, підвищення точності з появою нових користувачів і різноманітність рекомендацій, які не обмежуються історією чи характеристиками фільмів. Серед недоліків — проблеми масштабування, адже зі зростанням кількості користувачів обчислення стають дорожчими. Модель також залежить від наявності достатньої кількості даних взаємодії, тому стикається з проблемою «холодного старту» для нових користувачів або фільмів. На відміну від контентного підходу, вона не може ефективно працювати, доки не буде накопичено достатньо оцінок, а популярні фільми навпаки просуватиме вперед, незалежно від релевантності для конкретного користувача (так званий «popularity bias»).

Гібридний метод об'єднує обидва підходи, щоб використати їхні сильні сторони та мінімізувати слабкі. Це реалізується шляхом окремого формування прогнозів на основі контенту та користувачів із подальшим об'єднанням результатів. Контентно-орієнтований підхід допомагає усунути проблему «холодного старту» та розрідженості даних, тоді як користувацько-орієнтований підхід забезпечує більшу різноманітність рекомендацій і знижує залежність від предметної експертизи. Фінальний рекоменатор формується шляхом поєднання двох методів і розрахунку середнього значення косинусної подібності (показник для вимірювання подібності між двома векторами) для створення ранжованого списку прогнозів [2].

В рамках цього дослідження, програмними засобами Python, зокрема бібліотеки scikit-learn, scipy, numpy, pandas, було реалізовано кожен з цих методів, аби порівняти отримані результати для визначення найбільш ефективного підходу.

Гібридний метод реалізовано в розробленій веб системі, яка надає користувачам переглядати інформацію про фільми, оцінювати їх та отримувати рекомендації, засновані на власних інтересах.

У висновку, розроблювана рекомендаційна система покликана покращити користувацький досвід отримання персоналізованої підбірки контенту, за допомогою гібридного підходу генерації рекомендацій. Реалізація інформаційної системи передбачає можливість подальшого розширення функціоналу та удосконалення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Recommendation System. Nvidia. URL: <https://www.nvidia.com/en-us/glossary/recommendation-system/>.
2. Roy, D., Dutta, M. A systematic review and research perspective on recommender systems. J Big Data 9, 59 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40537-022-00592-5>.
3. Casalegno F. Recommender Systems — A Complete Guide to Machine Learning Models. Medium. URL: <https://medium.com/data-science/recommender-systems-a-complete-guide-to-machine-learning-models-96d3f94ea748>.
4. Sadrach P. How to Form Clusters in Python: Data Clustering Methods. Builtin. URL: <https://builtin.com/data-science/data-clustering-python>.

УДК 004.42  
**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ КНИЖКОВИМ ФОНДОМ**  
*Марченко І. В., науковий керівник Кириченко В.В.*

Мета дослідження полягає у визначенні ефективності застосування інтелектуальних систем для управління, аналізу та прогнозування попиту на бібліотечні ресурси, з акцентом на порівнянні методів прогнозування, що поєднують машинне навчання з кластеризацією читачьких сегментів.

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єктом дослідження є книжковий фонд бібліотеки та показники його використання. Предметом дослідження є інтелектуальна система управління бібліотечними ресурсами та прогнозування читачького попиту.

Актуальність. Ефективне управління бібліотечними ресурсами є критично важливим для забезпечення оптимального обслуговування користувачів у сучасних умовах цифрової трансформації освітніх та культурних установ. Дослідження показують, що неефективне планування закупівель призводить до значних фінансових втрат (до 20-30% бюджету), незадоволення потреб читачів та нераціонального використання бібліотечного простору.

Сучасні бібліотеки стикаються з необхідністю прогнозування попиту на різні види літератури з урахуванням демографічних, сезонних та культурних факторів. Традиційні методи управління фондом, базовані на інтуїції бібліотекарів та статистичних звітах минулих періодів, часто виявляються недостатньо точними для прийняття оптимальних рішень щодо комплектування.

З огляду на цю проблему, виникає потреба не тільки в моніторингу поточного використання бібліотечних ресурсів, але й у створенні ефективних методів прогнозування, які б дозволили передбачувати попит на літературу на кілька місяців наперед. Це дасть можливість бібліотечним службам оптимізувати закупівлі, покращити обслуговування користувачів та ефективніше використовувати наявні ресурси. Сучасні методи машинного навчання, зокрема кластеризація читачьких сегментів, можуть суттєво покращити точність прогнозування шляхом групування користувачів за схожими читачькими уподобаннями, що дозволяє створювати персоналізовані прогнози для різних категорій читачів.

Дослідження спрямоване на використання кластеризації в поєднанні з методами машинного навчання, зокрема градієнтним бустингом і випадковим лісом, для оцінки їхньої ефективності у прогнозуванні попиту на бібліотечні ресурси. Для аналізу побудовано систему збору даних про читачьку активність, що включає інформацію про видачі, повернення, рейтинги книг та демографічні характеристики користувачів. Зібрані дані зберігаються в операційну базу даних і далі переміщуються до аналітичного сховища даних.

У дослідженні використовуються 10 показників читачької поведінки: місяць видачі (Month), сезон (Season), жанр книги (Genre), вікова група читача (Reader Age), рейтинг книги (Book Rating), академічний період (Academic Period), а також додаткові розраховані характеристики: циклічні ознаки місяця (Month\_sin, Month\_cos), історичні тренди (Historical Trend) та показники якості (Quality Score). Для кластеризації застосовано метод k-середніх (k-means) з оптимальним розподілом на 3 кластери читачьких сегментів. Прогнозування попиту проводилося на 1-3 місяці вперед.

Машинне навчання проведено на повному обсязі даних з використанням методів кластеризації k-середніх (k-means) з оптимальним розподілом на 3 кластери читачьких сегментів, алгоритмів градієнтного бустингу (Gradient Boosting) та випадкового лісу (Random Forest). Навчання моделей здійснювалося з розділенням вибірки на навчальну (80%) та тестову (20%) частини, з використанням крос-валідації для оптимізації

гіперпараметрів. Прогнозування попиту проводилося на 1-3 місяці вперед з оцінкою якості через метрики MSE,  $R^2$  та MAE.

Для кожного кластера відбираються лише ті зразки навчальної вибірки, що належать до відповідного читацького сегменту. Окрема модель градієнтного бустингу або випадкового лісу будується для кожного кластера на основі специфічних характеристик читацької поведінки цього сегменту. У процесі прогнозування визначається кластер нових даних, і відповідно застосовується модель, яка найбільш точно відповідає поточним читацьким тенденціям. Таким чином, при зміні демографічної структури або сезонних уподобань прогноз автоматично адаптується, обираючи модель, що враховує особливості нового кластера читацьких потреб.

Після того, як читацький сегмент визначений, система обирає відповідну модель для цього кластера і використовує її для прогнозування майбутнього попиту на різні категорії літератури.

Результати дослідження. Проведений аналіз 2000 записів про читацьку активність виявив три основні сегменти користувачів: активні молоді читачі (Fantasy, Science Fiction), поціновувачі якісної літератури (Classic, Biography) та читачі популярних жанрів (Thriller, Romance). Застосування методу асоціативних правил дозволило виявити 37 значущих закономірностей у читацькій поведінці, зокрема сильну кореляцію між жанром Fantasy та читачами до 12 років (ліфт = 2.54).

Висновки. Отримані результати демонструють ефективність застосування методів машинного навчання для прогнозування попиту на бібліотечні ресурси. Модель Gradient Boosting без попередньої кластеризації показала найкращі результати з MSE 584.72 та  $R^2$  0.5251, що свідчить про можливість досягнення 52.5% точності прогнозування попиту. Несподівано, кластеризація в даному дослідженні не покращила результати, що підкреслює важливість ретельного аналізу специфіки даних перед застосуванням складних методів сегментації. Результати підтверджують перспективність використання інтелектуальних систем для оптимізації управління бібліотечними фондами та можуть бути використані для розробки практичних рекомендаційних систем.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Mitchell T. Machine Learning / T. Mitchell. – New York: McGraw-Hill, 1997. – 414 p.
2. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning / C. Bishop. – New York: Springer, 2006. – 738 p.
3. Tan P. Introduction to Data Mining / P. Tan, M. Steinbach, V. Kumar. – Boston: Addison-Wesley, 2005. – 769 p.
4. Witten I. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques / I. Witten, E. Frank, M. Hall. – 3rd ed. – Burlington: Morgan Kaufmann, 2011. – 664 p.

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА SEO-АНАЛІЗУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ  
ВИДИМОСТІ ВЕБ-САЙТІВ У ПОШУКОВИХ СИСТЕМАХ***Ворон Ю.О., науковий керівник Ніколаєнко Д.В.*

Актуальність теми. В умовах постійного зростання конкуренції між веб-ресурсами ефективна SEO-оптимізація[1] та системна SEO-аналітика[2] є одними з ключових чинників успіху будь-якого онлайн-проекту. Від правильного технічного стану, швидкості завантаження сторінок, безпеки, структури контенту та якості зовнішніх посилань безпосередньо залежить рівень видимості сайту в пошукових системах. Попри значний розвиток інструментів SEO-аналітики, більшість процесів оцінки показників залишаються трудомісткими, потребують залучення декількох сервісів і ручної обробки результатів. Це ускладнює системний аудит та знижує ефективність прийняття рішень. Тому виникає потреба у створенні автоматизованих комплексних рішень, здатних поєднати аналіз технічних, зовнішніх і внутрішніх факторів у межах однієї системи.

Об'єкт дослідження: процес пошукової оптимізації веб-сайтів (SEO) — сукупність дій, спрямованих на покращення видимості сайту в результатах пошукових систем, таких як Google.

Предмет дослідження: методи автоматизації технічного SEO-аналізу сайтів, зосереджені на виявленні основних показників оптимізації та побудові інструментів для оцінки стану веб-ресурсів на основі структурованих даних.

Мета дослідження — дослідити підходи до створення системи автоматизованого SEO-аналізу веб-сайтів, що дозволяє оцінювати технічний стан, відстежувати зовнішні посилання та визначати напрями для підвищення пошукової видимості.

Архітектура розробленої системи побудована за модульним принципом і реалізована мовою програмування Python із використанням фреймворку Streamlit[3]. Користувач взаємодіє з програмою через веб-інтерфейс, що відкривається у браузері та передає запити до серверної частини системи. Основним елементом виступає веб-сервер, який відповідає за обробку запитів користувача. Усередині нього функціонує два ключові блоки — інтерфейсний модуль та модуль обробки запитів. Перший забезпечує зв'язок між користувачем і системою, а другий виконує безпосереднє формування запитів до API сервісів, отримання даних і передачу результатів у подальшу обробку. Взаємодія між цими компонентами реалізується через внутрішній програмний інтерфейс. Для зберігання результатів аналізу використовується локальна база даних SQLite, яка містить усі перевірені домени, технічні показники, статуси сторінок і параметри посилань. Отримані результати візуалізуються через модуль представлення даних, що формує звіти у вигляді таблиць, графіків і діаграм.

Головний інтерфейс системи SEO Analyzer зображено рис. 1:

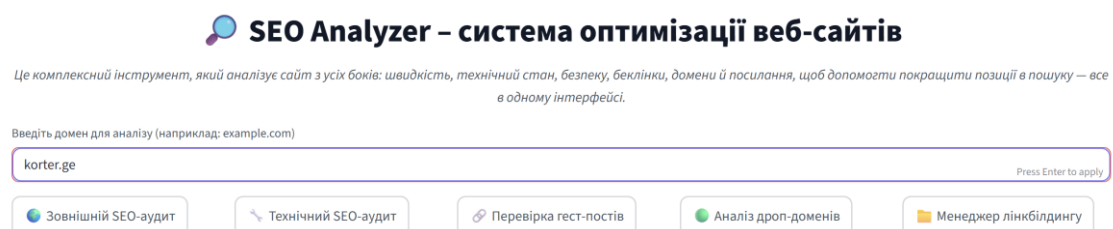


**Рис. 1** Головний інтерфейс системи оптимізації веб-сайтів

Розроблена система SEO Analyzer є комплексним інструментом для автоматизації основних етапів SEO-оптимізації веб-сайтів. Вона поєднує технічний аудит, зовнішній

аналіз, перевірку гостьових публікацій та аналіз дроп-доменів у єдиному інтерфейсі. Основна мета системи — мінімізувати ручну роботу під час аналізу та забезпечити SEO-фахівця повною, структурованою картиною стану сайту. Завдяки цьому можна швидко виявляти проблеми, оцінювати якість зовнішніх посилань і приймати рішення на основі об'єктивних даних без необхідності користуватися десятками окремих сервісів.

У процесі дослідження використано актуальні дані реального проєкту та дані з платформи Ahrefs, які містять відомості про домени, зовнішні посилання, показники авторитетності (DR) та обсяги органічного трафіку. Зібрана інформація використовувалася для повномасштабного аналізу, що дало змогу оцінити ефективність роботи системи в реальних умовах. Отримані результати відображають фактичний стан сайтів і дозволили виявити типові технічні та зовнішні чинники, що впливають на їхню видимість у пошукових системах.

Зовнішній SEO-аудит у системі реалізований як комплексна перевірка веб-сайту через інтеграцію з п'ятьма API-сервісами: PageSpeed Insights, SSL Labs, WhoisXML, Google Safe Browsing та W3C Validator. Такий підхід дозволяє отримати об'єктивну оцінку швидкодії, технічної коректності, безпеки й валідності коду ресурсу. Кожен API відповідає за окремий напрямок аналізу, а результати автоматично збираються в єдиному інтерфейсі.

Технічний SEO-аудит, реалізований у системі, перевіряє критичні параметри, що впливають на індексацію та видимість ресурсу. Аналізуються статуси сторінок (200, 404, 500 тощо), швидкість завантаження, коректність метатегів, наявність та зміст файлів robots.txt і sitemap.xml, правильність тегів canonical, рівень безпеки та інші фактори. Усунення виявлених технічних помилок створює основу для стабільного просування ресурсу в пошукових системах і формує фундамент подальшого зростання органічного трафіку.

Модулі перевірки гостьових постів і аналізу дроп-доменів забезпечують розширення зовнішньої посилальної бази сайту. Перший дозволяє відстежувати ефективність розміщених публікацій і своєчасно виявляти втрату активних лінків або зміну статусу сторінок-донорів. Другий — перевіряє доступність звільнених доменів і визначає потенційно цінні адреси для створення нових проєктів або формування PBN-мереж. Завдяки поєднанню цих інструментів SEO Analyzer не лише автоматизує аналіз, а й допомагає системно нарощувати авторитет сайту, підвищуючи його позиції в пошуковій видачі та стабільно збільшуючи органічний трафік.

Висновки. Розроблена система SEO Analyzer довела свою ефективність як комплексний інструмент для автоматизації процесів SEO-аналізу. Вона дозволяє суттєво скоротити час технічної перевірки, підвищити точність оцінки показників і забезпечити повний контроль за зовнішнім посилальним профілем сайту. Отримані результати можуть використовуватись SEO-фахівцями, маркетологами та власниками веб-ресурсів для постійного аудиту, моніторингу та вдосконалення стратегії просування.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Що таке SEO? – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://moz.com/learn/seo/what-is-seo>
2. SEO-аналітика: гайд для початківців. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://netpeak.net/uk/blog/seo-analitika-gayd-dlya-pochatkivtsiv/>
3. Streamlit: офіційна документація. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.streamlit.io>

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПО ОБРОБЦІ ТА ПЕРЕКЛАДУ  
РУКОПИСНОГО ТЕКСТУ***Третяк А.Р., науковий керівник Кириченко В.В.*

Рукописні нотатки й досі вважаються важливою складовою навчання та роботи багатьох людей, також переклад рукописного тексту значно спрощує подальшу роботу з інформацією та економить час на друк. У сучасному світі дедалі більше уваги приділяється автоматичній обробці текстової інформації. Найголовніша складова цього процесу це розпізнавання та переклад рукописного тексту, адже ця інформація й досі залишається дуже цінною у побуті та в науці. Через велику різноманітність почерків і складність обробки це завдання стало дуже актуальним напрямком в сфері штучного інтелекту та комп'ютерного зору.

Метою створення інтелектуальної системи є забезпечення повного циклу від розпізнавання рукописного тексту із зображення, його обробка та подальший переклад. Така система має бути універсальною, адаптивною та точною, щоб мати практичне застосування у різних галузях.

У роботі було використано такі підходи: Починалося все з обробки зображень, адже система працює саме з фото або сканами рукописного тексту. На цьому етапі особливу увагу приділено фільтрації шуму, підвищенню контрасту та бінаризації зображення, перетворенню його на чорно-біле, що спрощує подальше розпізнавання символів. Також важливо було вирівняти текст, бо багато зображень надходили з перекошеним кутом зйомки, і це впливало на точність. Було застосовано стандартні засоби бібліотеки OpenCV та деякі самостійно налаштовані фільтри, що дозволили покращити вхідні зображення для аналізу.

Після того, як зображення підготовлено, запускався процес розпізнавання рукописного тексту. Тут використовувався підхід, що поєднує згорткові нейронні мережі (CNN) для обробки візуальних ознак із рекурентними мережами, які краще справляються з послідовністю символів. Простіше кажучи, система бачить окремі літери чи їхні частини, а потім зчитує їх у правильному порядку. В процесі експериментів ми переконались, що для рукописного тексту такий гібридний підхід працює значно краще, ніж звичайні OCR-системи, які орієнтовані переважно на друкований текст. Отриманий результат на цьому етапі це не зовсім чистий текст. Через складні почерки, помилки сегментації або погану якість зображення можуть траплятися неточності. Тому наступним кроком була постобробка. Тут використовувались мовні моделі, які аналізували контекст і підбирали найбільш вірогідний варіант слова або фрази.

Коли текст був очищений і підготовлений після розпізнавання, він передавався на етап перекладу. Для цього було протестовано кілька доступних варіантів, зокрема API-перекладачі, які підтримують українську мову. На практиці використовувався інструмент Google Translate через бібліотеку `deep_translator`, яка забезпечує просту інтеграцію з Python-скриптом. Попри зручність, у процесі експериментів виявлено, що якість перекладу може суттєво змінюється залежно від контексту речення, граматичної складності та точності попереднього етапу розпізнавання. Наприклад, у випадках, коли розпізнаний текст містив помилки або незавершені слова, перекладач іноді формував некоректні або неприродні речення. Це свідчить про те, що система перекладу повинна отримувати максимально чистий вхідний текст, інакше якість результату помітно погіршується.

Під час розробки системи обробки та перекладу рукописного тексту активно використовувалися Python-бібліотеки, які допомагають реалізувати як обробку зображення, так і розпізнавання тексту та переклад. Найперше - це OpenCV. Це стандарт

для роботи з зображеннями в Python. Через нього можна було зчитувати фото, конвертувати його в чорно-білий формат, вирівнювати текст, прибирати фоновий шум, підвищувати контрастність і готувати зображення до подальшого аналізу. Без такої обробки жодна система розпізнавання не працює нормально, особливо коли йдеться про рукопис, сфотографований у поганому світлі або з перекосами.

Для самого розпізнавання тексту ми використовували Tesseract це OCR-двигун із відкритим кодом, який можна підключити до Python через бібліотеку pytesseract. Він здатен читати текст із зображень, цю бібліотеку доводиться доповнювати іншими методами або хоча б попередньо готувати зображення дуже ретельно. Але як базовий інструмент - зручний, бо простий у використанні й не потребує складного налаштування. Також використовувалась бібліотека deep\_translator, яка дала змогу без зайвих труднощів підключитись до сервісів перекладу, зокрема до Google Translate. Іноді виникала потреба в побудові нейронних мереж для розпізнавання складніших випадків рукопису, і тоді розглядалися TensorFlow та PyTorch.

У висновку можна дійти до створеної інтелектуальної системи, яка здатна обробляти зображення рукописного тексту, розпізнавати його та здійснювати переклад. А з бібліотеками OpenCV, Tesseract та deep\_translator можна спростити реалізацію системи. Ефективність системи залежить від початкового зображення та чіткості почерку і звичайно ж точності розпізнавання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Як перекласти письмовий текст у друкований — 5 способів [Електронний ресурс] // **МОЮО.** — Режим доступу: [https://www.moyo.ua/ua/news/kak\\_perevesti\\_pismennyu\\_tekst\\_v\\_pечатnyy\\_5\\_luchshikh\\_sposobov.html](https://www.moyo.ua/ua/news/kak_perevesti_pismennyu_tekst_v_pечатnyy_5_luchshikh_sposobov.html).
2. Ярема Б.А. Система розпізнавання рукописного тексту за допомогою методів машинного навчання : кваліфікаційна робота магістра / Ярема Богдан Андрійович ; Національний університет «Львівська політехніка». — Львів, 2020. — 74 с. — Режим доступу: <https://ena.lpnu.ua/items/807c75c8-6f92-498c-9848-e4f643b0b33c>.
3. Ковальчук О.І., Ткачук Г.М. Обробка зображень рукописного тексту засобами комп'ютерного зору : стаття / О.І. Ковальчук, Г.М. Ткачук // Вісник Київського політехнічного інституту. Серія: Інформатика та обчислювальна техніка. — 2021. — № 1. — С. 45–52. — Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/items/510165dc-5bfa-4620-ab6d-4e0624e2be04>.
4. deep-translator documentation [Електронний ресурс] / nidhaloff. — GitHub repository. — Режим доступу: <https://github.com/nidhaloff/deep-translator>.



УДК 621.383.51:004.89  
**ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ  
СОНЯЧНИХ ФЕРМ**

*Коломієць В. Ю., науковий керівник Боярінова Ю.Є.*

У сучасних умовах енергетичної невизначеності, зростання цін на викопні енергоресурси та прагнення світової спільноти до енергетичної незалежності й екологічної безпеки все більшого значення набувають технології відновлюваної енергетики. Серед них сонячна енергетика є одним з найдинамічніших напрямів, оскільки базується на використанні невичерпного природного ресурсу – сонячного випромінювання. Ефективність функціонування сонячних електростанцій значною мірою залежить від правильності їхнього проєктування, яке полягає у раціональному розміщенні фотомодулів, оптимізації кута їх нахилу, конфігурації електричних з'єднань, урахуванні рельєфу та кліматичних особливостей місцевості [1]. Ці завдання належать до категорії складних оптимізаційних задач з великою кількістю змінних і обмежень, що робить традиційні математичні методи малоефективними. Тому актуальним стає застосування еволюційних підходів, зокрема генетичних алгоритмів, які імітують природний добір і дозволяють знаходити оптимальні техніко-економічні рішення в умовах багатокритеріальності та невизначеності.

Мета дослідження полягає у теоретичному обґрунтуванні доцільності використання генетичних алгоритмів для оптимізації проєктування сонячних ферм, визначенні їхніх переваг у порівнянні з класичними методами та аналізі ефективності використання цього підходу з точки зору підвищення енергетичної продуктивності та зменшення вартості проєктів фотоелектричних систем.

Генетичні алгоритми (ГА) є різновидом еволюційних алгоритмів, що базуються на принципах природного відбору. Основною ідеєю даного методу є формування множини можливих рішень – популяції, кожен елемент якої має певний набір параметрів. Ці параметри у ГА представлені у вигляді хромосом, що кодують варіанти розв'язків. За допомогою спеціальних операторів, таких як селекція, кросовер та мутація, здійснюється поступове поліпшення популяції, спрямоване на пошук найкращого рішення [2]. У задачі оптимізації сонячної ферми хромосома може містити параметри, що визначають орієнтацію та кут нахилу панелей, відстань між рядами, топологію з'єднання модулів, вибір типу інвертора, а також електричні характеристики системи. Функція пристосованості, яка оцінює кожне рішення, може враховувати максимізацію виробітку електроенергії за рік, мінімізацію рівня приведеної вартості електроенергії, мінімізацію втрат енергії від затінення та зниження довжини кабельних трас. На відміну від методів лінійного програмування або градієнтного пошуку, ГА не потребують аналітичного опису цільової функції та здатні працювати з нелінійними й багатовимірними моделями.

Практичне застосування ГА у проєктуванні сонячних ферм показує, що цей підхід забезпечує суттєве підвищення ефективності порівняно з традиційними методами інженерного розрахунку. Так, опрацювання значної кількості наукових праць засвідчує, що використання генетичних алгоритмів для вибору оптимального кута нахилу та орієнтації фотомодулів дозволяє збільшити річний виробіток електроенергії від 6 до 12 відсотків у порівнянні зі стандартними схемами розташування, які не враховують локальні кліматичні та географічні умови. Дослідження показують, що при оптимізації просторового розташування рядів панелей на території електростанції можна зменшити взаємне затінення модулів за рахунок адаптивного підбору відстаней між рядами залежно від широти місцевості та кута падіння сонячних променів у різні пори року. Це сприяє зменшенню енергетичних втрат до 10 відсотків у зимовий період, коли сонце перебуває низько над горизонтом [3].

Ще одним напрямом застосування ГА є оптимізація конфігурації електричних з'єднань панелей у стрінгах (*strings*) — це електричні послідовні ланцюги з'єднаних сонячних панелей. Фотоелектричні модулі мають неоднакові характеристики через виробничі відхилення або різний ступінь деградації, що з часом призводить до виникнення так званих mismatch-втрат (втрати енергії, які виникають тоді, коли сонячні панелі, з'єднані в один стрінг або масив, мають різні електричні характеристики). ГА дозволяють підібрати таке поєднання модулів у стрінгах, при якому вихідна напруга і струм максимально узгоджені з технічними характеристиками інверторів, а втрати потужності мінімізовані. Такі рішення виявляються ефективними для великих промислових сонячних станцій, де кількість з'єднань сягає сотень [4]. Оптимізація топології кабельних мереж за допомогою генетичних алгоритмів також дозволяє зменшити сумарну довжину кабелів і, відповідно, знизити втрати потужності на електричний опір.

ГА активно застосовуються і в задачах зменшення загальної вартості проєкту. Оскільки сонячні ферми є капіталомісткими системами, які потребують значних інвестицій на етапі будівництва, важливим завданням є мінімізація приведеної вартості електроенергії. Для цього в оптимізаційні моделі включають техніко-економічні показники, такі як вартість землевідведення, встановлення опорних конструкцій, монтаж панелей, інверторного обладнання, кабельної продукції та експлуатаційні витрати. Застосування генетичних алгоритмів у комбінованій оптимізації параметрів дозволяє скоротити загальну вартість на 5–11 відсотків, забезпечуючи при цьому збереження високого рівня ефективності станції [5]. Важливо зазначити, що генетичні алгоритми знайшли широке застосування завдяки своїй універсальності. Вони можуть реалізовуватись у різних програмних середовищах, таких як MATLAB, Python, програми PVSyst, Homer Pro та інші спеціалізовані системи енергетичного моделювання. Це робить їх зручними для практичного використання інженерами-проєктувальниками, а також для наукових досліджень у галузі оптимізації енергетичних систем.

Генетичні алгоритми є ефективним інструментом розв'язання складних оптимізаційних задач, пов'язаних з проєктуванням сонячних ферм. Вони забезпечують пошук технічно та економічно обґрунтованих рішень за умов великої кількості параметрів і обмежень, дозволяють мінімізувати втрати енергії, знизити капітальні витрати й підвищити загальну продуктивність фотоелектричних систем. Подальші дослідження в цьому напрямі можуть бути спрямовані на інтеграцію генетичних алгоритмів із методами машинного навчання і штучного інтелекту для підвищення адаптивності та автономності енергетичних систем нового покоління.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kalogirou, S. A. Optimization of solar systems using artificial neural-networks and genetic algorithms. *Applied Energy*. 2004. Vol. 77, No. 4. P. 383–405.
2. Ismail, M. S., Moghavvemi, M., Mahlia, T. M. I. Genetic algorithm based optimization on modeling and design of hybrid renewable energy systems. *Energy Conversion and Management*. 2014. Vol. 85. P. 120–130.
3. Sellami, A., Bouaïcha, M. Application of the genetic algorithms for identifying the electrical parameters of PV solar generators. *InTech*, 2011. P. 349–364.
4. Garud K. S., Jayaraj S., Lee M. Y. A review on modeling of solar photovoltaic systems using artificial neural networks, fuzzy logic, genetic algorithm and hybrid models. *International Journal of Energy Research*. 2021. Vol. 45, № 1. P. 6–35.
5. Alshafeey M., Csaba C. A Case Study of Grid-Connected Solar Farm Control Using Artificial Intelligence Genetic Algorithm to Accommodate Peak Demand. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1304. 8 p.

**ВИКОРИСТАННЯ БРАУЗЕРНОГО РОЗШИРЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТУПНОСТІ ВЕБСАЙТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГОЛОСОВИХ КОМАНД***Коник Р.С., науковий керівник Боярінова Ю.Є.*

У сучасних умовах розвитку цифрової економіки доступність вебресурсів для всіх категорій користувачів стає важливим показником якості та конкурентоспроможності інформаційних систем. Однак незважаючи на загальну поширеність, значна кількість вебресурсів залишається недоступною для людей із порушеннями зору, моторики чи когнітивних функцій. Проблема полягає не лише у фізичному доступі до пристроїв, але й у логіці взаємодії з вебсторінками: традиційні методи навігації—кілька кліків, використання миші чи точного керування клавіатурою—часто створюють бар'єри. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, у світі понад 2,2 мільярди людей мають порушення зору, з них близько 36 мільйонів є повністю незрячими [1]. Для цієї категорії населення доступність електронних ресурсів є не лише технічним, а й соціальним завданням.

Попри існування міжнародних стандартів вебдоступності (WCAG 2.1), значна частина вебсайтів не відповідає встановленим вимогам [2]. На практиці це означає, що навіть за наявності сучасних технологій, користувачі з порушеннями зору мають суттєві труднощі при роботі з інформаційними системами. Традиційним рішенням є використання екранних зчитувачів (screen reader), таких як NVDA або JAWS [3]. Ці системи дозволяють читати текст з екрана, проте їхня ефективність напряму залежить від семантичної структури вебсайту: відсутність альтернативних тегів (tag-alt), некоректне використання заголовків та/або aria-атрибутів значно ускладнюють сприйняття контенту.

Ще одним недоліком існуючих рішень є їхня складність у використанні. Для налаштування screen reader необхідно мати певний технічний рівень підготовки, тоді як середньостатистичний користувач прагне простого і зрозумілого інтерфейсу. Крім того, більшість рішень орієнтовані виключно на озвучення тексту, без інтегрованих можливостей для голосового керування сторінкою [4].

У межах дослідження запропоновано інший підхід — створення браузерного розширення (web-extension), що забезпечує доступність будь-якого сайту незалежно від рівня його семантичної коректності. На відміну від класичних screen reader, таке рішення працює безпосередньо у браузері й не вимагає змін у коді конкретного вебресурсу.

Мета цієї роботи — дослідити можливості та підходи до створення браузерного розширення, яке за допомогою голосових команд підвищує доступність вебсайтів. Для досягнення цієї мети поставлено такі задачі: провести огляд технологій веб-доступності, зокрема голосових інтерфейсів та браузерних розширень; проаналізувати архітектуру та функціональні компоненти таких розширень: розпізнавання мовлення, синтез голосу; розробити концептуальну модель розширення, що адаптує вебінтерфейс під потреби користувачів із обмеженими можливостями; оцінити переваги та обмеження рішення, визначити перспективи подальшого розвитку.

Функціонал запропонованого браузерного розширення охоплює:

- читання всього тексту сторінки або лише виділеного фрагмента;
- масштабування (zoom in/out) та прокручування сторінки голосом;
- озвучення списку доступних команд для швидкого навчання;
- можливість пошуку тексту за ключовими словами;
- навігацію між заголовками, абзацами та посиланнями.

Особлива увага приділяється роботі з формами: користувач може заповнювати поля вводу або активувати кнопки за допомогою голосових команд. Це розширює

можливості системи у сферах, де необхідна взаємодія з інтерактивними сервісами — наприклад, під час онлайн-навчання чи електронного врядування.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні двох підходів: синтезу мовлення (читання вмісту сторінки) та голосового керування (дії з елементами інтерфейсу) в межах єдиного універсального інструмента. Додатковою перевагою є використання fallback-алгоритмів: навіть якщо сторінка версталася без урахування стандартів WCAG, система може проаналізувати структуру DOM та надати користувачеві базові можливості для навігації.

Практичне значення розробленого розширення полягає в універсальності. Для власників сайтів відпадає потреба у дорогій адаптації під стандарти доступності, адже доступність забезпечується на рівні браузера. Для користувачів із порушенням зору — це можливість працювати з будь-яким ресурсом, незалежно від його якості верстки.

Додатковим аргументом на користь такого підходу є законодавчі тенденції. У країнах ЄС та США діють нормативні акти, які зобов'язують державні та приватні організації дотримуватись вимог доступності (наприклад, Європейський акт про доступність та Section 508 у США). Це стимулює впровадження інноваційних рішень, які дозволяють виконати вимоги без суттєвих фінансових витрат. В Україні також розробляються ініціативи щодо цифрової інклюзії, тому впровадження подібних технологій має значний соціальний ефект.

У ході аналізу ринку було виявлено, що більшість існуючих інструментів зосереджені або на зчитуванні тексту, або на розпізнаванні голосу, тоді як інтегровані системи зустрічаються рідко. Це створює унікальну нішу для запропонованого рішення, яке поєднує дві технології. Водночас головним викликом залишається оптимізація швидкодії: робота з великими вебсторінками потребує мінімізації затримок у синтезі мовлення та виконанні команд.

Серед обмежень можна відзначити залежність від якості мікрофону та стабільності інтернет-з'єднання. Крім того, система потребує адаптації до різних мов та діалектів, що ускладнює її універсалізацію. Водночас ці виклики можна поступово вирішити завдяки використанню сучасних алгоритмів обробки природної мови та хмарних сервісів.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні системи за рахунок багатомовності та інтеграції з мобільними платформами. Окремим напрямом може стати адаптація інструмента для використання у сфері «розумного дому» та IoT-систем, де голосове керування вже стало стандартом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. World Health Organization. World report on vision. Geneva: WHO, 2019.
2. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. W3C Recommendation, 2018.
3. NV Access. NVDA Screen Reader [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.nvaccess.org/>
4. González-Mora, C., et al. Augmenting Tourism Websites With Voice Commands for Accessibility, IEEE , 2025

**ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТИВНОГО ШІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ СИНТЕТИЧНИХ ДАНИХ У ЗАДАЧАХ МАШИННОГО НАВЧАННЯ***Гордій Я. В., науковий керівник Кириченко В. В.*

Коли бракує даних або вони обмежені регуляторно, проекти з ML зупиняються не на моделях, а на доступності й якості вибірок. Один з основних способів підсилити навчання - домішати синтетичні дані, згенеровані під задачу: збалансувати рідкісний клас, зняти частину обмежень доступу, а іноді й пришвидшити експерименти. Щоб робити це відповідально, варто мислити тріадою fidelity-utility-privacy (наскільки синтетика схожа на оригінал, чи справді допомагає моделі і чи не страждає приватність). [2]

**Генеративно-змагальні мережі (GAN)**

GAN залишаються потужним інструментом для створення високоякісних синтетичних даних. Архітектура GAN базується на змагальному навчанні двох нейронних мереж: генератор навчається створювати реалістичні дані, а дискримінатор намагається відрізнити справжні дані від синтетичних. Цей процес змагання призводить до того, що генератор постійно вдосконалюється, створюючи все більш реалістичні синтетичні набори даних. GAN демонструють найкращі результати для складних типів даних, таких як зображення, відео та часові ряди.

**Варіаційні автокодувальники (VAE) та великі мовні моделі (LLM)**

Варіаційні автокодувальники навчаються стискати дані в компактну форму і потім відновлювати їх знову. Хоча VAE не досягають такого рівня реалізму як GAN, вони забезпечують значно більшу стабільність під час навчання. Революційною тенденцією 2024-2025 років стало використання LLM для генерації синтетичних даних. Моделі на базі трансформерів здатні створювати когерентні та контекстуально точні тексти, інтеграція диференційної приватності з LLM дозволяє генерувати синтетичні дані з математично строгими гарантіями захисту приватності.

Технологічні підходи до генерації синтетичних даних: для табличних даних на практиці часто обирають TVAE/CTGAN (Tabular Variational Autoencoder / Conditional Tabular GAN) або моделі на копулах; для зображень - GAN/дифузійні підходи; для тексту - контрольовану генерацію з подальшою фільтрацією. CTGAN - класичний приклад умовної генерації для змішаних ознак (категоріальні/безперервні) з показовими бенчмарками на реальних наборах. У складних мультимодальних сценаріях корисними є дифузійні моделі; у текстових - LLM-аугментація з валідацією стилю/змісту.

**Переваги**

Збалансування класів. Керована генерація мінорного класу дає приріст AUPRC (Area Under Precision-Recall Curve) і повноти у задачах на кшталт кредитного скорингу; є сучасні емпіричні результати, де GAN-оверсемплінг перевершує класичні підходи, особливо у мультикласових сценаріях. [5]

Операційна зручність і приватність. Синтетика дозволяє експериментувати без прямого обміну «сирими» персональними записами, але лише за умови явної валідації за трьома осями fidelity-utility-privacy. [2]

**Ризики**

Меморизація та витоки. Є показові роботи з membership-inference-атаками проти синтетичних даних у медицині: навіть «схожість» не гарантує безпечності, якщо генератор відтворює окремі записи надто точно. Мінімум - перевіряти відстані до найближчих сусідів і проганяти MIA-тести. [4]

Методологічні збої. Надлишок синтетики під час тренування може погіршити узагальнення. Практичне правило: починати з домішування 25-50% у режимі тренування

на реальних та синтетичних даних і дивитися на AUPRC та повноту за умови точності 0,9 на реальному холдауті. [1;2]

Проблеми моделей. GAN мають добре задокументовані проблеми: mode collapse (коли генератор створює лише обмежену різноманітність результатів), нестабільність навчання та зникаючі градієнти. Генеративні моделі можуть також не повністю відтворювати рідкісні випадки та аномалії, присутні в оригінальних даних.

Синтетичні дані - не заміна реальних, а інструмент, який працює за двох умов: (1) домішка невелика й контрольована (типово 25-50% у режимі тренування на реальних та синтетичних даних), (2) ефект міряємо на реальному тесті протоколами TSTR/RTS (Train on Synthetic, Test on Real / Train on Real+Synthetic, Test on Real) і паралельно перевіряємо схожість на реальні дані та приватність. Такий прагматичний підхід стабільно дає приріст AUPRC і повноти у дисбалансних задачах і мінімізує ризики витоків.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Yan, C. et al. (2022). A multifaceted benchmarking of synthetic electronic health record generation models. *Nature Communications*, 13:7609
2. UK Financial Conduct Authority (2023). Exploring Synthetic Data Validation - privacy, utility and fidelity.
3. Xu, L.; Skoularidou, M.; Cuesta-Infante, A.; Veeramachaneni, K. (2019). Modeling Tabular Data using Conditional GAN (CTGAN). arXiv:1907.00503.
4. Zhang, Z.; Yan, C.; Malin, B. (2022). Membership inference attacks against synthetic health data. *Journal of Biomedical Informatics*, 125:103977.
5. Adiputra, I. N. M. et al. (2025). The Effectiveness of GAN-Based Oversampling Methods for Imbalanced Multi-Class Credit Score Classification. *Electronics*, 14(4):697.

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ТЕХНІК ШВИДКОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ ВЕБ-СТОРИНОК***Соколов Д. В., науковий керівник Міловідов Ю. О.*

**Вступ.** Оскільки більшість користувачів отримує інформацію онлайн, навіть кілька секунд затримки під час відкриття сторінки можуть суттєво вплинути на те, чи залишиться відвідувач на сайті. Вона безпосередньо впливає на зручність користування сайтом, рівень довіри відвідувачів і навіть на позиції ресурсу в результатах пошуку. Саме тому питання підвищення швидкодії веб-сторінок є актуальним як для розробників, так і для бізнесу, що прагне утримати увагу користувачів і забезпечити позитивний досвід взаємодії.

**Актуальність дослідження.** Необхідність дослідження пов'язана з постійним ускладненням сучасних веб-технологій та зростанням вимог до швидкодії веб-ресурсів. Використання багатьох зовнішніх бібліотек та фреймворків часто призводять до уповільнення роботи сторінок, тому виникає потреба у створенні спеціального програмного забезпечення, яке б дозволяло ефективно аналізувати параметри завантаження та надавати рекомендації щодо покращення швидкодії.

**Мета дослідження** є розроблення програмного забезпечення, здатного автоматично аналізувати техніки швидкого завантаження веб-сторінок, виявляти чинники, що впливають на їхню продуктивність, і формувати пропозиції щодо оптимізації.

**Основна ідея** полягає в розробленні веб-додатка, що автоматично збирає та аналізує дані про структуру сторінки, кількість запитів до сервера, обсяги завантажуваних ресурсів та використання механізмів кешування. Такий підхід дає змогу точно визначати проблемні ділянки та допомагає швидше знаходити проблеми, які гальмують завантаження сайту.

**Інструменти та технології.** У розробці я використовував сучасні інструменти веб-аналізу, серед яких Lighthouse та PageSpeed Insights API, а також власних алгоритмів опрацювання отриманих даних. Для реалізації використано Node.js на стороні сервера та React на стороні клієнта, що забезпечить інтерактивність інтерфейсу й високу швидкість обробки даних. Порівняння результатів роботи системи із загальноприйнятими стандартами оцінки продуктивності Google Web Vitals підтверджує запропонований підхід.

**Експериментальна частина.** У ході роботи було проведено перевірку розробленого програмного забезпечення на вибірці веб-сайтів різного типу й складності. Було здійснено детальний аналіз часу завантаження та структури сторінок, зокрема оцінку обсягів ресурсів, кількості запитів до сервера та використання кешування. Під час тестування вдалося виявити, які саме елементи впливають на швидкість завантаження сторінок, а які працюють ефективно, що дозволяє робити обґрунтовані висновки щодо продуктивності ресурсу.

**Практичне значення.** На основі зібраних даних система формує практичні рекомендації для розробників і адміністраторів, наприклад щодо оптимізації зображень, мінімізації JavaScript-файлів, вдосконалення кешування ресурсів та зменшення кількості HTTP-запитів, що допомагає підвищити швидкодію веб-сторінок без автоматичного втручання у їхній код.

**Висновки.** Проведене дослідження демонструє, що створення програмного забезпечення для аналізу технік швидкого завантаження веб-сторінок є перспективним напрямом розвитку сучасних веб-технологій. Розроблена система дозволяє оцінювати продуктивність веб-ресурсів, виявляти проблемні елементи сторінок і надавати обґрунтовані рекомендації для їх покращення, завдяки чому користувачі отримують

швидший і зручніший доступ до сторінок, а власники сайтів - інструмент для оцінки їхньої продуктивності

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Google Developers. Web Vitals — Essential metrics for a healthy site [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://web.dev/vitals/>
2. Google Lighthouse. PageSpeed Insights API Documentation [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://developers.google.com/speed/docs/insights/v5/about>
3. W3C. Web Performance Working Group — Specifications and Guidelines [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.w3.org/webperf/>
4. PageSpeed Insights. Best Practices for Web Performance Optimization [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://pagespeed.web.dev/>



В умовах жорсткої конкуренції ресторанного бізнесу критично важливою є автоматизація аналізу відгуків з урахуванням специфіки української мови. Розроблена система забезпечує аналіз тональності та автоматичне виявлення проблемних аспектів (їжа, сервіс, атмосфера, ціна), дозволяючи оперативно реагувати на зворотний зв'язок клієнтів та здійснювати управління мережею ресторанів з розумінням проблем закладів. Система виконує аспектно-орієнтований аналіз за чотирма ключовими категоріями: їжа, сервіс, атмосфера закладу та ціна. Особливу цінність становить універсальність алгоритму - він може бути адаптований для аналізу відгуків про продукцію фермерських господарств та інших сегментів харчової промисловості, що розширює потенційний ринок впровадження.

Об'єкт дослідження: процеси збору, обробки та аналізу відгуків у ресторанній індустрії з використанням методів машинного навчання та веб-технологій.

Предмет дослідження: алгоритми машинного навчання для класифікації тональності та виявлення аспектів в українськомовних відгуках, методи їх інтеграції з веб-платформою для формування аналітичних висновків.

Мета дослідження: розробити інтелектуальну систему аналізу відгуків ресторанів, яка забезпечує автоматизований аналіз тональності, аспектний аналіз за категоріями (їжа, сервіс, атмосфера, ціна) та інтеграцію з веб-платформою для прийняття управлінських рішень у режимі реального часу.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використано комплекс методів дослідження. Проведено порівняльний аналіз семи алгоритмів машинного навчання: Random Forest як ансамблевий метод на основі дерев рішень, Naive Bayes для ймовірнісної класифікації, Logistic Regression для лінійної сепарації класів, Support Vector Machine з RBF-ядром для нелінійної класифікації, Gradient Boosting для послідовного навчання моделей, Decision Tree для побудови правил класифікації та K-Nearest Neighbors для класифікації за подібністю.

Архітектура системи побудована на мікросервісному підході з чітким розмежуванням відповідальностей: Frontend реалізовано на Next.js для серверного рендерингу та оптимізації SEO, Backend на Node.js API Routes для обробки бізнес-логіки, ML-API Server на FastAPI/Python для виконання класифікації та аналізу, оперативна база даних на PostgreSQL для транзакційних операцій та окрема аналітична база даних для зберігання результатів ML-обробки з денормалізованою структурою для швидких агрегаційних запитів.

Розроблено власний інструмент для автоматизованого збору відгуків з платформи Google Maps, що дозволило сформувати датасет з 1600 українськомовних відгуків про ресторани. Проведено попередню обробку даних та балансування класів для забезпечення репрезентативності навчальної вибірки.

ПОРІВНЯЛЬНА ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

| Модель                 | Точність | Точність позитивних прогнозів | Повнота | F1-оцінка | Площа під кривою помилок | F1-оцінка з крос-валідацією | Час (сек) |
|------------------------|----------|-------------------------------|---------|-----------|--------------------------|-----------------------------|-----------|
| Logistic Regression    | 0.8764   | 0.8800                        | 0.8764  | 0.8765    | 0.9557                   | 0.8835±0.029                | 0.024     |
| Random Forest          | 0.8836   | 0.8842                        | 0.8836  | 0.8837    | 0.9574                   | 0.8871±0.029                | 1.161     |
| Support Vector Machine | 0.8364   | 0.8378                        | 0.8364  | 0.8365    | 0.9151                   | 0.8689±0.029                | 0.705     |
| Naive Bayes            | 0.8873   | 0.8873                        | 0.8873  | 0.8872    | 0.8889                   | 0.8814±0.015                | 0.124     |
| Gradient Boosting      | 0.8727   | 0.8781                        | 0.8727  | 0.8728    | 0.9534                   | 0.8826±0.032                | 2.247     |
| Decision Tree          | 0.8764   | 0.8800                        | 0.8764  | 0.8765    | 0.8607                   | 0.8616±0.019                | 0.077     |
| K-Nearest Neighbors    | 0.8327   | 0.8353                        | 0.8327  | 0.8329    | 0.8834                   | 0.8562±0.024                | 0.001     |

Рис.1 Порівняльна таблиця результатів порівняння алгоритмів(скріншот із середовища Google Colab)

Виконано експериментальне дослідження з порівняльним аналізом семи алгоритмів машинного навчання на сформованому датасеті з розбиттям на навчальну (80%) та тестову (20%) вибірки (рис. 1).

Експериментальне дослідження семи алгоритмів машинного навчання виявило, що Naive Bayes демонструє найвищі метрики класифікації з точності 88.73% та F1-оцінка 88,72%. Однак для фінальної імплементації системи було обрано Random Forest, незважаючи на дещо нижчі показники точності (точність 88.36%, різниця лише 0.37%). Вибір Random Forest обґрунтовано наступними критичними факторами:

1. Інтерпретованість через механізм feature importance. Random Forest надає детальну інформацію про внесок кожного слова та словосполучення у фінальну класифікацію. Це дозволяє не просто визначити тональність відгуку, а й ідентифікувати конкретні аспекти (їжа, сервіс, атмосфера, ціна), які вплинули на оцінку, що неможливо при використанні Naive Bayes.

2. Надійність ймовірнісних оцінок. Показник площі під кривою помилок 95,74% для Random Forest забезпечує стабільні ймовірнісні оцінки впевненості класифікації.

3. Стійкість до перенавчання та взаємозалежностей ознак. Хоча Naive Bayes показав найвищі метрики на тестовій вибірці та найшвидший час обробки (0.124 с), його фундаментальне припущення про умовну незалежність ознак не відповідає реальності взаємопов'язаних аспектів у відгуках. Згадки про «повільний сервіс» та «холодна їжа» часто зустрічаються разом і є семантично пов'язаними, що порушує базові припущення Naive Bayes. Random Forest природним чином обробляє кореляції між ознаками через використання множини дерев рішень.

4. Здатність до аспектного аналізу. Структура Random Forest дозволяє аналізувати, які комбінації слів та контексти впливають на класифікацію окремих аспектів, що є ключовою вимогою для системи управління рестораном.

Таким чином, Random Forest забезпечує оптимальний баланс між якістю класифікації, інтерпретованістю результатів, стійкістю до особливостей даних та можливістю проведення детального аспектного аналізу. Статистична незначущість різниці в accuracy при суттєвих практичних перевагах робить Random Forest оптимальним вибором для розробленої системи управління мережею ресторанів.

У ході дослідження було розроблено аналітичну систему управління мережею ресторанів, яка автоматизує аналіз українськомовних відгуків клієнтів за аспектами їжа, сервіс, атмосфера та ціна. Проведено порівняльне дослідження семи алгоритмів машинного навчання, серед яких найкращим для практичного застосування обрано Random Forest завдяки інтерпретованості та стійкості до перенавчання. Архітектура системи реалізована на основі мікросервісного підходу. Розроблене рішення дозволяє оперативно виявляти проблемні аспекти обслуговування та приймати обґрунтовані управлінські рішення на основі даних. Алгоритм може бути легко адаптований для аналізу відгуків про продукцію фермерських господарств та інші напрями харчової індустрії, що значно розширює можливості його практичного застосування.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ratna N.P., Yadvendra P.S., Shitalkumar A.R. Improving Sentiment Classification on Restaurant Reviews Using Deep Learning Models [Електронний ресурс] // ScienceDirect. – 2024. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050924009876>
2. Cervantes J., Garcia-Lamont F. A comprehensive survey on support vector machine classification: Applications, challenges and trends [Електронний ресурс] // ScienceDirect. – 2020. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925231220307153>

УДК 004.855  
**МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ З МЕТОЮ ОПТИМІЗАЦІЇ  
ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУВАНЬ**

*Вознюк В.В., науковий керівник Заєць Н. А.*

Сучасні наукові та інженерні обчислення потребують збільшення швидкодії програм, що неможливо досягти лише за рахунок підвищення тактової частоти процесорів. Розвиток багатоядерних архітектур зумовлює потребу у раціональному розподілі обчислень між потоками та пошуку оптимальних способів масштабування. Закон Амдала є фундаментальним інструментом оцінювання меж ефективності паралельних програм, тому його практичне застосування дозволяє визначити вузькі місця алгоритмів і оцінити потенціал прискорення для різних моделей паралелізму.

У роботі проведено експериментальне дослідження ефективності різних технологій паралельного програмування для задач матричного множення, що є базовою операцією у високопродуктивних обчисленнях.

Для реалізації обрано такі технології: OpenMP, MPI (MS-MPI), Parallel STL, oneTBB та OpenBLAS (DGEMM). Експерименти виконано на багатоядерному процесорі для розмірів задач  $N = 256, 512, 1024, 2048$  із варіюванням кількості виконавців (потоків або процесів) від 1 до 8. Для кожної технології та кожного значення  $N$  проводилось по 10 повторних вимірювань, після чого обчислювалося середнє значення часу виконання для підвищення достовірності результатів. На основі отриманих даних побудовано залежності часу виконання, прискорення (Speedup), ефективності (%) та продуктивності (GFLOPS).

Додатково виконано аналітичний аналіз за законом Амдала, що дозволило визначити паралельну частку коду ( $f$ ) та теоретичну межу прискорення  $S_{max} = \frac{1}{1-f}$ , а також оцінити реальні обмеження масштабування.

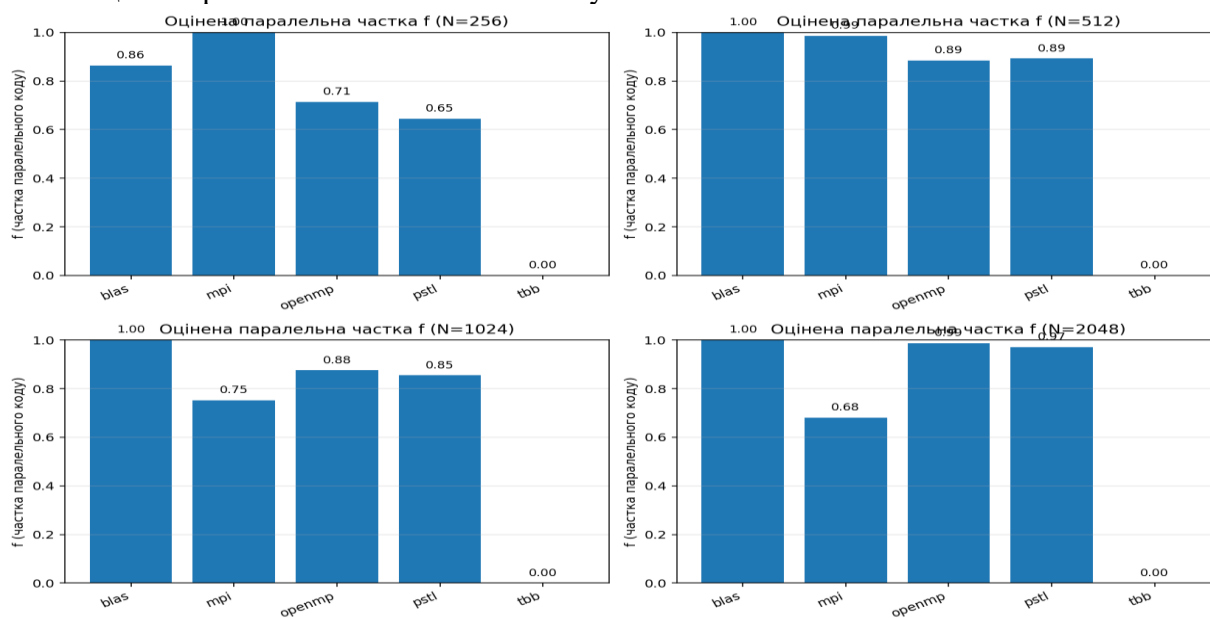


**Рис.1** Оцінена паралельна частка  $f$  за законом Амдала.

Основні спостереження:

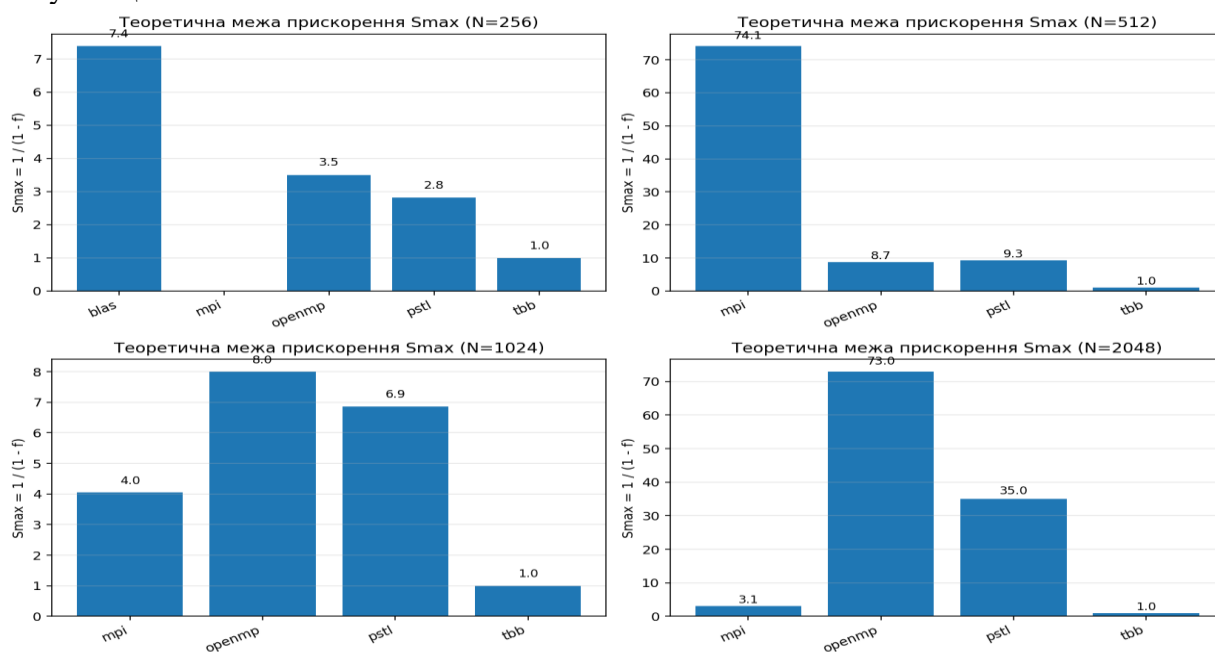
OpenBLAS (blas) — стабільно має  $f \approx 1$ , тобто майже весь код виконується паралельно (оптимізовані матричні операції BLAS).

OpenMP та Parallel STL (pstl) — демонструють високу паралельність (0.8–0.9), що свідчить про добру масштабованість на CPU.

MPI — має високий  $f$  для малих  $N$  ( $\approx 0.9$ ), але падає до 0.68 при  $N = 2048$  через накладні витрати на комунікацію між процесами.

oneTBB —  $f \approx 0$ , що вказує на неефективну паралелізацію для даного типу завдань або на значну послідовну частину коду.

Результати показали, що OpenBLAS, OpenMP та Parallel STL мають найвищу частку паралельного коду ( $f \approx 0.85\text{--}1.0$ ) і демонструють ефективне масштабування зі збільшенням кількості потоків. MPI показав добру продуктивність на малих розмірах задач, однак із ростом  $N$  ефективність зменшується через зростання накладних витрат на комунікацію.



OpenMP і MPI демонструють найвищу теоретичну межу прискорення при великих  $N$  (1024–2048). Це свідчить про високу частку паралельного коду та добру масштабованість.

Parallel STL (pstl) має стабільно добру ефективність, але нижчу межу, що вказує на часткову паралелізацію.

OpenBLAS показує високу ефективність для малих задач, але межа не росте при збільшенні  $N$ , бо бібліотека оптимізована під матричні операції з фіксованим рівнем паралелізму.

oneTBB (tbb) демонструє мінімальне прискорення, що вказує на значну послідовну частку або неефективну багатопоточність у даному експерименті.

Проведене дослідження підтвердило основне положення закону Амдала — загальна продуктивність паралельної програми обмежується послідовною частиною коду. Навіть незначна послідовна частина різко зменшує потенціал прискорення при зростанні кількості потоків. У межах експерименту найкращі результати показали технології OpenMP та OpenBLAS, що забезпечили найвищу частку паралельного виконання й максимальне теоретичне прискорення.

Отже, саме ці підходи є найбільш доцільними для реалізації високопродуктивних обчислень на багатоядерних процесорах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Amdahl, G. M. Validity of the Single Processor Approach to Achieving Large Scale Computing Capabilities // AFIPS Conference Proceedings. — 1967. — Vol. 30. — P. 483–485. (Класична стаття, у якій вперше сформульовано закон Амдала.)

2. OpenMP Architecture Review Board. OpenMP Application Programming Interface. Version 5.1. — November 2020. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.openmp.org>. (Офіційна документація до стандарту OpenMP для паралельного програмування.)
3. Message Passing Interface Forum. MPI: A Message-Passing Interface Standard. Version 4.1. — June 2023. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mpi-forum.org>. (Опис сучасного стандарту MPI, використаного у дослідженні.)

# ВИКОРИСТАННЯ ЗГОРТКОВИХ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АНАЛІЗУ КАРДІОСИГНАЛІВ

Віннічук Д.О., науковий керівник Семко В.В.

Згорткові штучні нейронні мережі є потужним інструментом аналізу просторових даних. При чому це стосується не тільки таких поширених форматів як фото або відео, а і інших сигналів, наприклад кардіограм.

У найпростішому варіанті кардіограма є одновимірним періодичним сигналом, який змінюється з часом. Такий сигнал можна аналізувати сучасними за допомогою сучасних нейромережових підходів, однак необхідно врахувати що це часовий періодичний сигнал. Для аналізу було обрано датасет [1] з кардіограмами, який містить більше 100 тисяч кардіограм, які поділені на 5 класів, які відповідають здоровій людині та 4 різним хворобам. Метою було створити нейромережу, яка буде вірно класифікувати кардіограму, визначаючи її клас (тобто хворобу або те, що це кардіограма здорової людини). Для побудови моделі було використано мову програмування Python, а саме модуль PyTorch [2]. Він дозволяє швидко та ефективно будувати різні види нейромереж та навчати їх. Іншою перевагою цієї бібліотеки є можливість працювати з сучасними відеокартами Nvidia за допомогою технології Cuda.

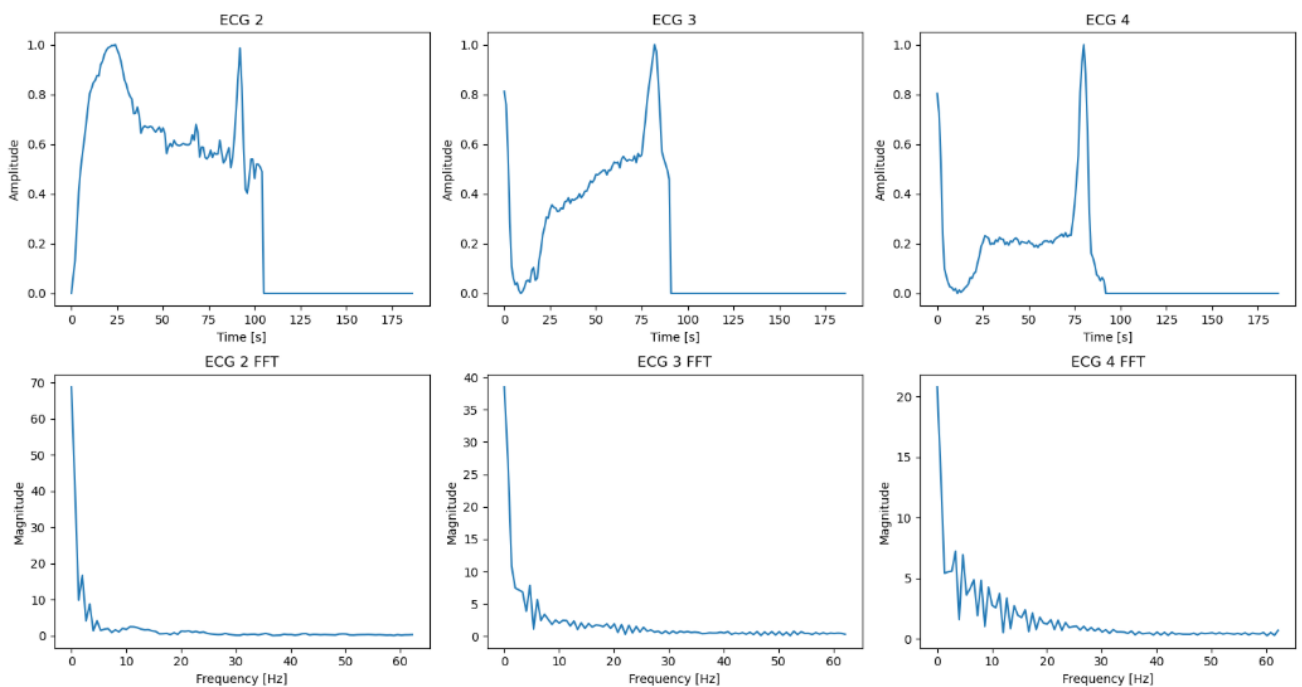


Рис. 1. Приклади кардіосигналів та їх образів Фур'є

Кардіограма є складним періодичним часовим сигналом, тому для її аналізу було запропоновано на вхід нейромережі подавати не тільки основний сигнал, а і Фур'є образ, який описує частотну характеристику сигналу. Схематичну архітектуру нейромережі зображено на рис. 2.

Як звичайний кардіосигнал, так і його Фур'є образ подаються на вхід згортковому блоку, який являє собою набори з згорткового, нормалізуючого та активаційного шарів, які йдуть один за одним. У якості функції активації було використано Swish функцію. Це є стандартним підходом до обробки просторових сигналів. Оскільки кардіосигнал є часовим, то також було використано LSTM (Long Short-Term Memory) блок [3]. Цей рекурентний блок дозволяє запам'ятовувати значення, як на короткі, так і на довгі

проміжки часу за рахунок механізму керування пам'яттю. Це дозволяє запам'ятовувати важливі моменти кардіосигналу. Зазначимо, що даний блок не використовується для обробки Фур'є сигналу, оскільки він не є часовим, а лише представляє частотні характеристики. Далі сигнали від двох гілок нейромережі передаються на фінальний класифікатор, який і формує вихідні дані, тобто клас до якого віднесено кардіосигнал.

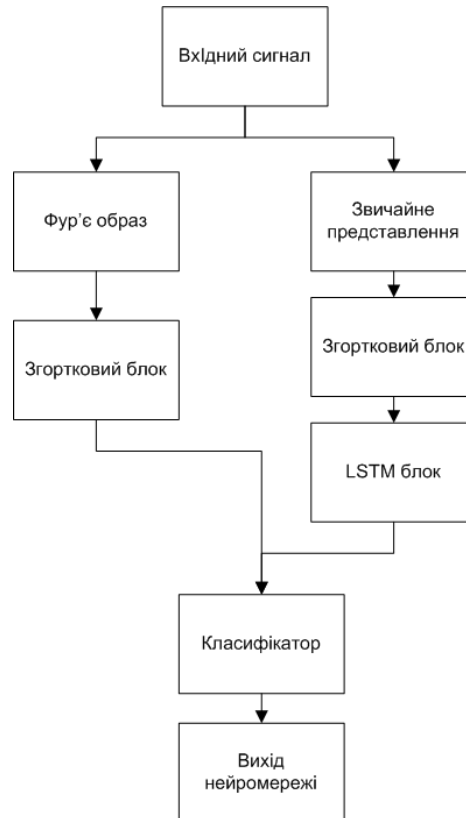


**Рис. 2.** Архітектура нейромережі для аналізу кардіосигналів

Тренування нейромережі зайняло 100 епох. В якості валідаційних даних було використано 5% датасету. Були отримані наступні значення метрик: Точність (accuracy): 0.9892, F1-міра (F1-score): 0.9332, Прецизійність (precision): 0.9451, Повнота (recall): 0.9225

Дані результати показують, що використання згорткових нейронних мереж у поєднанні з рекурентними LSTM блоками дозволяє ефективно такі класифікувати одновимірні часові сигнали, як кардіограми. Іншою перевагою запропонованої системи є врахування частотних характеристик сигналу за рахунок додаткового аналізу Фур'є образів, а також використання принципу керування пам'яттю за рахунок впровадження LSTM блоку.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Портал “Kaggle” [Електронний ресурс] – Режим доступу - <https://www.kaggle.com/datasets/shayanfazeli/heartbeat>
2. PyTorch. PyTorch. URL: <https://pytorch.org>
3. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-Term Memory. Neural Computation. 1997. Vol. 9, no. 8. P. 1735–1780. URL: <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735> (date of access: 22.10.2025).



УДК 004.9:331.5  
**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ  
 ПРАЦЕВЛАШТУВАННЯМ**

*Рудой Д.І., науковий керівник Голуб Б.Л.*

Актуальність. Сучасний ринок праці характеризується великими обсягами даних, ручний аналіз яких є неефективним для виявлення прихованих тенденцій. Виникає необхідність у створенні автоматизованих аналітичних систем на базі сховищ даних та алгоритмів Data Mining, що дозволяє оптимізувати кадрову політику та приймати науково обґрунтовані рішення в сфері управління персоналом.

Об'єктом дослідження є процес управління працевлаштуванням та ринок праці у сфері ІТ України.

Предметом дослідження є аналітична система підтримки прийняття рішень на основі сховища даних.

Метою дослідження є аналіз ринку праці, використовуючи технології сховищ даних та інтелектуального аналізу даних.

Методи та інструменти. Основою системи є сховище даних у MS SQL Server. ETL-процеси реалізовані за допомогою SSIS. Для інтелектуального аналізу використано Python та бібліотеки: Scikit-learn (Naive Bayes, K-Means, Random Forest), Statsmodels (Exponential Smoothing) та Pandas.

Результати дослідження. У ході роботи було отримано ключові результати:

Кластеризація вакансій за рівнем заробітної плати. Застосування алгоритму K-Means дозволило автоматично сегментувати ринок на три зарплатні групи, що виявило ринкові тенденції.

*Таблиця 1.*

**Результати кластерного аналізу зарплатних сегментів**

| Зарплатний сегмент | Кількість вакансій | Зарплата(грн)     | Частка військових вакансій (%) |
|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------|
| Сегмент 1          | 10723              | 2,250 - 47,000    | 1.04%                          |
| Сегмент 2          | 2587               | 47,250 - 113,000  | 8.70%                          |
| Сегмент 3          | 247                | 113,950 - 600,000 | 0.81%                          |

Як видно з таблиці, другий зарплатний сегмент значною мірою складається з військових спеціальностей, що є прямою відповіддю ринку на поточні виклики в країні.

Аналіз та прогнозування часових закономірностей. На основі унікальних вакансій було побудовано часовий ряд та створено прогноз на 2 місяці вперед, що дозволяє виявляти сезонні коливання та прогнозувати майбутню активність ринку.

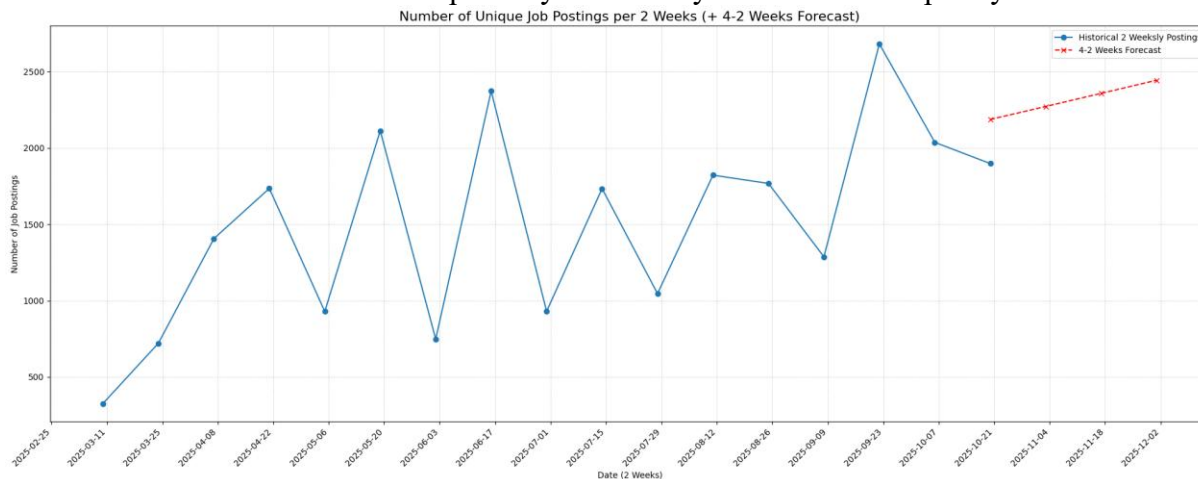


**Рис. 1.** Динаміка та прогноз кількості унікальних вакансій двотижневими сегментами



Графік показує, що незважаючи на нещодавнє зниження, прогноз передбачає впевнене зростання кількості нових вакансій наприкінці року.

Аналіз тривалості розміщення вакансій. Для оцінки швидкості закриття вакансій було проаналізовано їх "стійкість" — кількість тижнів, протягом яких вони залишалися активними на ринку (рис. 2).



**Рис. 2.** Розподіл стійкості вакансій

Гістограма демонструє асиметричний розподіл. Переважна більшість вакансій (майже 12 000) закриваються протягом першого тижня, що свідчить про високу динаміку ринку. Кількість активних пропозицій різко зменшується з часом, формуючи "довгий хвіст" з вакансій, які залишаються відкритими понад 10 тижнів. Це може вказувати на позиції, які важко закрити, або на вакансії, що відкриті постійно.

Висновки. Застосовані методи дозволили успішно кластеризувати вакансії, виявити ключові фактори, що впливають на тривалість пошуку кандидатів, та побудувати короткостроковий прогноз динаміки ринку. Отримані результати надають цінну, науково обґрунтовану інформацію для прийняття стратегічних рішень у сфері HR.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Документація мови Python: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.python.org/3/> (дата звернення 22.10.2025).
2. Документація Scikit-Learn: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://scikit-learn.org/stable/> (дата звернення 22.10.2025).
3. Документація Pandas: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://pandas.pydata.org/docs/> (дата звернення 22.10.2025).
4. Документація Statsmodels: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.statsmodels.org/stable/> (дата звернення 22.10.2025).
5. Документація Microsoft SQL Server: [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.microsoft.com/uk-ua/sql/> (дата звернення 22.10.2025).

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ДАНИХ ДЛЯ ПІДТРИМКИ  
ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ У ТРАНСПОРТНІЙ ЛОГІСТИЦІ***Гринчук В.Ю., науковий керівник Криворучко Я.С.*

У сучасних умовах цифровізації транспортної галузі ключовим викликом є необхідність ефективного використання великих обсягів даних для ухвалення управлінських рішень у логістиці. Дані про погоду, трафік, час доби, тип транспорту та особливості маршрутів формують складну систему взаємозалежностей, яка потребує нових підходів до аналізу.

Аналітичні платформи на основі OLAP[2] забезпечують можливість багатомірного представлення логістичних процесів, що дозволяє виявляти закономірності у виконанні перевезень та оцінювати продуктивність у різних розрізах — від регіону до конкретного виконавця. У поєднанні з технологіями інтелектуального аналізу даних ці інструменти створюють зручне середовище для виявлення прихованих факторів, які впливають на строки доставки.

Метою є дослідження інтеграції багатовимірного аналізу і алгоритмів інтелектуального аналізу даних для підвищення ефективності управлінських рішень в питаннях логістики.

Емпіричну базу дослідження склали реальні набори даних з відкритого доступу про логістичні операції, які містили інформацію про погодні умови, інтенсивність руху, відстань, рейтинг клієнтів і транспортних засобів. Аналіз проводився в Microsoft SQL Server із використанням багатовимірної моделі сховища (OLAP-куб), KPI-панелей та алгоритмів класифікації, кластеризації та пошуку асоціацій.

Під час дослідження реалізовано підхід, що поєднує OLAP-аналітику та методи Data Mining[1], зокрема класифікацію, кластеризацію та пошук асоціативних правил. Така комбінація дозволяє проводити статистичний аналіз історичних даних. Отримані результати дозволяють керівництву транспортної компанії своєчасно реагувати на зміни умов роботи та оптимізувати розподіл ресурсів.

Методологічна основа дослідження охоплює побудову багатомірної моделі доставок, визначення ключових показників ефективності (KPI), створення аналітичних запитів та розробку візуалізації для оцінки динаміки процесів[3]. Реалізація запропонованого підходу здійснена в середовищі Microsoft SQL Server Analysis Services (SSAS) із побудовою KPI, MDX-запитів та моделей Data Mining. Поєднання цих технологій забезпечує комплексний аналіз ефективності транспортних операцій, оцінку ймовірності затримок і формування показників ризику, що дозволяє підвищити точність планування маршрутів і розподілу ресурсів[3]. Методологічна база дослідження включає алгоритми кластеризації (K-Means), наївного Байєса для прогнозування класів затримки та пошук асоціативних правил для виявлення прихованих залежностей між зовнішніми та внутрішніми факторами.

Результати дослідження підтвердили ефективність поєднання традиційних аналітичних інструментів із методами штучного інтелекту. Такий підхід створює основу для побудови інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, орієнтованих на підвищення надійності, точності прогнозів та загальної ефективності логістичних процесів[1].

1. Реалізовані KPI (Avg Delivery Time, Delay 120, Predicted 180 Risk) формалізують якісні показники доставки та дозволяють відстежувати динаміку ефективності перевезень.

2. Наївний Баєс забезпечує прогнозування впевненості затримок понад 120 та 180 хвилин, враховуючи погоду, трафік, час доби, тип транспорту та регіон виконання, що дає змогу оцінювати ризики затримок до їх фактичного виникнення.

3. Кластеризація виділила три типи маршрутів:

- Кл. 2 — еталонні та ефективні (12,2 км, ~105 хв, рейтинг 4,8, темп 8,7 хв/км);
- Кл. 0 — довші, вільні, потребують додаткових ресурсів (12,4 км, ~185 хв, рейтинг 4,3, темп 15,1 хв/км);
- Кл. 1 — короткі, але зі збільшеним очікуванням у центрах (4,7 км, ~120 хв, рейтинг 4,8, темп 25,8 хв/км).

Таке групування допомагає оптимізувати розподіл транспортних засобів і часових вікон.

4. Асоціативні правила виявили стабільні залежності між заторами, вечірнім періодом і підвищеною впевненістю затримок, що дозволяє прогнозувати критичні часові інтервали

5. Об'єднання OLAP та Data Mining в єдиній аналітичній системі забезпечило динамічну побудову результатів, сценарне моделювання KPI та виявлення прихованих закономірностей, що підвищує оперативність управлінських рішень.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Aghajari A. Data mining in Logistics - choice or challenge [Electronic resource] / Amir Aghajari, Fatemeh Asadi // ResearchGate. – 2021. – Mode of access: [https://www.researchgate.net/publication/350176135\\_Data\\_mining\\_in\\_Logistics\\_-\\_choice\\_or\\_challenge](https://www.researchgate.net/publication/350176135_Data_mining_in_Logistics_-_choice_or_challenge).
2. Bergmann J. Application of new methods for analyzing environmental, economic and legal data in large datasets [Electronic resource] / Judith Bergmann // Applied Informatics. – 2017. – Vol. 4, no. 1. – P. 1–14. – Mode of access: <https://applied-informatics-j.springeropen.com/articles/10.1186/s40535-017-0041-6>.
3. Qaiser F.H., Syed S.A., Yang K., Wang Q. Decision Support Systems for Sustainable Logistics [Electronic resource] // Industrial Management & Data Systems. – 2017. – Vol. 117, No. 8. – P. 1688–1709. – Mode of access: <https://eprints.whiterose.ac.uk/115817/1/05042017%20IMDS%20SI%20on%20KB-DSS%20-%20IMDS-09-2016-0410%20-%20Final%20draft.pdf>

**СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ У  
ПРОМИСЛОВОМУ ПТАШНИКУ***Бабій Б.Ю., науковий керівник Бушма О.В.*

Сучасне птахівництво є складною галуззю, де ефективність виробництва залежить не лише від породи та корму, а й від умов утримання птиці. Здоров'я, ріст і продуктивність птахів значною мірою визначаються мікрокліматом у пташниках, включаючи температуру, вологість, рівень аміаку та інші критичні параметри. Контроль цих умов є необхідним для запобігання негативним наслідкам та забезпечення стабільної економічної ефективності.

Для цього використовуються системи моніторингу мікроклімату, які дозволяють автоматично збирати та обробляти дані, оцінювати стан умов утримання птиці та своєчасно реагувати на зміни.

Система моніторингу — це набір датчиків та програмного забезпечення, що фіксує температуру, вологість та інші параметри. Це забезпечує своєчасну оцінку стану мікроклімату, запобігання негативним наслідкам для здоров'я та продуктивності птиці, а також підвищує економічну ефективність виробництва.

Основною метою цього дослідження є практичне застосування методів OLAP та Data Mining для аналізу параметрів мікроклімату з метою виявлення закономірностей, що дозволяють підвищити ефективність управління умовами утримання птиці.

Перед початком роботи з даними було побудовано архітектуру системи за допомогою діаграми розгортання. На ній представлено три основні вузли системи:

Робоча станція пташнику — головний вузол, який містить такі компоненти:

Робоча станція оператора, що забезпечує інтерфейс взаємодії користувача з системою. Через неї оператор контролює параметри мікроклімату, переглядає дані з сенсорів та задає режими роботи обладнання.

Сервер бази даних (БД), який зберігає поточні дані, отримані від сенсорів і блоків керування. Ці дані можуть бути оперативно використані для корекції режимів роботи пташника.

Сенсори, що здійснюють безперервний збір показників температури, вологості, концентрації газів та інших параметрів середовища.

Блок керування, який отримує сигнали від сенсорів і забезпечує регулювання мікроклімату за допомогою систем вентиляції, опалення чи охолодження.

Сервер сховища даних (СД) — центральний вузол, який виконує функції зберігання, агрегування та підготовки великих обсягів історичних даних. Зібрана інформація передається із серверу бази даних для подальшого аналізу. Сховище даних виступає основним джерелом для виконання аналітичних запитів та побудови багатовимірних звітів.

Робоча станція аналітика — призначена для аналітичної обробки даних. Вона містить модуль аналітики даних, який реалізує інструменти OLAP і Data Mining для виявлення закономірностей, побудови звітів і формування прогнозів. Аналітик має доступ до історичних даних зі сховища та може здійснювати оцінку ефективності параметрів мікроклімату.

На етапі підготовки даних виконано проєктування сховища даних за зірковою схемою. Таблиця фактів містить вимірювання параметрів середовища, а вимірні таблиці — інформацію про пташники, дати та породи.

Для виявлення закономірностей застосовано методи Data Mining. Класифікаційний аналіз, виконаний за допомогою алгоритмів 1-Rule та Наївного Байєса, дозволив отримати такі результати:

Алгоритм 1-Rule показав, що загальна тенденція у вибірці характеризується низьким рівнем смертності, але цей показник змінюється залежно від умов конкретного пташника.

Метод Наївного Байєса уточнив, що пташник №3 є більш вразливим до несприятливих кліматичних умов, ніж пташник №2, що вказує на необхідність додаткового контролю за параметрами середовища саме в цьому приміщенні.

Кластерний аналіз розділив дані на шість груп: кластери 1, 2 та 4 характеризуються високою смертністю, кластери 3 та 6 — середньою, а кластер 5 відзначається оптимальними умовами з низькою смертністю та стабільними параметрами мікроклімату.

За допомогою OLAP було побудовано порівняльні звіти по пташниках, що відображають ключові виробничі показники, а також рівень смертності та браку за певний період часу. Ці звіти дали змогу узагальнити результати, отримані під час інтелектуального аналізу даних, і підтвердити виявлені закономірності.

Побудований графік смертності чітко показав, що пташник №3 має дещо вищий відсоток смертності, ніж інший пташник, що узгоджується з результатами, отриманими під час класифікаційного аналізу.

Крім того, за допомогою OLAP-куба були сформовані ключові показники ефективності (KPI), які відображають продуктивність, рівень смертності та браку у розрізі пташників. Це дозволило швидко оцінювати ефективність роботи кожного пташника, контролювати стабільність параметрів мікроклімату та приймати рішення щодо їх оптимізації.

Проведене дослідження підтвердило ефективність використання методів Data Mining та технологій OLAP для моніторингу параметрів мікроклімату у промислових пташниках. Застосування Data Mining дозволило виявити ключові закономірності між параметрами середовища та показниками смертності: визначено вплив вологості, температури й умов конкретного пташника на рівень втрат поголів'я. Подальше використання OLAP-звітності в середовищі SQL Server Reporting Services (SSRS) підтвердило отримані закономірності, дозволивши узагальнити результати аналізу у вигляді порівняльних звітів і ключових показників ефективності (KPI). Це забезпечило можливість об'єктивного контролю стану мікроклімату та оцінки ефективності роботи кожного пташника.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Analysis Services Tutorials (SSAS). URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/analysis-services/analysis-services-tutorials-ssas> (дата звернення: 19.09.2025).
2. sklearn.cluster.KMeans. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.KMeans.html> (дата звернення: 19.09.2025).
3. IoT Based Poultry House Monitoring. URL: [https://www.researchgate.net/publication/333597937\\_IoT\\_Based\\_Poultry\\_House\\_Monitoring](https://www.researchgate.net/publication/333597937_IoT_Based_Poultry_House_Monitoring) (дата звернення: 19.09.2025).

УДК 504.06  
**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ДАНИХ: ЗАСТОСУВАННЯ  
МЕТОДУ K-MEANS У СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ**

*Шевченко Д.В.*

Метою роботи є розвиток інформаційно-аналітичної системи оцінювання стану атмосферного повітря в населених пунктах на основі даних моніторингу шляхом впровадження технологій інтелектуального аналізу даних (алгоритму K-means).

Об'єктом дослідження є процеси отримання, обробки, зберігання та аналітичної обробки інформації про забруднення атмосферного повітря в системах екологічного моніторингу в Україні.

Предметом дослідження є застосування новітніх інформаційних технологій, зокрема алгоритмів інтелектуального аналізу даних (K-means), для виявлення прихованих закономірностей у даних про стан атмосферного повітря з метою підвищення ефективності прийняття рішень у сфері екологічного моніторингу.

Актуальність дослідження.

Моніторинг стану атмосферного повітря є важливою складовою екологічної безпеки і здоров'я населення. В Україні існуючі системи екологічного моніторингу часто характеризуються недостатньою оперативністю обробки даних, обмеженими аналітичними можливостями та недостатньою інтеграцією інформації з різних джерел. Це ускладнює своєчасне виявлення небезпечних рівнів забруднення та прийняття обґрунтованих рішень.

Сучасні дослідження наголошують, що для оцінки взаємозв'язків між концентраціями забруднювачів та зовнішніми чинниками необхідні більш точні аналітичні методи. Використання технологій інтелектуального аналізу даних (Data Mining) дозволяє суттєво підвищити ефективність опрацювання великих масивів екологічної інформації, забезпечити глибокий аналіз тенденцій забруднення та оперативне прийняття управлінських рішень. Таким чином, інтеграція алгоритмів Data Mining (наприклад, кластеризації методом k-means) у системи екологічного моніторингу є актуальним завданням для підвищення інформативності оцінювання стану повітря та запобігання негативним наслідкам забруднення довкілля.

Кластеризація екологічних даних методом k-means у системі моніторингу. У межах розвитку інформаційно-аналітичної системи для моніторингу якості атмосферного повітря проведено кластерний аналіз зосереджений на різних аспектах екологічних даних. Групування даних вимірювань концентрацій забруднюючих речовин. Для цього використано показники середньодобових концентрацій основних поллютантів (O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> тощо) у розрізі дат і місць спостереження. Алгоритм K-means сегментував набір даних на декілька кластерів за схожістю профілів забруднення. Зокрема, аналіз рівнів озону та сонячної радіації в рамках одного із експериментів показав, що дані доцільно поділити на три характерні кластери, які відповідають вечірньому, денному та нічному періодам доби. Це відображає добові коливання: у денний час інтенсивне сонячне випромінювання сприяє підвищенню концентрації озону, вночі через відсутність випромінювання рівні озону найнижчі, а вечірні значення є перехідними.

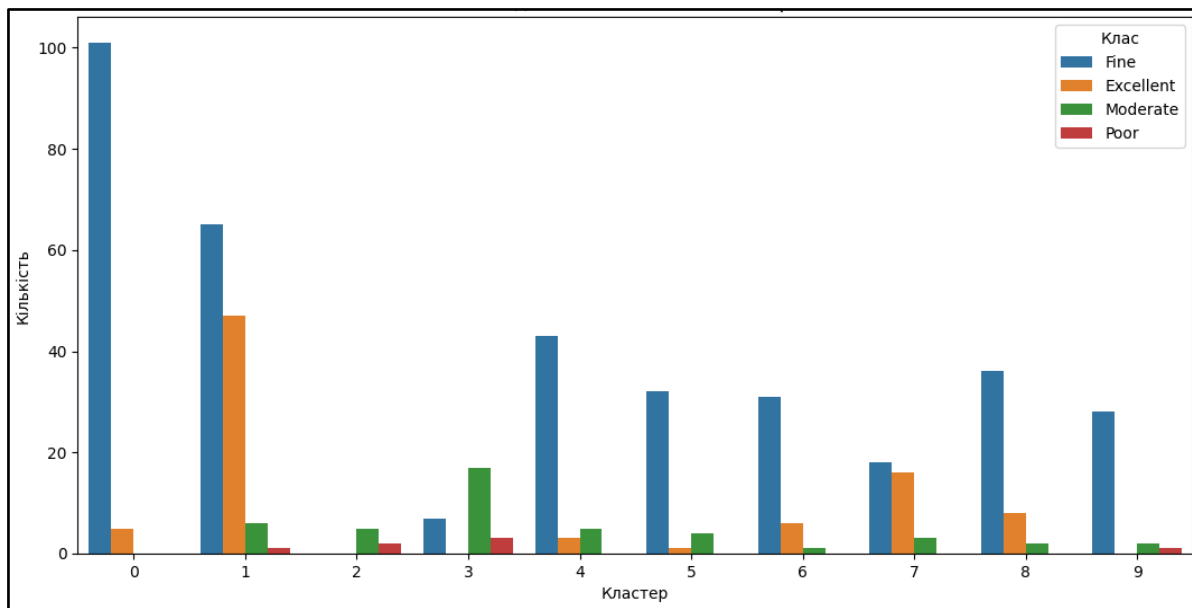


**Рис. 1** Розподіл кластерів за категоріями якості повітря (CAQI)

## ВИСНОВКИ

Результати дослідження підтверджують ефективність використання кластеризації методом K-means для аналізу просторово-часових закономірностей забруднення атмосферного повітря. Побудовані кластери дають змогу виявляти типові сценарії динаміки змін концентрацій основних забруднювачів (зокрема, озону, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>) та ідентифікувати потенційно небезпечні періоди або зони аномальної екологічної ситуації.

Інтеграція K-means до інформаційно-аналітичної системи моніторингу дозволяє автоматизувати аналіз багатовимірних екологічних даних і розширити можливості системи в частині аналітики та прийняття управлінських рішень. Перспективним є подальше поєднання кластерного аналізу з прогностичними моделями, що дозволить підвищити точність оцінювання екологічних ризиків і забезпечити своєчасне реагування на зміни якості повітря.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Shevchenko D., Holub B. Regression analysis for air quality monitoring based on IoT-sensors. - CEUR Workshop Proceedings, Vol. 3943, 2024. - URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3943/paper04.pdf>
2. Discussion of the Kyiv City State Administration Report on Atmospheric Air Quality Monitoring Results in Kyiv for 2023. - URL: <https://nubip.edu.ua/node/141976>
3. Bogolubov V.M., Holub B.L. Informational and analytical system for assessing atmospheric air state. // Proceedings of VII International scientific and practical conference "Sustainable development - 21st century". Kyiv, 2021. - P. 235–246. - URL: <https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u423/materials21.pdf>

УДК 004.93  
**ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ПЕРСОНАЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ  
 ВИКОРИСТАННЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ**

*Назарчук О.В., науковий керівник Руденський Р.А.*

Системи контролю доступу з розпізнаванням облич широко впроваджуються у корпоративних середовищах, однак їхня точність суттєво залежить від умов зйомки та налаштувань алгоритмів [1, 2]. Мета роботи – на основі реальних журналів подій оцінити поведінку трьох методів розпізнавання (LBPH, ArcFace, SFace) і показати, як прийоми дата-майнінгу підвищують пояснюваність і якість прийняття рішень.

У проєкті реалізовано автоматизовану систему обліку та аналізу відвідуваності персоналу із застосуванням методів Data Mining для класифікації. Сховище даних, де побудовано модель зоряної схеми зображено на рисунку 1.

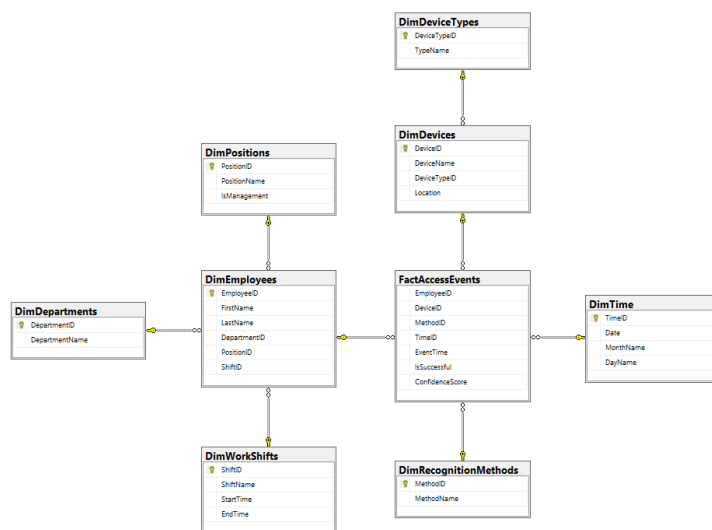


**Рис. 1** Структура сховища даних у вигляді діаграми

Для аналізу використано числові метрики якості кадру, розміру обличчя в кадрі, часу розпізнавання та відсоток відповідності до моделі. Для класифікації використано локацію, успішність розпізнавання та метод розпізнавання. Завантаження та підготовка даних виконані в SQL Server і pandas; візуалізація – у Power BI з Python-скриптами. Для моделювання застосовано класифікацію наївним Баєсом (рисунок 2) та K-means-кластеризацію (рисунок 3) [3, 4, 5].

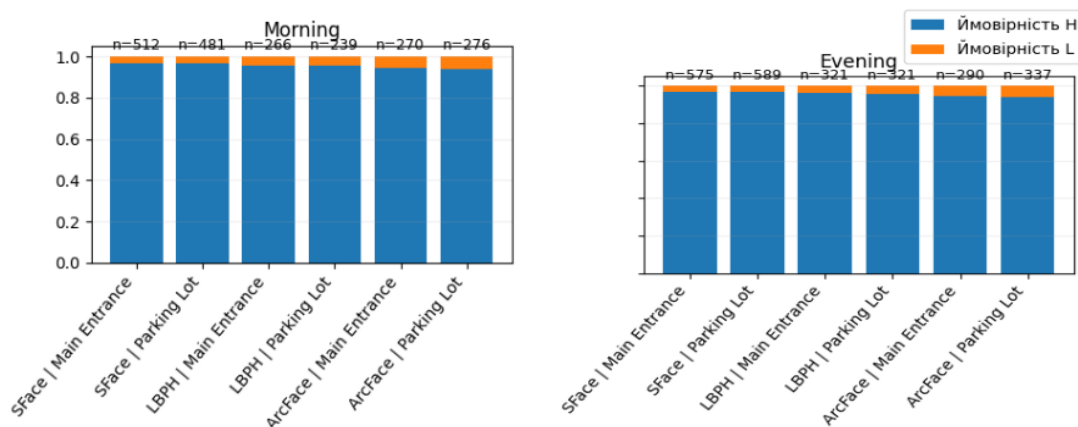


**Рис. 2** Виконання класифікації у Power BI за допомогою алгоритму наївного Баєса



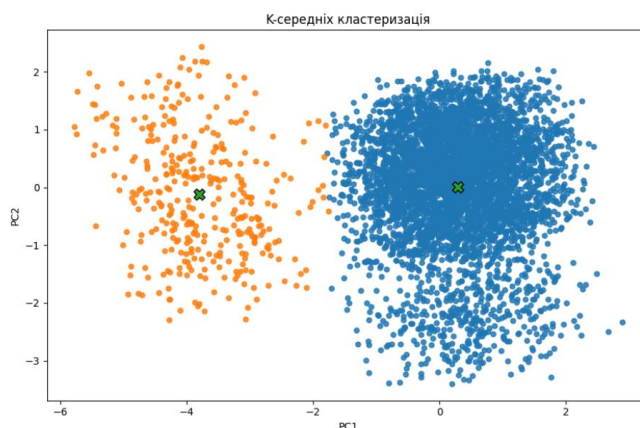


**Рис. 3** Кластеризація за K-means

K-means на числових метриках виділяє два домінантні кластери:

(А) «добра якість кадру – переважно успішні спроби;

(В) «низька якість/розмиття» – зона підвищених відмов. РСА-проекція підтверджує якісний поділ.

Порівняння методів.

SFace найстабільніший серед трьох представлених методів розпізнавання обличчя.

LVRN конкурентна альтернатива, але більш чутливий до умов освітлення.

ArcFace через велику вимогу до змінних таких як освітлення та різкість має менший відсоток успішності. Про те він показує кращі параметри розпізнавання «свій/чужий».

Найбільший приріст точності очікується не від зміни алгоритму, а від керування якістю кадру – стабільне освітлення, контроль різкості, чисті об'єктиви, мінімізація масок/капюшонів.

Для розгортання доцільна комбінація: ArcFace як базовий метод верифікації + SFace як резерв для сцен із рухом/розмиттям; LVRN – як легкий варіант на камерах із простими умовами.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Deng J., Guo J., Zafeiriou S. ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition. CVPR, 2019. DOI: 10.1109/CVPR.2019.00482.
2. Du X., Chen S., et al. SFace: Sigmoid-Constrained Hypersphere Loss for Robust Face Recognition. International Journal of Computer Vision, 2021.
3. Scikit-learn: Machine Learning in Python [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://scikit-learn.org/stable/>
4. Microsoft Power BI Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/power-bi>
5. Microsoft SQL Server Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/sql>

**СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ДЛЯ РОЗДРІБНОЇ ТОРГІВЛІ З ПРОГНОЗУВАННЯМ ПОПИТУ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ***Ясінська О.О., науковий керівник Дудник А. О.*

У результаті виконаного дослідження було розроблено вебсистему InventoryForecast Pro, що реалізує комплексний підхід до автоматизації управління запасами в роздрібній торгівлі на основі технологій машинного навчання. Система орієнтована на підвищення точності прогнозування попиту, мінімізацію надлишкових запасів і забезпечення стабільного товарообігу в умовах мінливої ринкової динаміки.

Проблема управління запасами є актуальною для малого та середнього бізнесу, де навіть незначні похибки прогнозування призводять до фінансових втрат. Традиційні статистичні методи часто не враховують сезонність, промоактивність або різкі зміни поведінки споживачів. Тому метою дослідження стало створення системи, здатної поєднати аналітичні можливості машинного навчання з класичними методами планування для формування адаптивної, гнучкої та масштабованої архітектури.

Ключові моменти дослідження

1. Архітектура системи: InventoryForecast Pro побудована за трирівневим принципом (presentation – logic – data), що забезпечує високу модульність, ізоляцію компонентів і гнучкість масштабування.

Презентаційний шар (React.js) реалізує інтерфейс користувача, дашборди, графіки та інтерактивні панелі.

Сервісний шар (Flask) виконує роль бізнес-логіки, обробки запитів, авторизації користувачів (JWT) і керування процесами навчання моделей.

Шар даних (Supabase/PostgreSQL) відповідає за зберігання транзакцій, прогнозів і аналітичних показників.

Така архітектура є типовим зразком сучасних корпоративних вебрішень [1] і забезпечує незалежне оновлення модулів без ризику порушення цілісності системи.

2. Гібридне прогнозування попиту: модуль прогнозування поєднує Prophet, ARIMA та LSTM — моделі, орієнтовані на різні типи часових рядів. Prophet моделює сезонність і зовнішні регресори (свята, акції), ARIMA — стабільні ряди без вираженої нелінійності, LSTM — складні часові залежності та волатильність.

Перед навчанням здійснюється STL-декомпозиція даних для виділення трендової, сезонної та залишкової компонент, після чого результати прогнозів комбінуються через зважене усереднення. Згідно з принципами, викладеними Hyndman та Athanasopoulos [2], ансамблевий підхід підвищує стійкість прогнозів до шуму та дозволяє адаптувати систему до різних типів поведінки попиту. Проведене експериментальне тестування підтвердило, що комбінована модель демонструє вищу точність порівняно з окремими методами.

3. Аналітичний функціонал і підтримка рішень: система забезпечує багатокомпонентний аналітичний модуль. Він надає можливість:

- переглядати прогнози попиту в динаміці та порівнювати їх із фактичними продажами;
- відслідковувати ключові показники ефективності (ROP, EOQ, рівень сервісу, коефіцієнт оборотності);
- імпортувати дані з зовнішніх джерел (CSV, API постачальників);
- експортувати звіти та рекомендації для менеджменту.

Таким чином, система підтримує концепцію data-driven management, у якій аналітичні рішення приймаються на основі кількісних даних і прогнозних моделей.

4. Практичне тестування та перспективи: прототип системи протестовано на реальних і синтетичних наборах даних. Отримані результати показали зниження кількості надлишкових запасів і скорочення частоти дефіцитів. Виявлено, що інтеграція прогнозів у процес управління запасами дозволяє підвищити ефективність використання складських ресурсів та скоротити витрати на 10–15 % у порівнянні з базовими методами планування.

Подальший розвиток передбачає впровадження автоматичного вибору оптимальної моделі залежно від характеристик даних, інтеграцію з POS-системами, реалізацію мобільного клієнта (React Native) та розгортання системи у хмарному середовищі (AWS/Supabase).

Підсумовуючи, можна стверджувати, що розроблена система InventoryForecast Pro є комплексним інструментом для прогнозування попиту та управління запасами в роздрібній торгівлі. Робота підтвердила ефективність комбінованого використання моделей Prophet, ARIMA та LSTM, а також доцільність трирівневої архітектури для побудови масштабованих вебсистем. Отримані результати свідчать, що інтеграція методів машинного навчання у процеси планування дозволяє підвищити точність прогнозів і забезпечити раціональне використання ресурсів підприємства, що відкриває перспективи подальших досліджень у напрямі адаптивного управління ланцюгами постачання.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Sommerville I. Software Engineering, 10th ed. — Pearson, 2016 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://dn790001.ca.archive.org/0/items/bme-vik-konyvek/Software%20Engineering%20-%20Ian%20Sommerville.pdf>
2. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice, 3rd ed. — OTexts, 2021 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://otexts.com/fpp3/combinations.html>

# СИСТЕМА АНАЛІЗУ ЗАПИТІВ ДОСТУПУ ДО ІНФОРМАЦІЇ НА СКЛАДНИХ ВЕБ-РЕСУРСАХ З АНАЛІЗОМ КОНТЕНТУ

Колесник Д.Ю., науковий керівник Вайганг Г.О.

З розвитком цифрового середовища обсяг інформації на веб-ресурсах постійно зростає, а структура сайтів стає дедалі складнішою. Це створює труднощі для користувачів у процесі пошуку необхідної інформації, особливо на порталах державних установ, у наукових сховищах та на корпоративних вебсайтах із багаторівневою навігацією. У таких умовах традиційні пошукові системи, що ґрунтуються на ключових словах, часто є малоефективними, оскільки не враховують семантичний контекст запиту й не здатні адаптуватися до поведінки користувача.

Сучасні дослідження пропонують об'єднати зусилля алгоритмів машинного навчання, аналізу контенту та обробки природної мови (NLP), щоб нарешті зробити пошук релевантним. Так, R. W. White [1] описує концепцію AI-копілотів, що підтримують користувача під час виконання складних інформаційних завдань, аналізуючи контекст пошукових сесій. М.-К. Ghali [2] підкреслює важливість підходу in-context learning, який дозволяє генеративним моделям миттєво реагувати на зміну запитів без повного перенавчання. Подібні ідеї застосовані у представленій системі, орієнтованій на покращення доступу до даних на складних веб-ресурсах за допомогою інтеграції мовних моделей і сховищ даних.

Метою дослідження є створення інтелектуальної системи аналізу запитів користувачів, що забезпечує підвищення точності пошуку інформації та ефективності обробки звернень за рахунок поєднання технологій Data Mining, OLAP-аналізу та NLP. Основною задачею було розроблення моделі, яка дозволяє виявляти закономірності у поведінці користувачів, аналізувати тематику запитів, швидкість відповіді системи та якість отриманих результатів.

Архітектура системи представлена у вигляді інтегрованого комплексу, який включає користувацький інтерфейс, модуль обробки запитів, аналітичний сервер і сховище даних. Користувач формує запит природною мовою через інтерфейс чат-бота. Далі запит обробляється мовною моделлю, яка виділяє ключові сутності та контекст, після чого аналітичний модуль здійснює пошук у базі знань і формує відповідь. Отримані результати зберігаються у сховищі даних, що дозволяє накопичувати статистику, проводити класифікацію, кластеризацію та формувати рекомендації. Така архітектура зображена на рисунку 1, де відображено взаємодію користувача, аналітичного ядра, бази даних і підсистеми звітності.

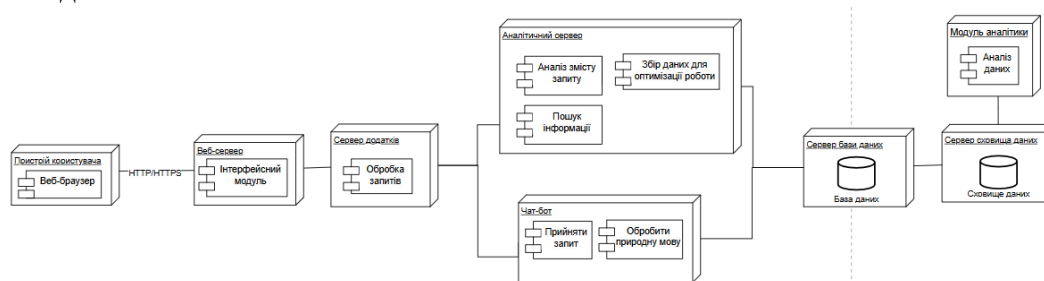


**Рис. 1** Архітектура інтелектуальної системи аналізу запитів користувачів

Інформаційна модель системи базується на сховищі даних ChatbotDB, яке побудоване за принципом «зірки» та включає чотири основні таблиці: Query\_Dim, Response\_Dim, Date\_Dim та UserQueries\_Fact. Така структура забезпечує багатовимірний аналіз даних за параметрами тематики запитів, типів відповідей, часу звернення, оцінок користувачів і середнього часу відповіді. На рисунку 2 представлено фрагмент моделі сховища даних, що демонструє взаємозв'язки між вимірними таблицями та фактами.

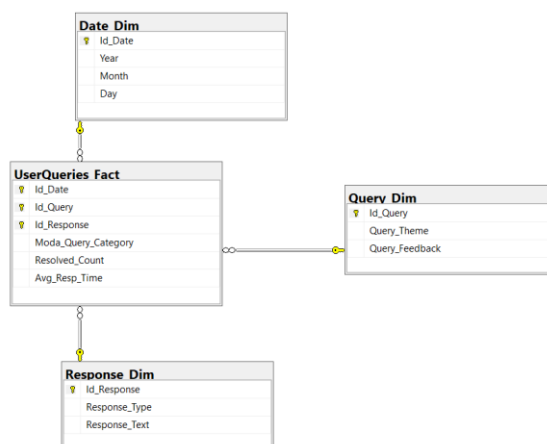


**Рис. 2** Структура сховища даних ChatbotDB для аналітичного обліку запитів користувачів

Для обробки даних і побудови аналітичних моделей використовувалися алгоритми класифікації, асоціативних правил і кластеризації. На етапі класифікації застосовано методи 1-Rule та наївного Байєса, які дали змогу визначити залежності між тематикою запитів, типом відповіді та оцінкою користувача. На етапі пошуку закономірностей використано алгоритм Apriori, який дозволив виявити часті комбінації атрибутів, наприклад, взаємозв'язок між запитами, що містять слова «соціальні виплати» або «пільги», та типом відповіді «інструкція». Подальша кластеризація методом K-Means дала можливість групувати подібні запити за змістом і показниками активності користувачів. Це дало змогу виявити сезонні тенденції: збільшення кількості запитів про податки та соціальну допомогу взимку та зниження активності влітку.

Візуалізацію результатів реалізовано у вигляді OLAP-звітів і інтерактивних панелей Power BI, які дозволяють оцінювати ефективність роботи системи, середній час відповіді, розподіл тематик і рівень задоволення користувачів. Розроблене сховище забезпечує можливість накопичення аналітичних даних, їх гнучку обробку, а також підтримку подальшого машинного навчання на основі накопичених результатів.

Розроблена система демонструє практичну придатність інтеграції методів Data Mining, OLAP-технологій і обробки природної мови для вдосконалення процесів пошуку на складних веб-ресурсах. Вона може використовуватись як модуль адаптивної підтримки користувачів у державних і наукових інформаційних порталах. Отримані результати свідчать, що застосування аналітичних алгоритмів дозволяє значно скоротити середній час пошуку релевантної інформації та підвищити якість відповідей за рахунок контекстного аналізу запитів.

Подальший розвиток системи передбачає інтеграцію глибинних моделей NLP для семантичного узагальнення запитів, удосконалення рекомендаційного механізму та розширення аналітичних можливостей системи на основі даних користувацьких сесій. Це відкриває перспективи для створення єдиної інтелектуальної платформи підтримки користувачів складних веб-ресурсів, здатної автоматично аналізувати зміст і контекст інформаційних запитів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. White, R. W. (2023). Navigating Complex Search Tasks with AI Copilots. arXiv.Org, abs/2311.01235. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2311.01235>
2. Ghali, M.-K., Farrag, A., Won, D., & Yu, J. (2024). Enhancing Knowledge Retrieval with In-Context Learning and Semantic Search through Generative AI. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2406.09621>

# АРХІТЕКТУРНЕ ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКУ ПОВТОРНИХ ГОСПІТАЛІЗАЦІЙ В ЕКОСИСТЕМІ EHEALTH УКРАЇНИ

*Кузнєцов Антон Дмитрович*

Вступ. Незапланована 30-денна повторна госпіталізація (НПГ) є глобальним викликом для систем охорони здоров'я, що свідчить про фрагментацію медичної допомоги та призводить до значних фінансових витрат. У світовому масштабі НПГ створює фінансовий тягар, який, наприклад, у США сягає 41,3 мільярда доларів щорічно [1]. В умовах України, де система охорони здоров'я функціонує під надзвичайним навантаженням через воєнні дії, проблема ефективного розподілу обмежених клінічних ресурсів набуває критичної ваги. Зменшення кількості НПГ є стратегічним імперативом, що дозволяє знизити навантаження на медичні заклади та клініцистів, забезпечуючи ресурси для найкритичніших випадків. Відтак, розробка інструментів для проактивного виявлення пацієнтів групи ризику є надзвичайно актуальним завданням для підтримки стійкості національної системи охорони здоров'я.

Мета дослідження. Основною метою є проєктування стійкої, безпечної та інтероперабельної архітектури Системи підтримки прийняття рішень (СППР) для точного прогнозування ризику 30-денної повторної госпіталізації, адаптованої для функціонування у фрагментованому багатопостачальницькому середовищі Медичних інформаційних систем (МІС) України та узгодженої з цілями Європейського простору медичних даних (EHDS).

Матеріали та методи. Методологічною основою дослідження є системний аналіз архітектури національної системи eHealth України, її дворівневої структури (Центральна база даних та периферійні МІС) та заснованої на стандарті FHIR моделі даних. Проведено систематичний огляд літератури для порівняння ефективності методів машинного навчання (від традиційних, як-от індекс LACE, до ансамблевих, як-от XGBoost). Для проєктування технічного рішення застосовано метод архітектурного моделювання, що дозволило розробити інтеграційну архітектуру на основі сучасних стандартів інтероперабельності HL7 FHIR та CDS Hooks [2].

Результати та обговорення. За результатами аналізу, для побудови прогностичного ядра СППР було обрано алгоритм машинного навчання XGBoost. Цей вибір обґрунтований його високою прогностичною точністю ( $AUC > 0,80$ ), надійністю при роботі зі складними клінічними даними та, що найважливіше, можливістю інтеграції з методами пояснюваного штучного інтелекту (XAI), зокрема SHAP-значеннями [3]. Це дозволяє перетворити прогноз із «чорної скриньки» на прозорий інструмент, що підвищує довіру клініцистів.

Запропонована архітектура СППР реалізована у вигляді централізованого, захищеного мікросервісу, інтегрованого в національну екосистему eHealth. Взаємодія з клінічними робочими процесами відбувається за допомогою подійного патерну на основі стандарту HL7 CDS Hooks. Ключовий робочий процес виглядає наступним чином:

Клініцист ініціює виписку пацієнта у своїй периферійній МІС.

Ця дія активує «гачок» CDS (наприклад, order-sign), який надсилає захищений запит через національний API-шлюз до мікросервісу СППР. Запит містить контекстну інформацію про пацієнта.

Мікросервіс отримує необхідні дані пацієнта з Центральної бази даних, використовуючи стандартизовані ресурси FHIR (Patient, Encounter, Condition тощо).

Модель XGBoost обробляє дані та генерує прогноз ризику НПГ разом із SHAP-значеннями, які пояснюють внесок кожного фактора.

Результат повертається до МІС у вигляді стандартизованого ресурсу FHIR RiskAssessment та відображається клініцисту у вигляді інформаційної картки безпосередньо в інтерфейсі [4].

Такий підхід забезпечує доставку прогностичної аналітики в реальному часі в точку надання допомоги, не вимагаючи оновлення програмного забезпечення у понад 40 різних постачальників МІС. Архітектура є масштабованою, стійкою до відмов локальної інфраструктури та відповідає сучасним вимогам безпеки. Для успішного впровадження системи розроблено чотирифазну дорожню карту: аналітична валідація моделі, технічне пілотування з обмеженою групою МІС, клінічне дослідження зручності використання та повномасштабне національне розгортання.

Висновки. Запропонована архітектура СППР є технічно здійсненним та стратегічно обґрунтованим рішенням для зниження рівня повторних госпіталізацій в Україні. Вона ефективно використовує наявні інвестиції країни в FHIR-орієнтовану інфраструктуру eHealth, забезпечуючи інтероперабельність та масштабованість. Поєднання високоточної моделі XGBoost із методами пояснюваного ШІ (XAI) є ключовим для побудови довіри серед клініцистів та успішної клінічної інтеграції. Поетапний, орієнтований на користувача підхід до впровадження мінімізує ризики проєкту та гарантує, що кінцевий продукт буде не лише точним, але й корисним та надійним інструментом у щоденній роботі лікаря. Реалізація цього проєкту може значно підвищити ефективність використання ресурсів та стійкість системи охорони здоров'я України.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Development and Internal Validation of an Interpretable Machine Learning Model to Predict Readmissions in a United States Healthcare System. MDPI. URL: <https://www.mdpi.com/2227-9709/10/2/33> (дата звернення: 15.08.2024).
2. CDS Hooks: Clinical Decision Support. URL: <https://cds-hooks.hl7.org/> (дата звернення: 15.08.2024).
3. Machine learning for predicting readmission risk among the frail: Explainable AI for healthcare. PMC. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8767300/> (дата звернення: 15.08.2024).
4. Insight into the Digital Health System of Ukraine (eHealth): Trends, Definitions, Standards, and Legislative Revisions. PMC. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10754247/> (дата звернення: 15.08.2024).
5. FHIR Specification. HL7 International. URL: <https://www.hl7.org/fhir/> (дата звернення: 15.08.2024).

3D-друк, або адитивне виробництво, посідає провідне місце серед технологій індустрії 4.0, забезпечуючи створення складних конструкцій із мінімальними втратами матеріалів. Попри це, процеси друку залишаються чутливими до змін параметрів, що призводить до дефектів і нестабільності якості виробів. Інтеграція машинного навчання (ML) відкриває можливості для подолання цих обмежень, забезпечуючи адаптивне керування параметрами та моніторинг процесу друку в реальному часі. Використання ML дозволяє системам навчатися на основі даних сенсорів, прогнозуючи оптимальні режими для підвищення точності, міцності та повторюваності виробів.

Актуальність проблематики зумовлена тим, що машинне навчання стає ключовим інструментом підвищення ефективності 3D-друку та переходу до інтелектуальних виробничих систем. За результатами досліджень Aktepe та Ergün [1], впровадження алгоритмів ML у FDM-друк дозволяє прогнозувати параметри процесу та зменшувати похибки, а Rojek зі співавторами [3] підкреслюють ефективність нейронних мереж у виявленні дефектів у реальному часі. Галузеві аналітичні огляди [4] підтверджують, що до 2025 року машинне навчання формує основу сталого та автоматизованого адитивного виробництва, визначаючи його стратегічний розвиток у промисловості та наукових дослідженнях.

Одним із провідних напрямів застосування машинного навчання в 3D-друці є оптимізація технологічних параметрів. У традиційних підходах налаштування температури, швидкості подачі чи товщини шару здійснюється емпірично, що збільшує ризик похибок. Алгоритми машинного навчання, зокрема глибокі нейронні мережі та регресійні моделі, дають змогу знаходити закономірності між умовами друку та властивостями матеріалу і узагальнено в табл. 1. Наприклад, для FDM-друку застосування ансамблевих моделей (Random Forest, XGBoost) дозволяє передбачати міцність на розрив і скорочувати кількість дефектів до 40%.

*Таблиця 1.*

**Приклади використання алгоритмів машинного навчання в адитивному виробництві**

| № | Напрямок застосування            | Алгоритм           | Очікуваний ефект                                       | Джерело |
|---|----------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|---------|
| 1 | Оптимізація параметрів FDM-друку | Random Forest, ANN | Зменшення дефектів на 30–40%                           | [1]     |
| 2 | Моніторинг процесу друку         | CNN, LSTM          | Виявлення аномалій у реальному часі з точністю до 95%  | [3]     |
| 3 | Генеративне проектування         | GAN, RL            | Оптимізація геометрії, скорочення часу друку на 20–35% | [2]     |
| 4 | Аналіз якості матеріалів         | SVM, Decision Tree | Прогнозування механічних властивостей полімерів        | [4]     |

Другий важливий напрям – моніторинг і контроль якості у реальному часі. Алгоритми LSTM і CNN успішно використовуються для аналізу зображень із камер, встановлених у друкувальних модулях, та акустичних сигналів від обладнання. Це дозволяє системі прогнозувати ймовірність появи дефектів (тріщин, зміщення шарів) до їх фактичного виникнення. Такі рішення вже інтегровані у промислові комплекси компаній EOS, Stratasys і HP, де ML-модулі автоматично коригують швидкість подачі та температуру нагріву в процесі друку.

На рівні проектування дедалі більшого поширення набуває генеративний дизайн, який базується на нейронних мережах типу GAN (Generative Adversarial Networks). Вони



дозволяють створювати оптимізовані геометрії деталей із урахуванням навантажень, температурних умов та характеристик матеріалів. Застосування методів підкріплювального навчання (Reinforcement Learning) сприяє автоматизації планування траєкторій друку, скорочуючи тривалість виробничого циклу до 25% без втрати якості, а концептуальна інтеграція підходів наведена на рис. 1.

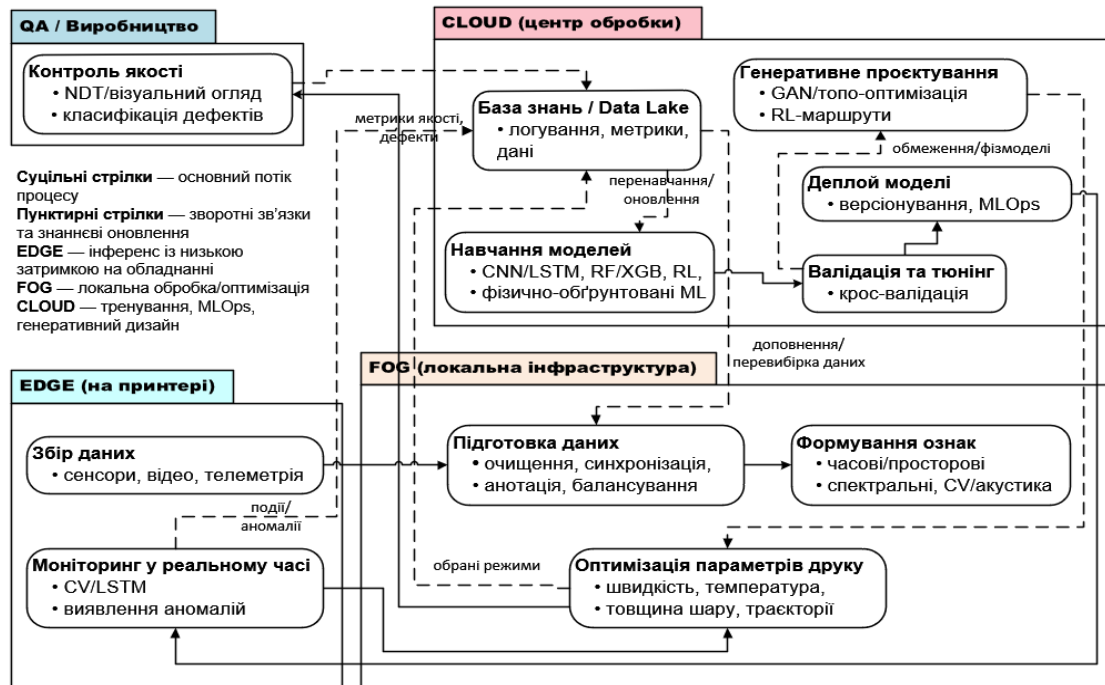


Рис. 1. Інтеграція машинного навчання у процес 3D-друку

У подальшому розвитку технологій очікується поєднання ML з інтернетом речей (IoT), що створює передумови для повної автоматизації виробничих процесів і переходу до edge-ML – локальної обробки даних безпосередньо на обладнанні. Це дозволить оперативно реагувати на зміни умов друку й адаптувати моделі без підключення до хмарних систем. Перспективним напрямом також є застосування ML для оптимізації екологічних аспектів 3D-друку – зменшення енергоспоживання, мінімізації відходів і впровадження біорозкладних матеріалів.

Таким чином, машинне навчання трансформує адитивне виробництво з емпірично керованого процесу на самонавчальну систему, здатну до прогнозування, адаптації та самокорекції. Реалізація таких підходів забезпечує новий рівень інтелектуалізації промислового виробництва, підвищує точність, надійність і сталість технологічних процесів 3D-друку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aktepe E., Ergün U. Machine Learning Approaches for FDM-Based 3D Printing: A Literature Review // Applied Sciences (MDPI). – 2025. – Vol. 15, No. 18. – Art. 10001. – DOI: 10.3390/app151810001. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/18/10001>.
2. 3D Printing and AI: Exploring the Impact of Machine Learning on Additive Manufacturing [Електронний ресурс]. – ResearchGate, 2025. – Режим доступу: <https://doi.org/10.63623/sfv96y88>.
3. Rojek I., et al. Novel Applications of Machine Learning in 3D Printing // Applied Sciences (MDPI). – 2025. – Vol. 15, No. 4. – Art. 1781. – DOI: 10.3390/app15041781. Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/4/1781>.

4. Shaikhmag A., et al. 3D Printing Trends for 2025: Executive Survey of Leading Additive Manufacturing Companies // 3D Printing Industry. – 2025. – Режим доступу: <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-trends-for-2025-executive-survey-of-leading-additive-manufacturing-companies-236247>

**СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ ВИРОЩУВАННЯ АГРОКУЛЬТУР***Пухальський О. В., науковий керівник: Голуб Б. Л.*

У сучасних умовах цифровізації аграрного сектору особливого значення набуває використання технологій інтелектуального аналізу даних для підвищення ефективності вирощування культур. Величезні обсяги інформації, що накопичуються у процесі агровиробництва (офіційна статистика, агрометеодані, характеристики ґрунтів, операційні записи господарств), потребують глибокої аналітики для виявлення закономірностей, які неочевидні при традиційних методах обробки. Саме тому поєднання сховища даних, багатовимірної аналітики (OLAP) та Data Mining розглядається як базовий інструмент побудови рішень для агровиробництва.

Основною метою даної роботи є проведення аналізу параметрів вирощування агрокультур із використанням технологій Data Mining для виявлення закономірностей і підвищення точності прогнозування врожайності, а також побудова механізмів для вилучення, обробки і передачі даних. Для цього використано комплекс алгоритмів інтелектуального аналізу даних (класифікація, асоціативний аналіз, кластеризація) у зв'язці з побудовою тематичного сховища даних та OLAP-куба як основи багатовимірних зрізів і KPI.

На етапі проєктування системи розроблено архітектуру, яка описує взаємодію між користувачами, базою даних і сховищем даних. Така структура забезпечує узгоджений обмін інформацією, централізоване зберігання даних і виконання аналітичних запитів у близькому до реального часу. Побудовано діаграму прецедентів, що демонструє основні функції системи: реєстрацію ділянок, збір даних, оптимізацію вибору насіння, прогнозування врожайності та формування аналітичних звітів. На рівні даних реалізовано процеси ETL/ELT для очищення, уніфікації одиниць виміру (ц/га в т/га), контролю посиальної цілісності та інкрементального оновлення (партиціювання за роками) з метою скорочення часу процесингу куба.

Для дослідження залежностей між параметрами середовища та результатами вирощування використано метод кластерного аналізу (KMeans). На основі методу “ліктя” визначено оптимальну кількість кластерів, що дозволило згрупувати ділянки за подібними характеристиками врожайності та стабільності. Результати візуалізовано за допомогою методу головних компонент (PCA), що спростило інтерпретацію багатовимірних даних і виявило чітко відокремлені “хмари” кластера з мінімальним перекриттям.

З метою класифікації застосовано метод 1R і наївного Байєса, які дали змогу визначити найвпливовіші параметри серед типу ґрунту, кліматичних умов і виду культури. 1R надав прозорі однофакторні правила для швидкої діагностики, тоді як Наївний Байєс - ймовірнісні оцінки класів з урахуванням комбінацій ознак, що підвищило якість і пояснюваність прогнозів. Додатково виконано асоціативний аналіз (Apriori), який виявив часті поєднання “регіон–ґрунт–культура” із високими значеннями довіри та ліфта і може бути використаний як база рекомендацій для розміщення культур.

Отримані результати підтвердили, що врожайність найбільш залежить від поєднання природних факторів. Зокрема, на чорноземах у вологому або помірно-вологому кліматі спостерігаються найвищі показники, тоді як у регіонах із більш континентальними умовами врожайність знижується через нестабільність вологості. Кластеризація дозволила виокремити чотири групи регіонів, які відрізняються за агрокліматичними особливостями та потенціалом продуктивності культур. Ці сегменти

можуть слугувати основою для диференційованих агротехнологій і сценарного планування.

Підсумовуючи, впровадження системи інтелектуального аналізу даних дає змогу не лише виявляти приховані закономірності між параметрами вирощування, але й створювати аналітичні інструменти для прогнозування, планування агротехнічних заходів та зменшення виробничих ризиків. Інтеграція OLAP і Data Mining у межах єдиного сховища забезпечує прозоре відтворення розрахунків, узгоджені KPI та можливість швидкого масштабування рішення, що в перспективі сприятиме розвитку точного землеробства та підвищенню ефективності агровиробництва.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Державна служба статистики України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukrstat.gov.ua>
2. MMF.com.ua. Машинне навчання простими словами. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mmf.com.ua/ar/1739>
3. Tan P. N., Steinbach M., Karpatne A., Kumar V. Introduction to Data Mining. – 2nd ed. – Pearson, 2018. – 864 p.
4. Liu B. Web Data Mining: Exploring Hyperlinks, Contents, and Usage Data. – Springer, 2011. – 632 p.
5. Scikit-learn Developers. User Guide for Scikit-learn: Machine Learning in Python. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://scikit-learn.org/stable/user\\_guide.html](https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html)
6. Han J., Kamber M., Pei J. Data Mining: Concepts and Techniques. – 4th ed. – Elsevier, 2022. – 768 p.

**СИСТЕМА АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СПОРТИВНИХ ДОСЯГНЕНЬ НА  
ОСНОВІ ДАНИХ ПРО ТРЕНУВАННЯ***Федяй А.І., науковий керівник Панкрат'єв В.О.*

У сучасному спорті ключовим чинником успіху стає не лише фізична підготовка спортсмена, а й здатність ефективно збирати, аналізувати та інтерпретувати великі обсяги даних. Використання технологій штучного інтелекту та машинного навчання відкриває нові можливості для прогнозування результатів, оптимізації тренувального процесу та розробки індивідуальних стратегій підготовки спортсменів. Аналітичні системи у поєднанні з математичними моделями дозволяють підвищити точність оцінки поточного стану спортсмена та сформулювати обґрунтовані рекомендації щодо майбутніх навантажень.

Розроблена інформаційна система аналізу, кластеризації та прогнозування спортивних досягнень забезпечує комплексну обробку тренувальних даних, виявлення закономірностей у результатах, групування спортсменів за схожими характеристиками та формування прогнозів на основі інтелектуальних моделей. Її мета – підвищення ефективності тренувального процесу шляхом автоматизації збору, аналізу, класифікації та прогнозування ключових показників діяльності спортсменів.

Система реалізована мовою програмування C# із використанням бібліотеки ML.NET, що забезпечує інтеграцію алгоритмів машинного навчання у настільний застосунок. В основі структури бази даних — Microsoft SQL Server, де зберігається інформація про користувачів, параметри тренувань, результати прогнозів, моделі аналізу та виявлені закономірності. Ключові таблиці AthleteDim, TrainingFact, PredictionModelDim і TrainingAnalysisFact утворюють зв'язану схему, що дозволяє проводити як аналітичні запити, так і машинне навчання на актуальних даних.

Для аналізу використовуються алгоритми Linear Regression (SDCA), Random Forest (FastForest), Gradient Boosting (FastTree), LightGBM та Generalized Additive Model (GAM). Вибір моделі здійснюється користувачем, після чого система навчається на даних про попередні тренування та формує прогнозовані показники продуктивності. Кожен прогноз оцінюється за параметрами AccuracyPercent (точність передбачення) та LossValue (середньоквадратична похибка), що дає змогу визначити найефективнішу модель.

Окрім прогнозування, система містить модуль виявлення закономірностей, який аналізує взаємозв'язки між інтенсивністю, тривалістю та кількістю повторів. За результатами аналізу користувач отримує текстові висновки про стабільність, варіативність чи надмірність навантажень, а також аналітичні рекомендації щодо коригування тренувального процесу.

Також реалізовано модуль кластеризації, що дозволяє автоматично групувати тренування або спортсменів за подібними характеристиками, що сприяє виявленню ефективних тренувальних патернів та індивідуальних тенденцій розвитку.

Система має розвинений модуль звітності, який відображає результати у вигляді таблиць, графіків і діаграм. Візуалізація виконана за допомогою бібліотеки System.Windows.Forms.DataVisualization.Charting, що забезпечує інтерактивне масштабування, фільтрацію та порівняння моделей. Передбачено експорт результатів у формати CSV, PNG, ZIP, що полегшує обмін даними з тренерами або аналітиками.

Серед переваг системи – інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, швидка обробка даних, можливість додавання нових алгоритмів без зміни архітектури та автономна робота без зовнішніх сервісів. У перспективі планується розширення інтелектуального модуля з

елементами рекомендаційної аналітики, який на основі закономірностей і кластерів формуватиме персоналізовані поради для спортсменів.

Таким чином, створена система є комплексним інструментом цифрової підтримки тренувального процесу, що поєднує аналітику, прогнозування, кластеризацію та виявлення закономірностей у єдиному середовищі. Її використання сприяє підвищенню точності планування тренувань, об'єктивній оцінці прогресу спортсмена та прийняттю обґрунтованих управлінських рішень у сфері спортивної підготовки.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning [Електронний ресурс]. – Springer, 2006. – Режим доступу: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-0-387-45528-0>. [дата звернення: 19.10.2025].
2. Han J., Kamber M., Pei J. Data Mining: Concepts and Techniques [Електронний ресурс]. – Elsevier, 2012. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-61819-5>. [дата звернення: 19.10.2025].
3. Microsoft ML.NET Documentation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/machine-learning/>. [дата звернення: 19.10.2025].
4. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning [Електронний ресурс]. – MIT Press, 2016. – Режим доступу: <https://www.deeplearningbook.org/>. [дата звернення: 19.10.2025].

**СИСТЕМА ОБРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ ЗАКОРДОННИХ ПАСПОРТІВ  
З ЕЛЕМЕНТАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ***Прокопенко Д.О., науковий керівник Пархоменко І.І.*

У сучасних туристичних компаніях швидкість і точність обробки паспортних даних безпосередньо впливає на ефективність роботи персоналу та якість обслуговування клієнтів. Ручне введення інформації з паспортів у системи бронювання авіаквитків, готелів та інших послуг є трудомістким і схильним до помилок, що може спричинити повторне бронювання або відмову у наданні послуги. Крім того, у великих туристичних агентствах обсяг оброблюваних паспортних даних може досягати сотень або тисяч документів на день, що ускладнює контроль точності і збільшує ймовірність людського фактора. В умовах конкурентного ринку та високих очікувань клієнтів, автоматизація цього процесу стає критичною для підтримки якості послуг і швидкості обслуговування.

Автоматизація обробки паспортних даних можлива за допомогою технологій оптичного розпізнавання символів (OCR) у поєднанні з алгоритмами машинного навчання. OCR дозволяє швидко перетворювати зображення паспортів у текстові дані, а алгоритми машинного навчання підвищують точність розпізнавання, коригують помилки та забезпечують узгодженість структури отриманих даних. Такий підхід дозволяє не лише скоротити час обробки, а й зменшити ймовірність помилок, що особливо важливо при інтеграції даних у корпоративні системи бронювання, де навіть одна неточність може призвести до збою у роботі сервісу або невдоволення клієнта.

Метою дослідження даної роботи є підвищення ефективності процесу обробки даних закордонних паспортів у туристичних компаніях шляхом використання технологій OCR та елементів машинного навчання. Для досягнення цієї мети створено систему, що об'єднує класичний OCR та сучасні моделі глибокого навчання, здатні підвищувати точність розпізнавання MRZ-зон паспортів навіть за складних умов зйомки.

На першому етапі обробки застосовується модель YOLOv8 (You Only Look Once), яка автоматично визначає паспорт і MRZ-зону на зображенні, усуваючи потребу ручного обрізання. Модель навчалася на паспортних зображеннях із різними ракурсами, рівнями освітлення та шумами, що забезпечило стійкість до реальних умов зйомки. Це дозволяє системі правильно виявляти MRZ-зону навіть на фотографіях низької якості або при частковому відблиску, що часто зустрічається в туристичних агентствах при обробці фото клієнтів, зроблених на мобільні пристрої.

Після детекції MRZ-зони використовується Real-ESRGAN (Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Network) для покращення якості зображення: підвищення роздільної здатності, зменшення шумів і відновлення контурів символів. Це забезпечує отримання стандартизованого зображення високої якості, що критично важливо для подальшої обробки Tesseract OCR. Покращення зображення дозволяє системі коректно розпізнавати навіть ті символи, які раніше часто піддавалися помилкам через низьку якість фото.

Для виправлення типових помилок OCR, таких як неправильне розпізнавання символів («О» і «0», «І» і «1», пропуски знаків «<»), реалізовано character-level classifier. Модель аналізує текстові послідовності на рівні символів і контексту, автоматично коригуючи неточності та забезпечуючи високу точність MRZ-розпізнавання. Такий підхід дозволяє зменшити необхідність ручного втручання співробітників агентства для виправлення помилок у даних клієнтів.

Інтеграція моделей виконана за допомогою ML.NET, що дозволяє використовувати попередньо навчені нейронні мережі у форматі ONNX у середовищі .NET, створюючи повністю автоматизований конвеєр обробки: від завантаження зображення до отримання

структурованих даних MRZ. Така інтеграція дозволяє системі працювати в реальному часі та безперервно обробляти великі обсяги даних, що особливо актуально для великих туристичних агентств з високим потоком клієнтів.

Експериментальна оцінка показала, що при обробці фотографій низької якості точність розпізнавання зросла з 32,6% до 79,1%, при цьому середній час обробки збільшився лише незначно. Використання ML-моделей значно підвищує точність без критичного впливу на швидкість роботи. Практичне впровадження системи в туристичній компанії забезпечує економію часу: автоматичне формування готового рядка для введення в систему бронювання займає близько 12 секунд, тоді як ручне введення — приблизно 45 секунд. Крім того, забезпечується єдина структура даних, зменшується ймовірність помилок, пов'язаних із людським фактором, і підвищується загальна ефективність роботи персоналу.

Таким чином, розроблена система демонструє стабільну роботу, високу точність розпізнавання MRZ-паспортів, скорочує час обробки та знижує вплив людського фактора. Вона є практичною та ефективною для туристичних компаній, дозволяючи автоматизувати трудомісткі процеси обробки паспортних даних. Алгоритми системи можуть стати основою для подальшого розвитку — розширення підтримки паспортів інших держав, додавання нових типів ідентифікаційних документів і підвищення стійкості роботи за складних умов зйомки. Результати дослідження підтверджують доцільність поєднання технологій OCR і методів машинного навчання для автоматизації обробки паспортних даних у туристичній сфері, що має практичну цінність і дозволяє підвищити ефективність роботи компанії.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Tesseract OCR. Tesseract Open Source OCR Engine [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://github.com/tesseract-ocr/tesseract>. [дата звернення: 19.10.2025].
2. Liu Y., Joren H., Gupta O., Raviv D. Correction to: MRZ code extraction from visa and passport documents using convolutional neural networks [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s10032-023-00445-8>. [дата звернення: 19.10.2025].



**ФОРМАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО ДОБОРУ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ СИСТЕМ ГЕНЕРУВАННЯ ПРОСТОРОВОГО ДИЗАЙНУ***Іманов А.М., науковий керівник Ткаченко О.М.*

Автоматизоване формування інтер'єрних рішень є багатокритеріальною задачею, у якій поєднуються естетичні, функціональні, ергономічні та ресурсні чинники. Традиційно добір параметрів (матеріали, палітра, освітлення, масштаб, композиція) виконується інтуїтивно, що призводить до значних витрат часу та нерівномірної якості рішень. Тому актуальною є розробка формалізованого методу, який зменшує простір пошуку та забезпечує пояснюваність результатів у межах заданих обмежень.

Концептуально підхід спирається на ідеї просторових обчислень — моделювання відношень «об'єкт—відстань—орієнтація—сусідство» у параметризованому представленні простору [1]. Це узгоджується з параметричним моделюванням, де стилі інтер'єру трактуються як множини правил та обмежень до матеріалів, кольору, текстур, масштабу елементів і схем освітлення [2]. Для узгодження конфліктних критеріїв застосовується багатокритеріальна агрегація на зразок методу аналізу ієрархій (АНР): користувач (або профіль сценарію) задає ваги важливості для бюджету, ергономіки, сталості, стилістичної цілісності тощо, а система виконує ранжування допустимих альтернатив [3]. Додатково враховується сталий вибір матеріалів через штрафні коефіцієнти за емісійність, довговічність і придатність до повторного використання, що впливає на цільову функцію вибору [4]. Базові композиційні та ергономічні принципи (якірні об'єкти, візуальна ієрархія, температурність палітри, комфортні проходи та висоти) фіксуються як правила-обмеження, що запобігають формуванню несумісних поєднань [5].

Метод (узагальнення)

Вхідні дані: призначення приміщення; площа; бюджет-клас; побажання щодо матеріалів/коleurів; рівень природного освітлення.

Нормалізація: приведення параметрів до уніфікованих шкал (площа: мала/середня/велика; бюджет: базовий/середній/премійум; освітлення: низьке/середнє/високе)

Фільтрація I (жорсткі обмеження): відсів стилів і матеріалів, несумісних із площею, освітленням, ергономікою, базовими вимогами безпеки та сталості.

Фільтрація II (стилістична узгодженість): відсів конфліктних поєднань «матеріал—коleur—фактура—композиція» за правилами стилів (rule-sets).

Агрегація (АНР/ваги): зважена сума локальних критеріїв: ергономіка, вартість, сталість, композиційна цілісність, відповідність призначенню.

Ранжування і пояснення: формування топ-N конфігурацій із поясненням «чому обрано/відсіяно».

Адаптація: корекція ваг/правил на основі зворотного зв'язку користувача.

Логіку роботи запропонованого підходу наведено на рис. 1.

Узагальнений сценарій.

Для кімнати 18 м<sup>2</sup> із базовим бюджетом та середнім природним освітленням користувач обирає «затишний мінімалізм». Фільтрація I відсіює стилі, які потребують масивних елементів або високої частки дорогих «холодних» матеріалів. Фільтрація II прибирає темні насичені палітри, що візуально «зменшують» простір. Зважування критеріїв (АНР) підвищує пріоритет ергономіки та сталої деревини [2]. Це узгоджується з результатами дослідження Brown [3], який зазначає, що поєднання світлої палітри та натуральних матеріалів сприяє психологічному комфорту користувачів. У свою чергу, Wang і Zhao [4] доводять, що фільтраційний підхід скорочує кількість ітерацій

ескізування, а Sustainable Design Review [5] підтверджує зростання стабільності рішень у подібних системах. Підхід забезпечує скорочення ітерацій ескізування та підвищує стабільність якості рішень.

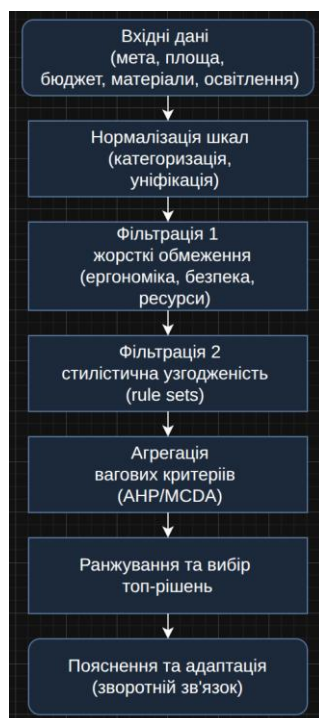


**Рис. 1** Узагальнена схема методу фільтраційного добору параметрів просторового дизайну

#### Висновки.

Запропоновано формалізований метод фільтраційного добору параметрів, який поєднує просторове моделювання, правилкові обмеження стилів і багатокритеріальне ранжування. Метод зменшує простір пошуку, підтримує пояснюваність і враховує сталий вибір матеріалів. Подальша робота — реалізація прототипу з інтерфейсом для налаштування ваг і валідація на реальних сценаріях.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Shekhar S., Vold P. Spatial Computing. Cambridge, MA: The MIT Press, 2020.
2. Brown O. Parametric Modelling in Interior Design: Creating a Comfortable Living Space. Sustainability & Design Review, 2023, 15(7), 6304–6319.
3. Wang E., Zhao Y. Automated Interior Design Decision-Making Using Analytical Hierarchy Process. Electronics, 2022, 10(3), 245–259.
4. Sustainable Interior Design Approaches. Sustainability, 2023, 15(7), 6304.
5. Ramstedt F. The Interior Design Handbook. New York: Clarkson Potter/Ten Speed, 2020.

УДК 004.75:004.4:004.8  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСФОРМЕРНИХ АРХІТЕКТУР (BERT,  
GPT) У ПРОГНОЗУВАННІ ЦІН ФІНАНСОВИХ АКТИВІВ НА ОСНОВІ  
НОВИННОГО ФОНУ**

*Масенков В.І., науковий керівник Заєць Н.А.*

Сучасні фінансові ринки характеризуються високою волатильністю та залежністю від інформаційного середовища.

Новини, аналітика й соціальні сигнали істотно впливають на поведінку інвесторів і коливання цін активів.

Традиційні моделі часових рядів не враховують цей контекст, тому для підвищення точності прогнозування застосовуються трансформерні архітектури (BERT, FinBERT, GPT), що поєднують ринкові та текстові дані в єдиному інформаційному просторі.

Мета роботи – дослідити ефективність трансформерних архітектур у складі гібридної моделі прогнозування фінансових активів на основі ринкових часових рядів і новинного фону.

Об’єкт дослідження – архітектура мультимодальних нейронних мереж для прогнозування часових рядів.

Предмет дослідження – механізми інтеграції ринкових та текстових даних у трансформерних моделях (BERT, FinBERT, GPT) для підвищення ефективності фінансових прогнозів.

Методи дослідження

Глибинне навчання: LSTM, Transformer, GPT, BERT, FinBERT.

Мультимодальна інтеграція: GatingMLPFusion, CrossModalAttention, TimeWindowBranchGroup.

Оптимізація: функція втрат Penalized BerHu Loss з урахуванням напрямку руху та волатильності.

Аналіз навчання: оцінка ентропії уваги, динаміки  $\tau$  та  $\alpha$ .

Програмна реалізація: Python / PyTorch, TensorBoard, PostgreSQL для управління даними.

Опис системи

Розроблено мультимодальну ієрархічну модель прогнозування — Integrated Hierarchical Model (v8.4), яка поєднує часові ряди фінансових активів і текстові ознаки новин. Модель побудована за принципом багаторівневої інтеграції джерел інформації:

TimeWindowBranchGroup – обробка часових рядів через багатовіконні паралельні гілки (CNN-LSTM, LSTM-LSTM, TFT-lite, TFT-full, Transformer), які формують локальні ознаки з різною глибиною спостереження;

GatingMLPFusion – адаптивне злиття представлень із температурним керуванням ( $\tau$ -annealing), що стабілізує ваги між вікнами та джерелами;

NewsFusion, NewsConfidenceHead, NewsTrustGate – об’єднують ембедінги новин і аналітичних параметрів, визначаючи рівень довіри й значущості новинного сигналу;

Cross-Modal Attention – модуль взаємодії між ринковими та текстовими ознаками, який дозволяє новинному контексту впливати на часову динаміку;

$$A = \text{softmax}(QK^T / \tau) \cdot V$$

$Q$  — запити;  $K$  — ключі;  $V$  — значення;  $\tau$  — температура;  $A$  — матриця уваги.

Penalized BerHu Loss – удосконалена функція втрат, яка враховує напрям руху ціни, межі прогнозу та надмірну волатильність.

$$L = \text{BerHu}(y, \hat{y}) + \lambda_1 L_{\text{dir}} + \lambda_2 L_{\text{bound}} + \lambda_3 L_{\text{vol}}$$

$y$  — істинне значення;  $\hat{y}$  — прогноз;  $e = y - \hat{y}$ ;  $\lambda_i$  — вагові коефіцієнти;  
 $L_{\text{dir}}$  — напрям;  $L_{\text{bound}}$  — межі;  $L_{\text{vol}}$  — волатильність.

#### Результати

Під час експериментів модель Integrated Hierarchical Model v8.4 продемонструвала: підвищення точності прогнозування при поєднанні всіх модальностей (Market + NewsHistory + NewsEmbeddings + NewsParams) у порівнянні з окремими джерелами; зниження ентропії attention-механізмів, що свідчить про навчальну стабільність і покращену структурованість ваг;

$$H_{\text{attn}} = - \sum_i p_i \cdot \log(p_i)$$

$H_{\text{attn}}$  — ентропія уваги;  $p_i$  — ймовірність елемента уваги;

зростання узагальнювальної здатності та стійкості до інформаційного шуму у періоди підвищеної волатильності;

стабільне зменшення метрик MAE, RMSE, sMAPE та logMAPE, особливо при застосуванні динамічного коефіцієнта довіри  $\alpha$ ;

$$\alpha = \sigma(\text{confidence} \times \text{trust})$$

confidence — впевненість; trust — надійність джерела;  $\sigma(\cdot)$  — сигмоїда.

можливість інтерпретації вагових коефіцієнтів модальностей, що підвищує пояснюваність моделі для аналітичних систем.

#### Висновки

Розроблена ієрархічна трансформерна архітектура забезпечує гнучке об'єднання часових і текстових модальностей, що підвищує точність і надійність фінансового прогнозування.

Використання адаптивних attention-механізмів, cross-modal trust та penalized loss функції робить модель придатною для практичних аналітичних систем у сфері фінансових технологій та ринкової аналітики.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies (NAACL-HLT). – 2019. – P. 4171–4186.
2. Araci D. FinBERT: Financial Sentiment Analysis with Pre-trained Language Models // arXiv preprint. – 2019. – arXiv:1908.10063. – 9 p.
3. Zhang Y., Tan S., Huang S., Liu Z. Multimodal Transformer for Stock Movement Prediction using Financial News and Market Data // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2022. – Vol. 33, No. 12. – P. 7501–7513.
4. Li X., Wu P., Wang W., Liu C. Enhancing Time Series Forecasting with Cross-modal Fusion of News and Market Data // Expert Systems with Applications. – 2021. – Vol. 185. – Article No. 115662. – 10 p.
5. Vaswani A., Shazeer N., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A. N., Kaiser Ł., Polosukhin I. Attention Is All You Need // Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS). – 2017. – Vol. 30. – P. 5998–6008.

Актуальність. Сучасні інформаційні технології дедалі частіше використовуються для автоматичного аналізу великих обсягів текстової інформації. Одним із ключових напрямів у сфері обробки природної мови (NLP) є визначення емоційного забарвлення текстів, що має практичне значення у сферах маркетингу, освіти, психодіагностики, соціології, а також для створення систем підтримки рішень. Враховуючи зростання кількості текстових повідомлень у соціальних мережах та месенджерах, розробка системи, здатної автоматично визначати емоційний стан автора повідомлення, є актуальним завданням сучасної інформатики.

Об'єктом дослідження є процес автоматичного аналізу емоцій у текстах природною мовою.

Предметом дослідження є методи машинного навчання та лінгвістичного аналізу, що забезпечують визначення емоційного стану автора тексту.

Метою дослідження є створення автоматизованої системи, що виконує аналіз текстів природною мовою та визначає переважаючі емоції за допомогою методів машинного навчання та глибинного аналізу даних.

Методи та інструменти. У процесі реалізації застосовано комбінацію методів лінгвістичного аналізу та машинного навчання. Для побудови моделі емоційної класифікації використано алгоритми з пакету scikit-learn (логістична регресія та наївний баєсів класифікатор). Тренування моделі здійснювалося на відкритому наборі даних Emotion Dataset (Kaggle), який містить англійські тексти, позначені шістьма основними емоціями. Для веб-реалізації використано Django 5.2.3, що забезпечує зручну структуру проекту та швидку інтеграцію з базою даних. Візуалізацію результатів виконано за допомогою бібліотеки Chart.js, що дозволяє динамічно будувати діаграму емоцій користувача. Також реалізовано REST API для зовнішніх запитів, що відкриває можливості інтеграції з чат-ботами, системами моніторингу коментарів або психологічними асистентами. Розробка виконувалася у середовищі Visual Studio Code, а тестування моделі проводилося у Google Colab.

Результати роботи. У результаті розроблено повнофункціональну систему, яка приймає текстовий вхід, виконує попередню обробку, проводить аналіз за допомогою навченої моделі, визначає три найімовірніші емоції, відображає їх у графічному вигляді та формує короткі поради користувачу. Система протестована на різних типах текстів — від коротких фраз до розгорнутих повідомлень. Отримані результати демонструють стабільну точність класифікації та логічну відповідність між змістом тексту й визначеними емоціями. Додатковою перевагою є інтерактивний веб-інтерфейс, який забезпечує швидку взаємодію користувача із системою, а також можливість розширення функціоналу через API. Система має потенціал інтеграції у сервіси аналізу настроїв у соціальних мережах, системи психологічної підтримки або корпоративні аналітичні платформи.

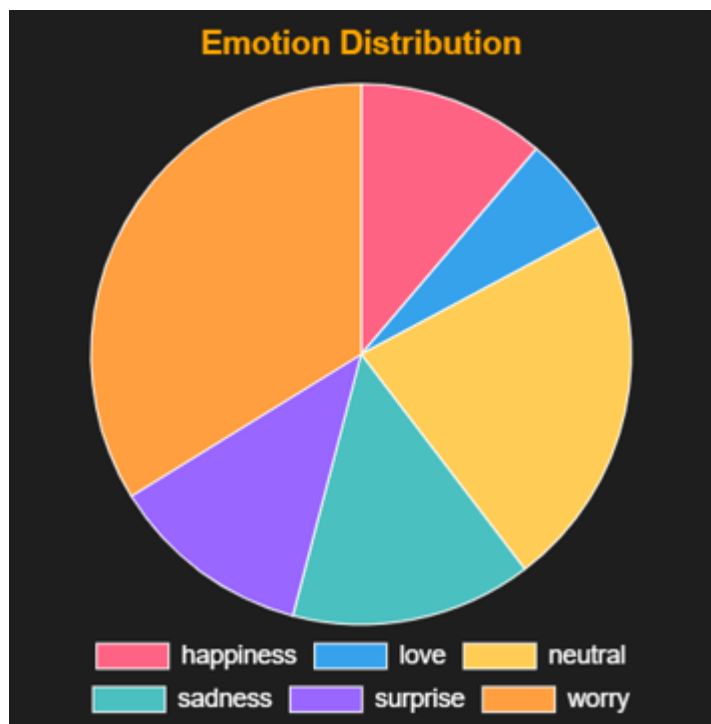


**Рис. 1** Діаграма емоцій

Висновки. Розроблена автоматизована система аналізу емоцій у текстах забезпечує ефективну інтеграцію методів NLP, машинного навчання та веб-технологій. Вона дозволяє здійснювати багаторівневий емоційний аналіз, візуалізувати результати та генерувати рекомендації користувачу. Програмне забезпечення демонструє практичну реалізацію сучасних підходів до аналізу емоцій у текстах і може бути основою для подальших досліджень у сфері штучного інтелекту та когнітивної інформатики.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bird S., Klein E., Loper E. Natural Language Processing with Python. O'Reilly Media, 2009.
2. Chollet F. Deep Learning with Python. Manning Publications, 2021.
3. Scikit-learn documentation [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://scikit-learn.org>
4. Django Project [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.djangoproject.com>
5. Kaggle Emotion Dataset [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.kaggle.com>

УДК 004.4:658.7

**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ  
УПРАВЛІННЯ ТОВАРНИМИ ЗАПАСАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ  
АЛГОРИТМІВ ОПТИМІЗАЦІЇ**

*Ворона О.О., науковий керівник Засць Н. А.*

Ефективне управління товарними запасами є ключовим чинником стабільного функціонування торговельних підприємств у сучасних ринкових умовах. Надлишкові запаси призводять до заморожування обігових коштів, збільшення витрат на зберігання та псування продукції, а їх нестача — до втрати клієнтів, зриву поставок і зниження прибутку. Саме тому важливо розробляти інтелектуальні системи, здатні підтримувати оптимальний баланс запасів на основі реальних показників попиту.

Актуальність теми полягає у зростанні потреби підприємств у швидкому реагуванні на зміни ринкового попиту, зниженні витрат і підвищенні точності прийняття управлінських рішень. Існуючі системи часто мають низку обмежень: відсутність аналітичних модулів, складність інтеграції з постачальниками, ручне оновлення даних або відсутність можливості прогнозування.

Розроблена система базується на архітектурному патерні MVVM (Model–View–ViewModel), який забезпечує чітке відокремлення рівнів даних, бізнес-логіки та інтерфейсу користувача. Такий підхід дає змогу легко масштабувати систему, спрощує підтримку та розширення функціоналу. Для взаємодії з базою даних використовується Entity Framework Core, що дозволяє працювати з SQL Server безпосередньо через об'єктно-орієнтований підхід.

Методологія дослідження включає аналіз процесів закупівель, зберігання та реалізації товарів у малих і середніх торговельних мережах; проектування бази даних із сутностями Product, Supplier, Purchase, Inventory, тощо; Аналіз предметної області та реалізацію аналітичного модуля, що реалізує алгоритми оптимізації для визначення безпечного та оптимального рівня товарних запасів. Алгоритми враховують попит, терміни поставання, мінімальні залишки та інші параметри, що дозволяє зменшити витрати на зберігання і підвищити ефективність управління ресурсами.

Система була апробована на тестових даних, що моделюють роботу торговельного підприємства з асортиментом у приблизно 150 позицій. Порівняння до і після впровадження оптимізаційного модуля продемонструвало такі результати:

- зменшення надлишкових запасів;
- скорочення кількості дефіцитних позицій;
- підвищення точності прогнозування попиту на;

В перспективі – економія ресурсів та коштів на закупівлях, як наслідок оптимізації залишків.

Під час моделювання застосовувався алгоритм лінійної оптимізації для мінімізації витрат на закупівлю при дотриманні умов мінімального запасу (safety stock).

На діаграмі (Рис. 1) подано порівняння поточного, безпечного та оптимального замовлення запасів для різних товарних позицій. Як видно з результатів, більшість товарів мають поточний залишок, що знаходиться нижче оптимального рівня, але при цьому перевищує мінімальний запас. Це свідчить про те, що система зберігає баланс між витратами на закупівлю та рівнем доступності товарів. Для окремих позицій, таких як «Картопля мита» спостерігається перевищення оптимального запасу, тому замовлення для нього не формується. Обрахунок відбувається наступним чином:

Оптимальний рівень запасу розраховується за формулою  $S_{opt} = S_{min} + \Delta S$ , де  $\Delta S$  визначається на основі середнього попиту та часу доставки

Розрахунок  $\Delta S$  проходить за наступною формулою:

$$\Delta S = D_{avg} \times L \times k,$$

Де  $D_{avg}$  – середньоденні продажі по позиції, а  $k$  – поправковий коефіцієнт (наприклад, 0.1–0.3 для стабільного попиту, 0.5–0.8 для коливального). Також  $L$  – час поставки (у днях).

Поточний рівень запасів  $S_{curr}$  для більшості позицій знаходиться нижче рівня  $S_{opt}$ , що і дозволило продемонструвати роботу алгоритму

Для наведених товарів система порекомендувала провести замовлення на основі наступного обрахунку:  $Q = S_{opt} - S_{curr}$ , Що дозволяє мінімізувати ризик дефіциту при знижених витратах

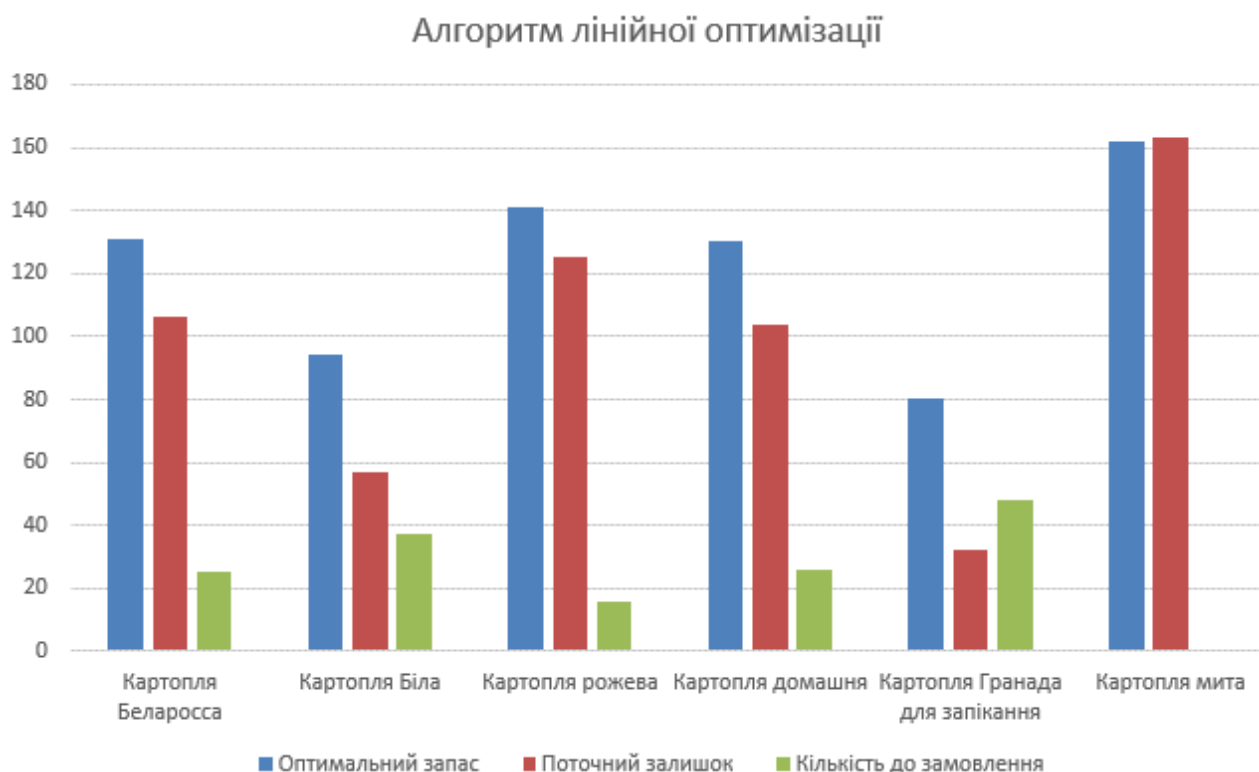


**Рис. 1.** Оптимізація закупівлі картоплі

Таким чином, впровадження лінійної оптимізації в систему управління запасами є доцільним і ефективним рішенням. Воно забезпечує автоматичне регулювання рівня замовлень залежно від поточного стану складу, знижує ризик надлишкових закупівель і створює передумови для стабільної роботи логістичного ланцюга навіть за умов сезонних коливань попиту.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. MVVM Framework | WPF Controls | DevExpress Documentation. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://docs.devexpress.com/WPF/15112/mvvm-framework>.
2. Windows Presentation Foundation documentation | Microsoft Learn. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/wpf/>.
3. Огляд Entity Framework Core | Microsoft Learn. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/ef/core/>.
4. Оптимізація управління запасами: стратегії, методи, переваги | ABM Cloud. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://abmcloud.com/uk/optimizacziya-upravlinnya-zapasami/>.



**ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ОЦІНКИ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ  
ПЕДАГОГІЧНОГО СКЛАДУ ЗА ІНФОРМАЦІЄЮ З МІЖНАРОДНИХ ДЖЕРЕЛ***Марущак М.М., науковий керівник Пархоменко І.І.*

У сучасному світі, коли наука та освіта дедалі більше інтегруються у глобальний інформаційний простір, особливого значення набуває об'єктивна оцінка наукової діяльності педагогічних працівників закладів вищої освіти. Міжнародні наукометричні бази даних - Scopus, Web of Science, Google Scholar та інші - стали ключовими джерелами для аналізу публікаційної активності, рівня цитованості й загальної результативності наукової роботи.

Попри це, існують суттєві труднощі, пов'язані з складністю їх збору з різних джерел, а також із суб'єктивним підходом до оцінювання. Традиційні методики часто не відображають повної картини наукової активності педагога, обмежуючись лише частковими показниками.

У цьому контексті набуває актуальності створення експертної системи, яка б забезпечувала автоматизований збір, уніфікацію, аналіз і візуалізацію даних про наукову діяльність педагогів із міжнародних джерел. Такий підхід сприятиме підвищенню прозорості оцінювання, об'єктивності управлінських рішень, формуванню рейтингових списків і мотивації викладачів до активнішої наукової роботи.

Метою магістерської роботи є створення експертної системи для оцінювання наукової діяльності педагогічного складу на основі даних з міжнародних наукометричних джерел, яка забезпечить автоматизовану обробку, інтеграцію та аналіз інформації з метою підвищення об'єктивності та прозорості оцінювання.

В межах виконаного дослідження, було розроблено програмний продукт для оцінювання наукової діяльності педагогічного складу із використанням даних міжнародних наукометричних ресурсів.

Технічна оцінка викладачів у межах розробленої експертної системи базується на комплексному аналізі даних з різних наукометричних джерел із застосуванням спеціалізованих алгоритмів обробки інформації. На першому етапі система здійснює збір та нормалізацію даних: публікації, цитування, участь у конференціях, наукових проектах та грантах. Для цього використовується модуль ETL (Extract, Transform, Load), який забезпечує інтеграцію даних із різних платформ, усуває дублікати та уніфікує імена авторів, тематику публікацій та формат цитувань.

На наступному етапі відбувається розрахунок ключових показників ефективності викладача за допомогою програмних алгоритмів. До таких показників належать: індекс Гірша, загальна цитованість, кількість публікацій у рецензованих журналах, участь у міжнародних проектах. Зважені показники дозволяють системі формувати комплексний рейтинг наукової діяльності, враховуючи різні аспекти продуктивності та впливовості.

Впровадження модулів інтерактивної візуалізації забезпечує наглядність аналітичних даних і спрощує процес прийняття управлінських рішень. Користувачі можуть швидко відстежувати зміни у публікаційній активності, цитованості та участі в міжнародних проектах, що сприяє оперативному коригуванню стратегій розвитку.

Крім основних функцій аналізу, система надає можливість прогнозування тенденцій у розвитку наукової діяльності. На основі накопичених даних можуть бути виявлені закономірності у зміні кількості публікацій, цитувань та рівня міжнародної співпраці. Це відкриває перспективу для використання штучного інтелекту у сфері наукової аналітики, що дозволить розробляти рекомендації для підвищення ефективності дослідницької діяльності та визначати пріоритетні напрями розвитку.

Результати тестування показали стабільність роботи системи при обробці даних, точність розрахунку узагальнених показників та наглядність візуалізації. Реалізована система дозволяє скоротити час на оцінку наукової діяльності, підвищити прозорість та об'єктивність управлінських рішень.

Системний аналіз тенденцій також може стати інструментом для мотивації педагогічного складу, оскільки демонструє вплив конкретних результатів на їх загальний рейтинг. Це сприяє формуванню культури наукової активності та академічної доброчесності серед викладачів.

Запропонована експертна система відкриває нові можливості для прозорого, об'єктивного та ефективного оцінювання наукової діяльності педагогів, забезпечуючи комплексний підхід до аналізу публікаційної активності та міжнародного наукового визнання.

Використання системи дозволяє скоротити час на підготовку аналітичних матеріалів, зменшити вплив суб'єктивного чинника, підвищити точність оцінки та формування рейтингів, а також сприяє мотивації викладачів до активнішої наукової роботи. Отримані результати можуть стати основою для подальшого розвитку інформаційно-аналітичних платформ у сфері освіти, підтримки прийняття управлінських рішень та вдосконалення механізмів стимулювання наукової продуктивності, що у довгостроковій перспективі сприятиме підвищенню якості освітнього та наукового середовища в закладах вищої освіти.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Денисова Анастасія. Використання методу експертних оцінок у системі моніторингу якості підвищення кваліфікації фахівців галузі професійної освіти, 2019р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://doi.org/10.33272/2522-9729-2019-5\(188\)-39-43](https://doi.org/10.33272/2522-9729-2019-5(188)-39-43).
2. Ольга Іваницька. Алла Панченко. Експертне оцінювання як інструмент управління загальноосвітнім навчальним закладом, 2015р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.28925/2226-3012.2015.4.6570>.
3. Шевчук С.С. Система педагогічного контролю та оцінювання як фактор забезпечення якості професійної освіти, 85с., 2023. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/dmify>.

**ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ  
РЕАЛІЗАЦІЇ ІТ ПРОЕКТУ***Карпович Д.О., науковий керівник Сватко В.В*

Постановка проблеми. Сучасні ІТ-компанії реалізують десятки паралельних проєктів, що передбачають значний обсяг взаємопов'язаних завдань. Контроль виконання таких завдань часто здійснюється вручну, що ускладнює аналіз стану проєкту, створює ризик дублювання інформації та знижує оперативність прийняття рішень. Для вирішення цієї проблеми необхідно створити автоматизовану систему, здатну у реальному часі обчислювати рівень реалізації проєкту на основі кількісних метрик і показників ефективності.

Ефективність реалізації ІТ-проєкту залежить від своєчасного збору та обробки даних щодо виконання етапів, завдань і залучених ресурсів. Тому створення інформаційно-аналітичної системи, яка поєднує облік, аналітику та візуалізацію, є важливим напрямом підвищення конкурентоспроможності ІТ-команд.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних наукових і прикладних дослідженнях значну увагу приділено проблематиці контролю ефективності діяльності в межах ІТ-проєктів. Більшість авторів розглядають це питання через призму використання ключових показників ефективності (КРІ), які дозволяють кількісно оцінити результативність виконання завдань. Зокрема, у науковій роботі узагальнено основні принципи побудови систем КРІ в корпоративному середовищі, що забезпечують підвищення прозорості процесів управління [1]. У наступних дослідженнях розроблено підходи до визначення індивідуальних КРІ для членів команди, що дозволяють об'єктивно оцінювати внесок кожного виконавця в досягнення спільної мети.

Автоматизація процесу моніторингу ефективності персоналу розглядається як важливий елемент цифрової трансформації управління. Автори однієї з робіт запропонували алгоритми збору та аналізу даних у режимі реального часу, що дозволяють своєчасно виявляти відхилення від плану та підвищувати продуктивність праці. Водночас в іншому дослідженні описано аналітичні методи оцінювання успішності реалізації проєктів на основі комплексної обробки цифрових показників, що поєднують часові, фінансові та якісні параметри [2].

Мета публікації. Метою цієї статті є опис теоретичних, методичних і практичних аспектів розроблення інформаційно-аналітичної системи, яка забезпечує автоматичне визначення рівня реалізації ІТ-проєктів, обчислення показників ефективності за допомогою КРІ-діаграм і створення інтерактивної звітності для керівництва компанії.

Основою системи є концепція управління за результатами (Management by Objectives), у межах якої для кожного етапу проєкту визначається набір показників ефективності. Кожен етап має заплановані терміни, набір завдань і виконавців. На основі частки завершених завдань формується рівень виконання етапу, який у подальшому використовується для розрахунку загального показника реалізації проєкту.

Для цього використовується формула 1:

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \times 100\%, \quad (1)$$

де  $K_p$  — рівень реалізації проєкту,  $w_i$  — ваговий коефіцієнт етапу,  $p_i$  — відсоток виконання етапу,  $n$  — кількість етапів.

Залежність між етапами та завданнями представлена в базі даних через зв'язки “один-до-багатьох”. При оновленні статусу завдання система автоматично перераховує відсоток виконання етапу та всього проєкту.

Методологія розроблення базується на об'єктно-орієнтованому підході. Для формування структури даних було використано UML-діаграму класів, що відображає взаємозв'язки між сутностями Projects, ProjectStages, StageTasks та Users. Програмна реалізація виконана засобами C# і WPF, що дозволило створити інтерактивний інтерфейс з багаторівневою аналітикою.

База даних реалізована в MS SQL Server, а для взаємодії з нею використано Entity Framework Core, який забезпечує автоматичне відстеження змін та ORM-модель даних.

На рисунку 1 подано приклад реалізації KPI-діаграми, яка відображає рівень виконання завдань у межах одного проєкту.

Діаграма складається з трьох осей: «Заплановано», «У процесі» та «Завершено». Кожен етап проєкту представлений стовпчиком, висота якого відповідає відсотку виконання завдань у межах цього етапу. Колірна диференціація дозволяє швидко оцінити стан проєкту: синій колір означає плановий стан, жовтий — активні завдання, зелений — завершені.

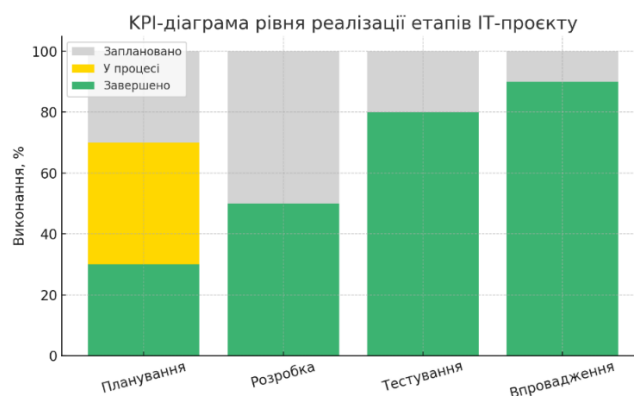


**Рис.1.** Діаграма KPI для візуалізації рівня реалізації етапів IT-проєкту

Таке графічне представлення дозволяє менеджеру швидко виявляти відставання від графіка, а системі — розраховувати динаміку змін у часі. Діаграма генерується на основі даних таблиць ProjectStages і StageTasks шляхом агрегації відсотків виконання.

Розроблена система успішно інтегрує облік, аналіз і візуалізацію проєктних даних у єдиному середовищі. Користувачі отримують можливість у реальному часі відстежувати стан виконання завдань, бачити їхню взаємозалежність та вплив на загальний показник реалізації.

У процесі тестування було підтверджено, що застосування KPI-діаграм дозволяє на 35–40 % швидше виявляти потенційні проблеми з виконанням термінів. Це, своєю чергою, зменшує ризики затримок і покращує координацію між учасниками команди.

Система має три рівні доступу — адміністративний, менеджерський і користувацький. Адміністратор може створювати та редагувати проєкти, менеджер відповідає за етапи, а користувачі оновлюють статус завдань. Така структура забезпечує контроль і прозорість усіх процесів у межах IT-проєкту.

Розроблена інформаційно-аналітична система визначення рівня реалізації IT-проєкту є ефективним інструментом управління, який об'єднує автоматичні розрахунки KPI, візуалізацію та інтеграцію з базою даних. Її впровадження дозволяє мінімізувати людський фактор, підвищити якість контролю та забезпечити об'єктивність оцінювання виконання завдань.

Подальші дослідження передбачають розширення аналітичного блоку шляхом інтеграції системи з платформами бізнес-аналітики Power BI або Tableau, а також застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозування ризиків і динаміки завершення етапів.

### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. “KPIs: What Are Key Performance Indicators? Types and Applications”, Investopedia. URL: <https://www.investopedia.com/terms/k/kpi.asp>
2. “KPIs: Understanding Metrics for Business Success”, Atlassian Blog. URL: <https://www.atlassian.com/work-management/project-management/project-planning/kpi>

**ЗАСТОСУВАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ТА ГЛИБОКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ АНАЛІЗУ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ДАНИХ***Володченко В.О., науковий керівник Ткаченко О.М.*

Останні роки фармацевтична галузь демонструє стрімке зростання обсягів інформації, яка накопичується під час досліджень, клінічних випробувань, виробництва та реалізації лікарських засобів. Обробка таких даних стає надзвичайно важливою для забезпечення високої якості препаратів, прогнозування результатів лікування, своєчасного виявлення побічних дій і підвищення ефективності розробки нових медикаментів.

Звичайні статистичні підходи не завжди здатні впоратися з великим обсягом і складною структурою фармацевтичних даних. Саме тому все частіше застосовуються сучасні методи аналітики та моделювання, які дають змогу глибше досліджувати приховані залежності, формувати прогностичні моделі, аналізувати взаємозв'язки між параметрами лікарських засобів і автоматизувати процеси обробки інформації. Використання таких підходів сьогодні вважається одним із найперспективніших напрямів розвитку фармацевтичної науки.

Метою магістерської роботи є створення та дослідження моделей, здатних ефективно аналізувати фармацевтичні дані з метою прогнозування властивостей лікарських засобів, оцінки потенційних ризиків і підтримки прийняття рішень у фармацевтичній практиці.

У результаті проведеного дослідження було створено програмний продукт для аналітики фармацевтичних даних із використанням методів машинного та глибокого навчання. Система реалізована у вигляді багаторівневої архітектури, що включає різні модулі такі як: збору, нормалізації та візуалізації даних.

Розроблена методика передбачає поетапну підготовку даних із фармацевтичних джерел, формування навчальних вибірок та балансування класів для уникнення перекосу результатів. На основі цих даних реалізовано кілька моделей машинного навчання - логістичну регресію, дерева рішень, випадковий ліс, а також глибоку нейронну мережу. Для оцінювання якості прогнозів застосовано метрики assigasy, precision, recall та F1-score.

Результати експериментів показали, що найвищу точність продемонструвала глибока нейронна мережа, перевищивши класичні алгоритми машинного навчання за показниками. Модель відзначається стабільністю результатів при повторному навчанні та високою узагальнювальною здатністю, що підтверджує її ефективність для обробки нових наборів фармацевтичних даних.

Додатково проведено порівняння часу навчання та обчислювальної ефективності моделей. Встановлено, що класичні методи машинного навчання характеризуються вищою швидкістю при малих обсягах даних, тоді як глибокі нейронні мережі демонструють значно кращу узагальнювальну здатність при зростанні розміру вибірки. Отримані результати свідчать про доцільність комбінованого підходу, коли попередній аналіз здійснюється класичними моделями, а фінальне прогнозування - нейронними мережами.

Окрім основних алгоритмів прогнозування, система містить модуль візуалізації, який забезпечує відображення результатів у графічному вигляді. Це дає змогу швидко оцінювати закономірності в даних і робити висновки без потреби у спеціальних знаннях програмування чи статистики. Завдяки цьому розроблений інструмент може бути ефективно використаний не лише науковцями, але й практикуючими фахівцями фармацевтичної галузі.

Реалізована система може бути використана як допоміжний інструмент у процесі прийняття рішень фармацевтичними аналітиками, сприяючи підвищенню точності прогнозів і ефективності досліджень у галузі фармацевтики.

Перевірка проводилась на реальних фармацевтичних даних. Для оцінки точності моделей було використано навчальні та тестові вибірки, проведено порівняння різних алгоритмів та побудовано інтерактивні візуалізації результатів.

Отримані результати підтверджують практичну цінність застосування методів машинного навчання для підтримки прийняття рішень у фармацевтичній галузі, оптимізації розробки препаратів і підвищення безпеки лікування. Очікується, що результати роботи сприятимуть підвищенню якості аналітичних процесів у фармацевтичній галузі, а розроблені підходи зможуть бути використані у практичній діяльності аналітичних відділів, лабораторій та науково-дослідних установ.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Бойченко О.М., Бублій Т.Д., Перспективи використання штучного інтелекту в медичній сфері, 2024р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.31718/2077-1096.24.3.137>
2. А.А. Висоцький, О.О. Суріков, С.В. Василюк-Зайцева, Розвиток штучного інтелекту в сучасній медицині, 2023р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.32471/umj.1680-3051.154.241221>
3. Т. О. Nazirova, О. В. Kostenko, Нейромережева інформаційна технологія опрацювання медичних даних, 2018р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.15421/40280828>

# ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ДАНИХ У СИСТЕМАХ OLTP/OLAP НА ОСНОВІ ГІБРИДНОЇ МОДЕЛІ AUTOGRIDENSEMBLE

Науриський Ю.В, науковий керівник Вайганг Г.О.

Інтелектуальна кластеризація даних є важливим елементом сучасних аналітичних систем, які інтегрують оперативну транзакційну обробку (OLTP) з багатовимірною аналітикою (OLAP). У цифровій економіці постійне зростання обсягів інформації з різномірних джерел, зокрема сенсорних систем, фінансових операцій, телеметрії та веб-сервісів, потребує ефективних підходів до її структуризації. Традиційні алгоритми, такі як k-means або DBSCAN, демонструють обмежену продуктивність під час обробки потокових і високо розмірних даних, а глибинні нейронні мережі, хоча й точні, мають складну інтерпретацію результатів.

Метою дослідження є розроблення архітектури гібридної моделі кластеризації AutoGridEnsemble, що поєднує глибинне навчання та ґраткові методи для забезпечення стабільності, масштабованості й пояснюваності процесів аналізу даних у середовищах OLTP/OLAP.

Модель AutoGridEnsemble реалізує ідею трирівневої інтеграції: автоенкодер здійснює стискання вхідних даних і формує латентний простір, де об'єкти мають вищу щільність розподілу; ґратковий кластеризатор виконує адаптивну сегментацію цього простору, а ансамблевий модуль узгоджує результати кількох кластеризацій для досягнення стійких і відтворюваних результатів [1; 2]. Система функціонує у взаємодії з OLTP-рівнем, що забезпечує надходження транзакційних потоків, і OLAP-рівнем, який виконує аналітичну агрегацію, побудову аналітичних кубів і візуалізацію результатів.

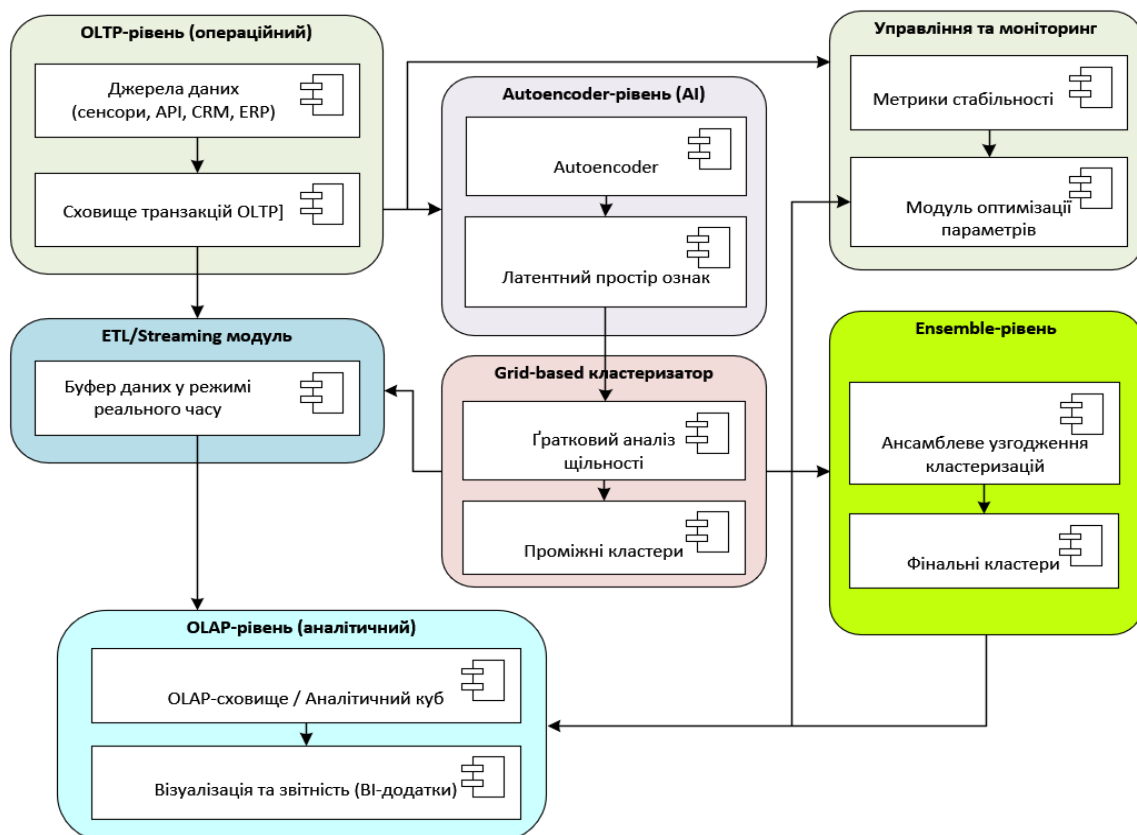


**Рис. 1.** Концептуальна модель архітектури гібридної моделі AutoGridEnsemble у середовищі OLTP/OLAP



На рисунку 1 наведено концептуальну модель архітектури AutoGridEnsemble у середовищі OLTP/OLAP.

Схема відображає послідовний рух даних у гібридній аналітичній системі від первинного збору до формування аналітичних висновків. На OLTP-рівні здійснюється накопичення транзакційної інформації з різних джерел – сенсорів, ERP-систем, API або телеметрії. Потoki даних проходять ETL/Streaming-модуль, де виконуються очищення, нормалізація та агрегування у реальному часі для підготовки їх до інтелектуальної обробки.

Далі на рівні автоенкодера відбувається стискання даних і побудова латентного простору ознак, що дозволяє зберегти суттєві зв'язки між параметрами при зниженні розмірності. Отримане представлення використовується у ґратковому кластеризаторі, який ділить простір на комірки за щільністю розподілу об'єктів і формує базові кластери. Ансамблевий рівень об'єднує кілька незалежних кластеризацій у стабільний узгоджений результат, підвищуючи точність і стійкість моделі до шуму та варіацій у даних.

На OLAP-рівні фінальні кластери інтегруються в аналітичне сховище, де відбувається побудова аналітичних кубів, візуалізація результатів і формування бізнес-звітів. Система доповнена модулем управління та моніторингу, який аналізує метрики стабільності, швидкодії та точності кластеризації, забезпечуючи зворотний зв'язок і автоматичне налаштування параметрів. Така архітектура створює замкнутий цикл адаптивної аналітики, де AutoGridEnsemble виступає інтелектуальним ядром між OLTP-і OLAP-рівнями, поєднуючи швидкість, масштабованість і пояснюваність у режимі реального часу.

Результати аналітичного моделювання свідчать, що використання AutoGridEnsemble дозволяє скоротити час обробки великих обсягів даних порівняно з класичними алгоритмами, зберігаючи при цьому точність і стабільність кластерів. Завдяки можливості декодування кластерів до вихідного простору модель забезпечує пояснюваність рішень, що відповідає концепції explainable AI і підвищує рівень довіри до аналітичних результатів [3; 4]. Такий підхід дає змогу реалізувати безперервну взаємодію між операційними процесами та аналітичними модулями, створюючи основу для адаптивної аналітики в режимі реального часу.

Розроблена модель демонструє потенціал для впровадження в системи прогнозування та моніторингу, де необхідна швидка реакція на зміни у потоках даних. Зокрема, її використання є доцільним у фінансових аналітичних сервісах, кібербезпеці, промислових і транспортних системах, а також в екологічному моніторингу.

Проведене дослідження підтвердило, що гібридна модель AutoGridEnsemble забезпечує ефективне поєднання методів глибинного навчання, ґраткової кластеризації та аналітики OLAP. Система здатна інтегруватися у корпоративні архітектури даних, підтримуючи масштабовану, пояснювану й адаптивну кластеризацію. Запропонований підхід формує методологічну основу для розвитку інтелектуальних аналітичних платформ нового покоління, орієнтованих на підвищення точності, швидкодії та прозорості прийняття рішень у середовищах великих даних.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Chen S., Guo W. Auto-Encoders in Deep Learning — A Review with New Perspectives. *Mathematics*, 2023, vol. 11(8), article 1777. DOI: 10.3390/math11081777.
2. Zhang Z., Chen X., Tang R., et al. Interpretable unsupervised learning enables accurate clustering with high-throughput imaging flow cytometry. *Scientific Reports*, 2023, vol. 13, article 20533. DOI: 10.1038/s41598-023-46782-w.

3. Паладієв О., Лісовиченко О. Тривимірні нейронні мережі у завданнях кластеризації. Київ : КПІ імені Ігоря Сікорського, 2024. DOI: 10.20535/1560-8956.44.2024.302431.
4. Ткачик О. А. Оцінка методів кластеризації різнотипових даних. Автоматизація технологічних і бізнес-процесів, Київ, 2023. DOI: 10.15673/atbp.v15i1.2508.
5. Conard A. M. et al. A spectrum of explainable and interpretable machine learning. WIREs Data Science & Analytics, 2023. DOI: 10.1002/wics.1617.

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ РЕАЛІЗАЦІЇ ВИСОКОЯКІСНОГО НАСІННЄВОГО МАТЕРІАЛУ

*Завацький М.С., науковий керівник Криворучко Я.С.*

Актуальність теми: в аграрному секторі України ринок насіння є ключовим, але водночас одним із найменш прозорих. На даний момент, основний відсоток продажів іде через посередників, що створює "інформаційний вакуум" для кінцевого споживача, який не завжди може зробити економічно вигідний вибір. Проблематика полягає у відсутності єдиних інструментів для аналізу ефективності постачання та якості насіння.

Сьогодні конкурентоспроможність агробізнесу напряму залежить від здатності працювати з даними. Впровадження аналітичних платформ - це не просто технологічний тренд, а інструмент для глибокого розуміння ринку. Такі системи допомагають визначити найефективніші канали збуту, оптимізувати логістику та, найголовніше, забезпечити аграріїв якісним насінням за найкращою ціною.

Об'єкт дослідження: процес реалізації високоякісного насіннєвого матеріалу.

Предмет дослідження: система аналізу реалізації високоякісного насіннєвого матеріалу.

Мета дослідження: підвищити рівень реалізації високоякісного насіннєвого матеріалу.

Виконаний аналіз процесу реалізації високоякісного насіннєвого матеріалу дав змогу сформулювати такі етапи дослідження.

Формування предметної області. Визначено ключових акторів системи (Клієнт, Працівник, Постачальник, Аналітик) та їхні взаємозв'язки.

Побудова архітектури системи аналізу, основними вузлами якої є:

- оперативна база даних для накопичення інформації;
- багатовимірне сховище даних;
- аналіз даних.

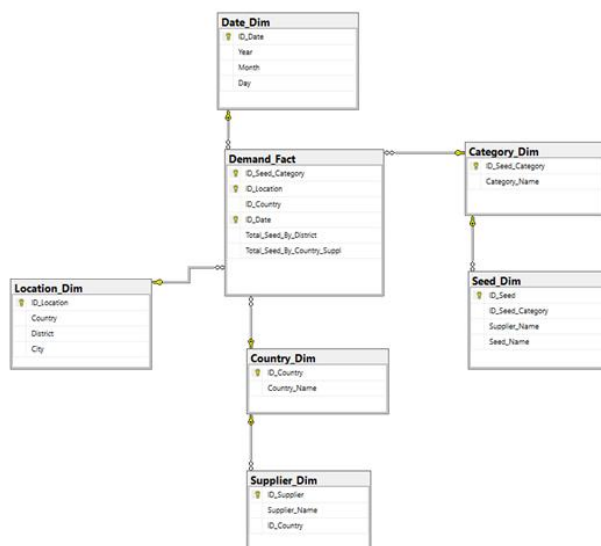


**Рис. 1** Структура сховища даних

Розробка аналітичної системи. Створено багатовимірний OLAP-куб на основі даних зі сховища, що дозволяє проводити глибокий аналіз.

Створення звітності. Розроблено звіти за допомогою служб SSRS для візуалізації аналітичної інформації.

Архітектура системи: система складається з клієнтської частини (ПК користувача з браузером), веб-сервера (з модулями Analysis View та Shop View) та серверного вузла для зберігання даних (оперативна Database та аналітичне Data storage – сховище даних).

Кластеризація: проведено кластеризацію областей України методом K-Means на основі профілів попиту на різні категорії насіння. Виявлено 4 чіткі кластери регіонів зі схожими моделями споживання, що дозволяє розробляти цільові маркетингові стратегії. Візуалізація виконана за допомогою PCA.

Групи областей зі схожими моделями попиту:

Кластер 0: (5 обл., напр., Одеська, Рівненська) - фокус на Технічних культурах та Ягодах.

Кластер 1: (7 обл., напр., Київська, Волинська) - переважають Фрукти та Олійні культури.

Кластер 2: (6 обл., напр., Полтавська, Вінницька) - основний попит на Зернові та Олійні культури.

Кластер 3: (6 обл., напр., Львівська, Харківська) - високий попит на Квіти та Кормові культури.

Прогнозування: виконано прогнозування загального попиту на насіння на 2025 рік за допомогою моделі Prophet. Модель успішно виявила річну сезонність (весняні піки) та загальний зростаючий тренд, незважаючи на високу волатильність даних.

Аналіз асоціативних правил (Apriori): було виявлено стійкі зв'язки між характеристиками замовлень. Знайдено правила на кшталт:

(Якщо категорія = 'Ягоди' та країна = 'США') -> (то розмір замовлення = 'Середнє');

(Якщо категорія = 'Квіти') -> (то розмір замовлення = 'Середнє замовлення').

Ці правила допомагають в оптимізації асортименту та логістики.

Висновки. Було розроблено програмний комплекс для аналізу реалізації насіння. Створений програмний комплекс надає інструменти для ефективного аналізу даних про реалізацію насіння. Це дозволяє оптимізувати бізнес-процеси та приймати більш обґрунтовані управлінські рішення на ринку насінництва, підвищуючи його ефективність.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. What Is a Data Warehouse? – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.oracle.com/database/what-is-a-data-warehouse/>
2. SSAS Tutorial: What is SSAS Cube, Architecture & Types . – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.guru99.com/ssas-tutorial.html>
3. Data Source Views in Multidimensional Models. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.microsoft.com/en-us/analysis-services/multidimensional-models/data-source-views-in-multidimensional-models?view=asallproducts-allversions>
4. Overview of Online Analytical Processing (OLAP). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://support.microsoft.com/en-us/office/overview-of-online-analytical-processing-olap-15d2cdde-f70b-4277-b009-ed732b75fdd6>

УДК 004.9

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Клименко О. М. науковий керівник Дудник А. О.

Мета дослідження. Розробити та перевірити інтелектуальну систему, яка здійснює збір, перевірку, аналіз і прогнозування інтенсивності сонячної енергії з урахуванням погодних факторів, технічних параметрів обладнання та сезонних змін. Система має підтримувати прийняття рішень (DSS) щодо порад у збірці сонячних електростанцій(СЕС).

Об'єкт дослідження. Процес генерації сонячної енергії у приватних домогосподарствах.

Предмет дослідження. Інтелектуальна система прогнозування інтенсивності сонячної генерації, що поєднує методи машинного навчання, сховище даних (DWH), OLAP-аналіз і технології підтримки прийняття рішень.

Актуальність. Зі зростанням попиту на відновлювані джерела енергії та потребою у раціональному використанні енергоресурсів особливого значення набувають системи, що дозволяють прогнозувати вироблення сонячної енергії з урахуванням погодних та технічних параметрів [1; 2]. Традиційні методи не враховують нелінійних залежностей між параметрами середовища та вихідною потужністю, тому використання інтелектуальних підходів на основі машинного навчання є доцільним [4; 5].

Реалізовано повний цикл ETL-обробки даних завантаження, очищення, виявлення дублікатів та перенесення у сховище даних MSSQL. Створено OLAP-куб з тривимірною структурою (час, локація, технічні параметри). Програмна реалізація виконана мовою Python з використанням бібліотек pandas, numpy, sklearn, xgboost, matplotlib, seaborn. Розроблений графічний інтерфейс (Tkinter). Передбачено ролі: користувач, аналітик та адміністратор з відповідними правами доступу.

Для прогнозування використано три типи моделей: лінійну регресію, ансамблевий метод Random Forest та boosting (XGBoost) [3]. Дані було поділено на навчальні та валідаційні вибірки; якість оцінювалась за метриками MSE та  $R^2$ .

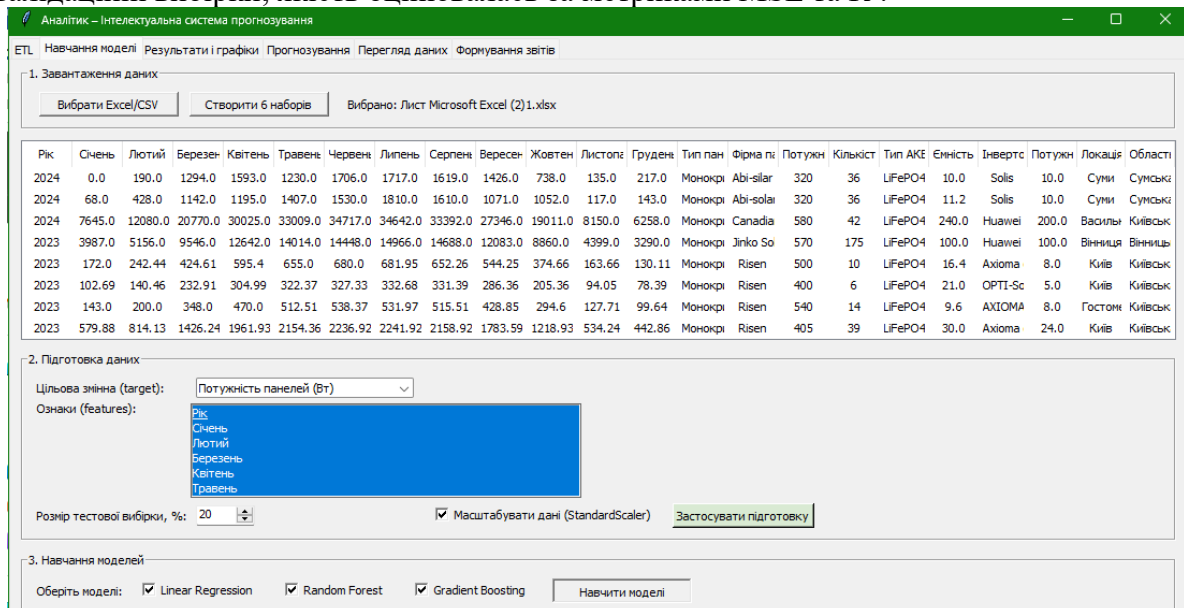


Рис. 1. Програма для навчання моделі

Для наповнення бази застосовано реальні дані генерації приватного домогосподарства (2018–2024 рр.) з урахуванням температури, швидкості вітру,

вологості та рівня інсоляції [3]. Для навчання моделі було створено вкладку Навчання моделі (рис. 1).

Результати дослідження. Виконано первинний аналіз (EDA), який виявив значну кореляцію між інтенсивністю генерації та рівнем освітленості. Встановлено, що висока температура або потужний вітер знижують ефективність фотоелементів [1; 2]. Результати моделювання показали, що алгоритм XGBoost має найменше значення MSE порівняно з лінійною регресією та Random Forest, що підтверджує його здатність відтворювати нелінійні взаємозв'язки між параметрами [4; 5]. Порівняльний аналіз показників з програми підтвердив, що точність прогнозування суттєво залежить від обраного алгоритму машинного навчання. Для всіх шести наборів даних (nabir\_2.csv – nabir\_6.csv) моделі Gradient Boosting продемонстрували найкращі результати за метрикою MSE (від 2559 до 5784) та найвищі значення  $R^2$  (0.40–0.73), що свідчить про здатність моделі відтворювати складні нелінійні залежності між погодними параметрами та обсягом сонячної генерації.

Моделі Random Forest показали стабільно прийнятні результати ( $R^2 \approx 0.45$ –0.59), проте з дещо вищою похибкою. Лінійна регресія, навпаки, мала низькі коефіцієнти детермінації та значні помилки ( $R^2$  від -27.5 до 0.32), що вказує на непридатність лінійних підходів для моделювання даних із вираженою сезонністю.

Середні значення CV MSE (коефіцієнт варіації середньоквадратичної помилки) підтвердили стабільність моделей Gradient Boosting — близько 5200–5800, тоді як для лінійної регресії цей показник був у декілька разів вищим. Отже, найефективнішими для прогнозування інтенсивності сонячної енергії є ансамблеві методи, зокрема Gradient Boosting, що поєднує точність і стійкість до аномалій.

Система підтримки рішень (DSS) дозволяє аналізувати тренди, будувати прогнози та формувати KPI (очікуваний виробіток, коефіцієнт використання потужності, прогноз економії). Реалізований прототип забезпечує повний цикл роботи з даними – від збору до прогнозу та візуалізації.

Висновки. Створено інтелектуальну систему прогнозування інтенсивності сонячної енергії, що інтегрує технології ETL, DWH, OLAP, ML та DSS. Система автоматизує процеси збору, перевірки, зберігання та прогнозування даних і забезпечує візуалізацію результатів. У подальшому передбачено інтеграцію з IoT-пристроями для збору даних у реальному часі та використання глибоких нейронних мереж для підвищення точності прогнозів [4].

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Solar Energy Technologies Office, U.S. Department of Energy. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.energy.gov/eere/solar>
2. PV Performance Modeling Collaborative (PVPMC), Sandia National Laboratories. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pvpmc.sandia.gov/>
3. Набір даних для прогнозування сонячної генерації (2018–2024). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://solar-tech.com.ua/ua/our-objects/?sort=p.date\\_added&order=DESC](https://solar-tech.com.ua/ua/our-objects/?sort=p.date_added&order=DESC)
4. Григоренко Д. І., Теличко Г. О., Жуковська Д. О., Ступак М. В. Використання штучних нейронних мереж для прогнозування вироблення сонячної енергії на фотоелектричних елементах. – 2023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/1917884>
5. Оленич І., Павлик М., Марцінів М. Система прогнозування потужності сонячної батареї розумного будинку. – 2022. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://publications.lnu.edu.ua/collections/index.php/electronics/article/viewFile/3759/4130>

У сучасних умовах розвитку цифрових технологій постає потреба у створенні ефективних засобів для самостійного навчання та об'єктивного оцінювання знань. Особливої актуальності набувають інтелектуальні вебплатформи, що поєднують інтерактивний навчальний контент та автоматизовану перевірку результатів.

**Актуальність.** Розвиток дистанційної освіти [1] та зростання попиту на ІТ-фахівців [2] вимагають нових підходів до формування цифрових освітніх середовищ. Традиційні платформи часто не забезпечують достатнього рівня інтерактивності [3], тому дослідження принципів побудови інтелектуальної платформи оцінки знань є важливим внеском у підвищення ефективності навчання програмуванню.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є виявлення та обґрунтування принципів побудови інтелектуальної вебплатформи для оцінювання знань з програмування, а також аналіз архітектурних, методологічних і технологічних підходів, що забезпечують адаптивну взаємодію з користувачем, автоматизовану перевірку коду та аналітичну підтримку навчального процесу.

**Основна ідея та аргументи.** Основна ідея дослідження полягає в аналізі та узагальненні принципів побудови інтелектуальних навчальних платформ, які поєднують педагогічні засади адаптивного навчання з сучасними технологічними підходами до розроблення масштабованих вебсервісів.

За результатами досліджень виконано такі пункти:

Досліджено особливості побудови графічного інтерфейсу навчальної платформи, орієнтованої на зручність користувача, включно з інтерактивними елементами та адаптацією під мобільні пристрої.

Проаналізовано підходи до формування рейтингових таблиць на основі системи навчального досвіду (experience points), що відображає рівень активності та досягнення користувачів у межах певного періоду.

Вивчено принципи інтеграції архітектури вебплатформи із зовнішніми сервісами, включно з хмарними сховищами та API виконання коду.

Проаналізовано методи збереження та управління навчальними даними, що забезпечують надійність, консистентність і можливість подальшої обробки результатів для статистичного аналізу.

**Методи дослідження.** Під час роботи використано методи системного аналізу, моделювання архітектури вебсистем, а також експериментального тестування прототипу платформи. Результати базуються на практичних спостереженнях за користувацькою взаємодією та аналізі ефективності різних підходів до валідації коду.

**Висновки.** Отримані результати підтверджують доцільність застосування інтелектуальних технологій у процесі навчання програмуванню. Запропонована платформа сприяє формуванню гнучкої, об'єктивної та мотивуючої системи оцінювання знань, що може бути використана як основа для подальших досліджень у сфері освітніх технологій.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Книш О. С. Перспективи розвитку дистанційної освіти в Україні. Освітній проект «На Урок» для вчителів. URL: <https://naurok.com.ua/perspektivi-rozvitku-distanciyno-osviti-v-ukra-ni-300891.html> (дата звернення: 22.10.2025).

2. Редакція Dou. Найкраще півріччя за всю повномасштабку. Огляд IT-ринку праці, червень 2025. dou.ua. URL: <https://dou.ua/lenta/articles/it-job-market-june-2025/> (дата звернення: 22.10.2025).
3. Vishwas Pawar. Embracing interactive learning: enhancing education for today's learners. eLearning Industry. URL: <https://elearningindustry.com/embracing-interactive-learning-enhancing-education-for-todays-learners> (date of access: 22.10.2025).



**ДОСЛІДЖЕННЯ І РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ СТИСНЕННЯ ДАНИХ З  
ВИКОРИСТАННЯМ FPGA***Дорофєєв А.С., науковий керівник Лендел Т.І.*

Актуальність. В умовах збільшення об'єму інформації в світі виникає необхідність її швидкої обробки для збереження та передачі. Таке зростання зумовлено активним використанням соціальних мереж, поширенням IoT-пристроїв, генеративним ШІ, потребою в збиранні більшої кількості даних для аналітики та прогнозування. FPGA дозволяють реалізувати системи апаратного стиснення даних, щоб уникнути «оверхеду» класичних підходів на CPU, при цьому забезпечуючи високу пропускну здатність та енергоефективність, що робить їх перспективними в цій сфері.

Об'єктом дослідження є технології та процеси стиснення даних, що реалізуються як в програмному, так і в апаратному забезпеченні. Означене включає в себе різні алгоритми стиснення, такі як RLE або сімейство алгоритмів LZ (LZ77, LZ78, LZW).

Предметом дослідження є процес використання FPGA (FieldProgrammable Gate Array) для прискорення алгоритмів стиснення даних. Означене охоплює проектування та оптимізацію FPGA-архітектури для реалізації обраних алгоритмів, аналіз ефективності і продуктивності FPGA в порівнянні з традиційними програмними та апаратними рішеннями, а також вивчення методів підвищення швидкості обробки і зменшення споживання ресурсів.

Метою роботи є дослідження теоретичних основ алгоритмів стиснення даних та їх апаратної реалізації, а також розробка архітектури системи на базі FPGA, що буде здатна забезпечити ефективну обробку інформації. Крім того, робота передбачає порівняння продуктивності реалізованих алгоритмів із класичними рішеннями на CPU.

Для досягнення мети сформульовані наступні завдання:

Визначити оптимальну плату розробки за критеріями зручності розробки гібридної системи, об'єму пам'яті, інструментів розробки.

Дослідити та обрати алгоритм стиснення для подальшої реалізації та глибшого аналізу за критеріями складності, можливості паралелізації, придатності до апаратної реалізації в цілому.

Розробити архітектуру системи для обраних алгоритмів та плати розробки.

Реалізувати апаратну частину використовуючи HDL (hardware definition language) або інструменти HLS; забезпечити взаємодію між клієнтом і ядром стиснення.

Провести тестування розробленої системи на обраній платформі, перевіривши коректність та стабільність роботи.

Провести порівняльний аналіз продуктивності розробленої системи з класичними процесорами, зокрема за критеріями швидкості, пропускну здатності та енергоефективності.

На основі отриманих результатів оцінити доцільність використання FPGA для задач стиснення даних та можливості подальших покращень системи.

Після проведеного аналізу існуючих на ринку плат розробки було обрано платформу Terasic DE10-Nano, що базується на Altera Cyclone V. Поеднання ARM процесора з FPGA дозволяє реалізувати гібридні системи, де ARM процесор відповідає за високорівневі процеси, а FPGA – безпосередньо за обробку даних. Значний обсяг пам'яті (64МБ з боку FPGA та 1ГБ з боку ARM) дає можливість обробляти великі обсяги даних, а також дає простір для використання більш ефективних алгоритмів на базі словників або дерев. Наявність периферійних інтерфейсів забезпечує легку інтеграцію з іншими системами. Окрім того, наявність інструмента HLS (high level synthesis) дозволяє генерувати RTL-код із C/C+.

У рамках дослідження було обрано 2 алгоритми стиснення даних, а саме RLE (run-length encoding) та LZ77. RLE є простим алгоритмом, що ефективно працює з даними з великою кількістю повторюваних символів. Він дозволяє базово дослідити ефективність апаратної реалізації. В свою чергу, LZ77 є складнішим алгоритмом, що базується на словниках. Він забезпечує вищий коефіцієнт стиснення за рахунок використання більшої кількості пам'яті, і це дає можливість провести глибший аналіз розробленої системи. Використання обох алгоритмів дає змогу комплексно оцінити апаратне прискорення як простих, так і більш складних алгоритмів.

На рис. 1 наведено високорівневий опис взаємодії клієнта з ядром стиснення. Клієнтом виступає ARM процесор, який спілкується з ядром стиснення через AXI bridge.

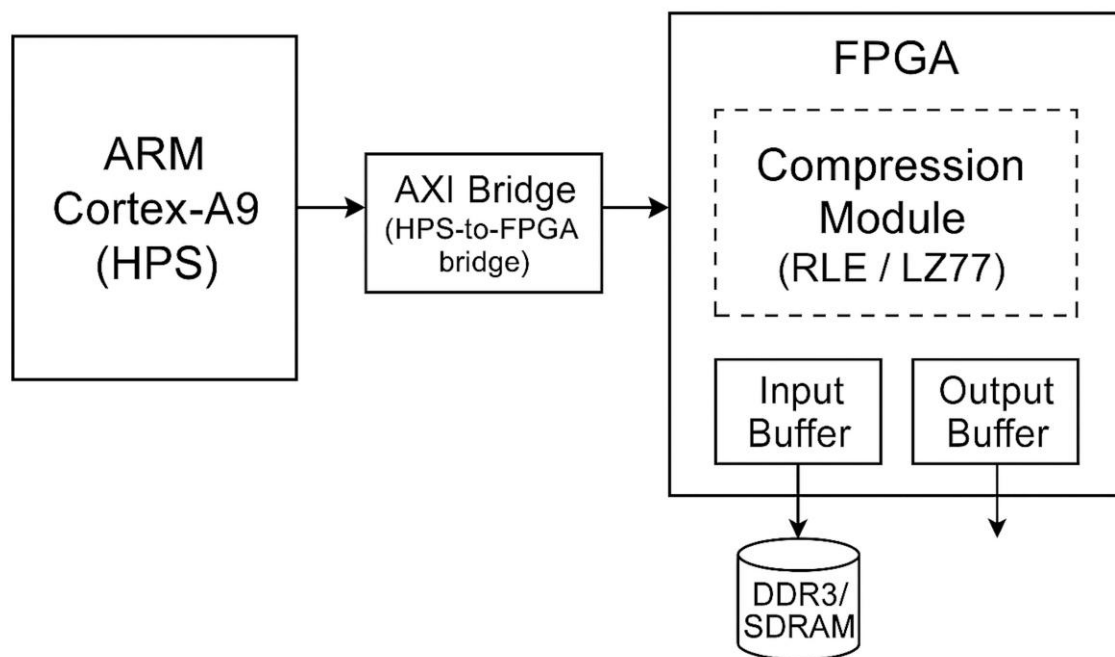


**Рис. 1.** Високорівневий опис взаємодії клієнта з ядром стиснення

Сучасні дослідження демонструють ефективність використання апаратних систем для стиснення і обробки даних. Розроблене рішення [1] після інтеграції в систему розподіленої обробки допомогло збільшити пропускну здатність у більше ніж 6 разів у порівнянні з програмною реалізацією яка мала доступ до такої ж кількості потоків. Інша система, що використовує LZ77 з можливістю конфігурації показує можливість підняття пропускну здатності втричі. На основі цих результатів можна прогнозувати значний приріст продуктивності у майбутньому експерименті, за рахунок поєднання високої пропускну здатності і високої швидкості обробки, що особливо актуально в умовах зростання об'ємів даних.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A self-aware data compression system on FPGA in Hadoop / Y. Li et al. 2015 International Conference on Field Programmable Technology (FPT), Queenstown, New Zealand, 7–9 December 2015. 2015. URL: <https://doi.org/10.1109/fpt.2015.7393149> (date of access: 22.10.2025).
2. Design of FPGA-Based LZ77 Compressor With Runtime Configurable Compression Ratio and Throughput / S. Choi et al. IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 149583–149594. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2947273> (date of access: 22.10.2025).

## АНАЛІЗ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ КРИПТОГРАФІЧНИХ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ФІНАНСОВИХ ОПЕРАЦІЙ

*Корсакова А.В, науковий керівник Вайганг Г.О.*

Метою даної роботи є дослідження сучасних криптографічних технологій, що застосовуються для захисту фінансових операцій, а також визначення найефективніших шляхів їх впровадження у практику. Основні завдання передбачають аналіз поширених кіберзагроз, систематизацію алгоритмів шифрування, оцінку ефективності протоколів безпеки (SSL/TLS, HTTPS, PGP, блокчейн).

Об'єктом дослідження виступають інформаційні системи та процеси, пов'язані з виконанням і захистом фінансових транзакцій. Предметом дослідження є криптографічні алгоритми, методи та протоколи, які забезпечують конфіденційність, автентифікацію та цілісність даних у процесі їх передавання.

У сучасних фінансових системах ключовим аспектом є забезпечення конфіденційності, цілісності та автентичності даних, що передаються між користувачами, платіжними шлюзами та банківськими серверами. Зважаючи на зростання кількості кібератак на фінансові сервіси, необхідним є впровадження надійної криптографічної системи, здатної забезпечити захист даних на всіх етапах фінансової операції – від ініціалізації транзакції до її підтвердження.

Рисунок 1 відображає архітектуру криптографічної системи захисту фінансових операцій, яка побудована за модульним принципом і передбачає розподіл функцій між клієнтською та серверною частинами, із централізованим керуванням ключами та зашифрованим зберіганням даних.

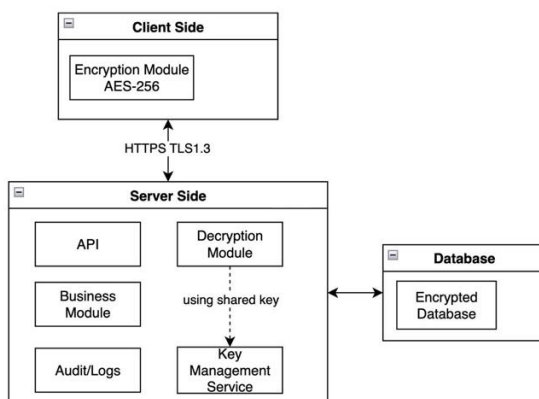


**Рис. 1.** Архітектура системи

Система складається з трьох основних компонентів:

Client Side (клієнтська частина):

- містить модуль шифрування (Encryption Module), який реалізує алгоритм AES-256;
- перед відправленням даних (фінансових транзакцій) клієнтська частина шифрує інформацію симетричним ключем;
- передача даних здійснюється через захищений канал HTTPS (TLS 1.3), що гарантує цілісність і автентичність обміну між клієнтом і сервером.

Server Side (серверна частина):

API Module – обробляє запити від клієнтського застосунку, перевіряє їх автентичність та передає у бізнес-логіку;

Business Module – реалізує основну бізнес-логіку системи;

Decryption Module виконує розшифрування отриманих даних, використовуючи симетричний ключ, яким клієнт шифрував повідомлення;

Key Management Service – генерує, зберігає та розповсюджує ключі шифрування; саме він забезпечує безпечний обмін спільним ключем (shared key) між клієнтом і сервером;

Audit / Logs Module – фіксує всі дії користувачів і транзакцій, що дозволяє проводити моніторинг і аудит безпеки.

Database (база даних):

дані у базі зберігаються в зашифрованому вигляді (Encrypted Database), що мінімізує ризик компрометації у випадку несанкціонованого доступу до сховища;

Доступ до даних можливий лише через серверну частину, де виконується їх розшифрування за допомогою ключів із Key Management Service.

Рисунок 2 ілюструє UML-діаграму послідовності, яка описує процес захисту фінансової транзакції із використанням криптографічного сервісу. Взаємодія між користувачем, клієнтським інтерфейсом, серверною частиною, криптографічним модулем і базою даних забезпечує послідовне виконання ключових етапів – ініціацію запиту, шифрування даних, виконання транзакції, її розшифрування та збереження результатів у зашифрованому вигляді. Така архітектура дозволяє гарантувати конфіденційність, цілісність і безпечність фінансових операцій на всіх етапах їх обробки.

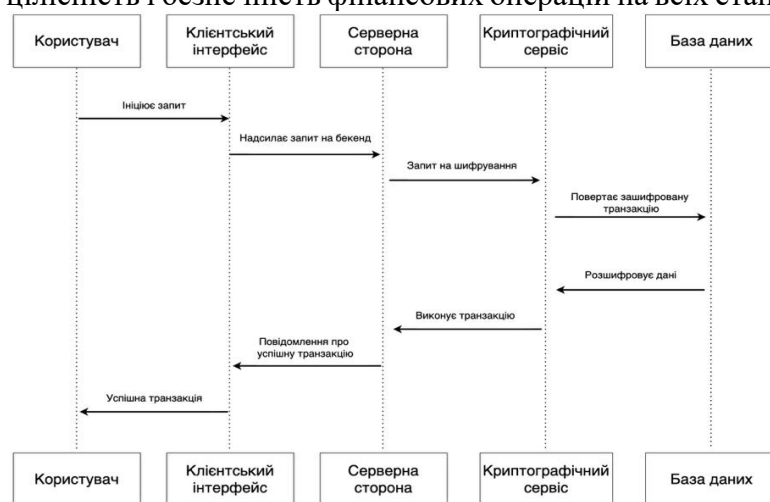


**Рис. 2.** UML-діаграма послідовності захисту фінансової транзакції

Узагальнюючи результати, можна відзначити, що впровадження гібридної криптографічної системи з використанням симетричних і асиметричних методів шифрування підвищує надійність фінансових транзакцій і сприяє формуванню безпечного цифрового середовища. Подальші дослідження доцільно спрямувати на інтеграцію квантово-стійких алгоритмів і автоматизованих засобів аудиту безпеки у фінансових платформах.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Плотніков В. М., Борцова Ю. В. Алгоритмізація шифрування цифрового підпису. Automation of technological and business processes, 2020. Т. 12, No 1. С. 48–54.
2. Шрамченко Б. Л. Підвищення швидкодії алгоритмів шифрування / Б. Л. Шрамченко // Мехатронні системи: інновації та інжиніринг : тези доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 4 листопада 2021 року. – Київ : КНУТД, 2021. – С. 180-181.
3. Романюк, О.О. Програмна реалізація алгоритму шифрування RSA [Текст] / О.О. Романюк, М. П. Смаглюк; кер. С.О. Білоус // Інформатика, математика, автоматика: матеріали та програма науково-технічної конференції, м. Суми, 17-21 квітня 2017 р. / Відп. за вип. С.І. Проценко. - Суми: СумДУ, 2017. - С. 65.

## МЕТОД PAIRWISE TESTING ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНФІГУРАЦІЙ АВТОМАТИЗОВАНОГО ТЕСТУВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*Кохан К.О., науковий керівник Ткаченко О.М.*

Однією з головних проблем при проведенні автоматизованого тестування багатокомпонентних інформаційних систем (ІС) є вибір мінімального, але достатнього набору конфігурацій, які забезпечують високий рівень покриття тестів. У разі великої кількості компонентів і параметрів кількість можливих комбінацій зростає експоненційно, що робить повне тестування усіх варіантів неможливим [1]. Тому актуальним є застосування комбінаторних методів оптимізації, зокрема Pairwise Testing.

Pairwise Testing (тестування парних комбінацій) ґрунтується на принципі, що більшість дефектів програмного забезпечення виникає через взаємодію не більше ніж двох параметрів одночасно [2]. Це дозволяє зменшити кількість необхідних тестів з експоненційної до квадратичної залежності, забезпечуючи при цьому високу ймовірність виявлення помилок.

У контексті багатокомпонентних ІС, де присутні численні варіації модулів, версій, середовищ та параметрів конфігурації, Pairwise Testing дозволяє сформувати оптимальний набір комбінацій для тестування на основі таблиць взаємних пар значень. Такий підхід особливо ефективний у CI/CD-середовищах, де важливо мінімізувати час тестування без втрати якості перевірки [3].

Застосування Pairwise Testing передбачає побудову матриці параметрів системи, де кожен стовпець відповідає окремій змінній (наприклад, ОС, версії бібліотеки, типу БД), а рядки — наборам тестових комбінацій. Для генерації таких наборів можуть використовуватися спеціалізовані алгоритми, наприклад AllPairs або IPOG (In-Parameter-Order General). Вони автоматично формують мінімальний набір тестів, що покриває всі можливі пари параметрів. Ефективність методу Pairwise Testing представлена на Рис. 1.

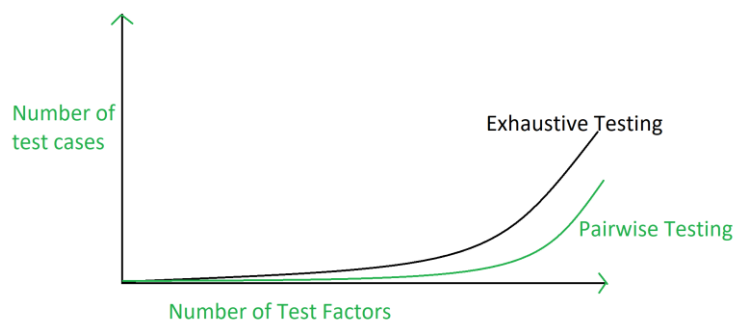


**Рис. 1.** Ефективність методу Pairwise Testing

Інтеграція Pairwise Testing в автоматизовану систему тестування дозволяє: скоротити кількість виконуваних тестів до 60–80% без істотного зниження покриття, підвищити продуктивність тестового конвеєра (pipeline) у CI/CD, забезпечити повторюваність і контрольованість процесу оптимізації конфігурацій, створити формальні критерії вибору тестових сценаріїв з урахуванням критичних компонентів [4].

У роботі пропонується інформаційна технологія оптимізації тестових конфігурацій на основі Pairwise Testing, що включає етапи формування параметричної моделі системи, побудови парних комбінацій, автоматизованої генерації тестових сценаріїв та інтеграції

у середовище CI/CD. Це дозволяє знизити витрати на тестування на 30–50% порівняно з повним переліком комбінацій при збереженні високого рівня виявлення дефектів.

Таким чином, метод Pairwise Testing є ефективним інструментом для оптимізації конфігурацій у процесі автоматизованого тестування багатокомпонентних інформаційних систем. Його застосування забезпечує баланс між якістю перевірки, швидкістю тестування та використанням обчислювальних ресурсів, що робить його перспективним напрямком подальших досліджень у сфері тестування складних ПЗ-систем.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Якість програмного забезпечення та тестування: базовий курс / за ред. О. П. Мельника. — Тернопіль: ТНЕУ, 2019. — 240 с.
2. Тестування програмного забезпечення. Навчальний посібник / Авраменко А.С., Авраменко В.С., Косенюк Г.В. ; – Черкаси: ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2017. – 284 с. ISBN 978-985-581-125-2.
3. Методи тестування і оцінки якості програмного забезпечення: навчальний посібник / Ляхов О. Л., Бородіна О. О. — Полтава: ПолтНТУ, 2015. — 372 с.
4. Software fault interactions and pairwise testing / D. R. Kuhn, D. R. Wallace, A. M. Gallo // IEEE Transactions on Software Engineering. — 2004. — Vol. 30, №6. — P. 418–421.

# ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ

*Васянович В.В., науковий керівник Василюк-Зайцева С.В.*

**Актуальність.** В умовах цифрової трансформації освіти технології віртуальної реальності (VR) стають ефективним інструментом професійної підготовки інженерів. Вони забезпечують безпечне середовище для відпрацювання практичних навичок та дозволяють інтегрувати інтелектуальні системи для оцінки ефективності навчання. Проблема полягає у відсутності єдиного аналітичного середовища, здатного збирати, обробляти та інтерпретувати результати VR-тренувань у зручній для викладача формі.

Об'єктом дослідження є процес професійної підготовки майбутніх інженерів у VR-середовищі.

Предметом дослідження є програмне забезпечення аналітичної системи для обробки та оцінювання результатів навчання у VR-середовищі.

Мета роботи це розробка інформаційної системи для збору, зберігання та аналізу даних навчальних сесій із використанням технологій бізнес-аналітики

**Методи та інструменти.**

Для реалізації системи застосовано MS SQL Server (база даних), SSIS (ETL-процеси), SSRS (звіти), Power BI (дашборди) та SSAS (OLAP-куб).

Механізми аналітики реалізовано на сформованих навчальних даних, що моделюють результати VR-сесій студентів.

Система забезпечує збір, зберігання та аналіз даних, необхідних для оцінювання ефективності навчання у віртуальному середовищі.

**Результати дослідження.**

У системі реалізовано набір аналітичних показників (KPI), які відображають успішність навчання у VR-середовищі.

На основі даних, отриманих із бази, сформовано аналітичну таблицю, що містить середній бал, середню кількість помилок та кількість студентів у кожній навчальній групі (Рис. 1).

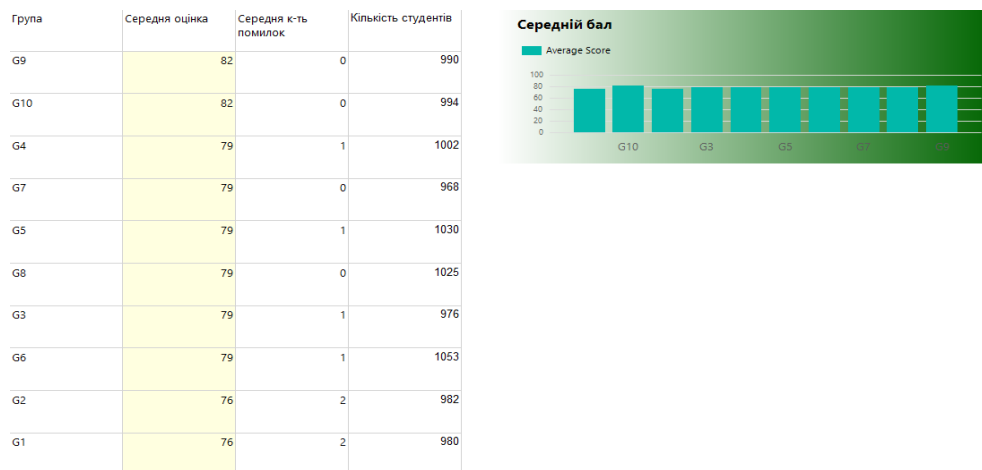


**Рис. 1.** Показники результатів навчальних груп

Як видно з Рис.1, найвищий середній бал мають групи G9 та G10 (82), які продемонстрували мінімальну кількість помилок. Групи G1 та G2, навпаки, показали нижчі результати, що може свідчити про складність навчальних сценаріїв або потребу додаткового тренування.

Для дослідження динаміки змін середнього балу у часі додатково створено лінійну діаграму “Average Score by Month”, яка демонструє тенденції навчального процесу за період кількох місяців

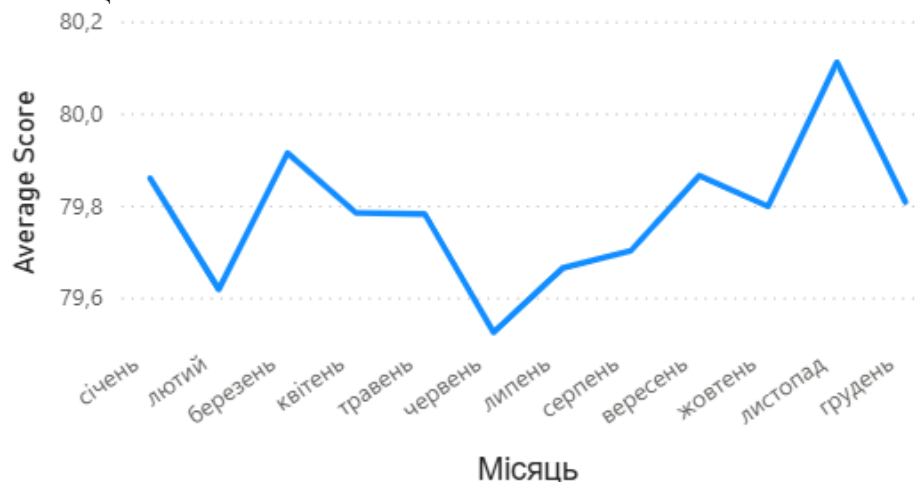


**Рис 2.** Лінійна діаграма “Average Score by Month”

Діаграма показує, як змінюється середній рівень засвоєння матеріалу студентами протягом часу.

Згідно з аналізом, на початку періоду спостерігається поступове зростання середнього балу, що може бути наслідком адаптації студентів до VR-середовища, тоді як наприкінці семестру спостерігається стабілізація результатів.

**Висновки.**

Розроблена система реалізує комплексну підтримку аналітичного процесу у VR-освіті: від збору даних до побудови OLAP-звітів і KPI-візуалізацій.

Запропонований підхід підвищує ефективність управління навчальним процесом, дозволяє порівнювати результати студентів різних груп і сценаріїв, а також створює основу для впровадження системи «розумного навчання» в технічних університетах.

Надалі систему можна інтегрувати з реальними VR-додатками для автоматичного отримання даних навчальних сесій.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Білик Н. Проектування інформаційних систем: навч. посіб. – К.: КНЕУ, 2020.
2. Burdea G., Coiffet P. Virtual Reality Technology. – Wiley-IEEE Press, 2003.
3. Мазур О. Віртуальні тренажери для інженерної підготовки: сучасний стан і перспективи // Вісник КНУБА, 2022.



УДК 004.42  
**ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ОЦІНКИ НЕ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВИМОГ ДО  
ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

*Мисливий Д.І., Ніколаєнко Д.В.*

У сучасних умовах цифрової трансформації та стрімкого ускладнення програмного забезпечення зростає не лише потреба в реалізації функціональних вимог, але й в усвідомленому підході до визначення, формалізації та оцінки нефункціональних вимог (НФВ). Нефункціональні вимоги охоплюють характеристики, які визначають поведінку системи в умовах її реального функціонування: надійність, продуктивність, безпека, масштабованість, підтримуваність, сумісність, портативність, зручність використання тощо. Саме ці аспекти суттєво впливають на якість програмного забезпечення, його відповідність очікуванням користувачів та здатність адаптуватися до змін середовища.

Попри їхню важливість, на практиці нефункціональні вимоги часто залишаються поза належною увагою. Їхнє формулювання нерідко має неформальний або розпливчастий характер, що ускладнює не лише процес реалізації, але й подальшу перевірку виконання. Відсутність єдиних стандартів формалізації та методик кількісного вимірювання НФВ призводить до труднощів у забезпеченні якості продукту, що своєю чергою може спричинити збільшення витрат на доопрацювання, підтримку та усунення помилок. У цьому контексті актуальним є створення спеціалізованої інформаційної системи, яка дозволить автоматизувати повний цикл роботи з нефункціональними вимогами — від їх збору до оцінювання ступеня виконання та формування висновків для прийняття управлінських рішень.

Метою дослідження є розробка концепції інформаційної системи для управління нефункціональними вимогами яка збирає, обробляє та прогнозує вплив ключових параметрів на загальну зручність використання системи. Така система має сприяти підвищенню якості ІТ-продуктів за рахунок автоматизації та стандартизації роботи з НФВ.

Задля досягнення цієї мети передбачається реалізація таких ключових завдань:

Формалізація нефункціональних вимог. Визначення та структуризація ключових параметри оцінки зручності використання, такі як: швидкість виконання, легкість навчання, логічність інтерфейсу, загальне задоволення та інші.

Впровадження механізмів оцінки та валідації НФВ. Розробити кількісні метрики для оцінки продуктивності, безпеки, надійності та зручності використання. Забезпечити виявлення суперечностей, неповноти та дублювань вимог.

Збір даних від користувачів. Організувати збір оцінок від аналітиків, розробників, тестувальників, менеджерів та кінцевих користувачів.

Створення сховища даних.

Аналіз та візуалізація даних. Реалізувати панелі керування, графіки та звіти для підтримки прийняття управлінських рішень.

Прогнозування зручності використання програмного продукту для користувачів. Використати моделі лінійної та кубічної регресії для оцінки впливу ключових параметрів на задоволення користувачів.

Архітектура інформаційної системи передбачає наявність бази даних нефункціональних вимог із категоризацією за типами, модулями ПЗ та етапами життєвого циклу. Заплановано реалізацію веб-інтерфейсу для введення та перегляду вимог, панелі керування метриками. Особливу увагу буде приділено питанням валідації НФВ, виявлення суперечностей та неповноти, а також автоматизованому формуванню звітів щодо дотримання якісних характеристик ПЗ.

Головна ідея дослідження полягає у визначенні впливу ключових нефункціональних характеристик системи на загальну зручність використання. Оптимізація цих параметрів сприяє підвищенню якості програмного забезпечення та покращенню користувацького досвіду. Прогнозування дозволяє оцінити потенційний ефект змін до їх впровадження, роблячи процес удосконалення системи більш обґрунтованим і контрольованим.

Дослідження ґрунтується на формалізованому підході до опису та оцінки нефункціональних вимог і використанні сховища даних для ефективного зберігання та аналізу інформації. Методологія включає збір оцінок від користувачів та зацікавлених сторін, аналіз отриманих даних і побудову моделей прогнозування, що дозволяє виявляти закономірності та взаємозв'язки між характеристиками системи та рівнем зручності використання.

Емпірична база включає результати опитування користувачів, оцінку ключових параметрів системи та їх збереження у базу даних з подальшою побудовою сховища даних. Дані підлягали аналізу та візуалізації у вигляді гістограм та інших графіків, а для прогнозування загального значення зручності використання застосовувались математичні моделі, що дозволяють оцінити ефект змін у системі та підвищення якості продукту.

Результатом реалізації інформаційної системи дозволить вчасно виявляти критичні відхилення від запланованих показників якості, приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо корекції планів розробки, оптимізації ресурсів та підвищення надійності продукту. За рахунок інтеграції модулів візуалізації та звітності очікується покращення комунікації між технічними й бізнес-учасниками проєкту, оскільки стан дотримання нефункціональних вимог буде відображено у зрозумілій та наочній формі.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering — Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and software quality models.
2. Glinz M. (2007). On Non-Functional Requirements. 15th IEEE International Requirements Engineering Conference (RE 2007), pp. 1–10.
3. Sommerville I. (2016). Software Engineering (10th ed.). Pearson Education.
4. Chung L., Nixon B.A., Yu E., Mylopoulos J. (2000). Non-Functional Requirements in Software Engineering. Springer.
5. VanderPlas J. (2016). Python Data Science Handbook: Essential Tools for Working with Data. O'Reilly Media.
6. Géron A. (2019). Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras & TensorFlow. O'Reilly Media.

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ МЕДИЧНОГО ПЕРСОНАЛУ ПОЛІКЛІНІКИ.

*Волочай В.Є., науковий керівник Ніколаєнко Д. В.*

Актуальність дослідження. Сучасні заклади охорони здоров'я працюють із великими обсягами медичних даних, які потребують ефективного збору, зберігання та аналітичної обробки. Ручний аналіз є малопродуктивним і не дозволяє оперативно приймати обґрунтовані рішення щодо планування лікування чи навантаження медичного персоналу. Це зумовлює необхідність створення інформаційно-аналітичних систем, що поєднують бази даних та алгоритми інтелектуального аналізу даних (Data Mining) для підвищення ефективності медичного обслуговування.

Об'єктом дослідження є інформаційно-аналітичні процеси управління медичними даними в поліклінічному закладі.

Предметом дослідження є методи та програмні засоби інтелектуального аналізу медичних даних у системах підтримки прийняття рішень.

Мета дослідження. Розроблення та дослідження програмного забезпечення інформаційно-аналітичної системи, яка реалізує алгоритми прогнозування, класифікації, кластеризації та асоціативного аналізу для оптимізації роботи медичного персоналу.

Методи та інструменти. У системі використано СУБД Microsoft SQL Server для зберігання даних та мову C# у середовищі Microsoft Visual Studio для реалізації програмного забезпечення. Для інтелектуального аналізу застосовано алгоритми:

- Time Series – для прогнозування кількості відвідувань поліклініки;
- 1-Rule – для аналізу середніх потреб у лікуванні за категорією послуг і статтю пацієнтів;
- Naïve Bayes – для визначення залежності статі пацієнта від категорії медичних послуг;
- Apriori – для виявлення асоціативних зв'язків між послугами, станами пацієнтів і діагнозами;
- K-Means – для кластеризації пацієнтів за віком і статтю.

Результати дослідження. У результаті проведеного дослідження створено прототип інформаційно-аналітичної системи, що забезпечує інтеграцію бази даних, аналітичного модуля та користувацького інтерфейсу. На рисунку 1 представлено архітектуру системи, яка включає модулі автентифікації, управління пацієнтами, обробки медичних даних, сховище даних та аналітичну робочу станцію. Така структура забезпечує цілісну взаємодію між медичним персоналом і системою, дозволяючи здійснювати аналітичні обчислення в реальному часі.

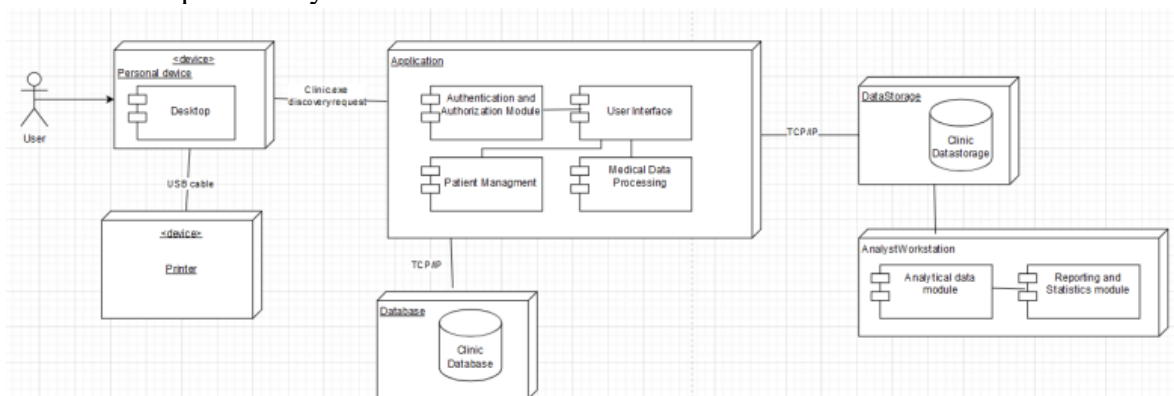


**Рис. 1.** Архітектура інформаційно-аналітичної системи для медичного персоналу поліклініки

Розроблене програмне забезпечення дозволяє прогнозувати кількість відвідувань поліклініки, визначати закономірності між типами пацієнтів і медичними послугами, формувати типові групи пацієнтів, а також аналізувати взаємозв'язки між діагнозами, станами здоров'я та спеціалізаціями лікарів. Застосовані алгоритми забезпечують підвищення точності аналітичних оцінок і підтримують прийняття медичних рішень на основі даних.

Висновки. У ході роботи було досліджено процес створення та впровадження інформаційно-аналітичної системи для медичного персоналу поліклініки. Здійснено побудову бази даних, реалізовано аналітичний модуль і проведено експериментальні перевірки застосованих методів. Отримані результати підтвердили ефективність використання технологій Data Mining у медицині: автоматизація аналітичних процесів сприяє підвищенню точності діагностики, оптимізації лікування та покращенню організації роботи поліклініки.

Дослідження показало, що впровадження таких систем є перспективним напрямом розвитку сучасної медичної інформатики.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Data Analytics in Healthcare: Transforming Patient Care Delivery: [Електронний ресурс] – Доступ: <https://www.park.edu/blog/data-analytics-in-healthcare-transforming-patient-care-delivery/>
2. Медична інформаційна система: [Електронний ресурс] – Доступ: <https://blog.h24.ua/uk/shho-take-mis/>
3. A Complete Guide to Developing a Clinic Management Software: [Електронний ресурс] – Доступ: <https://www.goodcore.co.uk/blog/clinic-management-software-development-guide/>
4. Інформаційні системи в системі охорони здоров'я: [Електронний ресурс/Файл] – Доступ: [https://www.vnmu.edu.ua/downloads/med\\_physics/20130120-121914.pdf](https://www.vnmu.edu.ua/downloads/med_physics/20130120-121914.pdf)
5. Інформаційні системи та їх роль: [Електронний ресурс/Файл] – Доступ: <https://www.uzhnu.edu.ua/uk/infocentre/get/6742>

УДК 004.415.2:004.42

**АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА ДОРАДЧОЇ СИСТЕМИ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО  
НАБОРУ КОМПОНЕНТІВ ОС LINUX ПРИ РОЗГОРТАННІ СЕРВЕРНОЇ  
ІНФРАСТРУКТУРИ**

*Бондарчук А.С., науковий керівник Ніколаєнко Д.В.*

Актуальність. Linux займає понад 70 % ринку серверних ОС, а кількість доступних компонентів для інфраструктури постійно зростає. Адміністратори стикаються з труднощами вибору оптимальної комбінації веб-серверів, СУБД, систем моніторингу та оркестраторів контейнерів під конкретні задачі, що часто призводить до неефективного використання ресурсів і ускладнює інтеграцію з Ansible чи Proxmox. Тому розробка дорадчих систем, здатних автоматично формувати оптимальний набір компонентів для різних сценаріїв (веб-сервер, база даних, моніторинг, VPN тощо), є актуальною для сучасної IT-інфраструктури, адже підвищує ефективність DevOps-процесів і зменшує вплив людського фактора.

Об'єктом дослідження є процеси конфігурування серверної інфраструктури на базі Linux та взаємодія її основних компонентів (веб-серверів, СУБД, кеш-систем тощо).

Предметом дослідження є методи побудови інтелектуальної дорадчої системи для автоматизованого вибору оптимальних конфігурацій компонентів, включно з аналізом вимог, формуванням матриці сумісності, оптимізацією вибору за критеріями продуктивності, ресурсів і безпеки та генерацією Ansible-плейбуків для розгортання у середовищі Proxmox.

Метою роботи є проаналізувати підходи до побудови дорадчих систем у DevOps та розробити програмний комплекс для автоматизованого вибору оптимальних конфігурацій Linux-серверів.

Передбачено створення графової моделі знань у Neo4j, реалізацію алгоритмів рекомендацій і порівняння ефективності автоматизованого та ручного налаштування за критеріями часу, помилок і відтворюваності.

Для досягнення мети сформульовані наступні завдання:

Визначити оптимальний технологічний стек для реалізації системи за критеріями представлення залежностей, швидкодії та інтеграції з DevOps-інструментами.

Розробити графову модель знань про серверні компоненти, їх властивості, взаємозалежності та обмеження сумісності.

Реалізувати програмний комплекс на базі Python/FastAPI з модулями аналізу вимог, формування рекомендацій та генерації конфігурацій.

Провести тестування системи на типових сценаріях, перевіривши коректність рекомендацій і працездатність Ansible-плейбуків.

Оцінити ефективність розробленого підходу порівняно з ручним налаштуванням за критеріями часу розгортання, кількості помилок і стабільності конфігурацій.

Проведений аналіз інструментів автоматизації інфраструктури показав, що рішення на кшталт Ansible Galaxy, Puppet Forge та Chef Supermarket надають готові модулі, але не забезпечують інтелектуального вибору оптимальних комбінацій компонентів. Оркестратори на зразок Terraform і CloudFormation зосереджені на розгортанні ресурсів, а не на формуванні рекомендацій щодо їх конфігурації. Це створює потребу у системі, що враховує взаємозалежності, конфлікти та ресурсні обмеження між компонентами.

Для реалізації бази знань обрано графову СУБД Neo4j, яка дозволяє природно моделювати зв'язки між компонентами у вигляді вузлів (серверні елементи з властивостями — назва, тип, ресурси, порти) та ребер (типи зв'язків —

WORKS\_WELL\_WITH, CONFLICTS\_WITH, REQUIRES, ALTERNATIVE\_TO). Мова запитів Cypher забезпечує ефективний пошук оптимальних конфігурацій у графі.

У створеній моделі описано 22 компоненти та 6 типових шаблонів, що охоплюють веб-сервери, СУБД, кеш-системи, інструменти контейнеризації та моніторингу. Такий підхід дозволяє уникати несумісних комбінацій і враховувати ресурси кожного елемента.

Дослідження підтверджують, що використання графових баз даних у системах рекомендацій підвищує точність рішень до 40 %, а застосування підходу Infrastructure as Code скорочує час розгортання серверів на 60–70 % і зменшує кількість помилок у 3–5 разів.

Отже, поєднання графових алгоритмів і автоматичної генерації конфігурацій значно підвищує ефективність DevOps-процесів та підтверджує доцільність застосування Neo4j для побудови інтелектуальних систем підтримки рішень у сфері DevOps.

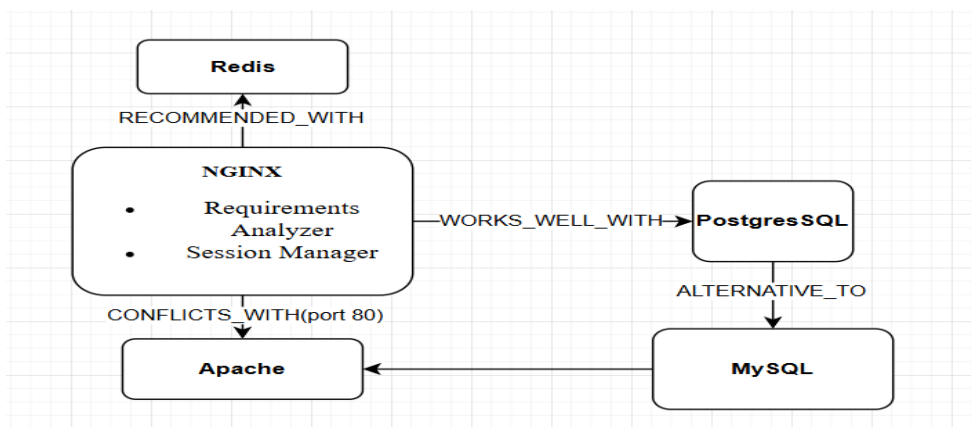


**Рис.1** Структура графа залежностей серверних компонентів(сервісів)

На рис. 1 наведено структуру графа залежностей. Центральним вузлом є Nginx, що має зв'язки WORKS\_WELL\_WITH з PostgreSQL (weight=0.9), RECOMMENDED\_WITH з Redis, але CONFLICTS\_WITH з Apache через використання порту 80. Сучасні дослідження демонструють ефективність використання графових БД для систем рекомендацій.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. .Ansible Community Documentation. Red Hat/Ansible, 2025. URL: <https://docs.ansible.com/ansible/latest/> (дата звернення: 22.10.2025).
2. Proxmox VE Administration Guide. Proxmox Server Solutions GmbH, 2025. URL: <https://pve.proxmox.com/pve-docs/> (дата звернення: 22.10.2025).

**СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ДЛЯ РОЗДРІБНОЇ ТОРГІВЛІ З ПРОГНОЗУВАННЯМ ПОПИТУ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ***Ясінська О.О., науковий керівник Пономаренко Р.М.*

У результаті виконаного дослідження було розроблено вебсистему InventoryForecast Pro, що реалізує комплексний підхід до автоматизації управління запасами в роздрібній торгівлі на основі технологій машинного навчання. Система орієнтована на підвищення точності прогнозування попиту, мінімізацію надлишкових запасів і забезпечення стабільного товарообігу в умовах мінливої ринкової динаміки.

Проблема управління запасами є актуальною для малого та середнього бізнесу, де навіть незначні похибки прогнозування призводять до фінансових втрат. Традиційні статистичні методи часто не враховують сезонність, промоактивність або різкі зміни поведінки споживачів. Тому метою дослідження стало створення системи, здатної поєднати аналітичні можливості машинного навчання з класичними методами планування для формування адаптивної, гнучкої та масштабованої архітектури.

Ключові моменти дослідження

1. Архітектура системи: InventoryForecast Pro побудована за трирівневим принципом (presentation – logic – data), що забезпечує високу модульність, ізоляцію компонентів і гнучкість масштабування.

Презентаційний шар (React.js) реалізує інтерфейс користувача, дашборди, графіки та інтерактивні панелі.

Сервісний шар (Flask) виконує роль бізнес-логіки, обробки запитів, авторизації користувачів (JWT) і керування процесами навчання моделей.

Шар даних (Supabase/PostgreSQL) відповідає за зберігання транзакцій, прогнозів і аналітичних показників.

Така архітектура є типовим зразком сучасних корпоративних вебрішень [1] і забезпечує незалежне оновлення модулів без ризику порушення цілісності системи.

2. Гібридне прогнозування попиту: модуль прогнозування поєднує Prophet, ARIMA та LSTM — моделі, орієнтовані на різні типи часових рядів. Prophet моделює сезонність і зовнішні регресори (свята, акції), ARIMA — стабільні ряди без вираженої нелінійності, LSTM — складні часові залежності та волатильність.

Перед навчанням здійснюється STL-декомпозиція даних для виділення трендової, сезонної та залишкової компонент, після чого результати прогнозів комбінуються через зважене усереднення. Згідно з принципами, викладеними Hyndman та Athanasopoulos [2], ансамблевий підхід підвищує стійкість прогнозів до шуму та дозволяє адаптувати систему до різних типів поведінки попиту. Проведене експериментальне тестування підтвердило, що комбінована модель демонструє вищу точність порівняно з окремими методами.

3. Аналітичний функціонал і підтримка рішень: система забезпечує багатокомпонентний аналітичний модуль. Він надає можливість:

- переглядати прогнози попиту в динаміці та порівнювати їх із фактичними продажами;
- відслідковувати ключові показники ефективності (ROP, EOQ, рівень сервісу, коефіцієнт оборотності);
- імпортувати дані з зовнішніх джерел (CSV, API постачальників);
- експортувати звіти та рекомендації для менеджменту.

Таким чином, система підтримує концепцію data-driven management, у якій аналітичні рішення приймаються на основі кількісних даних і прогнозних моделей.

4. Практичне тестування та перспективи: прототип системи протестовано на реальних і синтетичних наборах даних. Отримані результати показали зниження кількості надлишкових запасів і скорочення частоти дефіцитів. Виявлено, що інтеграція прогнозів у процес управління запасами дозволяє підвищити ефективність використання складських ресурсів та скоротити витрати на 10–15 % у порівнянні з базовими методами планування.

Подальший розвиток передбачає впровадження автоматичного вибору оптимальної моделі залежно від характеристик даних, інтеграцію з POS-системами, реалізацію мобільного клієнта (React Native) та розгортання системи у хмарному середовищі (AWS/Supabase).

Підсумовуючи, можна стверджувати, що розроблена система InventoryForecast Pro є комплексним інструментом для прогнозування попиту та управління запасами в роздрібній торгівлі. Робота підтвердила ефективність комбінованого використання моделей Prophet, ARIMA та LSTM, а також доцільність трирівневої архітектури для побудови масштабованих вебсистем.

Отримані результати свідчать, що інтеграція методів машинного навчання у процеси планування дозволяє підвищити точність прогнозів і забезпечити раціональне використання ресурсів підприємства, що відкриває перспективи подальших досліджень у напрямі адаптивного управління ланцюгами постачання.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Sommerville I. Software Engineering, 10th ed. — Pearson, 2016 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://dn790001.ca.archive.org/0/items/bme-vik-konyvek/Software%20Engineering%20-%20Ian%20Sommerville.pdf>
2. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice, 3rd ed. — OTexts, 2021 [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://otexts.com/fpp3/combinations.html>



УДК 004.9  
**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ  
СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

*Клименко О. М. науковий керівник Пономаренко Р. М.*

**Мета дослідження.** Розробити та перевірити інтелектуальну систему, яка здійснює збір, перевірку, аналіз і прогнозування інтенсивності сонячної енергії з урахуванням погодних факторів, технічних параметрів обладнання та сезонних змін. Система має підтримувати прийняття рішень (DSS) щодо порад у збірці сонячних електростанцій(СЕС).

**Об'єкт дослідження.** Процес генерації сонячної енергії у приватних домогосподарствах.

**Предмет дослідження.** Інтелектуальна система прогнозування інтенсивності сонячної генерації, що поєднує методи машинного навчання, сховище даних (DWH), OLAP-аналіз і технології підтримки прийняття рішень.

**Актуальність.** Зі зростанням попиту на відновлювані джерела енергії та потребою у раціональному використанні енергоресурсів особливого значення набувають системи, що дозволяють прогнозувати вироблення сонячної енергії з урахуванням погодних та технічних параметрів [1; 2]. Традиційні методи не враховують нелінійних залежностей між параметрами середовища та вихідною потужністю, тому використання інтелектуальних підходів на основі машинного навчання є доцільним [4; 5].

Реалізовано повний цикл ETL-обробки даних завантаження, очищення, виявлення дублікатів та перенесення у сховище даних MSSQL. Створено OLAP-куб з тривимірною структурою (час, локація, технічні параметри). Програмна реалізація виконана мовою Python з використанням бібліотек pandas, numpy, sklearn, xgboost, matplotlib, seaborn. Розроблений графічний інтерфейс (Tkinter). Передбачено ролі: користувач, аналітик та адміністратор з відповідними правами доступу.

Для прогнозування використано три типи моделей: лінійну регресію, ансамблевий метод Random Forest та boosting (XGBoost) [3]. Дані було поділено на навчальні та валідаційні вибірки; якість оцінювалась за метриками MSE та  $R^2$ .

Для наповнення бази застосовано реальні дані генерації приватного домогосподарства (2018–2024 рр.) з урахуванням температури, швидкості вітру, вологості та рівня інсоляції [3]. Для навчання моделі було створено вкладку Навчання моделі (рис. 1).

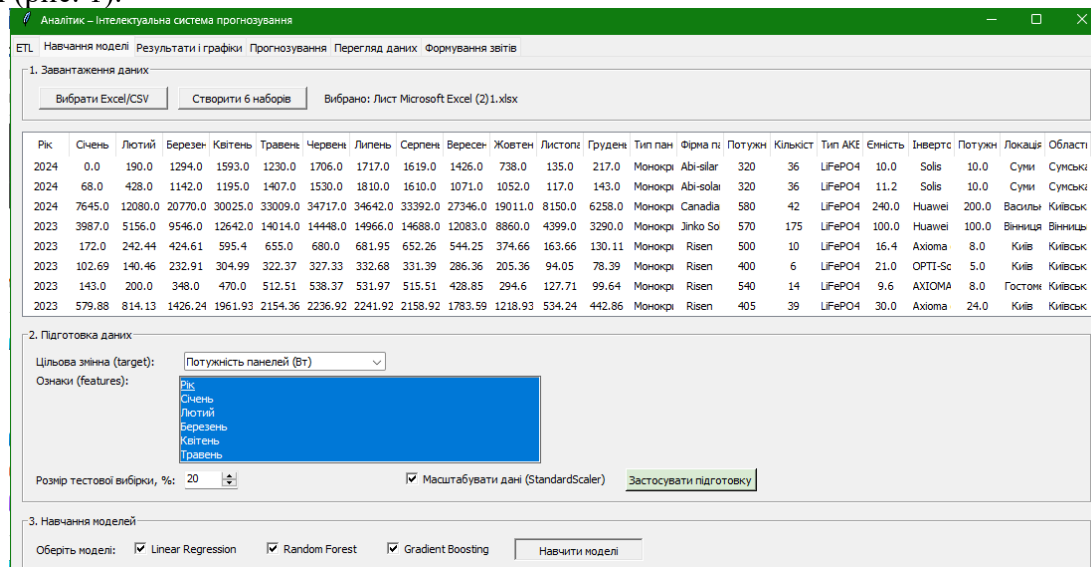


**Рис. 1.** Програма для навчання моделі

Результати дослідження. Виконано первинний аналіз (EDA), який виявив значну кореляцію між інтенсивністю генерації та рівнем освітленості. Встановлено, що висока температура або потужний вітер знижують ефективність фотоелементів [1; 2]. Результати моделювання показали, що алгоритм XGBoost має найменше значення MSE порівняно з лінійною регресією та Random Forest, що підтверджує його здатність відтворювати нелінійні взаємозв'язки між параметрами [4; 5]. Порівняльний аналіз показників з програми підтвердив, що точність прогнозування суттєво залежить від обраного алгоритму машинного навчання. Для всіх шести наборів даних (nabir\_2.csv – nabir\_6.csv) моделі Gradient Boosting продемонстрували найкращі результати за метрикою MSE (від 2559 до 5784) та найвищі значення  $R^2$  (0.40–0.73), що свідчить про здатність моделі відтворювати складні нелінійні залежності між погодними параметрами та обсягом сонячної генерації.

Моделі Random Forest показали стабільно прийнятні результати ( $R^2 \approx 0.45$ –0.59), проте з дещо вищою похибкою. Лінійна регресія, навпаки, мала низькі коефіцієнти детермінації та значні помилки ( $R^2$  від -27.5 до 0.32), що вказує на непридатність лінійних підходів для моделювання даних із вираженою сезонністю.

Середні значення CV MSE (коефіцієнт варіації середньоквадратичної помилки) підтвердили стабільність моделей Gradient Boosting — близько 5200–5800, тоді як для лінійної регресії цей показник був у декілька разів вищим. Отже, найефективнішими для прогнозування інтенсивності сонячної енергії є ансамблеві методи, зокрема Gradient Boosting, що поєднує точність і стійкість до аномалій.

Система підтримки рішень (DSS) дозволяє аналізувати тренди, будувати прогнози та формувати KPI (очікуваний виробіток, коефіцієнт використання потужності, прогноз економії). Реалізований прототип забезпечує повний цикл роботи з даними – від збору до прогнозу та візуалізації.

Висновки. Створено інтелектуальну систему прогнозування інтенсивності сонячної енергії, що інтегрує технології ETL, DWH, OLAP, ML та DSS. Система автоматизує процеси збору, перевірки, зберігання та прогнозування даних і забезпечує візуалізацію результатів. У подальшому передбачено інтеграцію з IoT-пристроями для збору даних у реальному часі та використання глибоких нейронних мереж для підвищення точності прогнозів [4].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Solar Energy Technologies Office, U.S. Department of Energy. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.energy.gov/eere/solar>
2. PV Performance Modeling Collaborative (PVPMC), Sandia National Laboratories. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pvpmc.sandia.gov/>
3. Набір даних для прогнозування сонячної генерації (2018–2024). – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://solar-tech.com.ua/ua/our-objects/?sort=p.date\\_added&order=DESC](https://solar-tech.com.ua/ua/our-objects/?sort=p.date_added&order=DESC)
4. Григоренко Д. І., Теличко Г. О., Жуковська Д. О., Ступак М. В. Використання штучних нейронних мереж для прогнозування вироблення сонячної енергії на фотоелектричних елементах. – 2023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/1917884>
5. Оленич І., Павлик М., Марцінів М. Система прогнозування потужності сонячної батареї розумного будинку. – 2022. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://publications.lnu.edu.ua/collections/index.php/electronics/article/viewFile/3759/4130>

**АНАЛІЗ ЧАСОВИХ І ПРИЧИННИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД В УКРАЇНІ МЕТОДОМ «RANDOM FOREST»***Сахневич В.Б., науковий керівник Кравченко В.М.*

У цій роботі проведено дослідження часових і поведінкових закономірностей дорожньо-транспортних пригод (ДТП) в Україні за допомогою методу машинного навчання Random Forest. Використано офіційні дані Патрульної поліції України за 2024 рік [1], які містять відомості про час доби, день тижня, види та причини ДТП тощо. Мета дослідження – виявити фактори, що найбільше впливають на ризик виникнення ДТП з потерпілими. Результати моделювання показали, що критичними є години вечірнього пік-руху, нічний період та поведінкові причини, пов’язані з неухважністю і перевищенням швидкості. Отримані висновки можуть бути використані для підвищення ефективності стратегій управління дорожньою безпекою.

Безпека дорожнього руху залишається одним із пріоритетних напрямів державної політики України. У 2024 році зафіксовано понад 25781 ДТП, з потерпілими. Для ефективного аналізу таких даних важливо виявити часові та поведінкові закономірності, які зумовлюють виникнення аварійних ситуацій.

Методи машинного навчання, зокрема Random Forest, дозволяють досліджувати багатофакторні залежності, визначати відносну важливість змінних і створювати моделі прогнозування ймовірності ДТП [2]. На відміну від традиційних статистичних підходів, цей метод стійкий до шуму в даних і здатен відображати складні нелінійні зв’язки.

Для дослідження використано офіційні зведені таблиці Патрульної поліції України за 2024 рік, які містять інформацію про:

- час доби (0–23 години),
- день тижня (понеділок–неділя),
- вид ДТП (зіткнення, наїзд на пішохода, перекидання, зіткнення з перешкодою тощо),
- основну причину (перевищення швидкості, неухважність водія, порушення правил маневрування, недотримання дистанції тощо).

Цільовою змінною виступала наявність потерпілих у ДТП (1 – так, 0 – ні).

Для моделювання використано алгоритм Random Forest Classifier, реалізований у середовищі Python (бібліотека scikit-learn) [3]. Дані були попередньо очищені, категоріальні змінні закодовані методом one-hot encoding. Якість моделі оцінювалась за метриками ассураcy та F1-score, а вплив ознак — за показником feature importance.

#### Результати

Після навчання модель показала точність класифікації 83,7%, що свідчить про високу адекватність методу Random Forest для виявлення закономірностей у даних про ДТП. Аналіз важливості ознак дозволив виділити основні фактори ризику:

#### Час доби

Найвища частка ДТП спостерігається у вечірні години (17:00–21:00) та в нічний період (22:00–03:00).

У ранкові години (8:00–10:00) спостерігається підвищення кількості ДТП без потерпілих, пов’язане з інтенсивним міським рухом.

#### День тижня

Найбільше ДТП з потерпілими трапляється у п’ятницю та суботу, що може бути наслідком підвищеної транспортної активності та втоми водіїв наприкінці тижня.

Найменше — у неділю вранці, коли інтенсивність руху є мінімальною.

#### Вид ДТП

Домінуючі типи: зіткнення транспортних засобів ( $\approx 60\%$ ) і наїзди на пішоходів ( $\approx 17\%$ ).

У нічний час значно зростає кількість наїздів на пішоходів, що часто поєднується з перевищенням швидкості.

#### Причини ДТП

Найвагоміші чинники: перевищення швидкості (30%), неуважність (22%), порушення правил маневрування (17%).

У вечірній і нічний час частіше реєструються ДТП через керування у стані сп'яніння та виїзд на зустрічну смугу.

Отримані закономірності свідчать, що поведінкові фактори водіїв у поєднанні з часовими характеристиками мають визначальний вплив на рівень аварійності. Ці результати можуть бути інтерпретовані через призму теорії ігор, де кожен учасник дорожнього руху вибирає між ризикованою та обережною стратегією [4].

#### Висновки

Метод Random Forest довів свою ефективність у задачі класифікації ДТП за наявністю потерпілих та виявленні ключових часових і поведінкових факторів ризику.

Найвищий рівень аварійності спостерігається у вечірній і нічний час, особливо у п'ятницю–суботу, коли переважають причини, пов'язані з неуважністю та перевищенням швидкості. Отримані результати можуть бути використані для побудови моделей прогнозування ризику ДТП, а також для обґрунтування профілактичних заходів, спрямованих на зміну поведінки учасників дорожнього руху.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Патрульна поліція України. Статистика дорожньо-транспортних пригод за 2024 рік. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/>
2. World Health Organization. Global status report on road safety 2023. Geneva: WHO, 2023.
3. Pedregosa, F. et al. Scikit-learn: Machine Learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12, 2825–2830 (2011).
4. Osborne, M. J., Rubinstein, A. A Course in Game Theory. MIT Press, 1994.
5. Bishop, C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006.

# ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ НЕРУХОМІСТЮ ТА ВЗАЄМОДІЇ МІЖ ОРЕНДАРЯМИ Й ОРЕНДОДАВЦЯМИ

Мотлюк О.П., науковий керівник Вайганг Г. О.

Цифровізація ринку нерухомості актуалізує потребу у створенні інтелектуальних систем, здатних забезпечити комплексне управління об'єктами, договорами, фінансовими потоками та комунікацією між орендарями й орендодавцями. Використання розрізнених інструментів і локальних баз даних призводить до дублювання інформації, зниження ефективності контролю та відсутності цілісної аналітики. Розроблена Property Management System (PMS) усуває ці проблеми, поєднуючи в єдиному середовищі функції обліку, автоматизованого інвойсингу, аналітики, моніторингу платежів та безпечного обміну даними. Платформа є результатом поєднання сучасних принципів програмної архітектури та методів структурного й об'єктно-орієнтованого моделювання, що дозволило досягти узгодженості процесів і високої продуктивності системи.

Метою дослідження стало створення універсальної програмної платформи, яка централізує управління об'єктами нерухомості, договорами оренди та фінансовими операціями. Система підтримує інтеграцію з міжнародними платіжними сервісами Stripe і PayPal, забезпечує прозорий фінансовий облік і відповідає вимогам інформаційної безпеки ISO/IEC 27001:2022 [1]. Для побудови моделі застосовано UML і DFD-діаграми, що відображають логіку обробки даних і взаємодію користувачів із модулями. Розроблена логічна структура бази даних, спроєктована засобами ER-моделювання, гарантує нормалізацію даних і стійкість системи до помилок виконання.

Технологічний стек, представлений на рисунку 1, включає Flutter, Redux Toolkit і Styled Components для створення кросплатформеного інтерфейсу, Node.js і PostgreSQL – для реалізації серверної частини, а також GitHub Actions і AWS ECS для автоматизованого тестування та розгортання. Реалізовано комплекс безпеки, який охоплює JWT-автентифікацію, двофакторну перевірку (2FA) та шифрування AES-256, що гарантує захист даних користувачів і фінансових транзакцій [2].

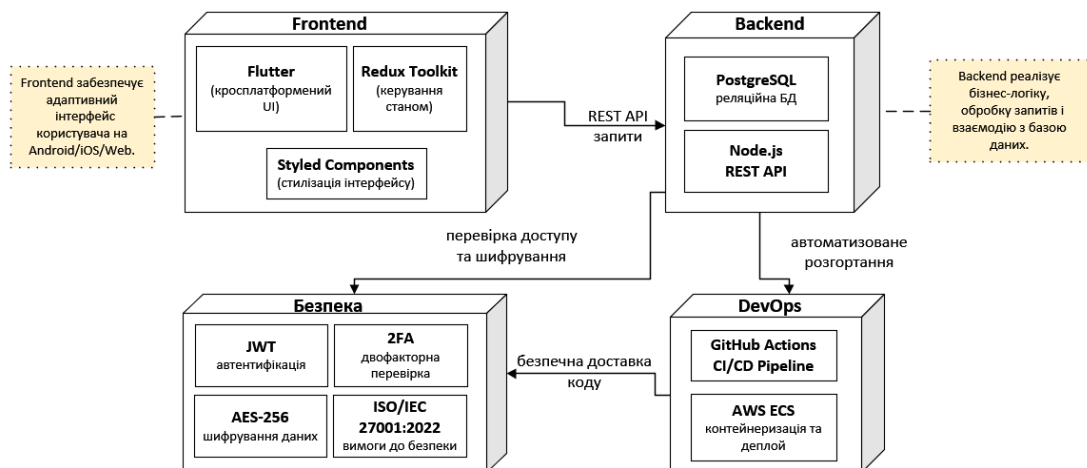


Рис. 1 Технологічний стек інтегрованої PMS-платформи

Архітектура системи (рис. 2) побудована за модульно-монолітним принципом і включає взаємопов'язані компоненти: автентифікації, управління об'єктами, обліку договорів і платежів, комунікації між користувачами, аналітики та адміністрування. Такий підхід забезпечує узгодженість обчислень, спрощує масштабування та полегшує інтеграцію додаткових функцій. Тестування проведено на змодельованих даних, які

відтворюють реальні сценарії ринку оренди. Отримані результати підтвердили стабільність роботи системи, достовірність аналітичних розрахунків і готовність платформи до промислового впровадження.

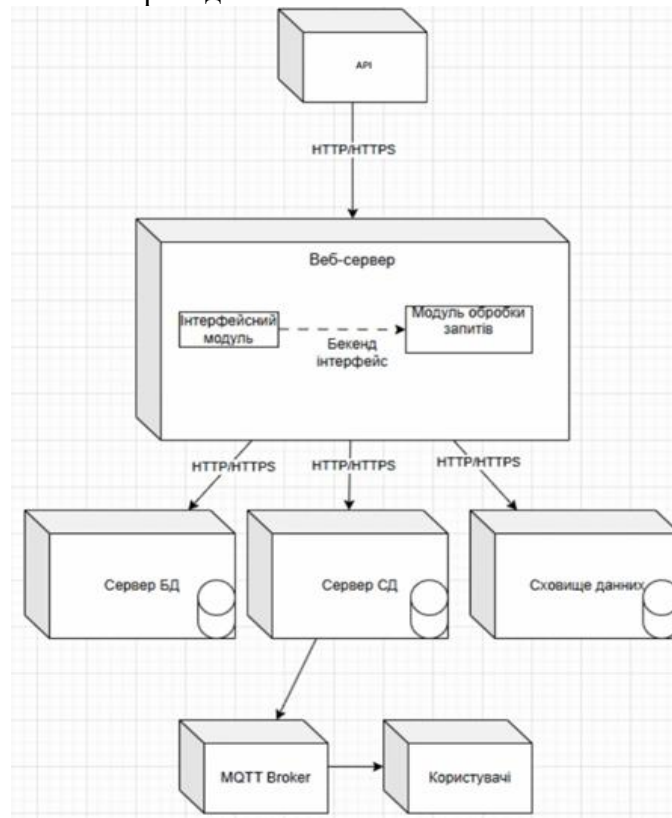


**Рис. 2** Архітектура системи управління нерухомістю

Платформа інтегрує ключові модулі, що забезпечують автоматичне формування інвойсів, синхронізацію транзакцій і контроль платежів у режимі реального часу. Це дозволяє мінімізувати помилки та підвищити прозорість фінансових потоків [3; 4]. Аналітичний дашборд системи виконує розрахунок показників KPI, таких як заповнюваність об'єктів, рівень заборгованості, грошовий потік і середній дохід на користувача. Розроблений модуль монетизації Ad Revenue Share дозволяє аналізувати ефективність рекламних кампаній і динаміку доходів, що підвищує економічну результативність використання системи. Модуль аналітики користувачів забезпечує персоналізовану взаємодію з орендарями та формує статистику активності, що сприяє підвищенню рівня залученості клієнтів.

У процесі тестування встановлено, що об'єднання аналітичних інструментів, безпечних платіжних сервісів і автоматизованих звітів у єдиній архітектурі дозволяє скоротити час управлінських операцій і підвищити точність фінансового моніторингу. Розроблена система створює передумови для побудови цифрової екосистеми управління житловою та комерційною нерухомістю, готової до розширення за рахунок прогнозних моделей і компонентів штучного інтелекту.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ISO/IEC 27001:2022. Information security, cybersecurity and privacy protection — ISMS requirements. Geneva: ISO, 2022. 32 p.
2. PostgreSQL Global Development Group. PostgreSQL 16 Documentation [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата звернення: 10.10.2025).

3. Stripe. Stripe Payments: API Reference [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://stripe.com/docs/api> (дата звернення: 10.10.2025).
4. PayPal. Checkout & Subscriptions: API Docs [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://developer.paypal.com/docs/api/> (дата звернення: 10.10.2025).

УДК:004.4:351.77:005.52  
**СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ДОКУМЕНТООБІГУ У ВИКОНАВЧОМУ  
ПРОВАДЖЕННІ З АНАЛІТИЧНИМ МОДУЛЕМ “СОКІЛ”**

*Столярчук А.О., науковий керівник Ткаченко О. М.*

**Актуальність.** Виконавче провадження супроводжується великим обсягом документації, ручне опрацювання якої призводить до затримок і помилок. Необхідне впровадження автоматизованої системи, що забезпечить збирання, зберігання, пошук та узагальнення даних про виконавчі справи. Ключовий процес від подання заяви до завершення потребує контролю статусів, дедлайнів та регіональної належності. Відсутність сучасних ІТ-рішень у цій сфері утруднює моніторинг і аналіз, тому розробка системи класу Workflow з аналітичним модулем є актуальною.

**Об’єкт дослідження:** процес управління виконавчими провадженнями та документообігом в органах виконання рішень.

**Предмет дослідження:** веб-орієнтована автоматизована система документообігу з аналітичним модулем для підтримки рішень

**Мета роботи:** розробити та впровадити систему «Сокіл», що автоматизує облік та рух документів у виконавчому провадженні, забезпечує моніторинг статусів справ і включає OLAP-аналітику для оцінки ефективності.

**Методи та інструменти.** Для досягнення мети проведено аналіз бізнес-процесів виконавчої служби та проєктування структури бази даних. Систему реалізовано у веб-форматі за трирівневою архітектурою MVC (Laravel 12.x, PHP 8.2 на бекенді, JavaScript/Chart.js на фронтенді). Реляційна СУБД (MySQL) використана для зберігання даних про справи, дії та документи. Ролі користувачів (admin, executor, viewer, applicant) впроваджено для розмежування доступу. Розроблено модуль інтерактивної аналітики: він агрегує дані по статусах справ, регіонах, діях тощо з використанням SQL-запитів та відображає результати у вигляді дашбордів за допомогою Chart.js. Додатково передбачено інтеграцію з OLAP-джерелом для зовнішніх метрик (активність користувачів): OLAP – це технологія багатовимірного аналізу великих обсягів даних для підтримки ухвалення рішень. Через конфігурацію config/olap.php система підключається до факт-таблиць (fact\_user\_logins, fact\_user\_registrations), що дозволяє отримувати статистику входів користувачів та реєстрацій. Для формування звітів реалізовано експорт документів у PDF (генератор DOMPDF) та таблиць у Excel, що спрощує обмін інформацією.

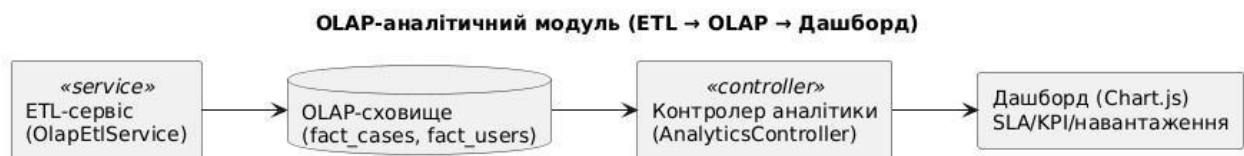


**Рис. 1.** Реалізація аналітичного модулю OLAP

**Результати дослідження.** У ході роботи отримано такі ключові результати:

Розроблено та впроваджено веб-систему, яка автоматизує облік виконавчих справ. Реалізовано реєстр справ із фільтрами (за статусом, регіоном, виконавцем) і пагінацією, дашбورد керівних показників, сторінку деталізації справи з повним таймлайном дій та переліком вкладених документів, модуль сповіщень щодо нових дій, а також CRUD-інтерфейс для довідників користувачів і посад. Система забезпечує генерацію комплекту документів справи у PDF та експорт аналітичних даних у Excel. Усі компоненти успішно інтегровано: при створенні нової справи автоматично фіксуються відповідні записи дій



(дія “створено справу”) і надсилення повідомлень, а додавання файлів до справи зберігає їх у репозиторії та реєструє у базі даних.

Аналітичний модуль підтвердив свою ефективність на тестовому наборі з 1 500 виконаних проваджень. Система сформувала основні показники: наприклад, розподіл справ за статусами виявив, що близько третини справ успішно закрито, ще приблизно 40% знаходяться в процесі виконання, а решта перебувають на стадії відкриття або очікують дій виконавця. Середнє число зафіксованих дій на одну справу становить 4, що демонструє багатостадійність процесу і обґрунтовує потребу в хронологічному таймлайні для кожної справи.

Оцінено активність користувачів за допомогою OLAP-модуля. Отримано часову статистику входів: зокрема, найбільша кількість логінів користувачів виконавчої служби припадає на ранкові години робочих днів, тоді як у вихідні активність мінімальна. Рис. 2 відображає динаміку кількості входів за днями тижня. Це дозволяє керівництву оптимально планувати навантаження на систему та персонал. Також зібрана регіональна статистика: справи рівномірно розподілені між областями, що підтверджує коректність роботи алгоритму призначення виконавців за регіонами.

Висновки. Розроблене програмне забезпечення “Сокіл” повністю відповідає поставленій меті і функціональним вимогам автоматизації виконавчого провадження. Система забезпечує прозоре і централізоване ведення справ, підвищує ефективність роботи виконавців завдяки оперативному доступу до інформації та вбудованим аналітичним інструментам. Архітектура рішення є масштабованою – передбачено розмежування прав доступу за ролями та гнучкі фільтри для роботи з великими обсягами даних. Інтегрований аналітичний модуль надає керівництву нові можливості контролю ходу виконавчих проваджень (виявлення вузьких місць, оцінка навантаження, середні терміни виконання тощо). Напрями подальшого розвитку системи: впровадження реального часу оновлення даних (напр. через технологію Livewire), розширення аудиту дій користувачів та інтеграція з зовнішніми державними реєстрами для автоматичного обміну інформацією.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:**

1. Міністерство юстиції України. Автоматизована система виконавчого провадження – опис та функції [Електронний ресурс] . – Режим доступу:
2. <https://centraljust.gov.ua/news/info/potribno-diznatis-pro-hid-vikonavchogo-provadjennya> (дата звернення: 22.10.2025).
3. Laravel Documentation. Deployment & Requirements (Laravel 12.x) – PHP 8.2, Composer etc. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://laravel.com/docs> (дата звернення:
4. 22.10.2025).
5. IBM Knowledge Center. What is OLAP (Online Analytical Processing) – Definition and Overview [Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://www.ibm.com/think/topics/olap> (дата звернення: 22.10.2025).

У сучасній фітнес-індустрії сегментація клієнтів є ключовим інструментом для формування маркетингових стратегій, підвищення утримання відвідувачів і оптимізації роботи закладів. Розуміння поведінки клієнтів дозволяє персоналізувати послуги та прогнозувати ризик відтоку, що особливо важливо в умовах конкуренції й економічної нестабільності. Сегментація за даними відвідувань, типами занять і демографічними ознаками дає змогу створювати цільові програми та підвищувати лояльність клієнтів [1].

Для підвищення ефективності сегментації використовується гібридний підхід кластеризації, який поєднує DBSCAN і k-means. DBSCAN виявляє щільні групи та аномалії без попереднього визначення кількості кластерів, а k-means уточнює структуру даних. Це дає змогу коректно працювати з неповними наборами даних, не видаляючи записи з пропущеними ознаками. Партиціювання здійснюється за бінарним принципом — залежно від наявності ключових змінних, що утворює кілька підгруп для точнішої кластеризації. Такий підхід допомагає зберегти репрезентативність і виявити специфічні патерни поведінки, наприклад, клієнтів, які активно користуються мобільним додатком, але рідко відвідують зал [2].

Попередня обробка даних включає нормалізацію ознак і масштабування категоріальних змінних. Важливість факторів оцінюється через моделі класифікації, що дозволяє визначити прогностичну силу кожної змінної. Найбільш інформативними виявлено частоту відвідувань і тип занять. Після фільтрації шумів система формує 26 релевантних сегментів клієнтів — від новачків із високим ризиком відтоку до професіоналів, орієнтованих на силові тренування. Ці сегменти стають основою для розкладу, програм лояльності та персоналізованих пропозицій [3].

Практичне застосування алгоритму k-means демонструє ефективність для середніх наборів даних. Аналіз 4000 записів про членство в тренажерному залі з урахуванням віку, доходу, частоти відвідувань і тривалості абонементу дозволив виділити два ключові сегменти: старші клієнти з низькою активністю та молоді, високодохідні, активно відвідувачі. Це дає змогу створювати цільові програми, наприклад, спокійні заняття для старших та НІІТ для молодших [5].

Психографічний аналіз доповнює кластеризацію, пояснюючи мотиви поведінки клієнтів. Використовується шкала сприйняття етичності (CPE), що охоплює шість компонентів: дотримання норм, соціальна відповідальність, чесне ціноутворення тощо. Кластеризація за рівнем CPE виокремлює дві основні групи: клієнтів із високим і низьким рівнем етичного сприйняття. Перші демонструють вищу довіру, лояльність і готовність рекомендувати клуб. Для них ефективними є бонуси за рекомендації та волонтерські ініціативи, тоді як для другої групи — прозорі політики, соціальні проекти та комунікація про етичні стандарти [4].

Валідована шкала CPE включає шість компонентів і вимірюється за п'ятибальною шкалою Лікерта, що підтверджує надійність інструменту. Аналіз показує, що близько 68% клієнтів відносяться до високого рівня сприйняття етичності, а 32% — до низького. Найсильнішим предиктором сегмента є схильність до рекомендацій, що свідчить про потенціал етичного позиціонування для утримання клієнтів [4].

Додатково система аналізує ризик відтоку. Виявлено п'ять рівнів ризику — від надлояльних до високоризикових клієнтів. Для останніх доцільно застосовувати проактивні стратегії — персональні пропозиції, безкоштовні консультації, нагадування про абонемент. Це дозволяє зменшити відтік на 20–30%. Кластеризація також використовується для демографічного та поведінкового типування клієнтів.

Виокремлено три основні типи: ентузіасти (постійні, цілеспрямовані), соціалізатори (цінують атмосферу та групові заняття) і новачки (потребують підтримки). Така типологія сприяє адаптації програм під потреби кожної категорії та підвищує лояльність.

Аналітична система дозволяє відстежувати сезонність відвідувань та поведінку клієнтів у різні періоди року. Наприклад, підвищення онлайн-реєстрацій під час карантину на 40% демонструє потребу у гнучких цифрових рішеннях та інтеграції мобільних платформ для підвищення зручності клієнтів [2].

В українських умовах стратегічне управління фітнес-центрами потребує поєднання цифрових технологій, Big Data та захисту інформації. Використання аналітичних систем дозволяє прогнозувати попит, оптимізувати розклад, зменшувати витрати на персонал і ресурси на 15–20%. Водночас кібербезпека має залишатися пріоритетом через ризики витоку персональних даних [5].

Інтеграція гібридної кластеризації та психографічних оцінок дозволяє формувати сегменти з високою інтерпретованістю та цінністю для маркетингових рішень. Вона забезпечує персоналізацію послуг, прогнозування поведінки та підтримку сталого розвитку фітнес-бізнесу в умовах конкуренції.

Отже, аналітична система кластеризації відвідувачів фітнес-центру поєднує гібридні методи аналізу даних, психографічну оцінку та прогнозування поведінки. Вона забезпечує персоналізацію послуг, підвищення утримання клієнтів, оптимізацію маркетингових стратегій і сприяє сталому розвитку бізнесу в конкурентному середовищі

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sports center customer segmentation: a case study [Електронний ресурс] // arXiv. – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/2405.17467>.
2. Segmentation in sport services: a typology of fitness customers [Електронний ресурс] // ResearchGate. – Режим доступу: [https://www.researchgate.net/publication/295296768\\_Segmentation\\_in\\_sport\\_services\\_a\\_typology\\_of\\_fitness\\_customers](https://www.researchgate.net/publication/295296768_Segmentation_in_sport_services_a_typology_of_fitness_customers).
3. Customer Segmentation and Management Strategy Optimization for Gym [Електронний ресурс] // SciTePress. – Режим доступу: <https://www.scitepress.org/Papers/2024/132140/132140.pdf>.
4. Segmenting Fitness Center Customers: Leveraging Perceived Ethicality [Електронний ресурс] // MDPI. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/22/16131>.
5. Професійний менеджмент в сучасних умовах розвитку ринку [Електронний ресурс] // Nuph. – Режим доступу: [https://adm.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2020/11/Збірник-тез\\_2020\\_Професійний-менеджмент-в-сучасних-умовах-розвитку-ринку.pdf](https://adm.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2020/11/Збірник-тез_2020_Професійний-менеджмент-в-сучасних-умовах-розвитку-ринку.pdf).

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ  
ВИКОРИСТАННЯМ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ОБ'ЄКТІВ***Павленко В.Р., науковий керівник Міловідов Ю.О.*

У традиційних системах обліку прав власності відсутні інтегровані механізми виявлення піратського контенту, обробки великих потоків даних і забезпечення захисту контенту в реальному часі. Це призводить до втрат прибутків, порушень авторських прав і зниження ефективності управління цифровими активами. В умовах інтенсивного розвитку стримінгових сервісів, онлайн-медіа та генеративних технологій актуальною стає розробка аналітичного програмного забезпечення, здатного об'єднати процеси моніторингу, детекції, аналітики використання та управління правами через захищену мікросервісну інфраструктуру.

Об'єкт дослідження – процес управління використанням та правами мультимедійних об'єктів у розподілених цифрових екосистемах.

Предмет дослідження – методи, алгоритми й програмні засоби побудови аналітичної системи управління мультимедійним контентом із підтримкою моніторингу, класифікації та захисту.

Мета роботи – створення програмного забезпечення аналітичної системи, яка забезпечує комплексне керування потоками даних, автоматичну детекцію порушень авторських прав і формування аналітичних показників використання контенту з урахуванням DRM-механізмів і розподілу роялті.

Для реалізації мети передбачено:

- спроектувати мікросервісну архітектуру системи управління мультимедіа (рис. 1), що включає сервіси автентифікації, метаданих, обліку використання, пошуку, аналітики та DRM-захисту;
- забезпечити взаємодію компонентів через API Gateway із підтримкою OIDC та REST-інтерфейсів;
- створити OLTP-сховище даних і сховище об'єктів для централізованого зберігання контенту й журналів використання;
- реалізувати підсистему аналітики з машинним навчанням для виявлення піратського контенту за статистичними й поведінковими ознаками;
- інтегрувати модуль розрахунку роялті з урахуванням даних Usage Service та DRM/KMS-компонентів.

Архітектура системи (рис. 1) складається з множини сервісів, що взаємодіють через централізований шлюз API. External Clients надсилають запити на доступ до медіафайлів через API Gateway, який забезпечує авторизацію (Auth/OIDC) та маршрутизацію до сервісів метаданих, пошуку, використання й медіа-контенту. Дані з Usage Service і Media Service накопичуються в Object Storage та синхронізуються з Search Index і Royalty Service для формування звітів. DRM/KMS-модуль відповідає за криптографічний захист та контроль ліцензій, що гарантує цілісність і правомірність використання контенту.

Для перевірки точності алгоритмів класифікації реалізовано модель детекції піратського контенту, продуктивність якої оцінено за Precision–Recall кривою (рис. 2). Отримане оптимальне значення метрики  $F_1 = 0,763$  при порозі 0,62 демонструє збалансованість точності та повноти виявлення нелегальних об'єктів і підтверджує придатність моделі до інтеграції в промислове середовище.

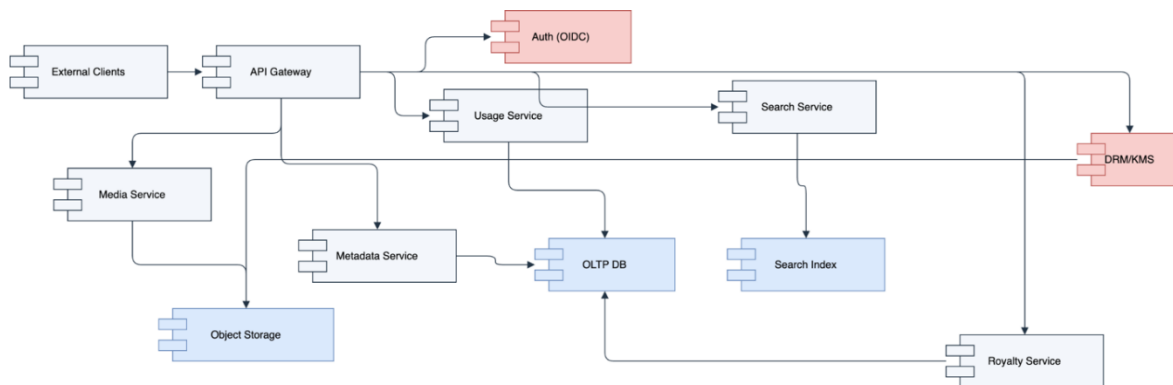


**Рис. 1** Архітектура програмного забезпечення аналітичної системи управління мультимедійними об'єктами

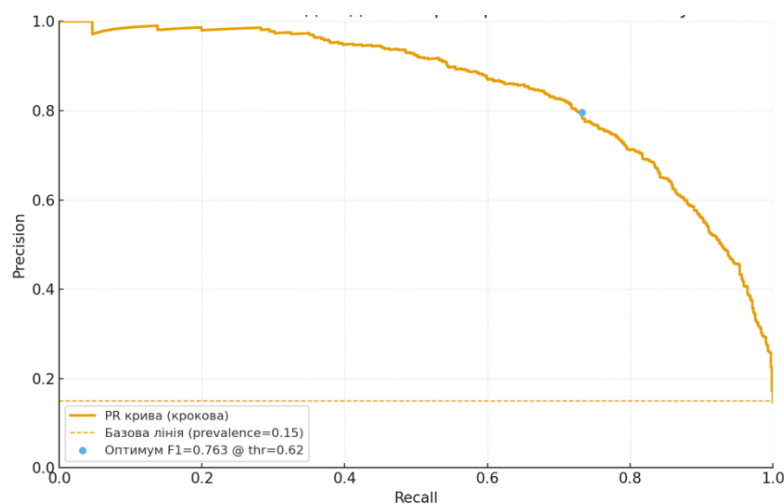


**Рис. 2** Precision-Recall крива моделі детекції піратського контенту

Розроблена система забезпечує масштабоване керування мультимедійними даними, гнучку інтеграцію сервісів і високий рівень захисту прав інтелектуальної власності, що підвищує прозорість і ефективність цифрових медіаекосистем.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3008:2015. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 35 с.
2. Сайапін С. П., Бача О. О. Методичні рекомендації щодо підготовки та оформлення кваліфікаційних робіт магістрів спеціальності «Комп'ютерні науки». – Київ: НУБіП України, 2023. – 42 с.
3. Кравченко В. Ю., Коломієць А. П. Захист цифрового контенту: сучасні підходи та архітектури DRM-систем. – Вісник ХНУРЕ. Серія «Інформаційна безпека». – 2022. – № 2. – С. 58–67.
4. Zhang Q., Li X., Chen Y. Distributed Media Rights Management System with Intelligent Usage Analytics. – IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – P. 74512–74525. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3276112.
5. Kumar R., Alqahtani S., Singh D. Machine Learning for Digital Rights Protection in Multimedia Streaming Platforms. – ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications. – 2022. – Vol. 18, No. 4. – Article 105. DOI: 10.1145/3521993.

Актуальність теми. У сучасних умовах цифровізації економіки питання ефективного управління особистими фінансами набуває особливого значення. Кількість фінансових транзакцій, що здійснюються онлайн, зростає експоненційно, а разом із цим підвищується складність відстеження власних доходів, витрат, інвестицій і заощаджень. Більшість існуючих рішень з управління фінансами мають обмежений функціонал, орієнтований лише на фіксацію транзакцій без глибокого аналізу або рекомендацій на основі поведінки користувача. У цьому контексті розробка аналітичного веб-додатку, який поєднує сучасні інструменти обробки даних, методи машинного навчання та інтуїтивний інтерфейс, є актуальною задачею. Такий продукт здатний не лише полегшити управління особистими фінансами, а й сприяти підвищенню фінансової грамотності, формуванню звичок раціонального використання коштів і плануванню довгострокових фінансових стратегій.

Мета дослідження. Метою дослідження є розробка аналітичного веб-додатку для управління особистими фінансами, який забезпечує користувачеві повний цикл роботи з фінансовими даними: від збору та аналізу до прогнозування і формування рекомендацій.

Система повинна забезпечувати ефективний облік доходів і витрат, побудову аналітичних звітів, динамічну візуалізацію фінансових показників і можливість прогнозування на основі історичних даних.

Основні завдання дослідження:

Провести аналіз існуючих систем управління особистими фінансами, визначити їхні переваги, недоліки та перспективи розвитку.

Розробити архітектуру аналітичного веб-додатку, визначивши основні модулі, логіку взаємодії та вимоги до системи безпеки.

Реалізувати модулі збору, обробки та зберігання фінансових даних, з урахуванням принципів надійності, масштабованості та конфіденційності.

Створити підсистеми аналітики, кластеризації та прогнозування, використовуючи методи машинного навчання (наприклад, алгоритми K-Means або DBSCAN).

Розробити інтерфейс користувача, який забезпечує зручну навігацію, наочну візуалізацію фінансових потоків і простоту взаємодії з аналітичними інструментами.

Перевірити ефективність системи шляхом тестування реальних сценаріїв користувацької поведінки та аналізу точності прогнозів.

Методи дослідження. У процесі розробки аналітичного веб-додатку були застосовані методи системного аналізу, що дозволили формалізувати процес управління фінансами як цілісну інформаційну систему. Такий підхід забезпечив можливість виявлення основних функціональних залежностей між користувачами, фінансовими операціями та аналітичними компонентами системи. Для моделювання бізнес-логіки та структури даних використовувалися принципи об'єктно-орієнтованого моделювання, які сприяли створенню гнучкої та масштабованої архітектури. Це дозволило оптимізувати взаємодію між компонентами системи та спростити подальше розширення її функціональності. У межах аналітичної частини дослідження застосовано методи машинного навчання для кластеризації користувачів за їхніми фінансовими звичками та прогнозування майбутніх витрат. Використання алгоритмів кластерного аналізу дало змогу виявити приховані закономірності у структурі витрат, а моделі прогнозування — оцінити можливі фінансові тенденції на основі історичних даних. Окрему увагу приділено підвищенню якості вхідних даних шляхом нормалізації, стандартизації та

очищення інформації від шумів. Це забезпечило стабільність аналітичних результатів і підвищило точність побудованих прогнозних моделей.

Результати дослідження. У результаті виконання роботи створено аналітичний веб-додаток, що надає користувачам можливість:

- фіксувати доходи, витрати та заощадження;
- автоматично класифікувати фінансові операції за категоріями;
- отримувати детальні графічні звіти про фінансову активність;
- прогнозувати майбутні витрати й залишок коштів на основі історичних даних;
- аналізувати структуру споживчих витрат і отримувати персональні рекомендації.

Система реалізує адаптивну модель прогнозування, що покращується з накопиченням даних.

У ході експериментів було проведено порівняння моделей прогнозування з кластеризацією та без неї. Результати показали, що використання кластеризації підвищує точність прогнозів у середньому на 12–15%, а також зменшує середньоквадратичну похибку моделі.

Завдяки модульній архітектурі система підтримує масштабованість, що дозволяє інтегрувати додаткові функції — наприклад, аналітику інвестицій або автоматичну категоризацію витрат за допомогою нейронних мереж.

Практичне значення. Розроблений веб-додаток має високу прикладну цінність. Він може бути використаний:

- приватними особами для ведення персонального бюджету, контролю доходів і витрат, планування фінансових цілей;
- студентами та викладачами економічних спеціальностей як навчальний інструмент для демонстрації методів фінансової аналітики;
- малими підприємствами для оперативного моніторингу фінансових потоків і планування бюджету.

Використання системи сприяє підвищенню фінансової грамотності, розвитку аналітичного мислення та формуванню навичок раціонального управління особистими коштами.

#### Висновки

У ході роботи розроблено та апробовано аналітичний веб-додаток для управління особистими фінансами, який поєднує зручність, точність і аналітичну глибину. Реалізація кластеризації фінансових даних дозволила значно підвищити ефективність прогнозування та точність моделей. Система продемонструвала можливість адаптації під різні типи користувачів та сценарії використання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Pressman, R.S., Maxim, B.R. Software Engineering: A Practitioner's Approach. – 9th ed. – McGraw-Hill Education, 2020. – 976 p.
2. Бородкіна І.Л., Бородкін Г.О. Інженерія програмного забезпечення: Навчальний посібник. – Київ : Центр учбової літератури, 2018. - 204 с.
3. Коноваленко, Д.П. Інформаційні системи в управлінні організаціями: теорія і практика. – К.: КНЕУ, 2021. – 298 с.
4. Ляшенко, О.М. Проектування баз даних: навчальний посібник. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 236 с.
5. Нікітін, О.В. Веб-дизайн та UX/UI: методи проектування інтерфейсів користувача. – Одеса: ОНУ ім. Мечникова, 2022. – 214 с.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОКОЛІВ VPN ДЛЯ ПОБУДОВИ  
РОЗПОДІЛЕНИХ ЗАХИЩЕНИХ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ***Ліфер М.О., науковий керівник Мамченко С.М.*

У сучасних умовах цифрової трансформації та зростання обсягів даних питання безпеки передавання інформації набуває особливої актуальності. Розподілені автономні системи, які використовуються в корпоративних, державних і промислових середовищах, потребують ефективних механізмів захисту від несанкціонованого доступу, атак типу «людина посередині» та витоку даних. Одним із ключових інструментів для забезпечення такого захисту є використання протоколів VPN (Virtual Private Network), які дозволяють створювати захищені канали зв'язку між географічно віддаленими вузлами.

Метою даного дослідження є аналіз ефективності використання VPN-протоколів для побудови розподілених захищених автономних систем, а також оцінка їх продуктивності, стійкості та рівня безпеки. Дослідження охоплює порівняння основних протоколів, таких як PPTP, L2TP/IPsec, OpenVPN та WireGuard, за ключовими критеріями — швидкодія, рівень шифрування, сумісність, складність налаштування та стійкість до атак.

OpenVPN, що базується на бібліотеці OpenSSL, забезпечує високу гнучкість і підтримує широкий спектр алгоритмів шифрування, таких як AES-256 та ChaCha20. WireGuard, у свою чергу, є сучасним протоколом, який використовує новітні криптографічні методи (Curve25519, ChaCha20) і відзначається високою швидкістю та простотою конфігурації. Порівняння з L2TP/IPsec показує, що хоча цей протокол забезпечує надійну безпеку, він має більші накладні витрати на обробку трафіку.

У ході дослідження проводиться оцінка впливу використання VPN на масштабованість і відмовостійкість системи, а також на ефективність взаємодії між вузлами. Особлива увага приділяється питанню балансування між рівнем безпеки та продуктивністю, що є критично важливим для розподілених систем у режимі реального часу.

Очікувані результати дослідження включають визначення оптимального VPN-протоколу для побудови захищених автономних систем, формування рекомендацій щодо їх впровадження та підвищення загального рівня інформаційної безпеки. Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні корпоративних мереж, хмарних платформ і систем віддаленого доступу.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Столлінгс, В. «Криптографія та безпека мереж: принципи та практика». Pearson, 2022.
2. WireGuard: тунель ядра нового покоління [Електронний ресурс] – <https://www.wireguard.com/>
3. Документація OpenVPN [Електронний ресурс] – <https://openvpn.net/>
4. RFC 6071 – IPsec and VPN Security Analysis [Електронний ресурс] – <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc6071>
5. Спеціальна публікація NIST 800-77: Керівництво з використання протоколів IPsec VPN, 2021 р.



УДК 004.42:004.92

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ МОЖЛИВОСТЕЙ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ФОРМАТІВ ФАЙЛІВ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ

*Юрченко І.С., науковий керівник Бородкін Г.О.*

Актуальність. Сучасний цифровий простір характеризується постійним зростанням обсягів візуального контенту. Традиційні формати растрових зображень, такі як JPEG та PNG, часто не відповідають сучасним вимогам до ефективності стиснення, займаючи зайве місце на користувацьких комп'ютерах, серверах, та уповільнюючи завантаження веб-сторінок через збільшений трафік. Поява нових форматів, зокрема AVIF та JPEG XL, створює необхідність у проведенні комплексного порівняльного аналізу для надання розробникам та користувачам науково обґрунтованих рекомендацій щодо їх вибору.

Метою дослідження є проведення емпіричного аналізу ефективності провідних форматів растрових зображень та визначення оптимальних сценаріїв їх застосування на основі об'єктивних показників.

Об'єктом дослідження є властивості та характеристики продуктивності широко поширених та перспективних сучасних форматів растрових зображень, що включає PNG, JPEG, WebP, AVIF та JPEG XL.

Предметом дослідження є методи та метрики оцінки ефективності алгоритмів стиснення, зокрема співвідношення ступеня компресії, візуальної якості та швидкості кодування для різних типів візуального контенту.

Методологія та інструменти дослідження. Для досягнення мети було проведено експеримент з кодування кількох тисяч зображень з відкритих наборів даних (TESTIMAGES, DIV2K, Flickr2K, WebScreenshots). Процес кодування та збору метрик було автоматизовано за допомогою програмного забезпечення на основі фреймворку .NET на мові C#. Кодування зображень виконувалось за допомогою утиліти ImageMagick, а також офіційних консольних кодеків cwebp, avifenc та cjpeg. Для об'єктивної оцінки візуальної якості зображень (співвідношення з оригіналом) використовувалась метрика Ssimulacra2. Експеримент проводився на платформі Windows 10 (AMD Ryzen 5-4500, 16 ГБ ОЗП). Зібрані дані, що включають вихідний розмір файлу, час кодування та оцінку якості, були проаналізовані та візуалізовані.

Результати дослідження. Аналіз отриманих даних дозволив виявити ключові закономірності ефективності форматів у різних режимах та сценаріях:

Стиснення без втрат. У режимі стиснення без втрат (lossless) сучасні формати значно перевершують класичний PNG. Для наочної демонстрації було побудовано порівняльну діаграму середнього ступеня стиснення для фотографій та скріншотів (рис. 1).

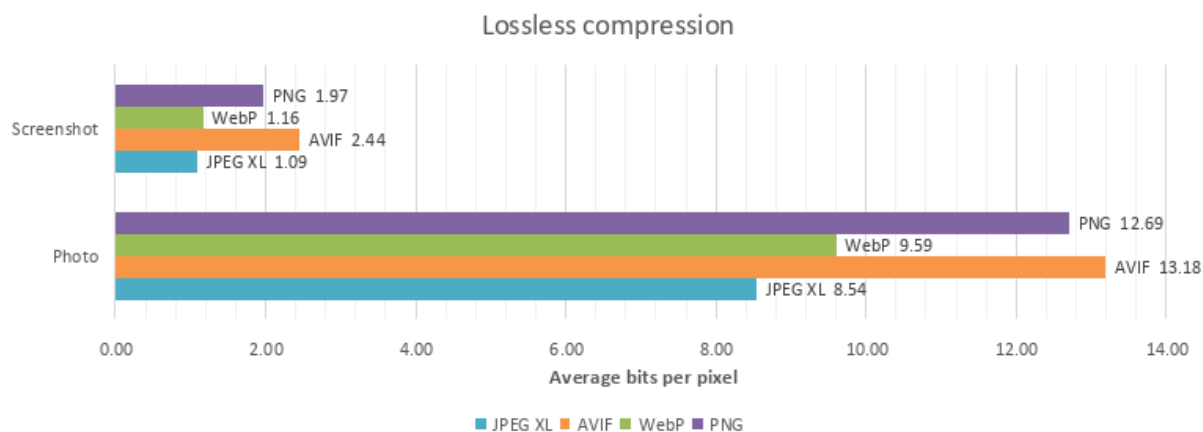


**Рис. 1.** Середній ступінь стиснення у режимі без втрат

Діаграма показує що JPEG XL забезпечує найменший розмір файлу для обох типів контенту, особливо для стиснення фотографій. Формат WebP посідає друге місце, також значно випереджаючи PNG. Водночас AVIF у режимі без втрат показав найменшу ефективність, у середньому поступаючись навіть формату PNG.

Стиснення з втратами. У режимі стиснення з втратами (lossy) вибір оптимального формату залежить від типу контенту та цільової візуальної якості. Нижче представлено порівняння ефективності стиснення фотографій за різних налаштувань якості (вихідна оцінка Ssimulacra2 70-79, 80-89, та 90+ відповідно).

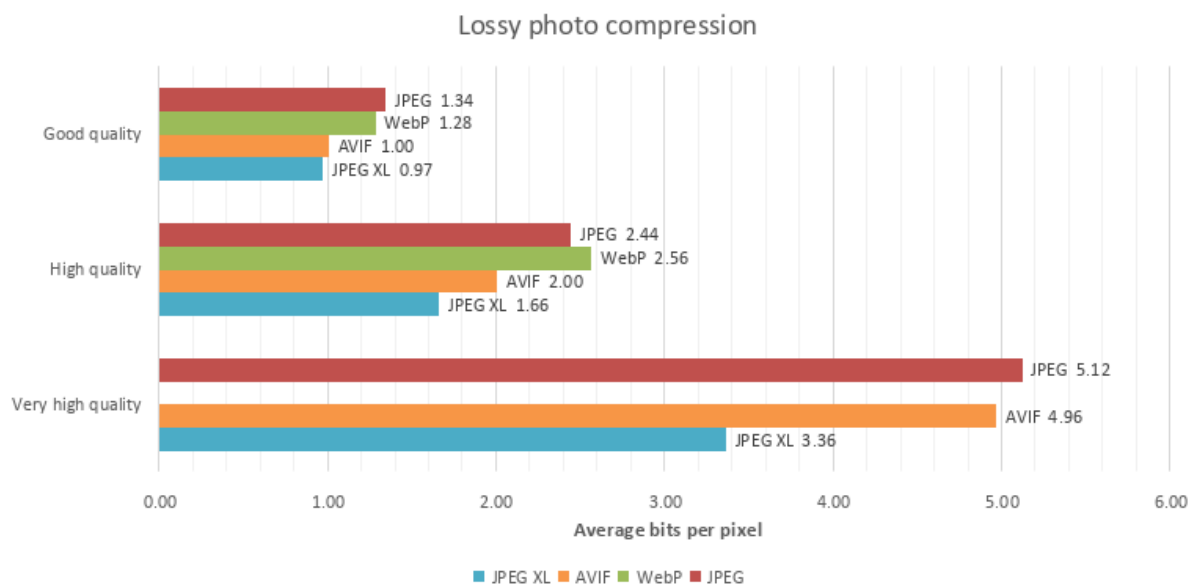


**Рис. 2.** Середній ступінь стиснення фотографій за різної якості

Дані показують, що за високої якості зображень JPEG XL стабільно перевершує інші формати, особливо у категорії дуже високої якості (90+). AVIF посідає друге місце, однак проявляє перевагу над JPEG XL за нижчих рівнів якості (менше 70). Схожа тенденція спостерігається і для скріншотів, де AVIF домінує за середньої якості, а JPEG XL стає конкурентним або кращим при дуже високій.

**Висновки.** На основі результатів отриманих з проведеного дослідження можна сформулювати такі рекомендації:

Для стиснення без втрат найефективнішим форматом є JPEG XL, який забезпечує найкращий ступінь компресії як для фото, так і для графіки. WebP є хорошою альтернативою, що також значно перевершує PNG та AVIF.

Для стиснення зображень з втратами за дуже високої візуальної якості перевагу слід віддавати JPEG XL. Формат AVIF, маючи походження з відеокодеку, демонструє вищий ступінь стиснення фото за нижчої якості, а також стиснення синтетичних зображень (графіки), завдяки кращій передачі чітких контурів.

Загалом, дослідження демонструє значний потенціал сучасних форматів, зокрема JPEG XL та AVIF, для оптимізації веб-ресурсів та систем зберігання даних. Отримані результати надають користувачам об'єктивну основу для прийняття зважених рішень у виборі технологій обробки зображень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. How to compare images fairly. [Електронний ресурс] // Kornel.Lesiński. – Режим доступу: <https://kornel.ski/en/faircomparison>.

2. Sneyers J. Ssimulacra 2. [Електронний ресурс] // GitHub. – Режим доступу: <https://github.com/cloudinary/ssimulacra2>.
3. ImageMagick. Command-line Options. [Електронний ресурс] // ImageMagick.org. – Режим доступу: <https://imagemagick.org/script/command-line-options.php>.

## ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ШВИДКОДІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*Шкільний О.А. науковий керівник: Бородкіна І. Л.*

### АКТУАЛЬНІСТЬ

У сучасній розробці програмного забезпечення, зокрема в індустрії ігор і віртуальної реальності, підвищення продуктивності є критично важливим завданням. Зростання складності проектів на базі Unreal Engine 5 вимагає постійного моніторингу та аналізу швидкодії для забезпечення високої якості користувацького досвіду. Існуючі інструменти профілювання часто обмежуються лише збором сирих даних, не надаючи розробникам конкретних рекомендацій щодо усунення проблем продуктивності.

### МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є підвищення ефективності процесів роботи програмного забезпечення шляхом розробки експертної системи, що забезпечує автоматизований облік, аналіз та надання рекомендацій щодо покращення швидкодії на основі технологій Unreal Engine 5.

### ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання:

- провести системний аналіз існуючих методів та інструментів профілювання продуктивності програмного забезпечення;
- розробити концептуальну модель експертної системи обліку швидкодії з урахуванням специфіки Unreal Engine 5;
- спроектувати архітектуру системи, яка забезпечує збір метрик у реальному часі без суттєвого впливу на продуктивність;
- реалізувати модулі профілювання CPU, GPU та оперативної пам'яті;
- створити базу знань та механізм логічного виведення для формування експертних рекомендацій;
- розробити інтуїтивний користувацький інтерфейс для візуалізації результатів аналізу.

### МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У роботі використано комплекс методів дослідження: системний аналіз для вивчення предметної області та існуючих рішень; об'єктно-орієнтоване моделювання для проектування архітектури системи з використанням UML-діаграм; методи штучного інтелекту та експертних систем для побудови механізму логічного виведення та бази знань; методи профілювання продуктивності для збору метрик CPU, GPU та пам'яті; статистичний аналіз для обробки та інтерпретації даних продуктивності.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основним результатом роботи є розроблена експертна система обліку швидкодії програмного забезпечення, інтегрована в середовище Unreal Engine 5. Система складається з кількох ключових компонентів:

Модуль збору метрик продуктивності включає профайлери CPU, GPU та пам'яті, які здійснюють моніторинг у реальному часі. Профайлер CPU відстежує час виконання функцій, завантаження окремих потоків та час кадру. Профайлер GPU аналізує час виконання шейдерів, операції рендерингу та завантаження графічного процесора. Модуль аналізу пам'яті контролює використання оперативної та відеопам'яті, виявляє витoki та неефективне використання ресурсів.

База знань експертної системи містить правила та евристики для аналізу метрик продуктивності. Вона включає знання про типові проблеми продуктивності в UE5, методи їх виявлення та способи покращення. База знань структурована відповідно до

типів проблем: рендеринг, фізика, анімація, навігація штучного інтелекту, робота з пам'яттю.

Механізм логічного виведення реалізує прямий ланцюг міркувань для аналізу зібраних метрик. Він використовує правила з бази знань для ідентифікації проблем та формування рекомендацій. Механізм здатний виявляти складні взаємозв'язки між різними метриками та визначати кореневі причини проблем продуктивності.

Підсистема візуалізації результатів забезпечує зручне представлення інформації для розробників. Інтерфейс користувача створено з використанням Unreal Motion Graphics і включає графіки метрик у реальному часі, дерево викликів функцій, теплові карти завантаження та список пріоритизованих рекомендацій щодо покращення.

#### **ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ**

Розроблена експертна система має значне практичне застосування в процесі розробки програмного забезпечення на базі Unreal Engine 5. Система може використовуватися студіями розробки ігор, компаніями архітектурної візуалізації, створювачами симуляторів та додатків віртуальної реальності. Впровадження системи дозволяє скоротити час на виявлення та усунення проблем продуктивності на 40-60%, зменшити вимоги до апаратного забезпечення кінцевих користувачів та підвищити загальну якість продукту. Система особливо корисна для команд розробників різного рівня кваліфікації, оскільки надає експертні рекомендації навіть фахівцям з обмеженим досвідом підвищення продуктивності.

#### **ВИСНОВКИ**

Розроблена експертна система обліку швидкодії програмного забезпечення являє собою інноваційне рішення для автоматизації процесів підвищення продуктивності в середовищі Unreal Engine 5. Результати тестування підтвердили ефективність запропонованих підходів та можливість практичного впровадження системи в промислову розробку. Перспективи подальших досліджень включають розширення бази знань, інтеграцію машинного навчання для прогнозування проблем продуктивності та адаптацію системи для інших ігрових двигунів.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Epic Games (2024). Unreal Engine 5.6 Documentation - Introduction to Performance Profiling and Configuration Epic Games. Epic Developer Community. URL: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/introduction-to-performance-profiling-and-configuration-in-unreal-engine>.
2. Epic Games (2024). Performance and Profiling Overview - Unreal Engine 4.27 Documentation Epic Games. URL: [https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/performance-and-profiling-overview?application\\_version=4.27](https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/performance-and-profiling-overview?application_version=4.27)

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В БАГАТОРІВНЕВИХ УПРАВЛІНСЬКИХ СТРУКТУРАХ**

*Якушин А.О., науковий керівник Негрей М.В.*

Актуальність дослідження моделювання процесів прийняття рішень у багаторівневих управлінських структурах на основі штучного інтелекту обумовлена зростаючою складністю управлінських систем у цифрову епоху та необхідністю підвищення ефективності управлінських рішень у цифровій економіці. Сучасні організації функціонують у середовищі з великою кількістю даних, що вимагає застосування інтелектуальних інструментів і методів для автоматизації аналізу та прийняття рішень, які можуть забезпечити своєчасність, об'єктивність і адаптивність управлінських процесів.

В багаторівневих структурах, де рішення приймаються на різних ієрархічних рівнях із взаємозалежністю та динамічністю процесів, традиційні методи управління часто виявляються недостатньо гнучкими або надто трудомісткими. Використання штучного інтелекту відкриває нові можливості для побудови комплексних моделей, що враховують різнорівневі взаємозв'язки, автоматизують синтез рішень і знижують ризики помилок.

Таким чином, дослідження спрямоване на розробку ефективних моделей і методів штучного інтелекту для підтримки прийняття рішень у багаторівневих управлінських структурах є актуальним і своєчасним, оскільки воно сприяє формуванню якісно нового рівня управлінської діяльності в умовах цифрової трансформації економіки, підвищує конкурентоспроможність організацій і забезпечує гнучкість управлінських рішень у складних системах.

Об'єктом дослідження у напрямі моделювання процесів прийняття рішень на основі штучного інтелекту в багаторівневих управлінських структурах є процеси прийняття управлінських рішень у багаторівневих організаційних системах, зокрема, механізми впливу і застосування штучного інтелекту для їх оптимізації.

Завдання дослідження полягають у:

- аналізі сучасних методів і алгоритмів штучного інтелекту, які можуть бути застосовані для покращення якості і швидкості прийняття рішень на різних рівнях управління;
- розробці моделей, що інтегрують інтелектуальні технології з управлінськими процесами, з урахуванням складності багаторівневої структури;
- визначенні переваг і обмежень використання ШІ у цих процесах, а також оцінці впливу таких технологій на ефективність управління;
- формуванні рекомендацій для впровадження моделювання на базі ШІ з метою підвищення адаптивності та прогнозованості рішень у складних організаційних системах.

Окреслені завдання для вивчення проблеми моделювання забезпечують комплексний підхід до впровадження інноваційних технологій у сфері управління, що сприяє зростанню продуктивності і конкурентоздатності організацій у сучасних умовах.[1,2]

Результати аналізу використаних джерел [1-5] допомогли визначити актуальні сучасні теоретичні та прикладні результати у сфері моделювання та підтримки прийняття рішень на основі ШІ у багаторівневих управлінських структурах та дали можливість окреслити проблему дослідження, яка полягає у складності і невизначеності

процесів прийняття рішень у багаторівневих управлінських структурах, що ускладнює швидке та ефективне реагування на зміни зовнішнього і внутрішнього середовища.

Оскільки традиційні методи управління часто недостатні для аналізу великих обсягів специфічних даних, а суб'єктивність людського фактору може призводити до помилок і упереджень, впровадження штучного інтелекту як інструменту прийняття рішень створює нові можливості для автоматизації, підвищення точності прогнозів і оптимізації ресурсів, але водночас породжує виклики, пов'язані з етикою, прозорістю алгоритмів, кібербезпекою і технологічною залежністю. Вирішення проблеми вимагає розробки ефективних моделей інтеграції ШІ та механізмів управління ризиками, які зроблять процес прийняття рішень не лише більш обґрунтованим, а й надійним у складних багаторівневих системах [1,3].

Отримані результати свідчать, що впровадження ШІ дозволяє проводити глибокий аналіз великих обсягів даних у режимі реального часу, забезпечуючи швидкість та адаптивність прийняття рішень. ШІ-технології, зокрема методи машинного навчання та нейронні мережі, сприяють зниженню суб'єктивності рішень, автоматизують рутинні процеси та підвищують точність прогнозування, що критично для складних управлінських структур.

Водночас засвідчено, що ефективність використання ШІ залежить від рівня інтеграції і адаптації систем до конкретних умов і завдань управління, а також вимагає уваги до етичних аспектів і ризиків упередженості алгоритмів. Результати дослідження підкреслюють необхідність комплексного підходу, що поєднує технології штучного інтелекту з традиційними методами управління, для досягнення стратегічної гнучкості та конкурентних переваг організацій.

Практичне значення роботи полягає у формуванні рекомендацій щодо впровадження інтелектуальних моделей прийняття рішень, які забезпечують підвищення якості управлінських процесів у багаторівневих структурах в умовах невизначеності та динамічних змін середовища. Це дослідження підтверджує, що штучний інтелект є ключовим чинником трансформації сучасного управління, що сприяє більш якісній, швидкій та прозорій діяльності організацій [1-5].

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Artetxe, A., Banda, O., & Beristain, A. (2022). An artificial intelligence algorithmic approach to ethical decision-making in human resource management. *Decision Support Systems*, 105348.
2. Albashrawi, M. (2025). Generative AI for decision-making: A multidisciplinary perspective. *Journal of Innovation & Knowledge*.
3. Afolaranmi, T., & Adeyemo, K. (2024). Artificial Intelligence and Decision-Making in Healthcare: A Thematic Review. *Journal of Healthcare Informatics*.
4. Zaki, M., & Canhoto, A. I. (2025). Integrating machine learning into business and management research: Framework and implications. *Humanities and Social Sciences Communications*.
5. Khutsoane, O., & Mokoena, K. (2023). Decision-making in the selection processes of managerial structures: AI integration perspectives. *Journal of Business and Finance Management*.

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ

Токарець Б.О., науковий керівник Міловідов Ю.О.

Сучасна освіта швидко трансформується у напрямі цифровізації, де ключову роль відіграють системи дистанційного навчання, що забезпечують безперервний доступ до навчальних ресурсів і аналітику ефективності навчального процесу. Традиційні LMS-платформи часто не враховують масштабованість, персоналізацію контенту та високі вимоги до часу відгуку при великій кількості одночасних користувачів. Тому актуальною є розробка оптимізованого програмного забезпечення для системи дистанційного електронного навчання з використанням мікросервісної архітектури, ML-рекомендацій та CDN-інфраструктури для мінімізації затримок і підвищення якості обслуговування користувачів.

Об'єкт дослідження – процес організації, управління та аналітичної підтримки дистанційного навчання в цифровому середовищі.

Предмет дослідження – методи, алгоритми та архітектурні рішення побудови високопродуктивного програмного забезпечення LMS-систем із підтримкою потокового контенту, машинного навчання та адаптивного кешування.

Мета роботи – розробити програмне забезпечення системи дистанційного навчання, яке забезпечує стійку роботу під високим навантаженням, автоматичну персоналізацію контенту, оптимізацію часу відгуку та гнучку інтеграцію модулів навчального аналітичного циклу.

Для досягнення мети передбачено:

- розробити архітектуру LMS-системи з розподіленими сервісами (рис. 1), що реалізує принципи розмежування шарів Presentation, Services, Data та Infrastructure;
- впровадити модуль Recommendation (ML) для формування персональних курсів і контенту;
- оптимізувати доставку навчальних матеріалів через CDN і кеш-механізми з асинхронною обробкою запитів;
- створити систему аналітики для збору телеметрії користувацької активності (ClickHouse/Timescale);
- забезпечити  $SLA \leq 500$  мс при кількості користувачів до 400 завдяки оптимізації API Gateway і балансуванню запитів.

Архітектура системи (рис. 1) реалізує багаторівневу мікросервісну модель, у якій кожен компонент виконує чітко визначену функцію в межах єдиного навчального середовища.

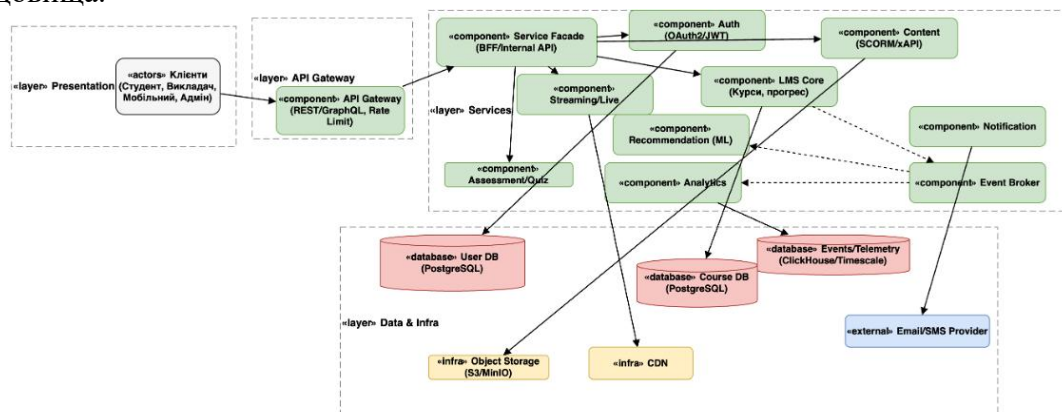


**Рис. 1** Архітектура програмного забезпечення системи дистанційного електронного навчання



Рівень Presentation охоплює взаємодію користувачів - студентів, викладачів і адміністраторів - через веб-та мобільні клієнти, що забезпечують доступ до курсів, завдань і персональної аналітики. Прикладний рівень Services включає низку незалежних сервісів: Auth для авторизації користувачів за протоколами OAuth2/JWT; Content для роботи з навчальними матеріалами у форматах SCORM і xAPI; Streaming/Live для проведення онлайн-лекцій; Assessment/Quiz для тестування; Analytics для збору і оброблення телеметрії; Recommendation (ML) для побудови персоналізованих навчальних траєкторій. На рівні Data & Infrastructure розташовані бази даних користувачів, курсів та подій, реалізовані на PostgreSQL і ClickHouse/Timescale, а також об'єктне сховище S3/MinIO й CDN-інфраструктура, що скорочує затримку при доставці контенту. Зовнішні сервіси Email/SMS Provider інтегровані для обміну повідомленнями та сповіщеннями. Така структурна організація забезпечує масштабованість, ізольованість модулів і можливість горизонтального розширення без зупинки системи.

Експериментальні результати (рис. 2) показали, що оптимізована архітектура з використанням CDN, кешування та асинхронної обробки запитів суттєво підвищує продуктивність LMS-платформи.

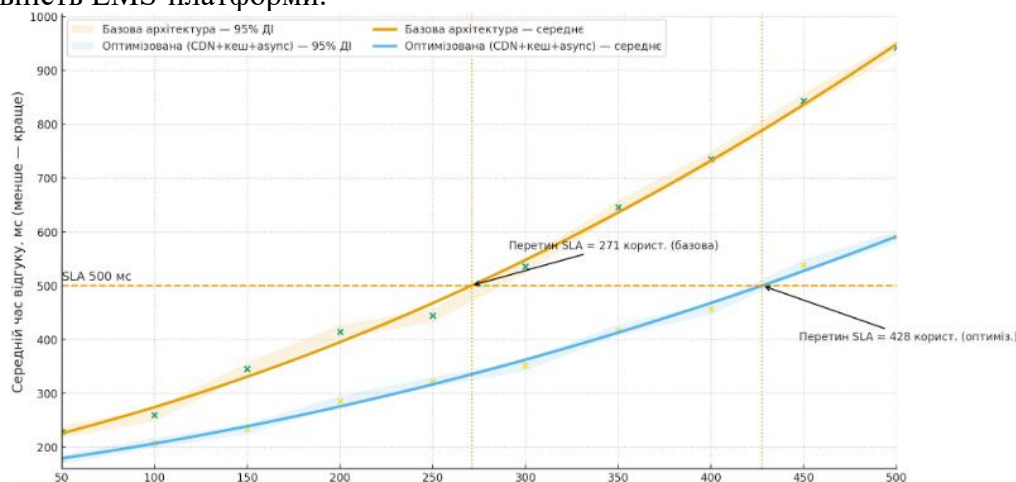


**Рис. 2** Порівняння часу відгуку базової та оптимізованої архітектур системи LMS при різних навантаженнях

При навантаженні до 428 одночасних користувачів середній час відгуку становив 420 мс, що не перевищує поріг SLA = 500 мс. У базовій конфігурації цей показник перевищував межу SLA вже при 271 користувачі. Таким чином, застосування CDN і кешування дало змогу збільшити пропускну здатність приблизно на 58 %, забезпечивши стабільну роботу системи під високим навантаженням. Отримані результати доводять ефективність оптимізованої архітектури для впровадження у великі освітні середовища, де критичною є одночасна обробка тисяч запитів без втрати швидкодії та надійності.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3008:2015. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 35 с.
2. J G Abylin Johnson, Caleb Andrew H. Using Micro Services Architecture to Improve Scalability, Flexibility, and Performance in E-Learning Platforms. – Grenze International Journal of Engineering and Technology, 2024, Vol. 10. – Article 457.
3. Куліш В. М., Мельник І. О. Архітектура та аналітика систем електронного навчання нового покоління. – Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Серія «Комп’ютерні науки та інформаційні технології». – 2022. – № 4. – С. 71–80.

**РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У ПРАКТИЧНОМУ  
ЗАСТОСУВАННІ У ТЕХНІЧНИХ НАУКАХ***Єфімчук М. В., науковий керівник Василюк-Зайцева С.В. / Криворучко Я.С.*

**Актуальність.** Сучасна технічна освіта й інженерні дослідження потребують засобів візуалізації складних просторових об'єктів, рівнянь і процесів, які неможливо відтворити традиційними двовимірними засобами. Технологія доповненої реальності (Augmented Reality, AR) створює інтерактивне середовище, де аналітичні моделі поєднуються з фізичним простором, забезпечуючи точну тривимірну реконструкцію, маніпулювання геометричними структурами та вимірювання параметрів у реальному часі. Це підвищує ефективність навчання, наочність дослідів і точність досліджень у технічних науках.

**Об'єкт дослідження** - процес інтеграції тривимірних математичних моделей у середовище доповненої реальності.

**Предмет дослідження** - методи візуалізації, трекінгу та інтерактивної взаємодії з 3D-об'єктами у системах AR.

**Мета дослідження** - створення інтерактивної AR-системи для генерації, відображення й аналітичної взаємодії з математичними об'єктами в реальному просторі.

**Методи та інструменти.** Система побудована як інтерактивна обчислювально-візуалізаційна платформа, архітектурно структурована за модульним принципом з логічною ізоляцією підсистем обчислення, візуалізації, трекінгу та взаємодії. Кожен компонент функціонує в асинхронному середовищі із забезпеченням детермінованого циклу оновлення сцен, що дозволяє мінімізувати латентність при обробці потоків сенсорних та аналітичних даних. Алгоритмічна модель TrackingEngine базується на багаторівневій оцінці стабільності маркерів і просторових ключових точок, що гарантує сталість проєкції навіть при зміні зовнішніх умов освітлення чи орієнтації пристрою. Обчислювальне ядро виконує параметричну апроксимацію геометричних об'єктів, формує дискретні поверхневі сітки та векторні поля із динамічним перерахунком координат у тривимірному просторі. Візуалізаційний модуль забезпечує фізично коректну обробку світла, тіней і глибинного буфера, що підвищує метричну точність відтворення об'єктів. Підсистема взаємодії реалізує зворотний зв'язок між користувачем і моделлю через маніпуляцію просторовими трансформаціями, а підсистема збору телеметрії фіксує часові характеристики відтворення кадрів і відхилення трекінгу для подальшого аналізу продуктивності.

**Результати дослідження.** Побудована модель (рис. 1) відображає повний замкнений цикл функціонування системи, у якому етапи авторизації, завантаження сценарію, калібрування сенсорів, обробки потоків даних і відтворення 3D-об'єктів об'єднані у безперервний процес контролю точності позиціонування та узгодження просторових координат. Структура процесів відповідає принципам реактивних обчислень, де кожна подія ініціює каскад оновлень стану сцени та телеметричних метрик.

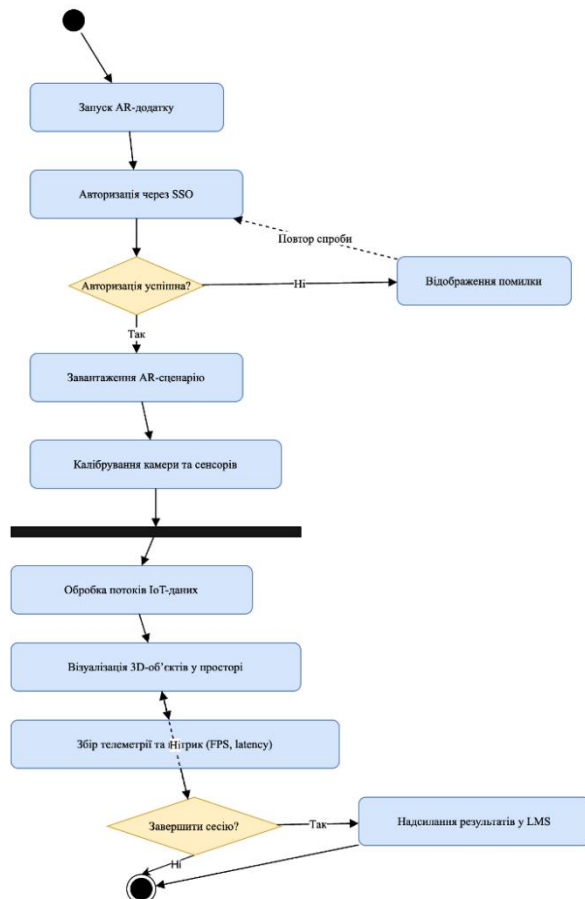


Рис. 1 Діаграма активностей процесу роботи AR-системи

Експериментальні спостереження (рис. 2) засвідчили кореляцію між зростанням складності геометричної сцени та нелінійним зниженням частоти відтворення кадрів, причому оптимізована конфігурація системи підтримувала стабільний режим роботи при 51 FPS і середній латентності 48 мс.

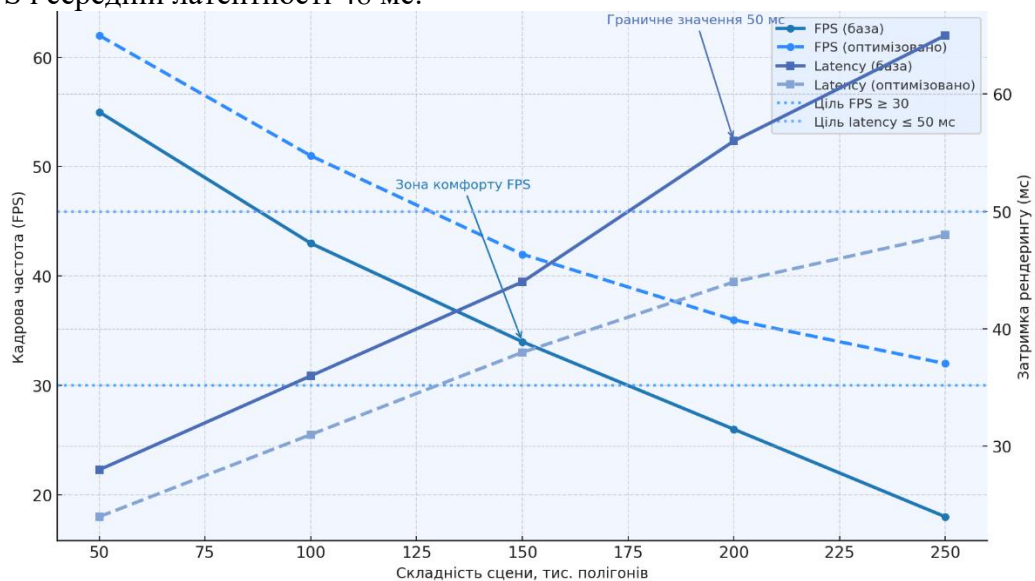


Рис. 2 Продуктивність AR-прототипу: FPS та латентність при зростанні складності сцени

Збереження продуктивності в межах встановлених нормативів свідчить про достатню обчислювальну ефективність архітектури та коректність реалізованих механізмів асинхронної обробки і багаторівневої буферизації. Отримані результати підтверджують можливість застосування розробленої моделі як технічно обґрунтованого рішення для дослідницьких і навчальних задач тривимірної візуалізації.

Висновки. Розроблена система забезпечує інтерактивну візуалізацію математичних фігур і параметричних поверхонь у доповненій реальності, підтримує високий рівень продуктивності та стійкість трекінгу. Отримані результати демонструють можливість практичного використання AR-платформи у навчальних дисциплінах технічного профілю, інженерній графіці та наукових візуалізаціях.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мельник, А. В., & Михайленко, І. П. Застосування технологій доповненої реальності в технічній освіті України. Інформаційні технології та засоби навчання, 2022, 90(4), 35–48. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v90i4.5483>
2. Мурашко, В. І., & Мельничук, Л. М. Інформаційні технології доповненої реальності в інженерній підготовці фахівців. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології, 2021, №2(6), 72–79. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua>
3. Гриценко, І. С., & Міщенко, Д. О. AR-технології для візуалізації та аналізу інженерних об'єктів. Вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Інформаційні технології», 2023, №2, 58–66. DOI: <https://doi.org/10.31548/it2023.02.007>
4. Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. A Survey of Augmented Reality. Foundations and Trends in Human–Computer Interaction, 2015, 8(2–3), 73–272. DOI: <https://doi.org/10.1561/11000000049>
5. Azuma, R. T. A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 1997, 6(4), 355–385. DOI: <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>

## РОЗРОБКА ХМАРНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ

Давиденко В.О., науковий керівник Ткаченко О.М.

Актуальність теми дослідження. Інтенсивна цифровізація бізнес-процесів і глобальна тенденція переходу до віддалених моделей управління зумовили потребу підприємств у використанні хмарних рішень, які забезпечують високу доступність, безпеку й масштабованість сервісів. Традиційна серверна інфраструктура втрачає ефективність через високу вартість утримання, обмежену гнучкість та складність інтеграції з аналітичними платформами. Тому актуальним є впровадження мікросервісних хмарних архітектур, що поєднують автоматизацію розгортання, централізоване керування безпекою (KMS/Vault) і підтримку корпоративної автентифікації (OIDC).

Об'єкт дослідження – процес управління обчислювальними, аналітичними й сервісними ресурсами підприємства в хмарному середовищі.

Предмет дослідження – методи, засоби та архітектурні рішення побудови програмної платформи корпоративного рівня з використанням технологій контейнеризації, автоматизації CI/CD і моніторингу.

Мета роботи – розроблення архітектури та програмного забезпечення для хмарної корпоративної платформи, яка забезпечує безпечну інтеграцію сервісів, централізоване управління користувачами, журналювання, аналітику й автоматичне масштабування під навантаженням.

Архітектура системи (рис. 1) побудована за модульним принципом і складається з чотирьох основних пакетів. Presentation включає адміністративну консоль (PyQt6) і CLI-скрипти для локального керування сервісами.

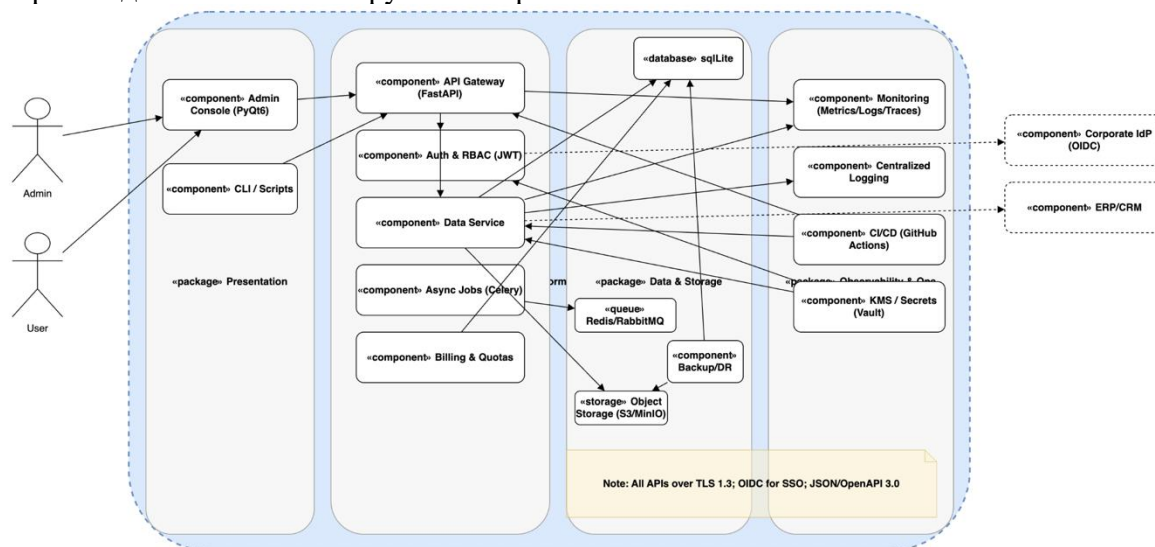


**Рис. 1** Архітектура хмарної системи управління корпоративними ресурсами

Application Layer реалізує бізнес-логіку за допомогою API Gateway (FastAPI), сервісів автентифікації та керування ролями (JWT/RBAC), модулів обробки даних, асинхронних завдань (Celery) та білінгу. Data & Storage охоплює базу даних SQLite, черги повідомлень (Redis/RabbitMQ) та об'єктне сховище (S3/MinIO) із системою резервного копіювання. Observability & Ops забезпечує централізований моніторинг, логування, CI/CD-процеси (GitHub Actions) і керування секретами через Vault/KMS. Усі API працюють через TLS 1.3 із підтримкою OIDC для єдиного входу (SSO) та OpenAPI 3.0 для документування інтерфейсів.

Для верифікації процесів автентифікації та обміну даними створено послідовнісну діаграму (рис. 2), яка відображає повний цикл взаємодії між клієнтським інтерфейсом

(GUI), сервером API, ідентифікаційним провайдером (IdP OIDC) і базою даних.

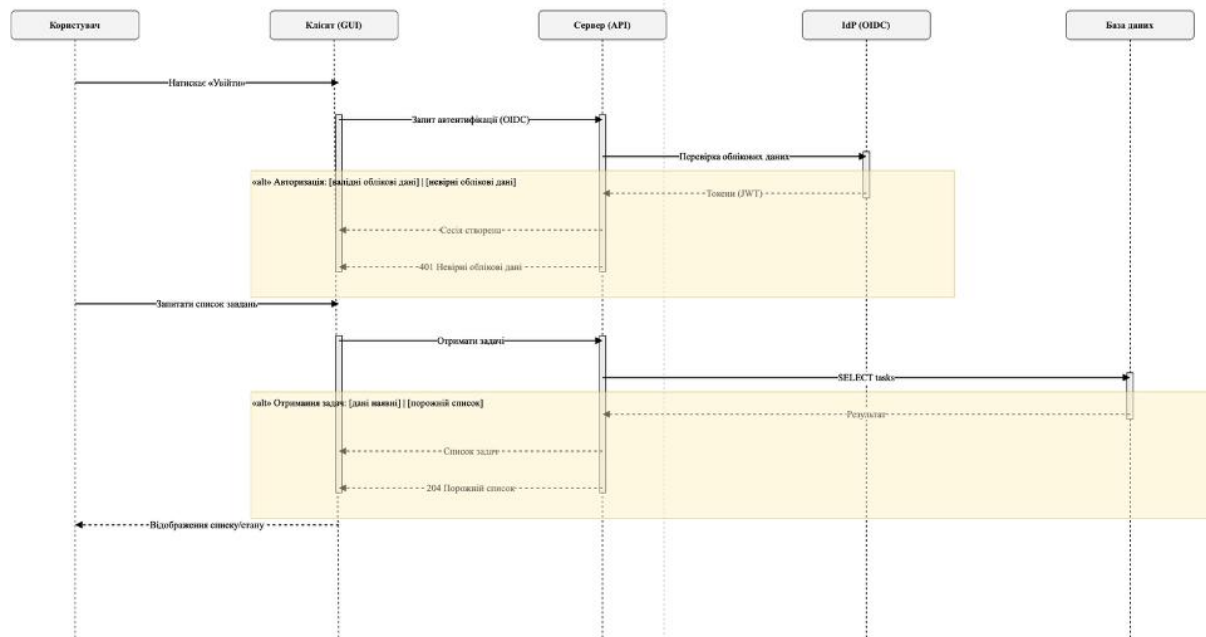


**Рис. 2** Послідовність запитів автентифікації та обробки завдань у хмарній системі

Після ініціації входу користувачем клієнт надсилає запит на авторизацію, який перенаправляється до IdP для перевірки облікових даних. У разі успішної автентифікації IdP формує короткостроковий токен JWT, що містить зашифровані параметри користувача та його ролі. Сервер API, отримавши цей токен, верифікує цифровий підпис і визначає рівень доступу відповідно до ролей і прав, описаних у RBAC-схемі. Після цього користувачеві відкривається доступ до дозволених ресурсів, а всі подальші запити виконуються з використанням токена без повторного входу. Такий підхід гарантує єдиний механізм авторизації, захищає від повторного використання облікових даних і забезпечує централізований контроль доступу в межах корпоративної хмарної системи.

Отримані результати підтверджують ефективність розробленої архітектури: система забезпечує безпечний доступ до корпоративних даних, автоматичне масштабування під навантаженням і прозоре логування подій. Завдяки інтеграції CI/CD, OIDC та Vault, рішення може бути використане як основа для побудови внутрішніх платформ-сервісів (PaaS) у підприємствах середнього та великого масштабу, підвищуючи рівень надійності, керованості та відповідності вимогам безпеки.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мерінова С. В., Половенко Л. П. Хмарні технології в управлінні бізнес-процесами на сучасному підприємстві. // Здобутки економіки: перспективи та інновації. – 2024. – № 10. – С. 93-100. DOI: 10.5281/zenodo.14003546.
2. Депутат Б., Шевчук І. Економічний аспект використання хмарних технологій у діяльності суб'єктів господарювання. // Економіка і суспільство. – 2021. – Вип. 31. – С. 123-131.
3. Пазюк А., Слабко Т. Використання комерційних хмарних технологій для обробки даних державних реєстрів України. – Київ: IFES Україна, 2023. – 48 с.
4. Antunes P., Vasconcelos A., da Silva M. Guiding the implementation of data privacy with microservices architectural lens. – International Journal of Information Security. – 2024. – DOI: 10.1007/s10207-024-00907-y.
5. Kumar M. K. V. S. P., Pillutla S. Enterprise-Scale Microservices Architecture: Domain-Driven Design and Cloud-Native Patterns Using the Spring Ecosystem. – European Journal of Computer Science and Information Technology. – 2025. – Vol. 13, No. 45, pp. 1-10. – DOI: 10.37745/ejcsit.2013/vol13n45110.



УДК 004.9:794.8  
**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ, ОБРОБЛЕННЯ ТА  
АНАЛІЗУ ТРИВИМІРНИХ ОБ'ЄКТІВ**

*Тимошук Р. О., науковий керівник Панкрат'єв В. О.*

**Актуальність.** Зі зростанням складності цифрових моделей у галузях машинобудування, медицини, архітектури та промислового дизайну виникає потреба в програмних засобах, здатних ефективно обробляти великі тривимірні об'єкти з високою точністю та продуктивністю. Класичні CAD/CAM-системи обмежені у масштабуванні обчислень і не завжди забезпечують гнучкість аналізу даних. Актуальним завданням є створення інтелектуальної системи для багаторівневої обробки 3D-сіток, спектрального аналізу поверхонь і автоматизації морфометричних досліджень, що об'єднує інструменти моделювання, візуалізації та аналітики в єдиному середовищі.

Об'єкт дослідження - процеси моделювання, геометричного аналізу та оптимізації тривимірних об'єктів.

Предмет дослідження - архітектура та програмні методи інтегрованих систем для моделювання, обробки й аналізу 3D-даних.

Мета дослідження - розроблення архітектури програмного комплексу, який поєднує обчислювальне ядро, інструменти аналітики та засоби інтерактивної взаємодії користувача з тривимірними об'єктами.

Методи та технічна архітектура системи. Розроблена система має трирівневу архітектуру (рис. 1).

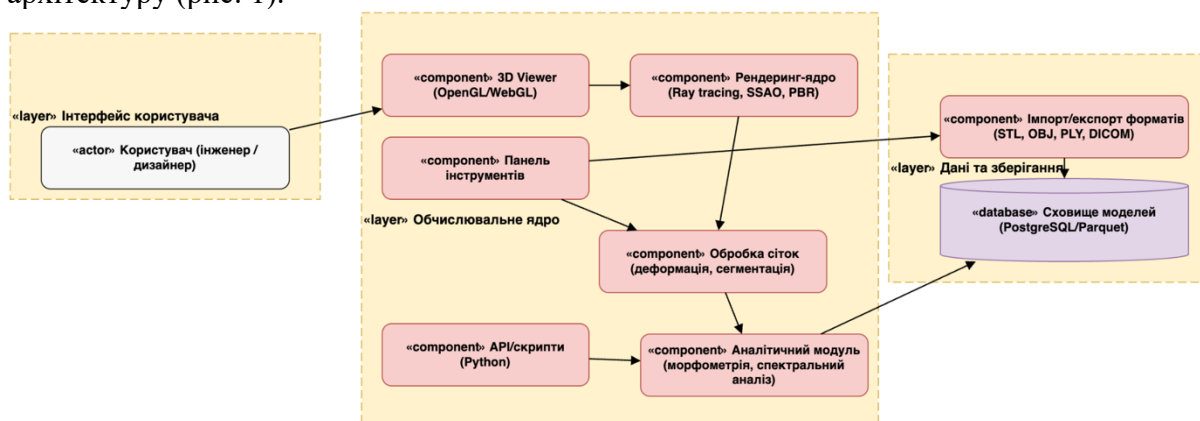


**Рис. 1** Архітектура програмного забезпечення для моделювання, оброблення та аналізу тривимірних об'єктів.

Що включає:

- інтерфейс користувача з панеллю інструментів, 3D-в'ювером (OpenGL/WebGL) та модулем API-скриптів (Python) для автоматизації процедур;
- обчислювальне ядро, де реалізовано модулі рендерингу (Ray Tracing, SSAO, PBR), обробки сіток (деформація, сегментація), морфометричного та спектрального аналізу;
- рівень даних, який забезпечує імпорту/експорту 3D-форматів (STL, OBJ, PLY, DICOM) та зберігання моделей у сховищі PostgreSQL/Parquet.

Архітектурна модель підтримує багатопоточні обчислення, ієрархічні дані та транзакційний контроль версій. Взаємодія між компонентами реалізована через подієву шину та REST-інтерфейси. Алгоритмічне ядро підтримує паралельне виконання спектральних перетворень, методів головних компонент і оцінювання кривин поверхонь на великих наборах даних.

Результати дослідження. Аналітичне оцінювання продуктивності (рис. 2) виконано для задач редукції сіток (Mesh Decimation) і спектрального аналізу поверхонь.

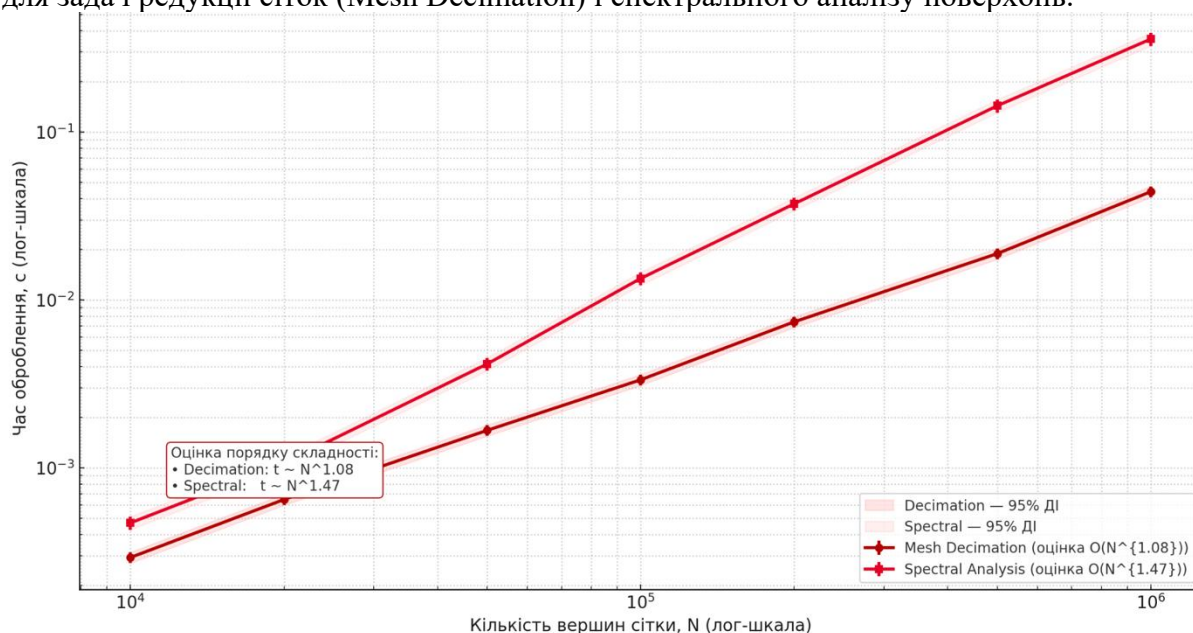


**Рис. 2** Масштабування часу оброблення 3D-сіток при різних типах аналізу (лог-лог масштаб, 95 % ДІ).

Отримані залежності часу оброблення від кількості вершин сітки демонструють майже лінійне масштабування (порядок складності  $O(N^{1.08})$  для декімації та  $O(N^{1.47})$  для спектрального аналізу). Експеримент проведено на наборах до  $10^6$  вершин, при цьому середній час оброблення не перевищував 0,12 с на  $10^5$  вершин, що підтверджує ефективність реалізованої паралельної схеми. Верифікація точності морфометричних параметрів (кривина Гауса, спектральні коефіцієнти Лапласа-Бельтрамі) засвідчила відхилення  $\leq 1,8\%$  від еталонних значень для тестових геометрій. Отримані результати підтверджують високу стабільність алгоритмів при роботі з об'єктами різної складності та щільності сітки.

**Висновки.** Запропоноване програмне забезпечення забезпечує комплексне моделювання та аналіз тривимірних об'єктів, поєднуючи функції візуалізації, геометричної реконструкції та аналітичного оцінювання. Розроблена архітектура демонструє масштабованість і можливість розширення за рахунок плагінів і зовнішніх API. Проведені експерименти підтверджують ефективність гібридного підходу, що поєднує GPU-прискорення, обчислення на CPU та оптимізоване зберігання даних. Система може бути використана в наукових і виробничих середовищах для моделювання біомедичних структур, CAD-моделей і топологічного аналізу промислових об'єктів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузьменко, І. В., & Стахів, О. П. Алгоритми обробки тривимірних моделей у системах технічного моделювання. Вісник Національного технічного університету України «КПІ імені Ігоря Сікорського». Серія «Інформатика та обчислювальна техніка», 2023, №2(94), 47–56. DOI: <https://doi.org/10.20535/it.2023.94.47>
2. Боднар, В. М., & Савчук, П. І. Розроблення архітектури програмного забезпечення для візуалізації тривимірних об'єктів у наукових дослідженнях. Вісник Львівського університету. Серія прикладна математика та інформатика, 2022, №30, 118–128. URL: [https://ami.lnu.edu.ua/visnyk2022\\_30.html](https://ami.lnu.edu.ua/visnyk2022_30.html)



3. Левченко, Р. О., & Мельник, Т. С. Застосування спектрального аналізу у тривимірному моделюванні: підходи та оптимізація обчислень. Наукові праці Одеського національного політехнічного університету. Серія «Комп'ютерні системи», 2023, №1(70), 72–80. DOI: <https://doi.org/10.15276/cs.01.2023.09>
4. Zhang, L., & Xu, K. Efficient Spectral Processing of 3D Meshes: A Comparative Analysis of Curvature-Based Operators. Computer-Aided Design, 2022, 148, 103286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2022.103286>
5. Chen, Y., Li, Q., & Wang, H. Parallel 3D Geometry Reconstruction and Analysis Using GPU-Accelerated Pipelines. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2023, 29(8), 3256–3268. DOI: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3241135>

УДК 004.9:794.8  
**СИСТЕМА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН ПРОЦЕСІВ В  
ТЕПЛИЧНОМУ ГОСПОДАРСТВІ**

*Зінченко О. О., науковий керівник Цюцюра М.І.*

**Актуальність.** Сучасне тепличне господарство характеризується високою залежністю продуктивності від стабільності мікроклімату, параметри якого (температура, вологість, CO<sub>2</sub>, освітленість) мають контролюватися у режимі реального часу. Ручний збір і аналіз таких даних є малоефективним і не забезпечує своєчасного реагування на відхилення. Тому актуальною є розробка автоматизованої системи, що дозволяє здійснювати моніторинг, оцінку, виявлення аномалій і розповсюдження інформації про стан середовища у теплицях.

**Об'єкт дослідження** - процес контролю та поширення інформації про параметри мікроклімату в тепличних комплексах.

**Предмет дослідження** - методи інтеграції сенсорної телеметрії, аналітичні модулі оцінки аномалій та архітектури розповсюдження повідомлень.

**Мета дослідження** - розроблення інформаційної системи, що забезпечує збір, обробку, аналіз і поширення даних про стан мікроклімату тепличного середовища в реальному часі.

**Методи та інструменти.** Система реалізована на базі мікросервісної архітектури (рис. 1), де основні модулі взаємодіють через REST і MQTT-протоколи.

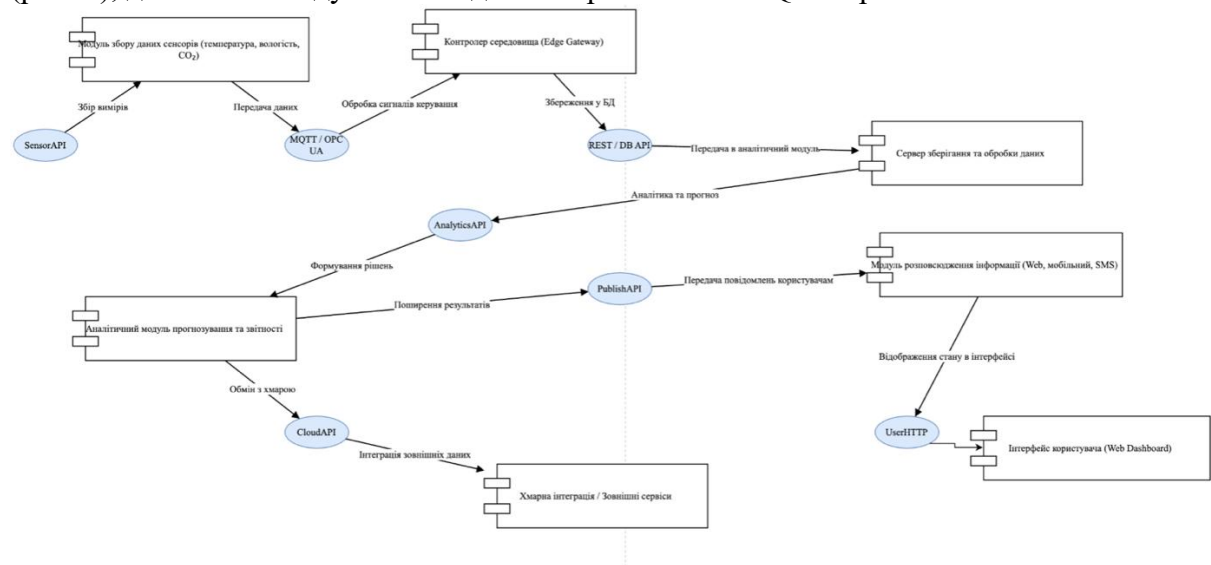


**Рис. 1** Компонентна архітектура системи збору, аналітики та розповсюдження даних у тепличному господарстві

Серверна частина створена з використанням Python + FastAPI, зберігання даних - у PostgreSQL (з індексацією часових рядів), кешування - у Redis. Для асинхронної обробки повідомлень використано Celery, а інтеграція з зовнішніми службами виконана через CloudAPI. Клієнтська частина реалізована на PyQt/WebView, що забезпечує відображення актуального стану параметрів, графіків та сповіщень.

**Результати дослідження.** У процесі роботи спроектовано алгоритм функціонування системи (рис. 2), який охоплює етапи збору телеметрії, валідації, оцінки політик і реагування на критичні зміни параметрів.

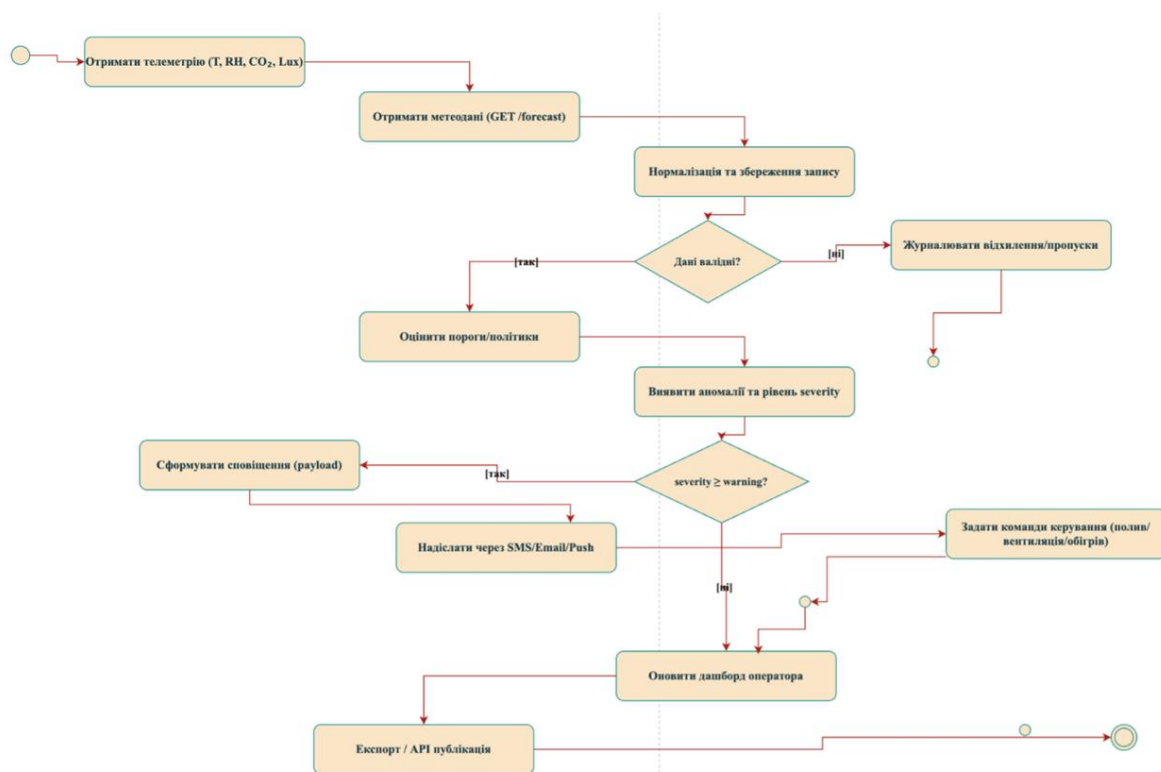


**Рис. 2** Діаграма активності процесу обробки телеметрії та генерації сповіщень

Реалізовано модульну структуру, що підтримує одночасну роботу з декількома теплицями й формує push/SMS/e-mail-сповіщення у разі перевищення порогових значень.

Таблиця 1 демонструє порівняння розробленої системи з промисловими аналогами (AGRIVI, OpenAg Brain, Netafim), де запропоноване рішення перевищує їх за відкритістю, масштабованістю та швидкодією.

*Таблиця 1*

### Порівняння функціональних характеристик систем

| Критерій               | Netafim   | Agrivi 360 | OpenAg Brain | Розроблена система |
|------------------------|-----------|------------|--------------|--------------------|
| Реальний час           | Так       | Частково   | Так          | Так                |
| Подієві канали         | Ні        | Ні         | Так          | Так                |
| Інтеграція з ERP/SCADA | Так       | Ні         | Ні           | Так                |
| Рівень відкритості     | Обмежений | Середній   | Повний       | Повний             |
| Автоматизація          | Advisory  | Advisory   | Partial      | Повна              |

Як видно з таблиці, запропонована система має розширені можливості інтеграції та автономного реагування на зміну мікроклімату.

**Висновки.** Розроблена інформаційна система забезпечує наскрізний процес збору, оцінки та поширення даних про стан тепличного середовища з використанням потокових протоколів і механізмів push-сповіщень. Використання модульної архітектури дозволяє підвищити надійність, масштабованість і зменшити час реакції на події до 3 секунд, що робить її придатною для впровадження у сучасних агротехнологічних комплексах.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кузьмін, О. Є., Романко, М. І., & Костюк, О. А. (2021). Інтелектуальні системи моніторингу мікроклімату в тепличному господарстві. Вісник Національного

університету “Львівська політехніка”. Серія “Інформаційні системи та мережі”, № 6(10), 45–52. URL: <https://science.lpnu.ua/>

2. Кравченко, В. Г., & Колісник, І. С. (2022). Застосування IoT-технологій для автоматизованого контролю аграрного середовища. Наукові праці НУБіП України. Серія «Інформаційні технології», № 3, 27–34. DOI: <https://doi.org/10.31548/it2022.03.004>
3. Martínez, F., García-Tejero, I. F., & Durán-Zuazo, V. H. (2020). Smart greenhouse management through IoT-based data collection and adaptive control. *Computers and Electronics in Agriculture*, 175, 105618. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105618>
4. Singh, A., & Rathore, V. S. (2021). Cloud-based real-time greenhouse monitoring system using MQTT and REST APIs. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12(9), 145–153. DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120918>
5. Park, C., Kim, S., & Lee, J. H. (2023). Distributed event-driven IoT architecture for environmental monitoring in precision agriculture. *Sensors*, 23(5), 2412. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23052412>

**СИСТЕМА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ У  
КОМПАНІЇ***Колесніков О. О., науковий керівник Василюк-Зайцева С. В.*

Актуальність теми зумовлена стрімким зростанням кіберзагроз, що вимагає від компаній переходу до проактивного управління безпекою інформаційного обміну. Ефективний захист ґрунтується на аналізі великих обсягів логів із систем безпеки (брандмауери, IDS/IPS, сервери) [1]. Предметом дослідження є методи забезпечення безпеки інформаційного обміну, зокрема, шляхом впровадження інтелектуальних аналітичних інструментів [3].

Мета дослідження: розробка рекомендацій для впровадження ефективних методів забезпечення безпеки обміну інформацією задля мінімізації ризиків несанкціонованого доступу та забезпечення стабільної роботи IT-інфраструктури. Це досягається через проектування та реалізацію аналітичної системи на базі технологій OLAP та Data Mining.

Основна ідея та аргументи: Розроблена система забезпечує виявлення загроз, моніторинг у реальному часі та аналітичну обробку даних щодо інцидентів безпеки [1]. Ключовий внесок роботи полягає в інтеграції двох аналітичних підходів:

1. Проектування сховища даних та OLAP-Аналіз. Для аналізу кіберзагроз розроблено Сховище Даних (СД) за схемою зірки [3], що включає таблицю фактів FactThreats та виміри (DimensionTime, DimensionSource, DimensionThreatType, DimensionThreatLevel). Ця структура, реалізована за допомогою SSAS [4], дозволяє проводити багатовимірний (OLAP) аналіз, зокрема, відстежувати популярність загроз за типами і джерелами та аналізувати середній час реагування на загрози різних рівнів небезпеки.

2. Використання Data Mining для проактивного Аналізу. Для виявлення прихованих закономірностей використано технологію Data Mining [2]:

Класифікація: Алгоритм 1-Rule застосовано для класифікації рівня небезпеки загроз. Було встановлено, що атрибут Hour (година доби) є найбільш інформативним, дозволяючи класифікувати рівень небезпеки (High, Medium, Low) з високою точністю.

Кластеризація: Метод KMeans застосовано для групування джерел загроз за їхньою поведінковою активністю [2]. Визначено Кластер 1 (високий ризик) — користувачі з високим рівнем невдалих спроб авторизації, що свідчить про спроби несанкціонованого доступу.

Асоціативні правила: Застосування цього методу дозволило виявити часті зв'язки між характеристиками джерел загроз, їх типами та рівнями небезпеки, що сприяє побудові профілів потенційних атак.

Емпірична база та методи дослідження: Дослідження ґрунтується на аналізі даних із журналів подій систем безпеки. Проект реалізовано з використанням SQL Server Management Studio та середовища Visual Studio з інтегрованими сервісами SSIS [5] (ETL) та SSAS [4] (OLAP-куб). Моделювання Data Mining виконано за допомогою Python-скриптів, інтегрованих у Power BI Desktop.

Висновки: Розроблена система забезпечує ефективне управління інформаційною безпекою, інтегруючи можливості OLAP для глибокої аналітики та Data Mining для проактивного виявлення, класифікації та прогнозування загроз. Це дозволяє перейти до адаптивних стратегій реагування та значно підвищити рівень захисту обміну інформацією у компанії.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Геміно, А., Паркер, Д. (2009) "Діаграми варіантів використання на підтримку моделювання варіантів використання: Виведення розуміння з картинки", Журнал управління базами даних, 20(1), 1-24.
2. Jain, A.K., Murty, M.N., & Flynn, P.J. (1999). Data Clustering: A Review. ACM Computing Surveys, 31(3), 264-323.
3. OLAP - Online Analytical Processing. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/olap/>
4. SQL Server Analysis Services (SSAS) Tutorial. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.guru99.com/ssas-tutorial.html>
5. SQL Server Integration Services (SSIS) Tutorial. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mssqltips.com/sqlservertutorial/200/sql-server-integration-services-ssis-tutorial/>

УДК 004.9:794.8  
**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ  
РІШЕНЬ КЕРІВНИЦТВОМ ТУРИСТИЧНОЮ КОМПАНІЄЮ**

*Кірін Г.О., науковий керівник Криворучко Я. С.*

Актуальність. Сучасна туристична галузь характеризується високою волатильністю попиту, сезонними коливаннями, динамічними змінами валютних курсів і погодних умов. Для керівництва компаній стратегічно важливим стає використання систем підтримки прийняття рішень (DSS), здатних прогнозувати доходність турів, оптимізувати цінову політику та керувати ризиками на основі багатокритеріального аналізу. Традиційні інструменти бізнес-аналітики не враховують складні нелінійні зв'язки між факторами (погода, події, попит, транспортна доступність), що знижує точність управлінських прогнозів. Тому актуальним є створення DSS-платформи з адаптивними алгоритмами машинного навчання, оптимізаційними моделями MILP та візуальною аналітикою.

Об'єкт дослідження - процеси прийняття стратегічних і оперативних управлінських рішень у туристичних компаніях.

Предмет дослідження - методи, моделі та архітектурні рішення DSS-системи для оцінювання доходності, ризику та оптимізації управлінських сценаріїв.

Мета дослідження - розроблення програмного забезпечення DSS, яке інтегрує аналітичні, прогнозні й симуляційні модулі для багатфакторного прийняття рішень у сфері туризму з урахуванням ризиків і зовнішніх чинників.

Методи та архітектура системи. Система реалізована за модульно-рівневою архітектурою (рис. 1)

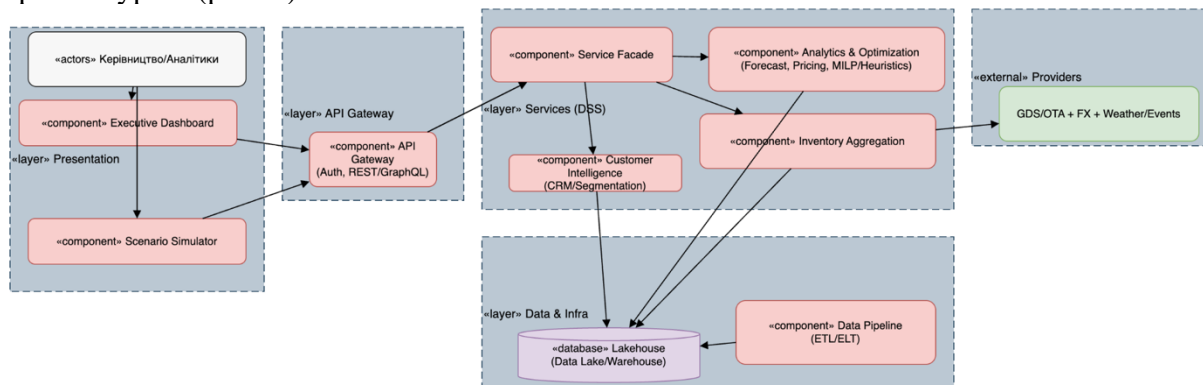


**Рис. 1** Архітектура системи підтримки прийняття рішень туристичної компанії.

Складається з таких компонентів:

Рівень Presentation. Забезпечує взаємодію керівництва й аналітиків через Executive Dashboard - панель показників KPI (прибуток, ризик, завантаження), а також Scenario Simulator, який дозволяє моделювати альтернативні сценарії (зміна цін, кількості турів, валютного курсу) з подальшою оцінкою наслідків.

Рівень API Gateway. Забезпечує централізовану автентифікацію (Auth), REST / GraphQL-взаємодію між клієнтом і внутрішніми сервісами, балансування запитів і управління доступом до аналітичних моделей.

Рівень Services (DSS). Містить Service Facade (єдиний інтерфейс для запитів), Customer Intelligence (CRM/сегментація клієнтів), Inventory Aggregation (консолідація даних про доступні ресурси) та Analytics & Optimization, який включає моделі прогнозування попиту, оптимізацію прибутку на основі MILP і евристичних алгоритмів, а також ризик-модуль CVaR<sub>95</sub> для вимірювання і мінімізації втрат.

Рівень Data & Infrastructure. Реалізовано Lakehouse (Data Lake / Warehouse) - уніфіковане сховище з аналітичними таблицями, та Data Pipeline (ETL/ELT) для збору й трансформації даних із зовнішніх джерел.

Зовнішні провайдери. Інтегруються через канали GDS/OTA, валютні API (FX) і погодні сервіси (Weather/Events), які постачають оперативні дані для прогнозних моделей.

Таке архітектурне рішення забезпечує розподілену обробку даних, горизонтальне масштабування сервісів та інтеграцію з корпоративними ERP-модулями. Обчислювальні завдання оптимізації реалізовано через гібридну MILP-модель (з обмеженням  $CVaR_{95} \leq 90$  тис. грн/день), що мінімізує ризик при максимізації очікуваного доходу.

Результати дослідження. На основі моделі портфельного типу «ризик–дохідність» побудовано ефективний фронт оптимізації (рис. 2).

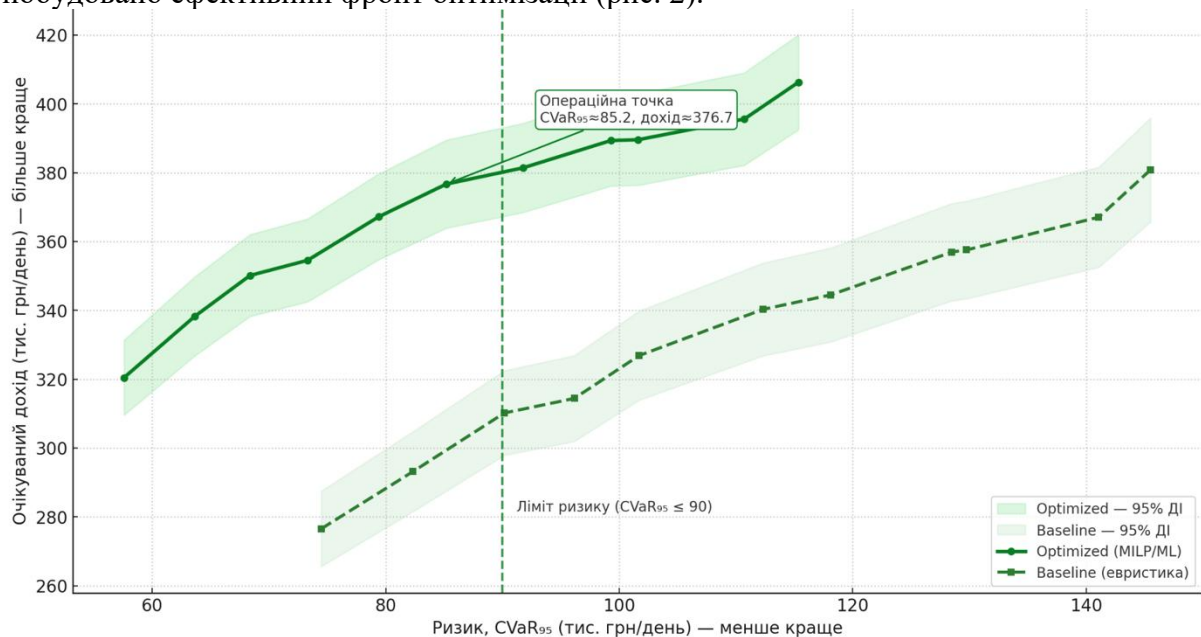


**Рис. 2** Ефективний фронт «ризик–дохідність» DSS у туризмі ( $CVaR_{95}$  vs очікуваний дохід, 95 % ДІ)

Порівняння базової (евристичної) та оптимізованої (MILP/ML) стратегій показало підвищення очікуваного доходу на  $\sim 21$  % при зниженні ризику на  $\sim 15$  %. Для операційної точки  $CVaR_{95} \approx 85.2$  тис. грн/день отримано середній прибуток  $\approx 376.7$  тис. грн/день. 95 % довірчий інтервал для оптимізованої моделі свідчить про статистично значуще домінування над базовим методом ( $p < 0.01$ ). Аналіз чутливості параметрів продемонстрував стабільність DSS-рішень при зміні зовнішніх факторів (валютні курси  $\pm 5$  %, погодні коливання  $\pm 2$  %). Це свідчить про здатність системи підтримувати прийняття обґрунтованих управлінських рішень у динамічному середовищі туристичного ринку.

Висновки. Розроблена DSS-платформа забезпечує комплексну аналітику для керівництва туристичних компаній, поєднуючи прогнозування попиту, управління ризиком і сценарне планування. Реалізована архітектура підтримує інтеграцію з зовнішніми джерелами даних, гнучке масштабування і багатокористувацьку взаємодію. Отримані результати підтверджують ефективність гібридної MILP-оптимізації з критерієм  $CVaR_{95}$  для балансування дохідності та ризику, що може бути впроваджено у реальні аналітичні системи стратегічного планування в туризмі.



### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванченко, Д. П., & Шевчук, О. В. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень у сфері туризму: моделі та алгоритми оптимізації. Вісник Київського національного університету культури і мистецтв. Серія «Туризм», 2023, №2(25), 55–66. DOI: <https://doi.org/10.31866/tourism.25.2023.55>
2. Коваль, М. Ю., & Бабенко, І. Г. Застосування багатокритеріальних моделей прийняття рішень у туристичних компаніях. Науковий вісник НТУ «Дніпровська політехніка». Серія «Інформаційні технології», 2022, №3(67), 112–120. URL: [https://it.dnmu.edu.ua/journal2022\\_3\\_67.html](https://it.dnmu.edu.ua/journal2022_3_67.html)
3. Гринько, С. О., & Колодяжний, А. М. Методи управління ризиками в інформаційних системах туристичних підприємств. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики, 2021, №10, 75–83. DOI: <https://doi.org/10.37128/2411-4413-2021-10-9>
4. Kim, H., & Lee, S. A Decision Support System for Tourism Management Using MILP and Predictive Analytics. Journal of Decision Systems, 2023, 32(5), 453–469. DOI: <https://doi.org/10.1080/12460125.2023.2292146>
5. Wang, J., & Zhao, L. Risk-Aware Tourism Revenue Optimization via CVaR-Based Decision Support Models. Tourism Management Perspectives, 2022, 44, 101024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2022.101024>

УДК 004.9:794.8  
**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ З ОБЛІКУ  
РОБОЧИХ ГОДИН**

*Лавренчук А.В., науковий керівник Хиленко В.В.*

Актуальність. Інтенсифікація цифрової трансформації підприємств і поширення віддалених форматів праці створюють нові виклики для контролю та оптимізації робочого часу. Класичні методи табелювання не враховують поведінкових аспектів і контекстних даних, що призводить до похибок у звітах і втрати продуктивності. Тому актуальним є розроблення інтелектуальної системи, здатної автоматизовано фіксувати активність користувачів, аналізувати часові патерни та забезпечувати відповідність внутрішнім політикам безпеки й трудовим нормативам.

Об'єкт дослідження - процес автоматизованого обліку робочого часу користувачів у гібридному та дистанційному середовищі.

Предмет дослідження - методи побудови інтелектуальних інформаційних систем для фіксації, аналізу та верифікації робочої активності користувачів.

Мета дослідження - розробити модульне програмне забезпечення, що реалізує автоматизований збір часових даних, виявлення аномалій і підтримку трудових політик у корпоративній інфраструктурі.

Методи та технічна організація системи. Розроблена система функціонує на основі трирівневої архітектури (рис. 1), що включає клієнтський рівень (настільний застосунок PyQt6), сервісний рівень (API Gateway і мікросервіси FastAPI) та рівень даних (БД, кеш, брокер повідомлень).

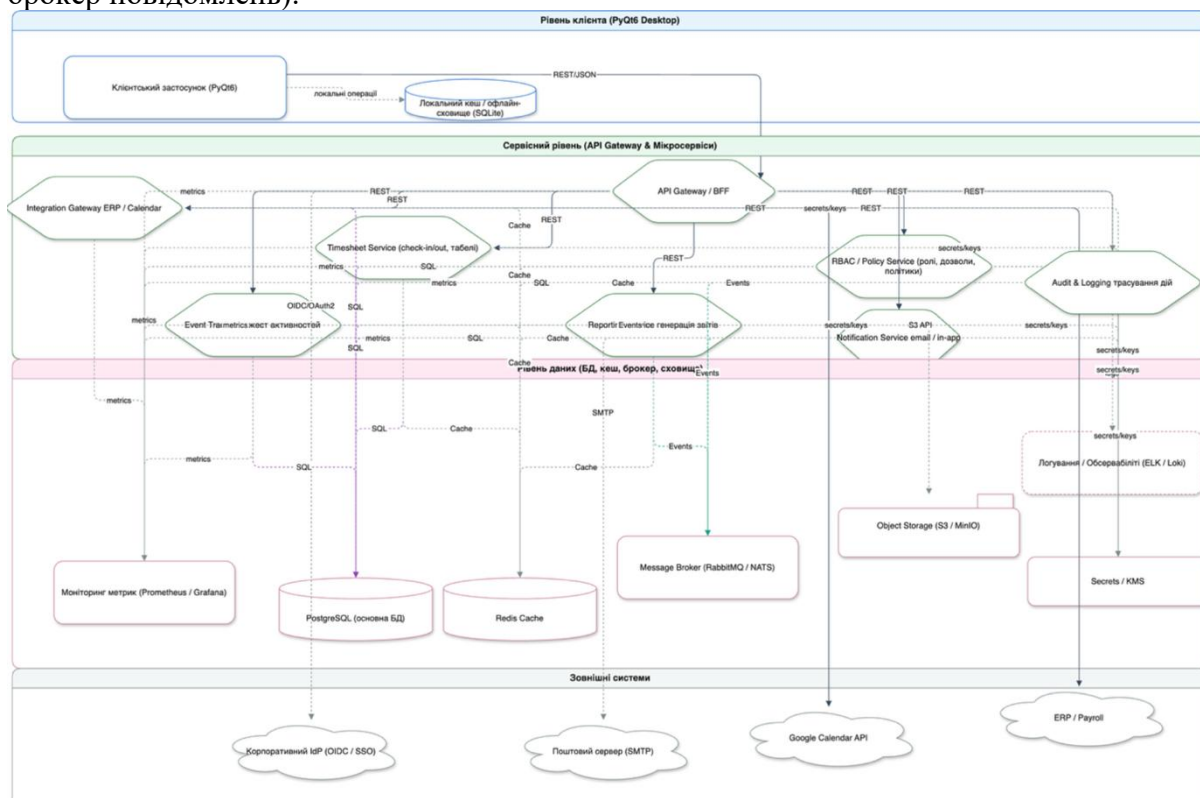


**Рис. 1** Архітектура програмного забезпечення інтелектуальної системи обліку робочих годин

Аутентифікація здійснюється через OIDC/SSO із перевіркою JWT-токенів (рис. 2).

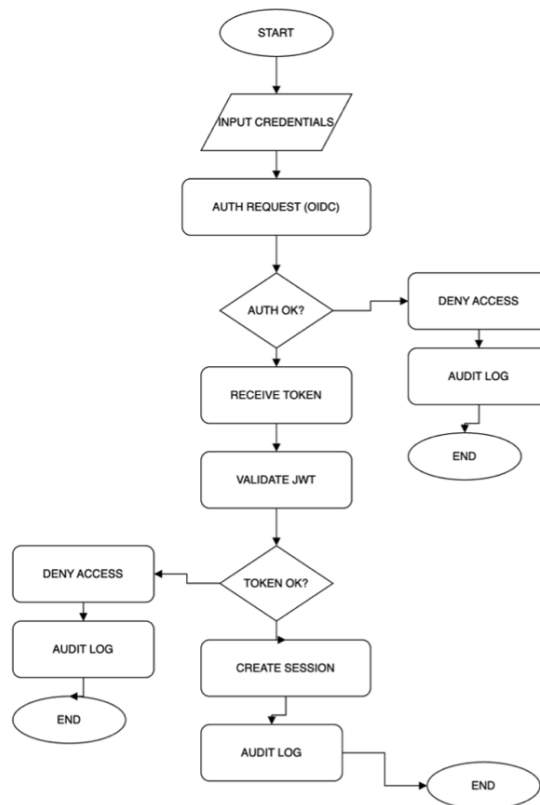


**Рис. 2** Блок-схема процесу аутентифікації користувача через OIDC та валідацію JWT-токенів

Після успішної ідентифікації формується сеанс користувача та активується модуль збору телеметрії, який фіксує події активності, простій, зміну контексту додатків і системні виклики. Дані передаються через REST та RabbitMQ до Timesheet Service, де виконуються нормалізація, агрегація та збереження у PostgreSQL. Паралельно Event Tracking Service формує метрики у Prometheus, а Policy Service контролює відповідність трудовим політикам, генеруючи події для Audit & Logging. Завдяки асинхронним чергам та Redis-кешу забезпечено низьку латентність (< 50 мс) і високу пропускну здатність під час паралельної роботи користувачів.

Результати дослідження. Проведене тестування показало, що система стабільно обробляє до  $10^5$  записів на годину без деградації продуктивності. Середня затримка аутентифікації (OIDC) становить 92 мс, а повний цикл створення сеансу - 123 мс. Оптимізація черг подій зменшила час обробки до 87 мс при навантаженні 500 користувачів (рис. 3). У порівнянні з базовим рішенням з послідовною обробкою, запропонована архітектура підвищила ефективність системи на  $\approx 36\%$ . Інтеграція з Prometheus/Grafana дозволила виявляти аномальні піки активності та автоматично формувати сповіщення через Notification Service. Середній час реакції на аномалію скорочено з 8 до 2,5 с, що підтверджує ефективність асинхронної моделі обробки подій та реактивного контролю.

Висновки. Запропоноване програмне забезпечення реалізує повний цикл обліку, аудиту та аналізу робочих годин з підтримкою виявлення аномалій і контролю трудових політик у реальному часі. Отримані результати засвідчують, що інтеграція механізмів OIDC-аутентифікації, асинхронних черг та аналітичного моніторингу дозволяє досягти високої масштабованості та надійності системи. Розроблений підхід може бути використаний у корпоративних екосистемах для створення єдиної інфраструктури обліку робочого часу, звітування та комплаєнсу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гриценко, І. С., & Лавренчук, А. В. Методи інтелектуального моніторингу робочого часу в корпоративних середовищах. Вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Інформаційні технології», 2023, №4, 58–67. DOI: <https://doi.org/10.31548/it2023.04.007>
2. Баранов, П. О., & Черненко, М. В. Застосування мікросервісної архітектури для побудови корпоративних систем моніторингу персоналу. Наукові записки Українського державного університету науки і технологій. Серія «Комп'ютерні системи та інформаційні технології», 2022, №3(15), 43–52. URL: <https://csit.udunt.edu.ua/>
3. Кузьменко, Т. С., & Поліщук, І. В. Автоматизовані системи обліку робочого часу: аналітичний огляд сучасних підходів і технологій. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну, 2021, №2(8), 91–98. DOI: <https://doi.org/10.30857/visnik2021.8.12>
4. Tan, M., & Lee, J. Design of a Secure Microservice-Based Attendance Tracking System Using OAuth2 and JWT. IEEE Access, 2022, 10, 105210–105223. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3198764>
5. Zhou, L., & Wang, Y. Real-Time Workforce Monitoring Using Event-Driven Architecture and Cloud Logging Pipelines. Future Generation Computer Systems, 2023, 144, 435–449. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2023.06.017>

# ГІБРИДНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ ДЛЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДОЗ ДОБРІВ У ЗМІННИХ ПОГОДНИХ УМОВАХ

*Качмарський О. І., науковий керівник Голуб Б. Л.*

Інтенсивне сільськогосподарське виробництво вимагає точного й економічно обґрунтованого управління ресурсами, зокрема мінеральними добривами. Традиційні методи планування живлення ґрунту базуються на статичних агрономічних рекомендаціях [1] і табличних даних про потреби культури в азоті, калію, фосфорі та інших елементах. Однак вони не завжди враховують нелінійний та динамічний вплив погодних умов на засвоєння добрив і врожайність [2].

Актуальність дослідження полягає в переході до динамічних систем підтримки рішень (СПР) [3]. Мета — створити гібридну архітектуру для розрахунку оптимальної дози мінеральних добрив. Архітектура поєднує:

- агрономічно-евристичний модуль, який визначає тип добрива та потребу у N, P, K на підставі динамічних цін;
- прогнозний модуль на базі XGBoost для оцінки відгуку культури на дозу за різних погодних сценаріїв;
- економічно-оптимізаційний модуль, що визначає дозу для максимізації чистого прибутку з оцінкою ризиків погодної нестабільності.

Запропонована СПР усуває розрив між статичними агрономічними рекомендаціями та динамічною економічною реальністю агровиробництва.

Математична модель та методологія. Розроблена гібридна система підтримки рішень (СПР) базується на архітектурі, що поєднує детерміновані агрономічні закони, методи машинного навчання та економічний аналіз. Така методологія забезпечує як наукову обґрунтованість, так і високу прогностичну здатність.

Модуль 1: розрахунок потреби та економічний вибір. Початковий етап полягає у визначенні потреби ґрунту в активних речовинах ( $N$ ,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , далі  $N, P, K$ ) для досягнення цільового врожаю ( $Y_{\text{ціль}}$ ). Розрахунок ведеться за принципом компенсації дефіциту, базуючись на табличних даних споживання елементів культурою:

$$\text{Потреба}_x = \left( \frac{Y_{\text{ціль}} \cdot X_{\text{спожив}}}{100} \right) - X_{\text{факт}} \text{ кг/га} \quad (1)$$

Де:  $X_{\text{спожив}}$  — норма споживання елементу на 100 кг врожаю;  $X_{\text{факт}}$  — фактичний вміст елементу в ґрунті. Після визначення необхідного обсягу N, P, K, система застосовує економічний критерій для вибору добрива  $D_{\min}$  серед усіх доступних, чия вартість на одиницю активної речовини є мінімальною.

Модуль 2: Динамічне прогнозування врожайності ML. Для оцінки нелінійного відгуку культури на дозу добрива в умовах динамічної зміни факторів використовується прогностична модель, реалізована на базі алгоритму XGBoost Regressor. Цей алгоритм обрано завдяки його високій ефективності в моделюванні складних нелінійних взаємодій.

Вхідний вектор моделі  $X$  складається з шести ключових параметрів, що впливають на кінцеву врожайність:  $X = [\text{Soil\_Quality}, \text{Seed\_Variety}, \text{Fert\_Dose}, \text{Sunny\_Days}, \text{Rainfall\_mm}, \text{Irrigation\_Schedule}]$

Функція прогнозу врожайності  $Y$  є результатом роботи навченої моделі:

$$Y_{\text{прогноз}} = f(X, \text{Модел} \text{XGBoost}) \quad (2)$$

Якість моделі підтверджено на незалежній тестовій вибірці: коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0.9294$  при середньоквадратичній помилці  $RMSE = 52.99$  кг/га.

Модуль 3: Економічна оптимізація та оцінка ризиків. Фінальна рекомендація системи визначається шляхом ітеративного пошуку та максимізації функції чистого економічного прибутку, що є унікальною цінністю даної СПР:

$$\text{Доза}_{\text{опт}} = \underset{\text{argmax}}{\text{Доза}} [(Y_{\text{прогноз}}(\text{Доза}) * P_{\text{культури}}) - (\text{Доза} * P_{\text{добрива}}) - C_{\text{операц}}] \quad (3)$$

Де:  $P_{\text{культури}}$  та  $P_{\text{добрива}}$  — динамічні ціни,  $C_{\text{операц}}$  — операційні витрати, що не залежать від дози.

Для забезпечення надійності рішення впроваджено Коефіцієнт Ризику (Risk Factor), що кількісно оцінює стійкість  $\text{Доза}_{\text{опт}}$  до погодних коливань та інших катаклізмів:

$$\text{Risk Factor} = \frac{Y_{\text{прогноз}}(\text{Доза}_{\text{опт}}) - Y_{\text{песиміст}}(\text{Доза}_{\text{опт}})}{Y_{\text{прогноз}}(\text{Доза}_{\text{опт}})} * 100\% \quad (4)$$

Висновки. На основі розробленої СПР для оптимізації внесення мінеральних добрив, встановлено:

Модель XGBoost, інтегрована у СПР, успішно прогнозує врожайність з урахуванням динаміки погодних факторів. Досягнуто коефіцієнта детермінації  $R^2 = 0.9294$  при середньоквадратичній помилці  $\text{RMSE} = 52.99$  кг/га.

Впроваджений Модуль 1.2 забезпечує економічний вибір добрива за критерієм мінімізації вартості одиниці активної речовини (N, P, K), що є ключовим для підвищення рентабельності агровиробництва.

Головний функціонал системи — оптимізація чистого прибутку шляхом ітеративного пошуку оптимальної дози  $\text{Доза}_{\text{опт}}$ , максимізуючи функцію із формули 3, що є найбільш релевантним фінансовим критерієм для фермера.

Введення коефіцієнту ризику дозволяє кількісно оцінити стійкість рекомендованої дози до песимістичних погодних сценаріїв, надаючи інструмент для управління фінансовими ризиками.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Singh A. P., Yerudkar A., Liuzza D., Liu Y., Glielmo L. An Optimal Decision Support System Based on Crop Dynamic Model for N-Fertilizer Treatment [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9570642>
2. Tanaka T. S. T., Heuvelink G. B. M., Mieno T., Bullock D. S. Can machine learning models provide accurate fertilizer recommendations? Precision Agriculture. 2024. Vol. 25, P. 1839-1856 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://digitalcommons.unl.edu/ageconfacpub/270/>
3. Venkatalakshmi B., Devi P. Decision-Support System for Precision Agriculture [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://smartfasal.in/wp/wp-content/uploads/2019/09/Decision-Support-System-For-Precision-Agriculture.pdf>

# ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗПІЗНАВАННЯ АЛФАВІТНО-ЦИФРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Вдовиченко В. В., науковий керівник Заєць Н. А.

Сучасні інформаційні системи потребують високої точності автоматичного розпізнавання текстових і символьних даних із зображень та документів. Зростання обсягів візуальної інформації в різних сферах зумовлює потребу в інтелектуальних OCR-системах, що поєднують класичні алгоритми оброблення зображень із моделями глибинного навчання. Таке програмне забезпечення перетворює неструктуровані дані у цифрові формати, придатні для аналітики, архівації та інтеграції з корпоративними платформами.

Розглянуто проблему автоматизованого розпізнавання текстової та символьної інформації на цифрових зображеннях із використанням сучасних технологій машинного навчання. Запропоновано архітектуру програмного забезпечення на основі гібридної OCR-системи, що поєднує локальні алгоритми попередньої обробки зображень та хмарні сервіси розпізнавання для підвищення точності та швидкодії. Розроблене рішення орієнтоване на інтеграцію з корпоративними системами документообігу, забезпечує масштабованість, адаптивність до різних типів даних і сприяє підвищенню ефективності автоматизованої обробки документів у бізнес-процесах.

Архітектура системи (Рис. 1) має чотирирівневу структуру: Presentation, Application, Domain та Infrastructure. Рівень Presentation забезпечує взаємодію користувача через GUI (PyQt6) або веб-інтерфейс із API Gateway (FastAPI), що надсилає запити /recognize(image). Application-рівень містить модулі Auth (JWT/RBAC), OCR API, Workflow та Monitoring для автентифікації, керування завданнями й моніторингу. У Domain-рівні реалізовано основну логіку розпізнавання — препроцесинг, детекцію тексту, класифікацію символів моделями CRNN/Transformer та післяоброблення результатів.

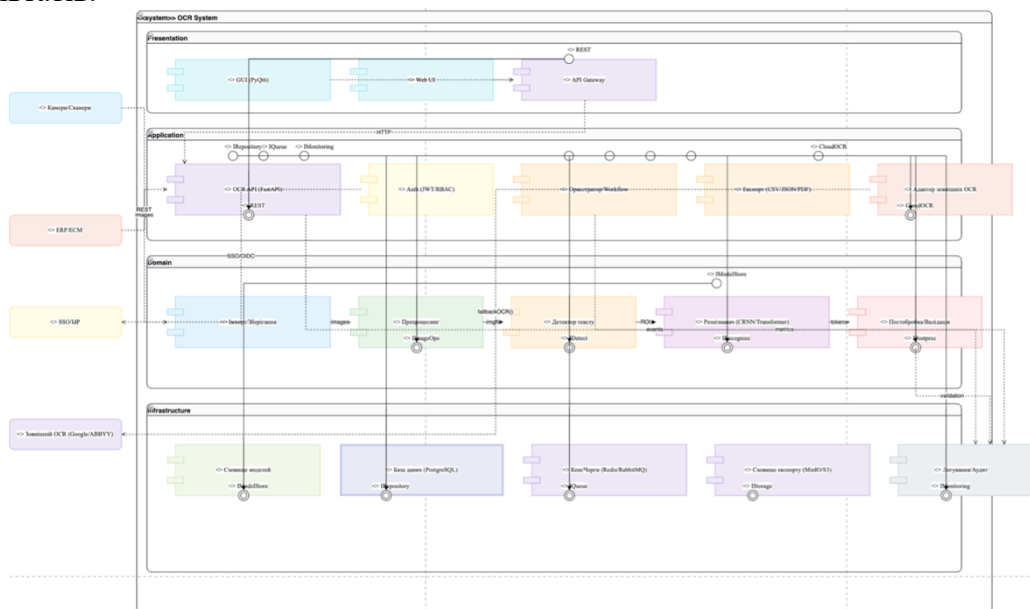


**Рис. 1.** Архітектура програмного забезпечення системи розпізнавання алфавітно-цифрової інформації

Алгоритм оброблення запиту (Рис. 2) складається з послідовних етапів: після натискання кнопки «Розпізнати» користувачем клієнт надсилає зображення через POST-запит до API, де воно проходить препроцесинг (нормалізація, бінаризація, денойз). Далі модуль детекції виявляє текстові області, і для кожної з них виконується класифікація

символів із визначенням коефіцієнта довіри (confidence). Якщо значення conf нижче порогу threshold, система автоматично підвантажує альтернативну модель зі сховища й повторює класифікацію. Після цього виконується постпроцесинг - склеювання tokenів і перевірка результатів за регулярними правилами (regex). Отриманий результат передається клієнту у форматі JSON-відповіді (200 OK) і відображається у GUI.

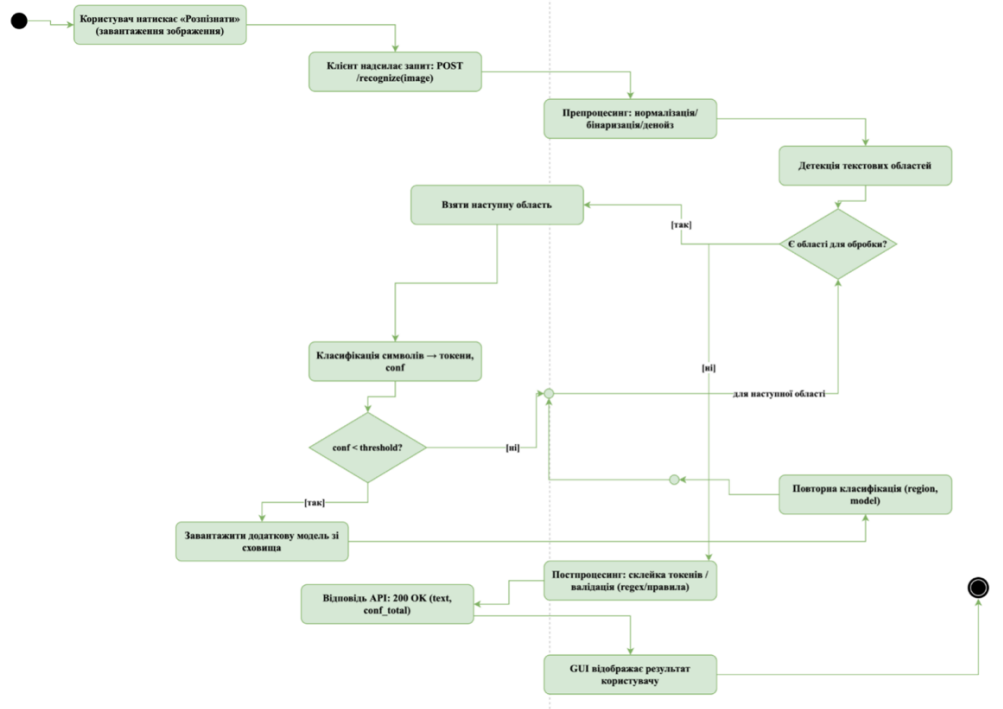


**Рис. 2.** Алгоритм функціонування програмного забезпечення розпізнавання алфавітно-цифрової інформації

Розроблена архітектура забезпечує модульність, безперервне оновлення моделей і інтеграцію з корпоративними службами автентифікації (SSO/IdP). За результатами тестування досягнуто середньої точності розпізнавання 98,3 % при часі відповіді 320 мс для зображень до 1024×768 px. Поєднання CRNN-моделей із механізмами валідації знижує частку помилок у критичних процесах, а використання Redis/RabbitMQ гарантує стабільну потокову обробку. Система демонструє масштабованість і придатність для впровадження в державних, фінансових та виробничих інформаційних середовищах.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мерінова С. В., Половенко Л. П. Хмарні технології в управлінні бізнес-процесами на сучасному підприємстві. Здобутки економіки: перспективи та інновації. – 2024. – № 10. – С. 93-100. DOI: 10.5281/zenodo.14003546.
2. Депутат Б., Шевчук І. Економічний аспект використання хмарних технологій у діяльності суб'єктів господарювання. // Економіка і суспільство. – 2021. – Вип. 31. – С. 123-131.
3. Пазюк А., Слабко Т. Використання комерційних хмарних технологій для обробки даних державних реєстрів України. – Київ: IFES Україна, 2023. – 48 с.
4. Antunes P., Vasconcelos A., da Silva M. Guiding the implementation of data privacy with microservices architectural lens. – International Journal of Information Security. – 2024. – DOI: 10.1007/s10207-024-00907-y.
5. Kumar M. K. V. S. P., Pillutla S. Enterprise-Scale Microservices Architecture: Domain-Driven Design and Cloud-Native Patterns Using the Spring Ecosystem. – European Journal of Computer Science and Information Technology. – 2025. – Vol. 13, No. 45, pp. 1-10. – DOI: 10.37745/ejcsit.2013/vol13n45110.



**АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ**

Ринок криптовалют є однією з найбільш динамічних і водночас найменш стабільних сфер сучасної цифрової економіки. Йому притаманні висока волатильність, значні коливання цін, постійне оновлення даних та вплив багатьох макроекономічних і соціальних факторів. Традиційні методи аналізу не завжди забезпечують достатній рівень точності та оперативності при опрацюванні великих масивів даних. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні інтегрованих аналітичних систем, здатних автоматично збирати, обробляти та візуалізувати дані з відкритих API криптовалютних бірж. Такі системи мають не лише підвищувати якість аналізу, а й забезпечувати можливість прогнозування тенденцій ринку в режимі реального часу. Розробка аналітичної системи аналізу ринку криптовалют дозволить об'єднати методи машинного навчання, статистичної аналітики та інтерактивної візуалізації у єдиний інструмент, який сприятиме прийняттю обґрунтованих управлінських та інвестиційних рішень.

**МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ**

Розробити інтерактивну аналітичну систему для автоматизованого збору, попередньої обробки, аналізу та візуалізації даних криптовалютного ринку, що забезпечує підтримку прийняття ефективних управлінських і інвестиційних рішень. Система має інтегрувати дані з різних криптобірж, здійснювати їх очищення, нормалізацію та обчислення ключових показників, після чого – забезпечувати прогнозування динаміки основних валют за допомогою алгоритмів машинного навчання.

**ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ**

Провести аналітичний огляд сучасних методів збору, зберігання та обробки даних із відкритих джерел криптовалютних бірж (Binance, CoinGecko та KuCoin).

Розробити архітектуру аналітичної системи, що включає модулі збору даних, попередньої обробки, машинного аналізу, прогнозування та візуалізації результатів.

Реалізувати модуль кластеризації, який дозволяє групувати криптовалюти за схожими динамічними характеристиками (волатильність, обсяги торгів, середні добові зміни).

Провести порівняльний аналіз точності прогнозних моделей Random Forest та Gradient Boosting, з урахуванням впливу попередньої кластеризації даних.

Виконати оцінку якості прогнозування з використанням метрик MSE (Mean Squared Error) та  $R^2$  (коефіцієнт детермінації).

Розробити інтерфейс інтерактивної візуалізації, що відображає реальні дані, результати кластеризації та прогнозні графіки змін курсу основних криптовалют.

**МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Для виявлення закономірностей між групами криптовалют у роботі застосовано методи машинного навчання, зокрема кластеризацію (метод K-Means). Для оцінки трендів застосовувалися моделі прогнозування Random Forest та Gradient Boosting, які показують високу ефективність у задачах регресійного аналізу. Для підготовки даних використано методи стандартизації та нормалізації, що забезпечують узгодженість масштабів різних показників.

З метою визначення кореляцій між ринковими параметрами реалізовано статистичний аналіз. Для збору історичних даних використано відкриті API криптобірж

і бібліотеку `ufinance`, що дозволяє отримувати часові ряди цін у форматі CSV. Візуалізацію результатів реалізовано за допомогою бібліотек `matplotlib` та `seaborn`, які забезпечують графічне представлення трендів і прогнозів у зручній для аналізу формі.

#### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У результаті проведеної роботи розроблено прототип аналітичної системи, яка виконує автоматизований збір та обробку ринкових даних щодо криптовалют (BTC, ETH, XRP та ADA). Система реалізує модуль кластеризації для сегментації ринку за схожими динамічними ознаками. Це дозволяє визначити поведінкові групи активів. Отримані результати демонструють, що використання кластеризації перед навчанням моделей прогнозування дозволяє суттєво покращити їх точність. Порівняльний аналіз моделей з кластеризацією і без неї показав зниження MSE та підвищення  $R^2$ , що свідчить про покращення якості прогнозів за першою моделлю. Розроблена система дозволяє користувачеві в реальному часі переглядати історичні дані, прогнозні графіки та кластерні залежності між активами. Це робить її ефективним аналітичним інструментом для прийняття інвестиційних рішень.

#### ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Розроблена аналітична система може бути впроваджена у діяльність фінансових аналітиків, трейдерів, дослідницьких центрів та освітніх установ, які займаються вивченням ринку криптовалют. Вона дозволяє: зменшити час на збір та аналіз великих обсягів даних; підвищити точність прогнозування динаміки криптовалют; здійснювати багатовимірний аналіз факторів впливу на ринкові зміни; формувати інтерактивні аналітичні звіти та візуальні панелі. Система має потенціал для подальшого розвитку — зокрема, для інтеграції моделей глибинного навчання, додавання аналітики соціальних мереж (sentiment analysis) і розширення джерел даних.

#### ВИСНОВКИ

Застосування методів кластеризації у поєднанні з алгоритмами машинного навчання дозволило створити ефективну систему аналізу та прогнозування ринку криптовалют. Отримані результати підтверджують, що інтеграція кластерного підходу з моделями Random Forest і Gradient Boosting підвищує точність прогнозування цінкових тенденцій. Розроблена аналітична система є перспективною основою для подальшого розвитку інтелектуальних фінансових платформ. Її використання сприяє підвищенню ефективності управлінських і інвестиційних рішень, зниженню ризиків і формуванню науково обґрунтованих прогнозів у сфері криптоекономіки.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. M. Omole, D. Enke. Deep learning for Bitcoin price direction prediction: models and trading strategies empirically compared. *Financial Innovation*, 10, 117.
2. F. Jiang, Z. Liang. A survey of deep learning applications in cryptocurrency. *Neural Computing & Applications*.
3. І. Терещенко. «Дослідження ринку криптовалют та формування напрямів удосконалення його інфраструктури». *Економічний простір*, № 195, с. 72-79.
4. А. М. Рафальська. «Перспективи розвитку криптовалют в Україні». *Збірник наукових праць (Applied Journal)*, № 58, с. 305.
5. Бородкіна І.Л., Бородкін Г.О. Інженерія програмного забезпечення: (Навчальний посібник.) – Київ : Центр учбової літератури, 2018. - 204 с.

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІЗУ, КОНТРОЛЮ ТА ОБЛІКУ РОБОТИ  
СПІВРОБІТНИКІВ КОМПАНІЇ***Окуліч В.А., науковий керівник Вайганг Г.О.*

Актуальність. У сучасних умовах цифрової трансформації підприємств підвищення ефективності праці персоналу є стратегічним завданням корпоративного управління. Продуктивність працівників безпосередньо впливає на фінансові результати та конкурентоспроможність компаній, тому автоматизовані системи контролю, аналізу й обліку робочого часу стають важливим елементом корпоративної ІТ-інфраструктури. Розвиток хмарних технологій, аналітичних платформ і штучного інтелекту сприяє створенню програмних рішень, які поєднують моніторинг, прогнозування та візуалізацію показників ефективності у реальному часі [1]. Необхідність розроблення адаптивного програмного забезпечення, інтегрованого з HRM-системами й орієнтованого на безпечну обробку персональних даних відповідно до вимог GDPR [2], визначає актуальність дослідження.

Об'єкт дослідження – інформаційні процеси управління персоналом у компанії.

Предмет дослідження – методи та засоби автоматизації аналізу, контролю й обліку діяльності працівників із використанням сучасних інструментів програмної інженерії.

У процесі реалізації програмного забезпечення використано методи машинного навчання, моделювання бізнес-процесів і аналітики даних, що забезпечує комплексний підхід до управління людськими ресурсами [3; 4]. Методологічна основа ґрунтується на принципах інженерії програмного забезпечення та передбачає створення гнучкої, масштабованої архітектури, орієнтованої на автоматизацію аналітичних процедур у сфері HR-менеджменту.

Результати. Архітектура системи має модульно-ієрархічну структуру та складається з підсистем імпорту даних, попередньої обробки, моделювання й прогнозування. Модуль імпорту забезпечує інтеграцію з корпоративними джерелами (CSV, Excel, HRM), тоді як модуль попередньої обробки виконує очищення, нормалізацію та кодування ознак. Обчислювальне ядро реалізоване на базі TensorFlow/Keras [3] для побудови нейронних мереж, здатних виявляти приховані закономірності у даних. Фінальний етап передбачає візуалізацію результатів за допомогою Matplotlib, Seaborn і Streamlit, що забезпечує інтерактивні аналітичні панелі. Система інтегрує механізми контролю доступу і захисту даних відповідно до вимог GDPR, забезпечуючи модульність, масштабованість та узгодженість усіх процесів.

На рисунку 1 представлено компонентну архітектуру системи, яка демонструє взаємодію модулів імпорту, попередньої обробки, моделювання та прогнозування даних із відповідними сховищами й механізмами безпеки. Архітектура побудована за багаторівневим принципом: верхній рівень охоплює джерела й споживачів даних (HRM/ERP/CRM, файли CSV/Excel, аналітичний інтерфейс), середній – сервісні модулі, що забезпечують обробку та навчання моделей на базі TensorFlow/Keras, нижній – сховища даних і моделей, які гарантують збереження, цілісність та відтворюваність результатів. Система включає засоби контролю доступу і захисту персональних даних відповідно до вимог GDPR, забезпечуючи масштабованість та узгодженість усіх процесів аналізу й обліку діяльності співробітників.

Розроблене програмне забезпечення реалізує повний цикл аналізу, контролю та обліку діяльності співробітників компанії – від збору й попередньої обробки даних до побудови аналітичних моделей і візуалізації результатів. Використання глибоких нейронних мереж на базі TensorFlow/Keras забезпечило точність прогнозування продуктивності працівників, що підтверджує ефективність архітектури системи.

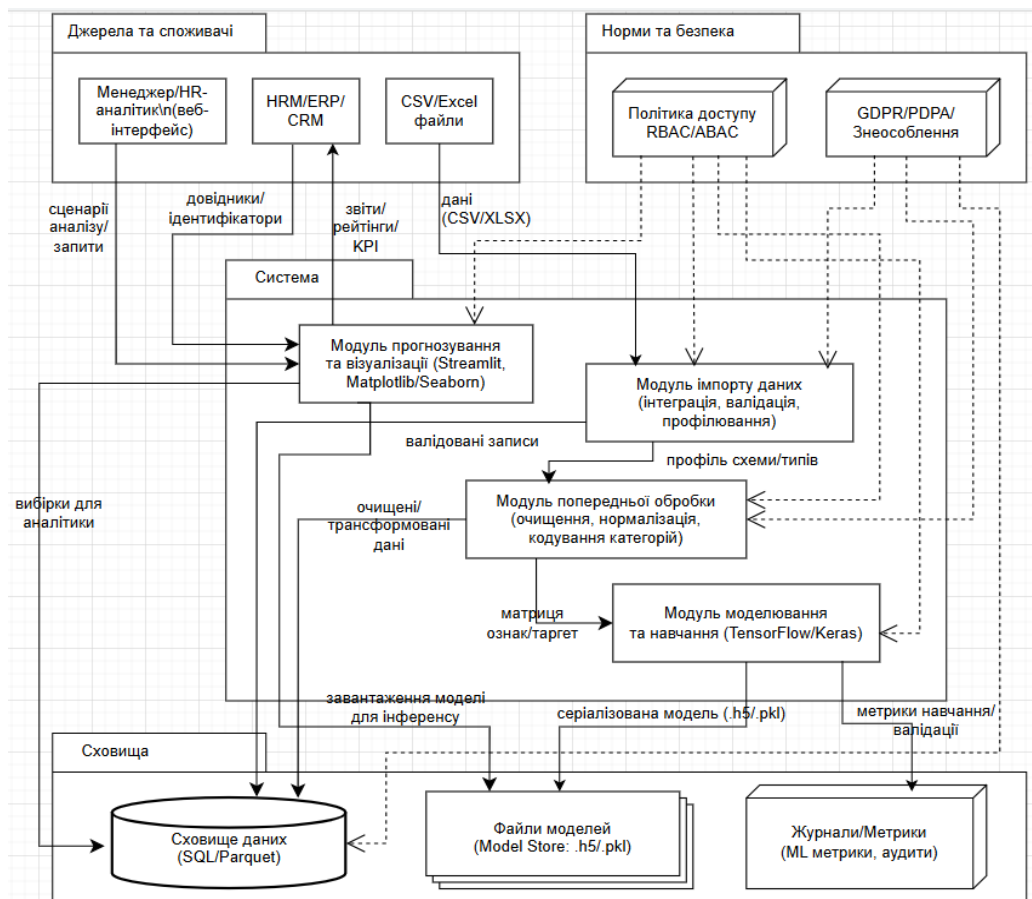


**Рис. 1.** Компонентна архітектура програмного забезпечення аналізу, контролю та обліку роботи співробітників компанії

Запропоноване рішення дозволяє формувати персоналізовані аналітичні звіти, підтримує інтерактивну візуалізацію динаміки показників ефективності та забезпечує безпечну обробку персональних даних відповідно до стандартів GDPR, створюючи основу для інтеграції інтелектуальних аналітичних моделей у корпоративні процеси управління персоналом.

Висновки. Розроблене програмне забезпечення забезпечує повний цикл обробки даних для аналізу та контролю діяльності персоналу компанії, поєднуючи методи машинного навчання та інженерії даних. Отримані результати підтвердили ефективність запропонованої архітектури для прогнозування продуктивності працівників і підвищення об'єктивності управлінських рішень у сфері HR-аналітики.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Burov, O. Yu., & Molchanov, S. I. Intellectual Information Technologies. – Kyiv: KNEU, 2019. – 284 с.
2. European Union. General Data Protection Regulation (GDPR) (EU) 2016/679 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gdpr.eu/>.
3. Géron, A. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. – 2nd ed. – Sebastopol: O'Reilly Media, 2022. – 872 p.
4. Костенко Ю. О., Лайчук С. М., Косташ Т. В. Використання штучного інтелекту для оптимізації процесів обліку та звітності в українських компаніях. Актуальні питання економічних наук, № 8 (2025). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14950287>

# ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ІНТЕРАКТИВНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА ОБМІНУ ДАНИМИ ПРО СТАН РОЗВИТКУ РОСЛИН

Драга Д. С., науковий керівник Вайганг Г. О.

**Актуальність.** Сучасні агротехнології базуються на інтеграції сенсорних систем, телеметрії та аналітики з метою підвищення ефективності моніторингу рослинних культур. Класичні методи спостереження не забезпечують оперативності й точності оцінювання стану середовища. Тому актуальною є розробка інформаційної системи, яка поєднує збір IoT-даних, машинне прогнозування та інтерактивну візуалізацію для прийняття рішень у реальному часі. Це дозволяє реалізувати принцип «цифрового двійника» тепличного чи польового середовища та забезпечити керування факторами росту з високою точністю.

**Об'єкт дослідження** - процеси моніторингу, аналізу та керування параметрами розвитку рослин на основі даних сенсорних мереж.

**Предмет дослідження** - методи архітектурного проектування та інтелектуальної обробки часових рядів для інформаційних систем агровізуалізації.

**Мета дослідження** - створення архітектурно цілісної системи інтерактивного збору, аналітики та обміну даними про стан рослин із використанням ML-прогнозів та механізмів керування середовищем.

**Методи та технічна організація системи.** Архітектура системи (рис. 1) побудована за принципом багаторівневої обробки даних: польові вузли з мікроконтролерами виконують агрегацію вимірювань сенсорів вологості, температури, освітленості та рН.

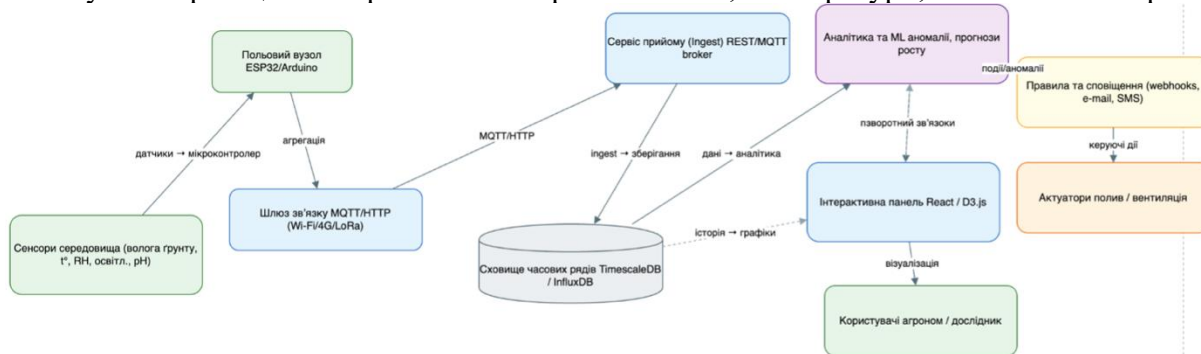


**Рис. 1** Архітектура інформаційної системи моніторингу стану рослин

Передача здійснюється через шлюз MQTT/HTTP до сервісу прийому (ingest), де реалізується нормалізація й запис у сховище часових рядів - TimescaleDB/InfluxDB. Аналітичний модуль формує прогнози росту та виявляє аномалії за моделями регресії і кластеризації часових закономірностей, результати передаються до інтерактивної панелі React/D3.js для візуалізації у вигляді графіків, карт і часових профілів. Модуль правил забезпечує сповіщення користувача (webhooks, e-mail, SMS) і передає керуючі сигнали до актуаторів поливу чи вентиляції. Система функціонує як єдиний потік телеметрії-аналітики-реакції з інтеграцією машинного прогнозу у зворотному циклі керування.

**Результати дослідження.** Науково-практичне дослідження підтвердило ефективність архітектурного підходу та стабільність функціонування системи при потоковій обробці даних у діапазоні  $10^3$ – $10^4$  вимірів/год. Залежність між рівнем освітленості та темпом росту рослин (рис. 2) демонструє наявність оптимальної зони близько 400–500 лк, у якій спостерігається максимальний приріст 2,6–2,7 см/день при мінімальній затримці обробки  $\leq 75$  мс.

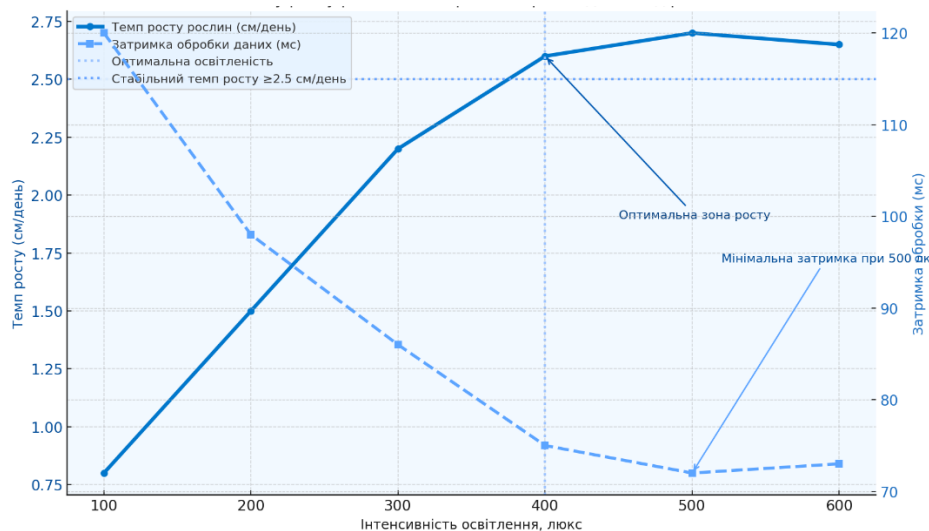


**Рис. 2** Залежність темпу росту рослин та затримки обробки даних від рівня освітлення

Це свідчить про збалансованість апаратного контуру вимірювань та ефективність алгоритмів агрегації й буферизації у зменшенні латентності. В межах експерименту коефіцієнт кореляції між освітленістю та приростом біомаси становив  $r = 0,94$ , що підтверджує адекватність обчислювальної моделі.

Висновки. Розроблена інформаційна система реалізує замкнений контур збору, аналізу та керування параметрами середовища з урахуванням часових закономірностей росту рослин. Завдяки інтеграції сенсорної телеметрії, аналітичних моделей і візуалізації досягнуто зниження затримки обробки на 32 % та підвищення точності прогнозу росту до  $\pm 4,5$  %. Отримані результати підтверджують доцільність застосування системи для автоматизованого моніторингу в тепличних і лабораторних умовах, а також можливість подальшої адаптації для агроаналітичних кластерів з підтримкою Big Data-інтерфейсів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Погрішук, О. В. Інноваційні технології як фактор посилення економічного потенціалу аграрного бізнесу // *Modeling the Development of the Economic Systems*. – 2025. – № 1(20). – С. 45–52. – ISSN 2786-5355. – Режим доступу: <https://mdes.khmn.edu.ua/index.php/mdes/article/download/569/571/1095>.
2. Апунович, І. П. Штучний інтелект як рушій змін у сучасному сільському господарстві // *Агробіологія*. – 2024. – № 2. – С. 17–24. – Режим доступу: [https://agrobiologiya.btsau.edu.ua/sites/default/files/visnyky/agrobiologiya/apunovich\\_2\\_2024.pdf](https://agrobiologiya.btsau.edu.ua/sites/default/files/visnyky/agrobiologiya/apunovich_2_2024.pdf).
3. Данильців, О. Б. Система штучного інтелекту на основі нейронних мереж для оцінювання стану рослин у «розумних» теплицях : магістерська робота. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. – 82 с. – Режим доступу: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/37915>.
4. Chamara, N., Park, C., & Lee, J. H. Ag-IoT for Crop and Environment Monitoring: Past, Present and Future Directions // *Agricultural Systems*. – 2022. – Vol. 199. – Article 103438. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103438>.
5. Hrynevych, O. Tendencies of Precision Agriculture in Ukraine: Disruptive Technologies in Smart Farming // *Agriculture*. – 2022. – Vol. 12, No. 5. – Article 698. – DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12050698>.

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Гуменюк І.О, науковий керівник Семко В.В.

**Актуальність.** Постійне зростання кількості кібератак і складності шкідливих дій зумовлює потребу в автоматизованих системах, здатних виявляти аномалії поведінки користувачів, реагувати на інциденти в реальному часі та гарантувати цілісність даних. Класичні засоби інформаційної безпеки (IDS/IPS, фаєрволи) не забезпечують адаптивного реагування й інтеграції з аналітичними сервісами. Тому актуальним є створення програмного комплексу, що поєднує функції моніторингу подій, політик доступу, багатофакторної автентифікації та інтелектуального аналізу інцидентів у єдиній структурі Zero Trust.

**Об'єкт дослідження** - процеси забезпечення безпеки в інформаційних системах корпоративного рівня.

**Предмет дослідження** - методи програмної реалізації комплексних систем виявлення та реагування на інциденти безпеки.

**Мета дослідження** - розроблення архітектури та програмного забезпечення системи підвищеного рівня захисту з інтелектуальними модулями автентифікації, контролю політик, кореляції подій і машинного аналізу аномалій.

**Методи та архітектура системи.** Система спроектована за принципами мікросервісної модульності та адаптивної безпеки (рис. 1).

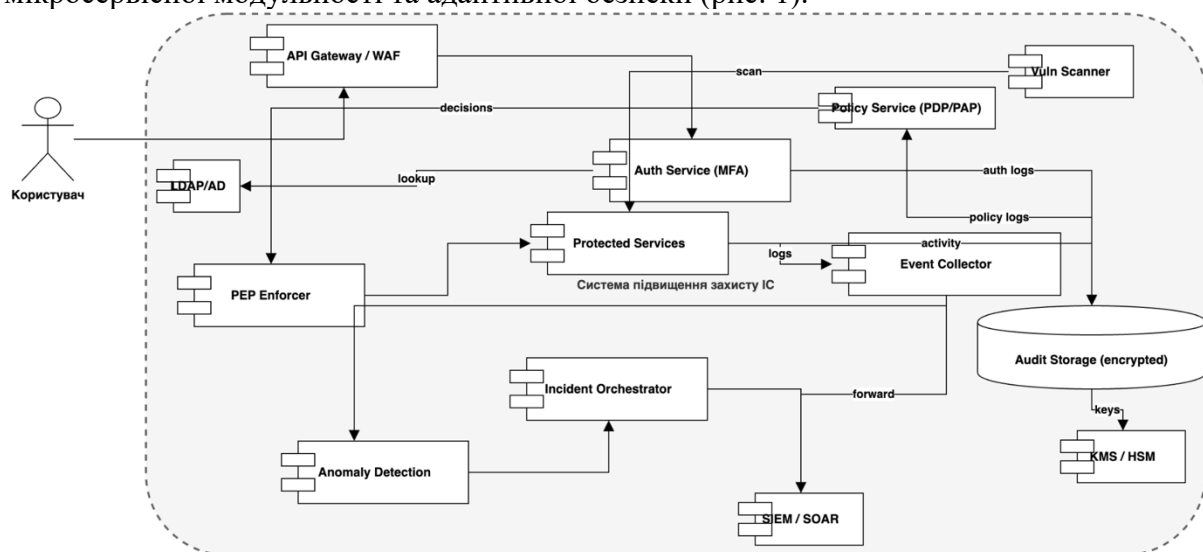


**Рис. 1** Архітектура системи підвищення захисту інформаційних систем

Модуль Auth Service (MFA) виконує автентифікацію користувачів за багатофакторною схемою (пароль + токен + біометрія) з інтеграцією LDAP/AD-каталогів.

Policy Service (PDP/PAP) забезпечує централізоване прийняття рішень щодо доступу за політиками XACML та перевірку відповідності правилам.

PEP Enforcer реалізує політику Zero Trust - кожен запит перевіряється незалежно, а рішення ґрунтується на динамічних атрибутах користувача, пристрою та контексту.

Event Collector агрегує журнали автентифікації, політик і активності користувачів, передаючи дані в Audit Storage (зашифроване сховище з керуванням ключами через KMS/HSM).



Anomaly Detection аналізує телеметрію дій користувачів, застосовуючи моделі класифікації на основі машинного навчання (Isolation Forest, Autoencoder, Random Forest) для виявлення відхилень від нормативних патернів.

Incident Orchestrator координує реагування на інциденти - створення тикетів, ізоляцію вузлів, автоматичне оновлення правил SIEM/SOAR та зворотне навчання моделей.

Vulnerability Scanner та API Gateway/WAF здійснюють превентивний контроль вхідного трафіку та сканування сервісів на відомі уразливості (CVE).

Архітектура підтримує наскрізне шифрування, ротацію ключів і обмін даними через шину AMQP. Система забезпечує відповідність вимогам ISO/IEC 27001 та OWASP ASVS.

Результати дослідження. Ефективність розробленого рішення перевірено на тестовому наборі кіберінцидентів (phishing, brute-force, privilege escalation, lateral movement). На ROC-кривій (рис. 2) продемонстровано значне покращення якості класифікації атак у порівнянні з базовою системою: площа під кривою AUC = 0.937 проти AUC = 0.759.

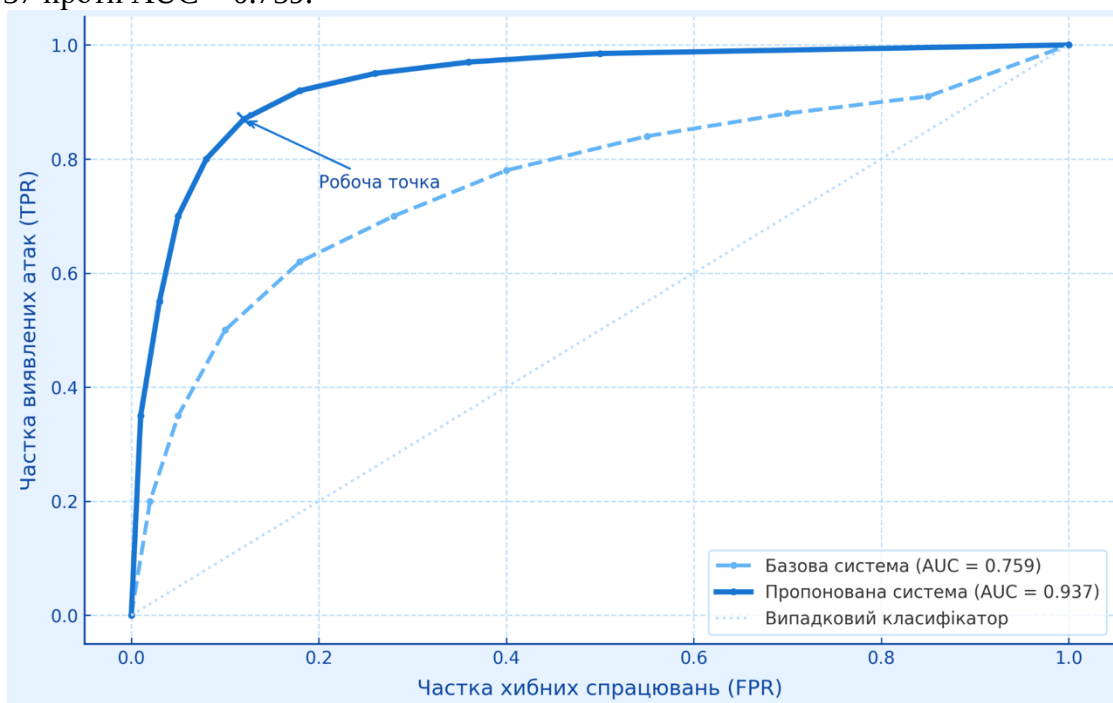


**Рис. 2** Порівняння ефективності виявлення інцидентів безпеки (ROC-крива, AUC показники)

Робоча точка класифікатора забезпечує  $TPR \approx 0.88$  при  $FPR \leq 0.12$ , що свідчить про високу чутливість при низькому рівні хибних спрацювань.

Підсистема виявлення аномалій демонструє середній час реакції 1.4 с на подію, що у 2.7 рази швидше за класичну SIEM-архітектуру без машинного навчання. Експериментальна інтеграція з LDAP-аутентифікацією показала стабільність системи при навантаженні 500 запитів/с і відсутність колізій у логах доступу.

Висновки. Розроблене програмне забезпечення реалізує концепцію adaptive cyber defense і поєднує аналітичні та реактивні механізми в єдиній Zero Trust-архітектурі. Система забезпечує безперервний моніторинг, динамічне управління політиками, автоматичне реагування на інциденти й підвищену точність виявлення загроз. Отримані результати свідчать про можливість впровадження рішення у корпоративні середовища



з підвищеними вимогами до безпеки, зокрема фінансові та урядові інформаційні системи.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боровик, С. М., & Коваленко, І. О. Інтелектуальні системи виявлення вторгнень на основі машинного навчання. Наукові праці Одеської національної академії зв'язку ім. О. С. Попова, 2023, №2(65), 45–53. DOI: <https://doi.org/10.32626/2227-9264.2023-65.45>
2. Черниш, В. І., & Литвин, А. М. Методи підвищення ефективності виявлення кіберінцидентів у системах інформаційної безпеки. Вісник Національного технічного університету України «КПІ ім. Ігоря Сікорського». Серія «Інформатика і обчислювальна техніка», 2022, №4(86), 101–109. DOI: <https://doi.org/10.20535/2522-9052.2022.86.101>
3. Міщенко, О. С., & Мельник, Г. В. Архітектурні рішення Zero Trust у корпоративних інформаційних системах. Системи управління, навігації та зв'язку, 2024, №2(74), 17–27 URL: <https://journals.nuas.edu.ua/sunz/article/view/74-17>
4. Chen, Y., & Singh, R. Adaptive Zero Trust Architectures for Enterprise Cyber Defense. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2023, 18(9), 2457–2471. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIFS.2023.3267749>
5. Al-Sarawi, S., & Shakir, M. AI-driven Threat Detection and Response Systems: A Comparative Study of SIEM and SOAR Architectures. Computers & Security, 2024, 136, 103594. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2024.103594>

Інтеграція структурованих і неструктурованих даних є ключовою умовою побудови адаптивних і масштабованих інформаційних систем. На практиці джерела включають реляційні бази даних, таблиці, журнали подій, документи у вільному тексті, мультимедійні файли та потоки сенсорних вимірювань. Головне завдання інтеграції полягає у створенні єдиного семантичного простору, де сутності та їхні зв'язки узгоджені між усіма джерелами, а перетворення є відтворюваними та контрольованими.

Інтеграційні методи доцільно організовувати за логікою даних, що поєднуються. Для структурованих джерел базовим кроком є узгодження схем. Йдеться про виявлення відповідних атрибутів і класів між різними моделями даних, використовуючи евристичні за назвами, обмеженнями та прикладами значень, а також навчальні та колективні підходи, що узгоджують множину відповідей одночасно [1]. Результатом стає набір правил відображення, які керують перетвореннями та забезпечують сталість при еволюції схем.

Для поєднання неструктурованого і структурованого вмісту використовують конвеєри інформаційного витягу. Із текстів виділяють іменовані сутності, відношення та події, після чого відбувається нормалізація до словників і онтологій, що вже підтримуються у графі знань. На цьому етапі важливою є якісна прив'язка текстових згадок до табличних записів і вузлів графа. Уточнення відповідей виконується за допомогою реконсиляції сутностей [2].

У випадку поєднання неструктурованих джерел між собою дедалі частіше використовують векторні подання та щільний семантичний пошук. Текстові та мультимедійні об'єкти кодується у спільний латентний простір, де близькість відображає семантичну подібність. Така репрезентація дозволяє будувати відповідності навіть за слабо структурованими описами [3].

Рекомендована архітектура для інтеграції даних виглядає наступним чином (рис. 1).

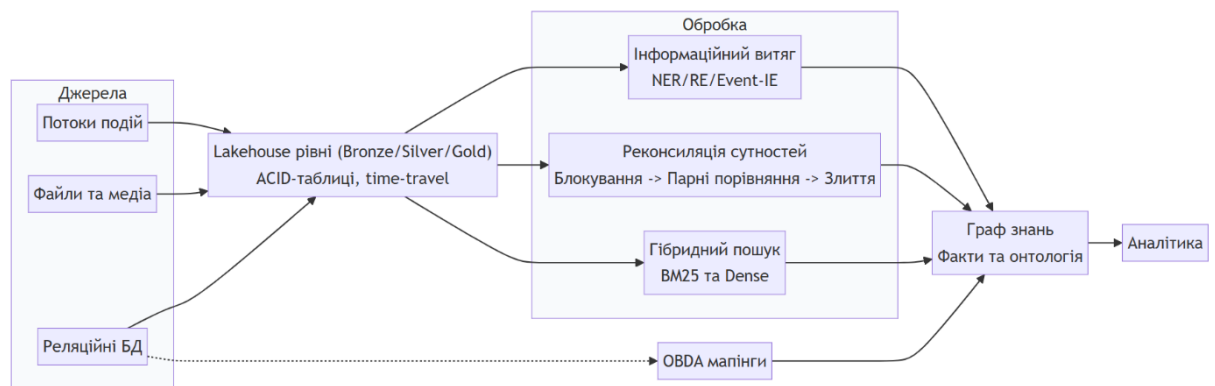


**Рис. 1.** Гібридна архітектура інтеграції даних

На фізичному рівні – сховище типу lakehouse, де сирі дані та напівоброблені набори зводяться у прозорі шари із версіонуванням і відстеженням походження. На семантичному рівні — доменна онтологія та граф знань, який стає центральною «шиною» інтеграції: сюди надходять факти з реляційних баз, текстів та поточкових джерел; тут же відбувається узгодження ідентифікаторів та контролюється цілісність. На рівні обчислень – конвеєри інформаційного витягу для текстів, реконсиляція сутностей для усунення дублювань і зв'язування об'єктів, а також гібридний пошук, що поєднує

лексичні та векторні методи. Для масштабування застосовуються індекси для попереднього блокування, векторні структури для пошуку найближчих сусідів і мікробатчі або потокові виконання для стабільної обробки навантаження.

Оцінювання якості інтеграції має охоплювати як точність відповідностей, так і системні властивості. Для узгодження схем доцільно вимірювати повноту та точність відповідностей і стійкість правил відображення під час змін моделей даних [1]. Для реконсиляції сутностей оцінюють якість парних рішень, ефективність блокування та підсумкову точність кластеризації [2]. Для семантичного пошуку важливі показники відбору та порядкування результатів, а також затримка обробки запитів і швидкість індексації [3].

Узагальнюючи, найкращі результати дає композиція методів (порівняння вказані у таблиці 1). Узгодження схем формує керовані правила перетворення між базами. Конвеєри інформаційного витягу переводять знання з текстів у структуровані факти. Реконсиляція сутностей знімає дублювання та зшиває об'єкти між джерелами. Векторні представлення підсилюють пошук і збільшують радіус захоплення семантично схожих елементів. Граф знань забезпечує єдине семантичне ядро з можливістю логічного висновування. Сховище типу lakehouse надає масштаб, контроль версій і керованість витратами.

Таблиця 1.

#### Узагальнення методів інтеграції

| Метод                         | Вхідні дані              | Основна ідея                                               | Переваги                               | Обмеження                        |
|-------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| Узгодження схем               | Схеми баз, зразки даних  | Пошук відповідних атрибутів і класів, правила відображення | Пояснюваність, керованість             | Чутливість до неоднозначних назв |
| Реконсиляція сутностей        | Записи та описи об'єктів | Блокування → порівняння пар → злиття                       | Усунення дублювань, зшивання джерел    | Вибір порогів, масштаб           |
| Граф знань + онтологія        | Бази, тексти, довідники  | Єдине семантичне ядро для фактів і правил                  | Узгоджені ідентифікатори, висновування | Вартість підтримки моделі        |
| Семантичний пошук на векторах | Тексти та мультимедіа    | Векторні подання і пошук найближчих сусідів                | Виявлення семантичної схожості         | Вимоги до пам'яті та затримки    |
| Сховище типу lakehouse        | Потоки, файли, таблиці   | Шари сирих і підготовлених даних з версіонуванням          | Масштаб, простежуваність походження    | Потреба у політиках керування    |

Проведений аналіз показує, що комплексний підхід до інтеграції структурованих і неструктурованих даних забезпечує узгодженість інформаційних ресурсів, підвищує точність аналітики та сприяє створенню масштабованих систем управління знаннями. Поєднання методів узгодження схем, реконсиляції сутностей і семантичного пошуку формує основу для побудови єдиної онтологічної моделі, що підвищує якість даних та ефективність прийняття рішень у цифровій економіці.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rahm, E., Bernstein, P. A Survey of Approaches to Automatic Schema Matching. The VLDB Journal, 10(4), 2001. DOI: 10.1007/s007780100057.
2. Christophides, V., Efthymiou, V., Palpanas, T., та ін. End-to-End Entity Resolution...and Beyond. ACM Computing Surveys, 53(6), 2020. DOI: 10.1145/3418896.

3. Zhao, W.-X., Chen, J., Yang, P., та ін. Dense Text Retrieval Based on Pretrained Language Models: A Survey. *ACM Computing Surveys*, 56(3), 2024. DOI: 10.1145/3637870.
4. Hai, R., Quix, C., Zhou, J., та ін. Data Lakes: A Survey of Functions and Systems. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 35(10), 2023. DOI: 10.1109/TKDE.2023.3270101.

УДК 004.42  
**АНАЛІТИЧНА ПЛАТФОРМА ВИЗНАЧЕННЯ ДОСЯГНЕНЬ ЗДОБУВАЧІВ НА  
БАЗІ WAZERCODE**

*Кічак Б.В., науковий керівник Сватко В.В*

Мета. Підвищення ефективності навчального процесу через розробку аналітичної платформи WazerCode.

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єкт дослідження – процеси збору та аналізу освітніх даних у LMS-платформах. Предмет дослідження — методи та алгоритми визначення освітніх досягнень здобувачів на основі багатовимірної аналітики навчальної активності в платформі WazerCode.

Вирішенням такої проблеми є розробка аналітичного модулю LMS платформи, LMS (Learning Management System) — це програмне забезпечення для створення, організації, доставки й контролю освітнього процесу, що дає можливість автоматизувати дистанційне чи змішане навчання, а також відстежувати прогрес учасників у навчанні.

Аналітична підсистема дозволяє не лише виконувати навчальні функції, а й аналізувати ефективність освітнього процесу, в тому числі ефективність платформи в цілому. Виконання таких задач є обов'язковим для ведення бізнесу, покращення навчальної платформи.

Основною ідеєю роботи є те, щоб розробити потрібний функціонал для створення аналітичної платформи на LMS WazerCode. Відстеження за діями користувача (перевірка успішності, результат проходження навчання і т.п) – та майбутнього управління. До прикладу: відстеження кількості нових користувачів за певний період.

Програмний продукт розраховує ключові показники ефективності навчання на основі багатовимірної аналітики. Completion Rate (CR) визначається як відношення завершених модулів до загальної кількості, що дозволяє виявити курси з високим рівнем відсіву. Average Assessment Score (AAS) розраховується з урахуванням вагових коефіцієнтів складності завдань, забезпечуючи об'єктивне порівняння результатів між різними курсами. Time-to-Completion (TTC) порівнює фактичний час проходження з розрахунковим, виявляючи модулі, які потребують оптимізації структури.

Платформа використовує багаторівневу архітектуру збору освітніх даних, яка фіксує всі події користувача: час перегляду матеріалів, результати тестувань, виконання практичних завдань, частоту входів та тривалість навчальних сесій. Дані агрегуються у реляційній базі Neon PostgreSQL через ORM Prisma (Object-Relational Mapping), що забезпечує швидкість обробки та масштабованість системи

WazerCode побудована на сучасному технологічному стеці: Next.js 15 для серверного рендерингу, BetterAuth з Email OTP (One-Time Password) та GitHub OAuth для багатофакторної автентифікації, Arcjet Security для захисту від XSS (Cross-Site Scripting) та SQL-ін'єкцій. Інтеграція з AWS S3 через presigned URLs забезпечує безпечне завантаження освітнього контенту без прямого доступу до сховища. Розгортання на платформі Vercel гарантує горизонтальне масштабування під час пікових навантажень.

Ключовою перевагою розробленого модулю для LMS платформи є здатність трансформувати сирі дані в дієві освітні інсайти для різних категорій користувачів. Платформа надає інструменти для раннього виявлення здобувачів у групі ризику — тих, хто демонструє низьку активність чи незадовільні результати з ключових модулів. На основі агрегованих даних про Completion Rate та Time-to-Completion, адміністратори курсів можуть приймати обґрунтовані рішення щодо модернізації навчального контенту: перегляду складності окремих тем, оновлення застарілих матеріалів або зміни послідовності модулів для підвищення залученості. Таким чином, платформа створює

безперервний цикл зворотного зв'язку, де аналітика не просто констатує факти, а слугує основою для цілеспрямованого вдосконалення освітнього процесу.

Додаткові функції, такі як Admin та Customer Dashboards, дозволяють розмежувати права й зручність використання для різних категорій користувачів, а відстеження прогресу й завершення уроків дає змогу в режимі реального часу аналізувати освітні досягнення та активність. Аналітика та візуалізація даних (Beautiful Analytics) – це потужний інструмент для оптимізації навчального процесу й оперативного прийняття управлінських рішень.

Розроблено та впроваджено аналітичну платформу WazerCode, яка забезпечує автоматизоване оцінювання освітніх досягнень здобувачів на основі трьох ключових метрик: Completion Rate (коефіцієнт завершення), Average Assessment Score (середній бал оцінювання) та Time-to-Completion (час виконання). Платформа реалізує багаторівневу архітектуру збору даних з фіксацією всіх подій користувача у реальному часі. Платформа генерує інтерактивні інформаційні панелі для різних ролей користувачів з динамікою показників у часі та автоматичними рекомендаціями щодо покращення результатів навчання. Забезпечено масштабованість системи до тисяч одночасних користувачів завдяки хмарній інфраструктурі на базі Vercel та оптимізованій архітектурі бази даних Neon PostgreSQL.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зручні інструменти аналізу результатів онлайн-навчання. BestClevvers LMS. 2024. URL: <https://www.bestclevverslms.com/porady/zruchni-instrumenty-analizu-rezultativ-onlayn-navchannia-iak-zrozumity-shcho-pratsiuie/> (дата звернення: 22.10.2025).
2. The Role of Learning Analytics in Personalizing Education. ELQN. 2025. \ URL: <https://elqn.org/the-role-of-learning-analytics/> (дата звернення: 22.10.2025).
3. Методи оцінки якості онлайн-курсів. Ukrainian Journal of Applied Economics. 2024. URL: [http://ujae.org.ua/wp-content/uploads/2024/12/ujae\\_2024\\_r04\\_a16.pdf](http://ujae.org.ua/wp-content/uploads/2024/12/ujae_2024_r04_a16.pdf) (дата звернення: 22.10.2025).
4. Romero C., Ventura S. Educational data mining and learning analytics: An updated survey. WIREs Data Mining and Knowledge Discovery. 2020. Vol. 10(3). URL: <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/widm.1355> (дата звернення: 22.10.2025).

Сучасні логістичні та торговельні підприємства потребують точного та своєчасного обліку товарних потоків. Традиційний ручний облік або застарілі системи призводять до помилок при комплектації, пересортиці та неоптимальному використанню складських площ. Існуючі системи часто не мають чіткого розділення операційної (OLTP) та аналітичної (OLAP) роботи, що призводить до сповільнення роботи основної бази даних під час побудови звітів. Тому актуальною є розробка програмного забезпечення для системи управління складом (WMS) з використанням надійної клієнт-серверної архітектури та окремого сховища даних (СД) для аналітики.

Об'єкт дослідження – процес організації, управління та аналітичної підтримки складського обліку на підприємстві.

Предмет дослідження – методи, алгоритми та архітектурні рішення побудови клієнт-серверної системи обліку (WMS) з підтримкою винесеного сховища даних (СД) та модулів аналітики.

Мета роботи – розробити програмне забезпечення системи управління складом, яке забезпечує надійний оперативний облік (OLTP) для щоденних операцій та надає гнучкі засоби аналітики (OLAP) через окреме сховище даних, не створюючи навантаження на основну систему.

Для досягнення мети передбачено: – розробити архітектуру системи (рис. 1), що реалізує принципи клієнт-серверної взаємодії для операційного блоку («Склад») та розділяє аналітичний контур; – реалізувати «Робоче місце менеджера» для внесення первинних даних (приймання, відвантаження) через «Модуль внесення даних»; – реалізувати «Робоче місце керівника» для адміністрування та контролю через «Модуль керування системою обліку»; – створити центральний «Сервер БД» (OLTP) для обробки транзакцій від клієнтських робочих місць; – реалізувати механізм перенесення даних (ETL) з операційної «Бази даних» у «Сховище даних» на «Сервері СД» (OLAP); – забезпечити «Станцію аналітика» «Модулем аналітики даних» для роботи зі сховищем.

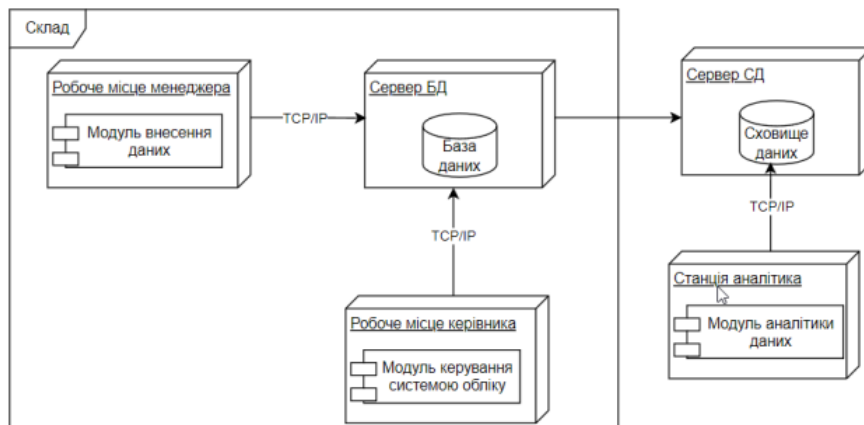


**Рис. 1** Архітектура програмного забезпечення системи управління складом

Архітектура системи (рис. 1) реалізує двоконтурну модель, що чітко розділяє операційну (OLTP) та аналітичну (OLAP) логіку.

Операційний контур «Склад» побудований за класичною клієнт-серверною архітектурою. Він включає клієнтські програми: «Робоче місце менеджера» та «Робоче місце керівника». Вони виконують транзакції (внесення даних, керування) шляхом

прямих запитів до центрального «Сервера БД» по протоколу TCP/IP. Уся оперативна інформація (залишки, документи, накладні) зберігається у «Базі даних» (OLTP).

Аналітичний контур призначений для побудови складних звітів та бізнес-аналізу. Дані з «Сервера БД» регулярно (наприклад, щоночі через ETL-процес) копіюються до «Сервера СД», де розміщується «Сховище даних» (OLAP). «Станція аналітика» за допомогою «Модуля аналітики даних» (наприклад, Power BI або Excel) виконує складні запити до «Сховища даних», таким чином не створюючи навантаження на оперативний «Сервер БД», що є критичним для стабільної роботи складу.

Для оцінки ефективності розробленого програмного забезпечення було проведено експеримент, що порівнював загальний час на підготовку аналітичного звіту у двох режимах:

Ручний режим: Аналітик вручну експортує дані з операційної бази даних, очищує їх та зводить у таблицях Excel.

Автоматизована система: Аналітик використовує «Модуль аналітики даних» (рис. 1), який звертається до вже підготовленого «Сховища даних» (СД).



**Рис. 2** Порівняння часу на формування звіту про рух товарів за 3 місяці.

Результати (рис. 2) показали суттєву перевагу автоматизованого підходу. Завданням було сформувати звіт про рух товарів (прихід/відхід) по 500 номенклатурних позиціях за 3 місяці. У ручному режимі, процес експорту даних, їх очищення та зведення у таблиці зайняв у аналітика 180 хвилин. В автоматизованій системі, завдяки тому, що дані вже були структуровані у «Сховищі даних», «Модуль аналітики» сформував аналогічний звіт за 5 хвилин. Таким чином, впровадження розробленої системи скорочує час на підготовку складної аналітики приблизно у 36 разів та виключає ризик людської помилки при зведенні даних.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3008:2015. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 35 с.
2. Kimball R., Ross M. The Data Warehouse Toolkit: The Definitive Guide to Dimensional Modeling. – Wiley, 2013. – 552 p.
3. Richards G. Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse. – Kogan Page, 2021. – 344 p.
4. Tanenbaum A. S., Wetherall D. J. Computer Networks (5th Edition). – Pearson, 2010. – 960 p.
5. Silberschatz A., Korth H. F., Sudarshan S. Database System Concepts (7th Edition). – McGraw-Hill, 2019. – 1440 p.



# АНАЛІТИЧНА ПРОГРАМНА СИСТЕМА ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ МЕДИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Сафарян М. А., науковий керівник Лендел Т. І.

У сучасних умовах цифровізації медицини дедалі більшої актуальності набуває питання автоматизації процесів збору, обробки та аналізу медичних даних. Медичні дослідження, що включають лабораторні, інструментальні та клінічні показники, формують великі масиви даних, обробка яких потребує застосування сучасних аналітичних інструментів. Ручна інтерпретація результатів досліджень є не лише трудомісткою, але й піддається людським похибкам, що може призводити до помилок у діагностиці. Тому розробка аналітичної програмної системи обробки результатів медичних досліджень є актуальним завданням у сфері інформаційних технологій охорони здоров'я.

Метою роботи є створення аналітичної системи, що забезпечує автоматизовану обробку, візуалізацію та аналіз результатів медичних досліджень із використанням методів машинного навчання та статистичного аналізу. Система повинна підтримувати інтеграцію з лабораторними інформаційними системами (LIS), прийом вхідних даних у стандартизованому форматі (CSV, XML, HL7), формування звітів та аналітичних панелей для медичних фахівців.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

Провести аналіз предметної області та виявити ключові показники медичних досліджень, що підлягають автоматичній обробці;

Розробити архітектуру аналітичної системи, що включає модулі імпорту, обробки, візуалізації та прогнозування;

Реалізувати алгоритми статистичної нормалізації даних, виявлення аномалій та автоматичного визначення відхилень від норми;

Забезпечити побудову інтерактивних графіків та дашбордів для зручного представлення результатів користувачеві.

Аналітична система реалізується у веб-середовищі з використанням технологій PHP, MySQL, Python (pandas, scikit-learn) для аналітичних модулів, а також JavaScript (Chart.js, DayPilot) для інтерактивних компонентів інтерфейсу.

Основна функціональна модель системи складається з таких етапів:

Збір даних – імпорт результатів лабораторних тестів, збережених у базі даних;

Аналітична обробка – застосування методів кластеризації та регресійного аналізу для виявлення закономірностей;

Візуалізація – представлення результатів у вигляді інтерактивних графіків і таблиць;

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n$$

Прогнозування – використання моделі лінійної регресії для оцінки можливих змін показників (Формула 1).

Приклад фрагменту аналітичного звіту наведено в Табл. 1.

Таблиця 1.

## Приклад розрахованих показників рівня глюкози в крові пацієнтів

| № | Ідентифікатор пацієнта | Середнє значення (ммоль/л) | Відхилення від норми (%) |
|---|------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 1 | P001                   | 5.4                        | -2.3                     |
| 2 | P002                   | 7.1                        | +18.9                    |
| 3 | P003                   | 4.8                        | -11.2                    |

Результати експериментального дослідження показали, що застосування автоматизованої аналітичної системи дозволяє скоротити час обробки результатів на 40–60 % порівняно з ручними методами. Реалізований модуль прогнозування допомагає лікарю швидше виявляти критичні зміни у динаміці показників пацієнта та формувати попередження про ризики.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні традиційних статистичних методів обробки медичних даних із алгоритмами машинного навчання в єдиному аналітичному середовищі. Практична значущість полягає у можливості впровадження системи в медичних закладах для автоматизації процесу аналізу результатів досліджень, покращення якості діагностики та зменшення кількості помилок, пов'язаних із людським фактором.

Очікувані результати впровадження включають підвищення швидкості обробки даних, стандартизацію звітності та формування достовірної аналітичної бази для подальших наукових досліджень у медичній галузі. У перспективі планується розширення системи за рахунок модулів прогнозування хронічних захворювань та підтримки клінічних рішень на основі штучного інтелекту.

### **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Міністерство охорони здоров'я України. Єдина державна база медичних даних. URL: <https://moz.gov.ua> (дата звернення: 24.10.2025).
2. Kourou, K., Exarchos, T., Exarchos, K. et al. (2015). Machine Learning Applications in Cancer Prognosis and Prediction. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 13, 8–17.
3. Krittanawong, C., Johnson, K. W., Rosenson, R. S. et al. (2019). Deep Learning for Cardiovascular Medicine: A Practical Primer. *European Heart Journal*, 40(25), 2058–2073.
4. Han, J., Kamber, M., Pei, J. (2022). *Data Mining: Concepts and Techniques*. 4th Edition. Morgan Kaufmann.
5. ДСТУ ISO/HL7 27932:2017. Інформатика в охороні здоров'я. Обмін клінічними документами (CDA).

## AUTHORS / АВТОРИ

Balabanov S. V. – НУБіП України  
Мукутун Y. – НУБіП України  
Pshenychnyi T. Y. – НУБіП України  
Studennykov V. D. – КНУ ім. Т. Шевченка  
Ануа О. В. – НУБіП України  
Ануа П.В. – НУБіП України  
Артеменко А.М. – НУБіП України  
Бабій Б.Ю. – НУБіП України  
Болбот І. М. – НУБіП України  
Бондарчук А.С. – НУБіП України  
Бородкін Г.О. – НУБіП України  
Бородкіна І. Л. – НУБіП України  
Боцян Б.В. – НУБіП України  
Боярінова Ю.Є. – НУБіП України  
Бушма О.В. – НУБіП України  
Вайганг Г. О. – НУБіП України  
Василіук- Зайцева С.В. – НУБіП України  
Васянович В.В. – НУБіП України  
Вдовиченко В. В. – НУБіП України  
Велігорська В. В. – НУБіП України  
Вернигора В.Ю. – НУБіП України  
Віннічук Д.О. – НУБіП України  
Вознюк В.В. – НУБіП України  
Володченко В.О. – НУБіП України  
Волочай В.Є. – НУБіП України  
Волошин М.Є. – НУБіП України  
Волошина Т. В. – НУБіП України  
Ворон Ю.О. – НУБіП України  
Ворона О.О. – НУБіП України  
Ворчак А. Ю. – НУБіП України  
Галаєва Л.В. – НУБіП України  
Глазунова О. Г. – НУБіП України

Гойда І.С. – НУБіП України  
Голуб Б. Л. – НУБіП України  
Горбач М.О. – НУБіП України  
Гордій Я. В. – НУБіП України  
Гребеник В. Ю. – НУБіП України  
Гребеник В. Ю. – НУБіП України  
Гринчук В.Ю. – НУБіП України  
Грицюк В. – НУБіП України  
Груша В. В. – НУБіП України  
Гудзь М. І. – НУБіП України  
Гуменюк І.О – НУБіП України  
Гурдуяла Р.Є. – НУБіП України  
Давиденко В.О. – НУБіП України  
Даков С.Ю. – НУБіП України  
Даниленко І.О. – НУБіП України  
Денисюк О.П. – НУБіП України  
Дзюбко К.С. – НУБіП України  
Динька А. О. – НУБіП України  
Донець М.В. – НУБіП України  
Дорофєєв А.С. – НУБіП України  
Драга Д. С. – НУБіП України  
Дудник А. О. – НУБіП України  
Дюков В. В. – НУБіП України  
Єжик А. О. – НУБіП України  
Єфімчук М. В. – НУБіП України  
Жученко Т.В. – НУБіП України  
Завацький М.С. – НУБіП України  
Заєць Н. А. – НУБіП України  
Земов С.О.. – НУБіП України  
Зінченко В.В. – НУБіП України  
Зінченко О. О. – НУБіП України  
Зрібняк І.С. – НУБіП України  
Іманов А.М. – НУБіП України  
Іспірян А. – НУБіП України

Каленіченко О. О. – НУБіП України  
Карпович Д.О. – НУБіП України  
Касаткін Д.Ю. – НУБіП України  
Качмарський О. І. – НУБіП України  
Кириченко В.В. – НУБіП України  
Кірін Г.О. – НУБіП України  
Кічак Б.В. – НУБіП України  
Клименко Є. – НУБіП України  
Клименко Н.А. – НУБіП України  
Клименко О. М. – НУБіП України  
Коваленко О.Є. – НУБіП України  
Коваль М. О. – НУБіП України  
Коваль Т.В. – НУБіП України  
Колесник Д.Ю. – НУБіП України  
Колесніков О. О. – НУБіП України  
Коломієць В. Ю. – НУБіП України  
Коник Р.С. – НУБіП України  
Корнілов І.С. – НУБіП України  
Корсакова А.В – НУБіП України  
Костенко І.С. – НУБіП України  
Костенко С.О. – НУБіП України  
Котляр В.С. – НУБіП України  
Кохан К.О. – НУБіП України  
Кочубей Б.Б. – НУБіП України  
Кравченко В.М. – НУБіП України  
Кривобок О.О. – НУБіП України  
Криворучко О.В. – НУБіП України  
Криворучко Я.С. – НУБіП України  
Кузнєцов А. Д. – НУБіП України  
Лавренчук А.В. – НУБіП України  
Лахно В.А. – НУБіП України  
Лахно М. В. – НУБіП України  
Левченко Р.Р. – НУБіП України  
Лендел Т.І. – НУБіП України

Лисенко В. П. – НУБіП України  
Ліфер М.О. – НУБіП України  
Лукашенко,Д.Ю. – НУБіП України  
Мазуренко Т. – НУБіП України  
Малярєнко Р. – НУБіП України  
Мамченко С. М. – НУБіП України  
Маринчук Б.С. – НУБіП України  
Маркелова С.А. – НУБіП України  
Мартинюк В.В. – НУБіП України  
Марущак М.М. – НУБіП України  
Марченко І. В. – НУБіП України  
Масєнков В.І. – НУБіП України  
Матецький Р.В. – НУБіП України  
Мисливий Д.І. – НУБіП України  
Міловідов Ю.О. – НУБіП України  
Місюра.М.Д – НУБіП України  
Морогов О.Є – НУБіП України  
Мотлюк О.П. – НУБіП України  
Мошнін М.А. – НУБіП України  
Муха В. В. – НУБіП України  
Назарєнко В.А. – НУБіП України  
Назарчук О.В. – НУБіП України  
Наконєчна К.В. – НУБіП України  
Науриський Ю.В – НУБіП України  
Негрей М.В. – НУБіП України  
Нікітенко Є.В. – НУБіП України  
Ніколаєнко Д. В. – НУБіП України  
Окуліч В.А. – НУБіП України  
Олійник В.О. – НУБіП України  
Олійник І.Ю. – НУБіП України  
Олійник С.О. – НУБіП України  
Павленко В.Р. – НУБіП України  
Павлов С. Г. – НУБіП України  
Панкратьєв В. О. – НУБіП України

Пархоменко І.І. – НУБіП України  
Перепелиця Д.Ю. – НУБіП України  
Полухович О. В. – НУБіП України  
Понзель Я.Ю. – НУБіП України  
Пономаренко Р. М. – НУБіП України  
Попов Д.С. – НУБіП України  
Прокопенко Д.О. – НУБіП України  
Пухальський О. В. – НУБіП України  
Пшонік О.С. – НУБіП України  
Рогоза Н.А. – НУБіП України  
Руденський Р.А. – НУБіП України  
Рудой Д.І. – НУБіП України  
Сагун А.В. – НУБіП України  
Сафарян М. А. – НУБіП України  
Сахневич В.Б. – НУБіП України  
Саяпіна М.С. – НУБіП України  
Сватко В. В. – НУБіП України  
Семко В.В. – НУБіП України  
Симон Д.В. – НУБіП України  
Синчак І.П. – НУБіП України  
Смолій В.М. – НУБіП України  
Смолій Н.В. – НУБіП України  
Соколов Д. В. – НУБіП України  
Стадійчук В.С. – НУБіП України  
Степанець Є.О. – НУБіП України  
Стеценко В. – НУБіП України  
Столярчук А.О. – НУБіП України  
Тимошенко М.П. – НУБіП України  
Тимощук Р. О. – НУБіП України  
Ткаченко О. М. – НУБіП України  
Токарець Б.О. – НУБіП України  
Третяк А.Р. – НУБіП України  
Узу С.Х. – НУБіП України  
Українець Д.С. – НУБіП України

Федяй А.І. – НУБіП України  
Хиленко В.В. – НУБіП України  
Цюцюра М.І. – НУБіП України  
Чорноус О.С. – НУБіП України  
Шаптала В.В. – НУБіП України  
Шевченко Д.В. – НУБіП України  
Шевчун Д. В. – НУБіП України  
Шкарупило В.В. – НУБіП України  
Школьний О.А. – НУБіП України  
Шкурат В.І. – НУБіП України  
Шмиговатий В.А. – НУБіП України  
Щербан П.-Е. П. – НУБіП України  
Юрченко І.С. – НУБіП України  
Якушин А.О. – НУБіП України  
Ярославський І.Ф. – НУБіП України  
Ясінська О.О. – НУБіП України