

УДК 004.89:004.4; 004.89:002.8
№ держреєстрації 0125U001253

Товариство з обмеженою відповідальністю
«ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
69008, м. Запоріжжя вул. Південне шосе 80

ЗАТВЕРДЖУЮ

проректор з науково-дослідної роботи
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»



Володимир КУХАР

«15» січня 2026 року

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
«Перспективні технології розвитку та застосування цифрового інтелекту при впровадженні інформаційних технологій у процеси покращення операційної ефективності»
(проміжний)

Етап 1. Аналіз літературних джерел та детальна постановка завдань, що вирішуються у НДР. Дослідження поточного стану управління операційною ефективністю та якістю в складних організаційно технічних системах. Дослідження задач штучного інтелекту та стану їх розв'язання під час інформаційної підтримки діяльності та прийняття рішень в ОТС, з урахуванням рівня розвитку цифрового інтелекту фахівців-виконавців. Розробка концептуальної моделі застосування методів та засобів штучного інтелекту для підвищення операційної ефективності ОТС

Науковий керівник, д.т.н., доцент

Павло САГАЙДА
«23» грудня 2025 року

2025

Рукопис закінчено «23» грудня 2025 року

Результати роботи розглянуто Науково-технічною радою ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», протокол № 6 від «15» січня 2026 року

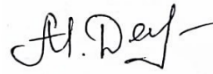
СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР,
д-р техн. наук,
доцент



Павло САГАЙДА
(вступ, висновки, 1.1-1.3,
2.1-2.3)

Відповідальний
виконавець, канд.
екон. наук



Марина ДЕРЖЕВЕЦЬКА
(вступ, висновки, 1.4, 2.7)

Виконавець,
д-р екон. наук,
професор



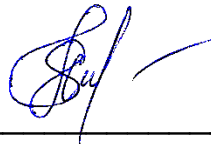
Наталія РЕКОВА
(1.4, 2.1)

Виконавець, канд.
фіз.-мат. наук,
доцент



Олександр КОСТИКОВ
(1.1, 2.2, 2.6)

Виконавець, канд.
техн. наук, доцент
Виконавець, ст.
викладач



Світлана ГУРКОВСЬКА
(2.4)



Олександр КАСЬЯНЮК
(1.1, 2.1, участь в
оформленні результатів)
Ярослав ПЛУТАЛОВ (1.3,
участь в оформленні
результатів)

Виконавець,
ст. гр. КН-24м(маг.)



Виконавець,
ст. гр. КН-24м(маг.)



Ольга МИРОНЕНКО (1.2,
участь в оформленні
результатів)

Виконавець,
ст. гр. КН-22б(бак.)



Андрій СОРОКОПУД
(2.3, участь в
оформленні результатів)

Виконавець,
ст. гр. КН-22б(бак.)



Сергій ТИЩЕНКО (2.5,
участь в оформленні
результатів)

РЕФЕРАТ

ЗВІТ про НДР: 102 с., 91 джерело.

Ключові слова: цифровий інтелект, генеративний штучний інтелект, машинне навчання, моделювання, оптимізація, автоматизація обробки даних, підтримка прийняття рішень.

Мета роботи – розробка методологічних засад застосування перспективних інформаційних технологій для підвищення операційної ефективності шляхом розробки і впровадження інтелектуальних програмних комплексів.

Об'єкт дослідження – складні організаційно-технічні системи та процеси підвищення операційної ефективності

Предмет дослідження: моделі, методи та інформаційні технології інтелектуальної обробки даних в ОТС та інформаційної підтримки діяльності.

Методи дослідження – теорія ймовірності, теорія моделювання, теорія систем, методологія штучного інтелекту, методи експертного оцінювання, методи теорії графів, теорії множин, математичний апарат алгебри логіки, методи машинного навчання, методологія об'єктно-орієнтованого проєктування.

Результати та їх новизна: комплексний аналіз сучасних інтелектуальних інформаційних технологій, методів штучного інтелекту, інструментів управління проєктами та цифрових систем підтримки рішень. Дослідження охопили проєктування баз даних за допомогою теорії категорій, опрацювання моделей управління якістю відповідно до вимог ISO, розроблення мультиагентних освітніх систем, а також низку прикладних IT-рішень у галузях енергетики, агротехнологій, моделювання та інженерії. За результатами досліджень теорія категорій

продемонструвала суттєві переваги над традиційними ER-моделями, забезпечивши більш формалізований, гнучкий та еволюційно стійкий підхід до моделювання складних інформаційних систем, зокрема у сфері управління проектами. Інтеграція ШІ у системи управління якістю дала змогу підвищити прозорість, достовірність і ефективність процедур, оптимізувати контрольні процеси, знизити ризики та трудомісткість аудиту. Мультиагентні освітні AI-системи з використанням LLM, RAG, пам'яті агентів та соціального шару взаємодій виявили здатність підвищувати мотивацію, залученість і індивідуалізацію навчання, відкриваючи перспективи нового покоління цифрових освітніх платформ. Дослідження прикладних систем – від автоматизації розрахунків інженерних конструкцій і моделювання мікроконтролерних платформ до прогнозування аграрних ризиків та енергетичної оптимізації – підтвердили високу ефективність поєднання класичних алгоритмів, сучасних ML-моделей, IoT та цифрових двійників.

Сфера застосування: процеси аналізу предметних областей та бізнес-процесів в складних організаційно-технічних системах, при управлінні проектами, інформаційній підтримці діяльності спеціалістів та менеджерів, підтримці прийняття рішень в при проектуванні й виготовленні виробів, керування технологічними процесами, цифровій трансформації організацій і підприємств, при удосконаленні навчального процесу в галузі комп'ютерних наук.

Економічна та соціально-економічна ефективність роботи: полягає в удосконаленні методів та методик створення систем і компонентів інформаційного забезпечення та підтримки діяльності на основі інтелектуального аналізу даних і методів інженерії знань, засобів генеративного штучного інтелекту, які дозволять підтримати прийняття технічних та управлінських рішень на основі здобутих знань із даних й у

такий спосіб підвищити продуктивність праці спеціалістів та менеджерів, вдосконалити процеси управління ефективністю та якістю в складних організаційно-технічних системах.

Значимість роботи: доведено, що інтеграція сучасних технологій штучного інтелекту, категорійних методів моделювання, мультиагентних підходів та цифрових інструментів управління суттєво підвищує ефективність і надійність інформаційних систем у різних галузях. Отримані наукові та прикладні результати створюють основу для подальшого розвитку інтелектуальних програмних комплексів, удосконалення цифрових платформ управління та впровадження інновацій у реальні виробничі й навчальні процеси.

Висновки, пропозиції щодо розвитку об'єкта дослідження й доцільності продовження досліджень: подальша розробка методів інтеграції сучасних технологій штучного інтелекту в існуючі та нові компоненти ІТ-інфраструктури організаційно-технічних систем; проведення експериментальних досліджень та моделювання для верифікації розроблених методів і моделей; формування практичних рекомендацій щодо впровадження інформаційних технологій для оптимізації процесів в ОТС різних типів; розширення функціональності створених програмних продуктів та їх адаптація до нових предметних областей.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАДАЧ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА СТАНУ ЇХ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПІД ЧАС ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ДІЯЛЬНОСТІ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	11
1.1 Використання теорії категорій при концептуальному проектуванні бази даних для предметної області «управління проектами»	11
1.1.1 Вступ та постановка проблеми	11
1.1.2 Фундаментальні поняття теорії категорій для моделювання даних	15
1.1.3 Категорійна модель концептуального проектування бази даних для управління проектами	18
1.1.4 Порівняльний аналіз та практичні переваги	21
1.1.5 Висновки та перспективи подальших досліджень	23
1.2 Оптимізація інформаційної підтримки управлінської діяльності для забезпечення відповідності стандартам сертифікації з залученням штучного інтелекту	25
1.3 Дослідження методів та алгоритмів використання AI-агентів для організації інтелектуального освітнього середовища	29
1.4 Дослідження можливостей програмного комплексу MS Excel як універсального інструменту для підтримки процесу управління проектами	32

2 РОЗРОБКА КОМПОНЕНТІВ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	46
2.1 Розробка та використання платформи автоматизації обліку та аналізу EDUFLOW BI технічного університету «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» в контексті українських практик освітньої аналітики ...	46
2.2 Автоматизація розрахунку на міцність балочних конструкцій для інформаційної підтримки інженерної діяльності.....	49
2.2.1 Вступ та постановка проблеми	49
2.2.2 Методи та методики дослідження.....	51
2.2.3 Результати розробки	54
2.2.4 Приклад розрахунку балочної конструкції.....	55
2.2.5 Висновки.....	63
2.3 Критичний аналіз метрик ефективності накопичення та обробки даних засобами сучасних систем управління базами даних.....	63
2.4 Розробка віртуального лабораторного стенда з використанням web-технологій для інформаційної підтримки навчального процесу....	67
2.5 Інформаційна підтримка процесу підбору сонячних панелей та інверторів для альтернативного живлення домогосподарств України	71
2.6 Удосконалення ітераційних алгоритмів та паралельних обчислень в інформаційних технологіях управління складними системами.....	73
2.7 Розробка методу прогнозування ризику борошністої роси пшениці як складової інформаційної технології управління	83
ВИСНОВКИ	85

ВСТУП

Сучасні процеси покращення операційної ефективності в складних організаційно-технічних системах, якими є підприємства, організації та заклади освіти, вимагають забезпечення високого рівня диджиталізації підсистем збирання, накопичення, зберігання та обробки даних, а також відповідного рівня розвитку цифрового інтелекту (digital quotient) фахівців, які беруть участь у розробці та впровадженні інформаційних технологій. Вміння та навички вчасно та чітко визначити проблемні ланки у технологічних та бізнес-процесах, запропонувати підходи до їх вдосконалення, застосувати при цьому перспективні технології інтелектуальних програмних систем, стають вирішальним фактором забезпечення якості та конкурентоспроможності, що вимагає розвитку цифрового інтелекту учасників та виконавців. Сучасний рівень розвитку методів штучного інтелекту та ступінь його залученості у автоматизацію інтелектуальної діяльності учасників бізнес-процесів визначає перспективність впровадження програмних систем, розроблених на основі відповідного алгоритмічного забезпечення.

Мета дослідження: розробка методологічних засад застосування перспективних інформаційних технологій для підвищення операційної ефективності шляхом розробки і впровадження інтелектуальних програмних комплексів.

Об'єкт дослідження – складні організаційно-технічні системи та процеси підвищення операційної ефективності .

Предмет дослідження – моделі, методи та інформаційні технології інтелектуальної обробки даних в ОТС та інформаційної підтримки діяльності.

Для досягнення мети будуть виконані наступні завдання:

- виявлення та аналіз перспективних інформаційних технологій, в тому числі технологій штучного інтелекту, які можуть бути ефективно застосовані в контексті складних організаційно-технічних систем (ОТС);
- розробка концептуальної моделі застосування методів та засобів штучного інтелекту для підвищення операційної ефективності ОТС, яка повинна відображати взаємозв'язки між цифровим інтелектом фахівців-виконавців, особливостями інформаційних технологій та операційними процесами в ОТС;
- розробка моделей функціонування та методів інтеграції сучасних технологій штучного інтелекту в існуючі та нові компоненти ІТ-інфраструктури ОТС;
- проведення експериментальних досліджень та моделювання для верифікації розроблених методів і моделей, що включає створення тестових прикладів та використання макетів програмних систем для підтвердження ефективності запропонованих рішень;
- формування практичних рекомендацій щодо впровадження й використання інформаційних технологій та методів комп'ютерних наук для оптимізації процесів в ОТС різних типів, в тому числі в навчально-методичній та науково-дослідній діяльності.

Методи дослідження – теорія ймовірності, теорія моделювання, теорія систем, методологія штучного інтелекту, методи експертного оцінювання, методи теорії графів, теорії множин, математичний апарат алгебри логіки, методи машинного навчання, методологія об'єктно-орієнтованого проєктування.

На даному етапі науково-дослідної роботи проаналізовано та досліджено методологічні основи цифрового інтелекту, інформаційні технології управління складними системами та процесами, на прикладі

різних галузей та аспектів їх розгляду. Було визначено, що методологічні основи цифрового інтелекту полягають в наступному:

- цифровізація та інтелектуалізація технологічних процесів – глобальний тренд для підвищення ефективності виробництва;
- використання штучного інтелекту, машинного навчання, IoT, хмарних архітектур для обробки великих масивів даних;
- застосування інтелектуального аналізу даних як основи підтримки прийняття рішень у реальному часі.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАДАЧ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА СТАНУ ЇХ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПІД ЧАС ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ДІЯЛЬНОСТІ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

1.1 Використання теорії категорій при концептуальному проєктуванні бази даних для предметної області «управління проєктами»

1.1.1 Вступ та постановка проблеми

Огляд предметної області «Управління проєктами». Управління проєктами є міждисциплінарною та комплексною практикою, що застосовує знання, навички, інструменти та методи для досягнення цілей проєкту в рамках заздалегідь визначених обмежень, таких як зміст, час та бюджет [1]. Ключові особливості проєктів – їх унікальність, тимчасовість та високий рівень невизначеності – висувають специфічні вимоги до систем управління, зокрема до їх інформаційних моделей. Успішна реалізація проєктів критично залежить від ефективного планування, організації та контролю над різноманітними сутностями та їх взаємозв'язками. Для побудови інформаційної системи, що підтримує управління проєктами, необхідно чітко визначити її основні компоненти, або сутності. До них належать Проєкт (Project), який є основним об'єктом управління; Завдання (Task), що становлять робочі одиниці проєкту; Ресурс (Resource), який може бути особою, обладнанням або матеріалом, призначеним для виконання завдань; Команда (Team), що об'єднує ресурси; Клієнт (Client), для якого виконується проєкт, та інші [2]. Взаємодії між цими сутностями, такі як «призначення ресурсу завданню» або «належність завдання до проєкту», є не менш важливими, ніж самі сутності, і вимагають точного

моделювання.

Огляд класичного підходу до інформаційного моделювання.

Для концептуального проектування баз даних традиційно використовується модель «сутність-зв'язок» (ER-модель), запропонована Пітером Ченом у 1976 році. Це візуальний інструмент, який надає високорівневу концептуальну модель для зображення взаємозв'язків між об'єктами реального світу [3]. Модель базується на трьох фундаментальних концепціях:

- сутності (Entities): реальні або абстрактні об'єкти, що представляють основні "іменники" предметної області, такі як Проєкт або Завдання. На діаграмі вони зображуються у вигляді прямокутників.
- Атрибути (Attributes): характеристики сутностей, наприклад, назва або дата початку для проєкту. Атрибути зображуються у вигляді овалів.
- Зв'язки (Relationships): взаємодії між сутностями, що позначаються як дієслова, наприклад, «працює на» між сутностями Ресурс та Завдання. На діаграмі вони позначаються ромбами, що з'єднують прямокутники лініями.

Розглянуті елементи моделі представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні елементи ER-моделі та їх візуальне представлення

Елемент моделі	Опис	Візуальне представлення
Сутність (Entity)	Реальний або абстрактний об'єкт	Прямокутник
Атрибут (Attribute)	Властивість сутності	Овал (коло)
Зв'язок (Relationship)	Взаємодія між сутностями	Ромб

Критичний аналіз обмежень ER-моделі. Незважаючи на свою простоту та широке застосування, ER-модель має низку суттєвих недоліків, що обмежують її ефективність, особливо при проектуванні великих та складних систем. Головним обмеженням є її нездатність до підтримки високого рівня абстракції, що ускладнює представлення комплексних взаємозв'язків. У міру зростання системи діаграми стають надзвичайно заплутаними та важкими для читання, що ускладнює їх підтримку та усунення невідповідностей. Крім того, ER-модель зосереджується переважно на логічному дизайні і не охоплює фізичний рівень, що вимагає додаткових кроків для трансляції моделі в схему бази даних, що може призвести до розбіжностей. Фундаментальна проблема ER-моделі полягає у її залежності від теорії множин, де сутності трактуються як множини, а зв'язки – як відношення між ними. Таке представлення стає недостатнім, коли моделюється предметна область, де об'єкти є не просто пасивними наборами даних, а мають складну, взаємопов'язану природу, наприклад, Проєкт, який є одночасно і об'єктом, і контейнером для інших об'єктів. Ця залежність від множинної структури обмежує здатність моделі виражати складні бізнес-правила та обмеження інформаційно повно, що часто призводить до їх надмірного спрощення [4]. Такі обмеження, як, наприклад, «кожне Завдання повинно належати Проєкту», виражаються неформально (наприклад, через нотацію «snow's foot») і реалізуються лише на фізичному рівні (через обмеження посилальної цілісності FOREIGN KEY з NOT NULL), залишаючись поза межами концептуальної моделі. Ця структурна обмеженість, що впливає з теорії множин, вимагає принципово нового, більш абстрактного та універсального математичного фундаменту. Для подолання цих недоліків необхідний підхід, який дозволяє моделювати не лише сутності, але й самі відношення як первинні, повноцінні об'єкти аналізу.

Обґрунтування застосування теорії категорій. Теорія категорій (ТК) є розділом математики, який вивчає властивості відношень між математичними структурами, абстрагуючись від їх внутрішньої будови. Вона надає потужний і абстрактний апарат, який ідеально підходить для моделювання складних взаємозв'язків та структур. На відміну від ER-моделі, ТК забезпечує «принципово математичну основу» для системної інженерії та моделювання [5]. Основні переваги застосування ТК для проектування баз даних включають:

Формалізм: ТК надає надійну формальну основу, що усуває двозначність, притаманну неформальним діаграмам, і дозволяє зосередитися на точному значенні основних понять моделювання.

Абстракція: вона дозволяє абстрагуватися від аспектів представлення, таких як конкретний тип бази даних, і фокусуватися на суті відносин. Це дозволяє ТК виступати як універсальний шаблон для вирішення проблем, що повторюються в різних математичних та інженерних дисциплінах.

Уніфікація: категорійний підхід здатен уніфікувати різні типи даних (реляційні, XML, графові) в єдиній теоретичній рамці.

Таким чином, ТК надає інструментарій, який дозволяє перенести бізнес-логіку з рівня реалізації (коду) на рівень концептуального проектування. Це робить модель більш точною, верифікованою та гнучкою, що є критично важливим для динамічної та складної предметної області управління проектами [6].

Метою дослідження є аналіз застосування теорії категорій як альтернативного підходу до концептуального проектування баз даних у предметній області «Управління проектами» та порівняння її ефективності з традиційною ER-моделлю, а також дослідження того, як категорійна модель дозволяє формалізувати бізнес-правила та обмеження, що є

складним завданням для ER-моделі.

1.1.2 Фундаментальні поняття теорії категорій для моделювання даних

Визначення категорії, об'єктів та морфізмів. Категорія \mathcal{C} є фундаментальною структурою в теорії категорій. Вона складається з двох класів [7]:

Клас об'єктів $\text{Ob}(\mathcal{C})$, елементи якого називаються об'єктами.

Клас морфізмів $\text{Hom}(\mathcal{C})$, елементи якого називаються морфізмами, або стрілками. Кожен морфізм f має початковий (source) об'єкт A та цільовий (target) об'єкт B . Запис $f: A \rightarrow B$ позначає « f є морфізмом з A у B ».

Ці два класи пов'язані двома основними аксіомами:

Композиція морфізмів: Для будь-яких двох морфізмів $f: A \rightarrow B$ та $g: B \rightarrow C$ існує їх композиція, яка позначається $g \circ f: A \rightarrow C$. Ця операція є асоціативною, тобто для $h: C \rightarrow D$, виконується $(h \circ g) \circ f = h \circ (g \circ f)$.

Тотожні морфізми (Identity): Для кожного об'єкта $A \in \text{Ob}(\mathcal{C})$ існує тотожний морфізм $1_A: A \rightarrow A$, такий, що для будь-якого $f: A \rightarrow B$, виконується $f \circ 1_A = f$, і для будь-якого $g: C \rightarrow A$, виконується $1_A \circ g = g$.

У моделюванні даних об'єкти категорії можуть відповідати сутностям (наприклад, Проєкт, Завдання), а морфізми – зв'язкам між ними. Композиція морфізмів дозволяє створювати складні шляхи зв'язків, а тотожні морфізми виражають факт, що кожна сутність є тотожною самій собі. Приклад категорійної діаграми з об'єктами категорії та морфізмами між ними наведено на рисунку 1.1.

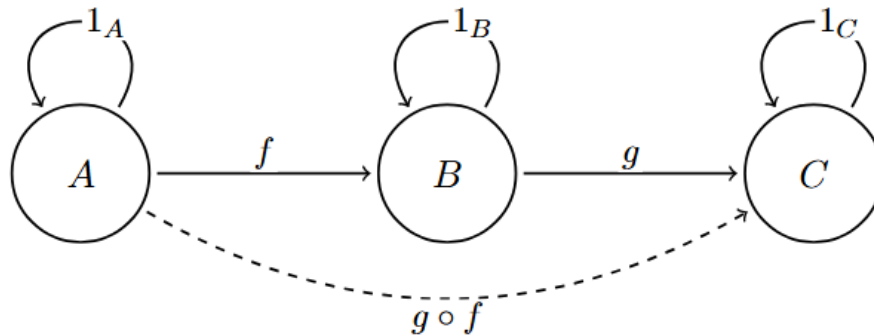


Рисунок 1.1 – Візуалізація об’єктів, морфізмів, композиції та тотожних морфізмів.

Універсальні конструкції. Універсальні конструкції, такі як добуток (product) та розшарований добуток (pullback), є ключовими поняттями теорії категорій. Вони дозволяють визначати об’єкти не через їхню внутрішню структуру (як це робиться в теорії множин), а через їхні відношення до інших об’єктів [8]. Це надзвичайно потужний інструмент для формалізації бізнес-правил та обмежень. Добуток (product) двох об’єктів A і B у категорії C – це об’єкт $A \times B$ разом з двома морфізмами-проєкціями $\pi_A: A \times B \rightarrow A$ та $\pi_B: A \times B \rightarrow B$. Ця конструкція є універсальною, оскільки для будь-якого іншого об’єкта X з морфізмами $f: X \rightarrow A$ та $g: X \rightarrow B$, існує єдиний морфізм $h: X \rightarrow A \times B$, такий, що наступна діаграма є комутативною: $g = \pi_B \circ h$ та $f = \pi_A \circ h$.

Розшарований добуток (pullback) є узагальненням добутку і є однією з найважливіших конструкцій для моделювання залежностей (на рисунку 1.2 наведено діаграму для цього об’єкта). Розшарований добуток двох морфізмів $f: A \rightarrow C$ та $g: B \rightarrow C$ – це об’єкт P разом з двома морфізмами $\pi_A: P \rightarrow A$ та $\pi_B: P \rightarrow B$, такими, що наступна діаграма є комутативною ($f \circ \pi_A = g \circ \pi_B$) і є універсальною: $f \circ \pi_A = g \circ \pi_B$.

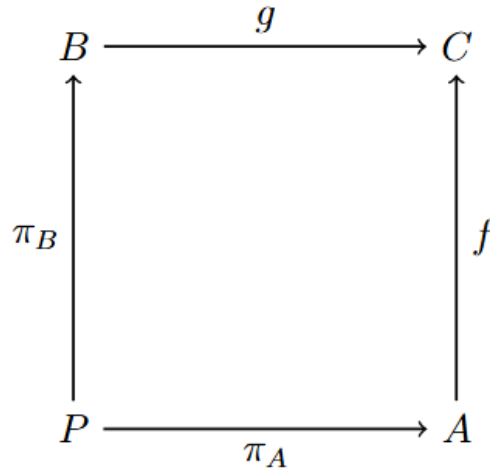


Рисунок 1.2 – Діаграма об'єкту розшарований добуток (pullback)

У контексті моделювання даних, ER-модель виражає обмеження, такі як кардинальність, через неформальні позначення, що потім реалізуються на фізичному рівні (наприклад, обмеження FOREIGN KEY з NOT NULL). У категорійній моделі ці обмеження є частиною самого концептуального дизайну. Застосування розшарованого добутку (pullback) дозволяє формально визначити існування нового об'єкта, який є «перетином» двох відношень. Ця конструкція гарантує, що певний об'єкт може існувати лише за умови, що він задовольняє усі визначені відношення. Це є принциповою відмінністю, оскільки бізнес-правила стають не просто зовнішніми рекомендаціями, а фундаментальними алгебраїчними аксіомами моделі, що виражаються комутативністю діаграм [9].

Функтори та природні перетворення. Функтори є ключовим інструментом для відображення між категоріями. Коваріантний функтор $F: \mathcal{C} \rightarrow \mathcal{D}$ – це відображення, яке зіставляє кожному об'єкту $X \in \text{Ob}(\mathcal{C})$ об'єкт $F(X) \in \text{Ob}(\mathcal{D})$ і кожному морфізму $f: X \rightarrow Y$ морфізм $F(f): F(X) \rightarrow F(Y)$, що зберігає тотожні морфізми та композицію [9]. У контексті моделювання даних, функтори виконують дві ключові ролі:

Моделювання екземпляра даних: Категорійна схема бази даних може бути представлена як категорія \mathcal{S} . Екземпляр даних (набір таблиць з конкретними записами) моделюється як функтор $I: \mathcal{S} \rightarrow \text{Set}$, який відображає кожен об'єкт-сутність X у множину $I(X)$ (наприклад, таблицю), а кожен морфізм-зв'язок f – у функцію $I(f)$ між цими множинами. Цей підхід елегантно розділяє абстрактну схему від конкретних даних.

Моделювання трансформації даних: Функтори також можуть описувати міграцію або перетворення даних між двома різними схемами. «Функтори зміни схеми» (change-of-schema functors) дозволяють формалізувати процес еволюції бази даних, що є значною перевагою перед традиційними, жорсткими моделями .

Природні перетворення, у свою чергу, є відображеннями між функторами, які зберігають стабільні відносини між різними трансформаціями даних, забезпечуючи узгодженість на високому рівні абстракції .

1.1.3 Категорійна модель концептуального проектування бази даних для управління проектами

Відображення предметної області на категорію-схему \mathcal{PM} . Для побудови категорійної моделі для предметної області «Управління проектами» необхідно встановити відповідність між традиційними поняттями ER-моделі та категорійною теорією, результати такого аналізу наведено у таблиці 1.2. Ця відповідність дозволяє переосмислити звичні концепції на більш абстрактному рівні.

Таблиця 1.2 – Відповідність понять ER-моделі та теорії категорій

Поняття ER-моделі	Поняття теорії категорій	Опис
Сутність (Entity)	Об'єкт (Object)	Представляє клас реальних або абстрактних речей
Зв'язок (Relationship)	Морфізм (Morphism)	Представляє відношення між об'єктами
Атрибут (Attribute)	Морфізм у категорію типів даних	Відображення об'єкта у категорію типів даних
Обмеження (кардинальність)	Типи морфізмів (моно/епі)	Виражається через властивості морфізмів (наприклад, мономорфізм для зв'язків ступеню 1:1 або 1:N)
Бізнес-правило	Комутативна діаграма / Універсальна конструкція	Виражається як властивість композиції морфізмів

Побудова базової категорії \mathcal{PM} . Побудова категорійної схеми для предметної області «Управління проектами» починається з формального визначення її об'єктів та морфізмів. Нехай наша категорія-схема позначається як \mathcal{PM} . Клас об'єктів $Ob(\mathcal{PM})$ включає:

Об'єкти, що відповідають основним сутностям предметної області:
 {Проект, Завдання, Ресурс, Команда, Клієнт}

Об'єкти, що відповідають базовим типам даних, які виступають у ролі атрибутів: {Текст, Дата, Ціле число, Десятькове число, ... }

Клас морфізмів $Hom(\mathcal{PM})$ включає:

Морфізми, що моделюють «атрибути»: {назва: Проект → Текст, дата_початку: Проект → Дата, ... }

Морфізми, що моделюють «зв'язки»:
 {належить_проекту: Завдання → Проект, має_команду: Проект → Команда, ... }

Моделювання обмежень та бізнес-правил за допомогою комутативних діаграм.

Моделювання складних бізнес-правил за допомогою комутативних діаграм є однією з найважливіших переваг категорійного підходу. Ці діаграми є не просто візуальним допоміжним засобом, а формальним твердженням, що різні шляхи композиції морфізмів призводять до одного і того ж результату, подібно до рівнянь в алгебрі.

Сценарій 1: Завдання належить проекту.

Кожне Завдання повинно належати одному Проєкту, але один Проєкт може мати багато Завдань. Це класичний зв'язок один-до-багатьох. У теорії категорій це моделюється за допомогою мономорфізму. Морфізм $f: A \rightarrow B$ є мономорфізмом (ін'єктивним відображенням), якщо для будь-яких морфізмів $g_1, g_2: X \rightarrow A$, рівність $f \circ g_1 = f \circ g_2$ означає, що $g_1 = g_2$.

У контексті управління проєктами, морфізм $f: \text{Завдання} \rightarrow \text{Проєкт}$ є мономорфізмом. Якщо два різні «шляхи» збігаються до одного проєкту через завдання, це означає, що завдання ідентичні. Ця властивість природно виражає бізнес-правило, що кожне завдання унікально пов'язане зі своїм проєктом.

Сценарій 2: Призначення ресурсу завданню в межах проєкту.

Це більш складний сценарій. Ресурс може бути призначений лише завданню, яке належить до проєкту, де працює цей ресурс. В ER-моделі це правило залишається «зовнішнім» і часто вимагає додаткових перевірок на рівні застосунку. У категорійній моделі це правило формалізується за допомогою розшарованого добутку (pullback). Визначимо два морфізми:

$f: \text{Завдання} \rightarrow \text{Проєкт}$ («належить до»).

$g: \text{Ресурс} \rightarrow \text{Проєкт}$ («призначений до»).

Ми хочемо створити новий об'єкт Призначення (TaskAssignment), який визначає, що Ресурс r може бути призначений Завданню t лише якщо $f(t) = g(r)$. Це є гарним випадком для демонстрації застосування розшарованого добутку при моделюванні. Об'єкт Призначення визначається як розшарований добуток (pullback) морфізмів f і g .

Комутативність діаграми виражається формулою $f \circ \pi_A = g \circ \pi_B$. Ця рівність формально гарантує, що шлях від Призначення до Проєкту через Завдання та шлях через Ресурс є однаковими. Це означає, що об'єкт Призначення може існувати лише за умови, що його Завдання та Ресурс належать одному Проєкту. Категорійний підхід переносить бізнес-логіку з рівня реалізації (коду) на рівень концептуального проєктування, що робить модель більш точною, менш схильною до помилок і легшою для верифікації.

1.1.4 Порівняльний аналіз та практичні переваги

Ключові переваги категорійного підходу.

Перехід від ER-моделі до категорійного підходу у проєктуванні баз даних не є простою зміною нотації. Він забезпечує наступні фундаментальні переваги:

Формальна семантика: на відміну від ER-діаграм, які часто інтерпретуються інтуїтивно, категорійна модель надає математично обґрунтовану основу для моделювання даних, що усуває двозначність. Обмеження виражаються не як зовнішні правила, а як невід'ємні властивості самої структури.

Уніфікований фреймворк: категорійний підхід дозволяє моделювати

різні типи даних (реляційні, графові) в одній структурі . Ця здатність є критично важливою для сучасних систем, які працюють з різнорідними джерелами даних.

Еволюція схеми: ER-модель є жорсткою, і внесення значних змін вимагає суттєвого перепроєктування . Концепція функторів природно моделює зміну схеми, що робить процес еволюції бази даних більш керованим і формально визначеним .

Категорійна нормалізація: ТК надає можливість застосовувати теорії нормалізації для зменшення надмірності даних у більш загальний спосіб, що не обмежується лише реляційними базами даних.

Порівняння з ER-моделлю.

Для повного розуміння переваг категорійного підходу, було виконано структуроване порівняння з ER-моделлю, результати якого наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняння підходів ER та ТК

Критерій	ER-модель	Категорійна модель
Фундаментальна теорія	Теорія множин та відношень	Теорія категорій (абстракція, композиція)
Гнучкість	Жорстка, в загальному випадку орієнтована на реляційні БД, хоча, з деякими обмеженнями, може бути застосована для інших моделей зберігання даних	Гнучка, може моделювати різні типи даних (мультимодельна)
Виразна сила	Обмежена, схильна до надмірного спрощення	Висока, може формально виражати складні бізнес-правила (наприклад, через розшарований добуток)

Продовження таблиці 1.3

Критерій	ER-модель	Категорійна модель
Обробка обмежень	Неформальні позначення, реалізація на фізичному рівні	Формальні аксіоми, виражені комутативними діаграмами
Еволюція схеми	Складна, вимагає значного перепроєктування	Моделюється функторами зміни схеми, що робить її керованою
Ціль	Створення візуальної схеми для формалізації уявлень про роботу предметної області	Формальна, реалізаційно-незалежна модель для системної інженерії

ER-модель, будучи, в загальному випадку, візуальним представленням реляційної моделі, успадковує її обмеження, що впливають з теорії множин. Це пояснює її складності при роботі з великими системами та нездатність до підтримки абстракції. Теорія категорій, натомість, абстрагується від внутрішньої природи об'єктів, що дозволяє їй зосередитися на універсальних «шаблонах проєктування» для математики. Ця здатність дозволяє моделі ТК не бути прив'язаною до однієї конкретної реалізації, а виступати як справді концептуальна модель для мультимодельних систем [4].

1.1.5 Висновки та перспективи подальших досліджень

Узагальнення результатів. Проведене дослідження демонструє, що теорія категорій є потужною, гнучкою та надійною альтернативою традиційним методам концептуального проєктування баз даних. Вона переносить акцент з опису «що є об'єктом» на «якими є відносини між

об'єктами». Категорійна модель дозволяє формально виражати складну бізнес-логіку за допомогою комутативних діаграм та універсальних конструкцій, таких як розшарований добуток, що неможливо досягти в ER-моделі без додаткових, зовнішніх механізмів. Цей підхід забезпечує уніфікований фреймворк для різних типів даних та дозволяє більш елегантно керувати еволюцією схеми. Таким чином, застосування теорії категорій забезпечує надійну, математично обґрунтовану основу для концептуального проектування, що робить її цінним інструментом для складних предметних областей, зокрема для управління проектами.

Перспективи подальших досліджень

Можливості, що відкриваються з використанням категорійного підходу, не обмежуються лише моделюванням даних. Перспективні напрями подальших досліджень включають:

Моделювання процесів: розширення категорійної моделі для опису не лише статичної структури даних, але й динамічних процесів та робочих потоків в управлінні проектами. Це може бути реалізовано за допомогою «моноїдальної категорії» (категорії, яка має додаткову структуру, що дозволяє «множити» об'єкти і морфізми).

Застосування монад: дослідження застосування монад для моделювання «обчислень з ефектами» (якщо функція в інформаційній системі має якийсь ефект, наприклад, зміна стану або обробка помилок, монада дозволяє обгорнути цей ефект у чисту функціональну оболонку, що робить його передбачуваним та керованим), що є особливо актуальним для обробки невизначеності та ризиків, притаманних управлінню проектами.

Розробка інструментів: створення спеціалізованих програмних засобів для автоматизованої візуалізації категорійних діаграм та їх автоматичного перетворення у фізичні схеми баз даних.

1.2 Оптимізація інформаційної підтримки управлінської діяльності для забезпечення відповідності стандартам сертифікації з залученням штучного інтелекту

Вступ. У сучасному глобалізованому середовищі відповідність стандартам ISO [10-13] є стратегічною необхідністю для забезпечення сталого розвитку, конкурентоспроможності та доступу до міжнародних ринків. Побудова системи управління на вимогах ISO закладає міцний фундамент для ефективності та керованості бізнес-процесів.

Однак, поточна інформаційна підтримка управлінської діяльності на підприємствах часто характеризується критичною неефективністю:

- несистематизована постановка завдань з розмитими термінами;
- відсутність чіткої методології впровадження заходів;
- неорганізований та неструктурований формат звітності, що ускладнює аналіз та прийняття рішень;
- відсутність інструментів для оперативного контролю "план-факт" та підзвітності ISO в одній єдиній базі.

Ця неефективність створює прямий ризик втрати сертифікатів ISO під час наглядових аудитів, що може призвести до значних економічних збитків (втрата клієнтів, штрафи, додаткові витрати на відновлення).

Постановка задачі. Розробка та економічне обґрунтування програмного комплексу (ПК) для оптимізації інформаційної підтримки управлінської діяльності, що забезпечує відповідність стандартам сертифікації ISO із залученням Штучного інтелекту (ШІ). Базовим підходом є системний аналіз та ризик-орієнтоване мислення. Методологія управління процесами ґрунтується на стандартах ISO та циклі PDCA (Plan-Do-Check-Act), який використовується для структурування життєвого

циклу завдань у ПК.

Для розробки модуля ШІ застосовано обробку природної мови (NLP) для аналізу тексту завдання/звіту та системи, засновані на правилах (Rule-based systems), для програмування логіки верифікації та генерації пропозицій методології.

Основний зміст роботи полягає у систематизації, проектуванні та теоретичному обґрунтуванні архітектури інноваційного програмного комплексу, розробленого для проактивного забезпечення відповідності підприємства стандартам сертифікації ISO шляхом радикальної оптимізації інформаційної підтримки. Проведений аналіз довів, що неефективність управління є прямим джерелом економічного ризику втрати сертифікатів.

Розроблена модульна архітектура ПК, що базується на циклі PDCA (Plan-Do-Check-Act) та ризик-орієнтованому мисленні [14-15]. Це забезпечує наскрізний контроль якості управлінських рішень. Для кількісної оцінки ризиків розроблено модель багатокритеріальних зважених оцінок [16] для розрахунку коефіцієнта готовності до аудиту (R):

$$R = \sum_{i=1}^N Fi * Wi,$$

де Fi – оціночна функція за відповідними критеріями; Wi – ваговий коефіцієнт відповідної оціночної функції.

Проектування забезпечує повну аудиторську готовність, модуль інтерактивного моніторингу з каскадною фільтрацією автоматично підтягує фільтровану звітність для миттєвого документального підтвердження процесів. ПК мінімізує управлінські помилки та є інтелектуальним інструментом для постійного вдосконалення ISO.

Таким чином, розроблено проєкт програмного комплексу, який

забезпечує високу якість вхідних даних, уніфікує виконання процесів, значно скорочує трудомісткість підготовки до сертифікаційних аудитів та перетворює ISO підприємства на проактивний інструмент управління ризиками.

Наукова новизна полягає в удосконаленні моделі інформаційної підтримки та розробці трикомпонентної системи штучного інтелекту (ШІ), що забезпечує наскрізний інтелектуальний контроль якості управлінських рішень та проактивне гарантування відповідності стандартам сертифікації ISO [17].

Вперше в рамках даної системи управління якістю запропоновано та обґрунтовано функціональне розділення ШІ-модулів, які працюють на єдиній актуальній нормативній базі підприємства (якою керує адміністратор).

Інтеграція ШІ безпосередньо в процес постановки завдання для превентивного контролю та забезпечення обов'язкової формалізації (мінімальна кількість символів) поля "Методологія впровадження". Це усуває ризик "Недостатність інформації" на етапі планування.

Створено окремий консультаційний інструмент, який використовує каскадну логіку фільтрації (списки, що розкриваються) для обмеження джерела інформації одним, обраним документом. Цей механізм виключає надання неправильних чи суперечливих відповідей з інших джерел, забезпечуючи високу достовірність знань персоналу.

Розроблена та вдосконалена Модель Багатокритеріальних Зважених Оцінок для розрахунку Коефіцієнта Готовності до Аудиту (R). Новизна полягає у включенні в оціночну функцію (Fi) критеріїв, безпосередньо пов'язаних з активністю та якістю системи, забезпеченою використанням ШІ.

Організовано вплив на Fi через своєчасність реагування керівництва

на ШІ-нагадування про відсутність критично важливих завдань та контроль якості виконання шляхом врахування Fi через виконання завдань з затвердженою методологією (забезпеченою ШІ-підтримкою виконавця [18-19]). Цей підхід дозволяє системі не лише фіксувати невідповідності, але й самокоригуватися, що гарантує високий та стабільний показник R.

Впровадження інтерактивного Модуля Моніторингу, який здійснює автоматичне підтягування аудиторської звітності (виконаних завдань) з Реєстру задач на основі каскадної фільтрації навігаційних шляхів забезпечує підвищення прозорості, уніфікує звітність та значно знижує трудомісткість підготовки до сертифікаційних аудитів, надаючи можливість миттєвого документального підтвердження для аудитора.

Розробка та використання модуля керування нормативною базою для адміністратора гарантує актуальність та достовірність усіх джерел інформації, які використовують інтелектуальні модулі.

Висновки. Створено вдосконалену систему контролю якості управлінських рішень на основі штучного інтелекту. Розроблено трикомпонентну систему ШІ, яка забезпечує безперервний контроль якості та гарантує відповідність стандартам ISO. Вперше запропоновано функціональний розподіл модулів штучного інтелекту, які працюють на єдиній нормативній базі підприємства під керівництвом адміністратора. Ключовою інновацією є інтеграція ШІ безпосередньо на етапі постановки завдання, що дозволяє здійснювати превентивний контроль та забезпечує обов'язкову формалізацію поля "Методологія впровадження" з мінімальною кількістю символів. Це усуває ризик недостатності інформації вже на етапі планування.

Створено окремий консультаційний інструмент з каскадною логікою фільтрації, який обмежує джерело інформації одним обраним документом через розкриті списки. Такий механізм виключає можливість надання

неправильних або суперечливих відповідей з різних джерел, забезпечуючи високу достовірність знань персоналу.

Також розроблено та вдосконалено модель багатокритеріальних зважених оцінок для розрахунку коефіцієнта готовності до аудиту. Новизна цієї моделі полягає у включенні критеріїв, безпосередньо пов'язаних з активністю та якістю системи, які забезпечуються використанням штучного інтелекту.

1.3 Дослідження методів та алгоритмів використання AI-агентів для організації інтелектуального освітнього середовища

Вступ. Розвиток великих мовних моделей (LLM) та архітектур мультиагентних систем започаткував нові парадигми для освіти, які моделюють групову взаємодію і соціальні ролі в навчанні. Різні підходи до проектування агентів (модулі контролю, логіки, пам'яті та зовнішніх інтерфейсів) дають змогу комбінувати адаптивне навчання з підтримкою мотивації та емоційного залучення студентів. Останні праці пропонують формальні рамки побудови таких систем і демонструють емпіричні результати в реальних курсах [20, 22].

Постановка задачі. Мета дослідження – розробити та дослідити методи й алгоритми, що забезпечують ефективну роботу локального освітнього мультиагентного середовища, яке містить: агента-вчителя з функціями пояснення матеріалу й адаптивних відповідей; двох агентів-студентів, що імітують соціальну взаємодію, створюють атмосферу групової роботи та стимулюють реального студента до участі. Завдання включають: формалізацію ролей агентів, розробку протоколів міжагентної

комунікації, механізмів спільної рефлексії і механізмів управління пам'яттю, а також верифікацію впливу таких агентів на увагу, мотивацію й академічні результати студентів. Подібні архітектури описано у сучасних роботах про von Neumann MAS для освіти та дослідженнях LLM-самоорганізації [20, 23].

У роботі проведено аналіз сучасних підходів до побудови мультиагентних AI-систем в освітньому середовищі, архітектурних й алгоритмічних рішень для реалізації групової взаємодії агентів та їхнього співпрацювання з реальним студентом. На прикладі проекту, де працюють двоє агентів-студентів (для створення соціальної та педагогічної атмосфери) і один агент-вчитель (пояснення матеріалу реальному студенту), обґрунтовано вибір методів декомпозиції задач, механізмів пам'яті й рефлексії, а також протоколів взаємодії між агентами та людиною.

Методологія та використовувані алгоритми. Архітектурна модель агентів. Кожен агент реалізується як модульна сутність із контролером діалогу, логічним шаром для педагогічних рішень, модулем пам'яті та інтерфейсом інструментів. Така структура узгоджена з підходом «чотрьох модулів» у сучасних MAS-фреймворках [20].

LLM як ядро поведінки. Агент-вчитель і агенти-студенти використовують тонко налаштовані LLM для генерації пояснень, запитань і реакцій; додатково застосовують RAG (retrieval-augmented generation) для підключення доменної бази знань і курс-матеріалів. Рекомендовано розділяти “сприйняття вхідної інформації” та “планування” через зовнішні інструменти (retrieval, calculator, code execution) [20, 21, 24].

Міжагентна координація. Використовується протокол ролей: вчитель - фасилітатор, студенти-агенти - колаборативні партнери/мотиватори. Синхронні сценарії (живе заняття) керуються через lightweight message

bus; асинхронні – через черги подій і спільну пам'ять (knowledge graph / vector DB). Подібні робочі процеси описано у систематичних оглядах LLM-MAS [22].

Рефлексія та адаптація. Застосовується цикл «дія - рефлексія - оновлення пам'яті», де агенти роблять самооцінювання (chain-of-thought + outcome logging) і коригують підходи до пояснень або стилю взаємодії. Цей підхід сприяє підвищенню когнітивної якості пояснень та внутрішнього узгодження поведінки агентів [23].

Узагальнена архітектура розробленої платформи наведено на рисунку 1.3.

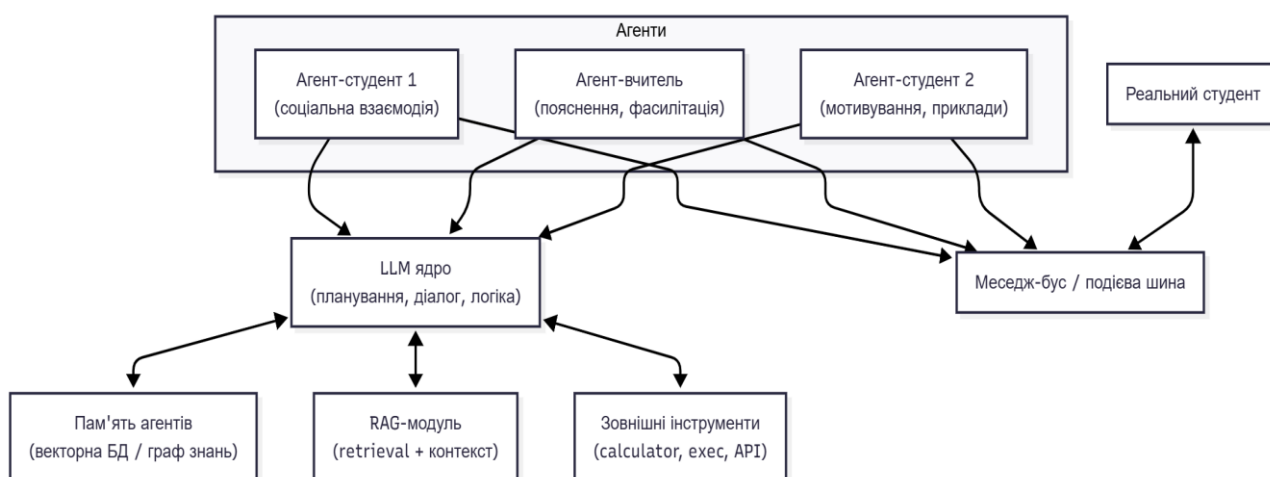


Рисунок 1.3 – Узагальнена архітектура розробленої платформи

Очікувані результати від впровадження:

Покращення залученості студентів завдяки соціальним сигналам від агентів-студентів (збільшення часу взаємодії та кількості запитань).

Зменшення когнітивного навантаження під час опанування нових тем при коректно налаштованому агенті-вчителі (попередні огляди показують помірний вплив педагогічних агентів на когнітивне навантаження [23]).

Технічна стійкість архітектури: архітектура modular LLM + retrieval + memory дозволяє масштабувати сценарії від одного курсу до цілого освітнього модуля [23].

Наукова новизна роботи полягає в наступному.

1. Поєднання невеликого “соціального шару” (двоє агентів-студентів) із повнофункціональним агентом-вчителем для відтворення групової динаміки у синхронних сесіях.

2. Інтеграція циклу внутрішньої еволюції агентів зі зворотним зв'язком від реальних студентів – підхід, що підсилює “колективний інтелект” агентів і їхню педагогічну корисність.

3. Практичне застосування гібридних протоколів (RAG + multi-agent coordination [5]) для адаптивного пояснення і мотиваційної взаємодії.

Висновки. Реалізація мультиагентного освітнього середовища з ролями «вчитель - студенти - реальний студент» є перспективним напрямом, що поєднує переваги LLM-технологій, архітектур MAS та педагогічних практик. Подальші кроки: емпіричне дослідження впливу таких систем у навчальних експериментах, тонке налаштування персон і системних промптів агентів, а також розробка етичних і приватнісних політик для захисту студентських даних. Сучасні літературні джерела підкреслюють необхідність систематичного підходу до дизайну й оцінки педагогічних агентів.

1.4 Дослідження можливостей програмного комплексу MS Excel як універсального інструменту для підтримки процесу управління проектами

Вступ. У даній роботі досліджуються можливості Microsoft Excel як універсального, доступного та гнучкого інструмента для управління

проектами. Особливу увагу приділено його потенціалу в умовах цифрової трансформації бізнесу, де вартість, складність навчання та необхідність адаптації спеціалізованих програм для проектного менеджменту часто є бар'єром для малих і середніх проектів. Excel, завдяки своїй популярності, простоті використання та широкій функціональності, розглядається як оптимальний інструмент для таких проектів.

В цьому підрозділі детально аналізуються два підходи до організації управління проектами в Excel: створення інтерактивного календаря проекту на основі умовного форматування та побудова діаграми Ганта для візуалізації строків і залежностей між етапами. Автори обґрунтовують переваги цих методів, зокрема їхню простоту реалізації, адаптивність під конкретні потреби та можливості інтеграції з іншими інструментами, такими як Microsoft Project або Power BI.

Також акцентується увага на обмеженнях Excel, таких як відсутність стандартизації рішень, низький рівень автоматизації процесів і обмежена масштабованість для великих проектів. Для подолання цих викликів запропоновано рекомендації щодо створення автоматизованих шаблонів, покрокових інструкцій для реалізації динамічного календаря та діаграми Ганта, а також способів інтеграції Excel із сучасними аналітичними платформами.

Зроблено висновки про доцільність використання Excel для проектного менеджменту залежно від масштабу та складності проекту. У статті окреслено перспективи подальших досліджень, включаючи розробку гібридних підходів, що поєднують переваги різних методів, і впровадження інтерактивних рішень для роботи в умовах віддалених та хмарних платформ. Результати дослідження можуть стати корисними для широкого кола користувачів, від новачків до досвідчених фахівців у сфері проектного менеджменту.

Постановка проблеми. Управління проектами стикається з дедалі більшою кількістю викликів. З одного боку, проекти стають більш складними через вплив глобалізації, що вимагає координації між різними командами, країнами та дисциплінами. З іншого боку, цифрова трансформація бізнесу збільшує потребу у швидких і точних рішеннях для планування, відстеження прогресу та аналізу результатів.

Важливою складовою є доступність інструментів для управління проектами. Складні програмні продукти, такі як Microsoft Project, Asana або Jira, надають широкий функціонал, але їх використання часто є недоцільним для малих і середніх проектів через високу вартість, складність навчання та необхідність адаптації під конкретні завдання.

У цьому контексті Microsoft Excel виступає універсальним і доступним інструментом, який завдяки своїм функціям може слугувати платформою для реалізації проектного менеджменту. Його переваги включають: широку доступність у багатьох організаціях, гнучкість у налаштуванні під конкретні потреби та інтеграцію з іншими програмними продуктами та системами.

Проте, незважаючи на численні переваги, використання Microsoft Excel у проектному менеджменті супроводжується певними викликами, які можуть вплинути на ефективність роботи та якість результатів.

Одним із основних викликів є відсутність стандартизації підходів до організації проектів. Кожен користувач налаштовує Excel відповідно до власних потреб, створюючи унікальні рішення для планування та моніторингу завдань. Це ускладнює уніфікацію даних, передачу проектною документації між учасниками команди та інтеграцію з іншими інструментами управління проектами.

Ще одним значним обмеженням є низький рівень автоматизації процесів. Хоча Excel підтримує макроси та інші інструменти автоматизації,

їх застосування потребує значних зусиль на налаштування. Багато рутинних завдань, таких як оновлення графіків, перевірка перетинів між етапами або підрахунок тривалості завдань, виконуються вручну. Це збільшує ризик помилок, знижує продуктивність і може стати критичним для великих проєктів.

Крім того, недостатнє навчання користувачів обмежує можливості використання Excel. Хоча базові функції програми зрозумілі більшості, для створення динамічних рішень, таких як автоматичні календарі, діаграми Ганта чи системи аналізу даних, потрібні специфічні знання. До таких знань належать програмування на VBA (Visual Basic for Applications), використання складних формул і функцій, налаштування умовного форматування та створення кастомних шаблонів.

Ще однією проблемою є масштабованість Excel. Ця програма ідеально підходить для невеликих і середніх проєктів із відносно простою структурою. Проте для великих проєктів, які містять велику кількість взаємозалежних завдань, Excel може виявитися недостатньо ефективним. Обмеження візуалізації, складність обробки великих обсягів даних та недостатня інтеграція з іншими системами є ключовими бар'єрами для його використання в таких випадках.

Таким чином, для того щоб Excel став потужним і універсальним інструментом для проєктного менеджменту, необхідно вирішити ці виклики. Це включає впровадження стандартизованих рішень, розробку автоматизованих інструментів та вдосконалення підходів до навчання користувачів. Лише тоді Excel зможе максимально розкрити свій потенціал у сфері управління проєктами.

У рамках дослідження планується розробити прикладні рішення, які дозволять максимально ефективно використовувати можливості Excel для управління проєктами. Одним із таких рішень стане динамічний календар

проектів, що забезпечить простоту планування та візуалізації строків виконання завдань. Календар дозволить не лише фіксувати дати початку й завершення етапів проекту, але й динамічно відобразити ключові точки виконання. Завдяки використанню умовного форматування в Excel можна виділяти критичні дати, наприклад, строки завершення етапів, вихідні або потенційні конфлікти між завданнями. Це зробить управління проектами більш прозорим та доступним для аналізу.

Крім того, важливим аспектом є побудова діаграми Ганта безпосередньо в Excel. Такий інструмент стане основою для графічного представлення строків виконання проекту у вигляді горизонтальних смужок, кожна з яких символізує окремий етап. Це дозволить візуалізувати не лише строки, але й взаємозв'язки між етапами, а також визначити критичні шляхи виконання проекту. Завдяки вбудованим функціям Excel, таким як створення стовпчастих діаграм, умовне форматування та обчислювальні формули, можна автоматизувати процес побудови діаграми Ганта, що полегшить її використання навіть для складних проектів.

Щоб визначити, який із підходів – календар проектів чи діаграма Ганта – є більш ефективним у певних умовах, буде проведено практичне порівняння обох методів. Аналіз базуватиметься на таких критеріях, як зручність використання, адаптивність до різних масштабів проектів, візуальна наочність та можливості інтеграції з іншими інструментами. Це порівняння допоможе краще зрозуміти, в яких випадках кожен із методів є оптимальним вибором, що дозволить користувачам приймати обґрунтовані рішення.

Також буде розроблено рекомендації для користувачів, які включатимуть покрокові інструкції для створення як динамічного календаря, так і діаграми Ганта в Excel. Рекомендації доповнюватимуться

шаблонами, що дозволять швидко впровадити обидва підходи в практичну діяльність. Такі матеріали будуть корисними як для початківців, так і для досвідчених користувачів, що прагнуть оптимізувати процеси управління проектами.

Реалізація цих рішень забезпечить підвищення ефективності управління проектами за допомогою Excel та дозволить використовувати цей інструмент максимально адаптивно для проектів різного масштабу й складності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сфері управління проектами велика увага приділяється спеціалізованим інструментам, таким як Microsoft Project, Jira та Trello. Проте, роботи дослідників Глушенкової А., Ониська Е., Супрунко С, Тараніч О., Ярощук М. підкреслюють важливість використання універсальних інструментів для малих проектів [25-28]. Публікації Родащука Г., Колодінської Я., Талах Т. описують базові можливості Excel [29-31]. Але детальне порівняння двох методів – створення календаря проекту та діаграми Ганта – залишається недостатньо висвітленим.

Мета роботи – дослідження можливостей Excel для побудови календаря проекту та діаграми Ганта, їх порівняння за ключовими критеріями та визначення найкращих умов для використання кожного з підходів.

Виклад основного матеріалу. Створення календаря етапів проекту є одним із ключових інструментів для управління проектами, що забезпечує структуроване планування, контроль та ефективну комунікацію між учасниками. У дослідженні були розглянуті два підходи до створення календаря етапів проекту в Microsoft Excel: за допомогою умовного форматування та побудови діаграми Ганта.

Перший підхід базується на умовному форматуванні, яке дозволяє

виділяти етапи проєкту відповідно до їхніх строків виконання. Цей метод є ефективним для створення інтерактивного календаря у Microsoft Excel, що візуально відображає ключові дати та періоди активності кожного етапу проєкту. Основою підходу є формули, які генерують значення дат у таблиці, а умовне форматування виділяє клітинки, що відповідають періодам активності, різними кольорами.

Для реалізації цього підходу спершу створюється таблиця з ключовими параметрами: назвами етапів, датами початку та кінця, а також тривалістю кожного етапу. За допомогою функції DATE автоматично генеруються дати для всього календаря, що охоплює необхідний період. Після цього використовуються формули умовного форматування, які дозволяють:

- перевірити, чи входить значення клітинки у діапазон допустимих днів для вибраного місяця, та виділяють недійсні дати іншим кольором;
- підсвічувати активні дні кожного етапу для чого формули перевіряють відповідність дат клітинок календаря інтервалам між датами початку та кінця етапів;
- виділяти вихідні дні за допомогою функції WEEKDAY, яка визначає, чи належить дата до суботи або неділі, та підсвічує ці дні іншим кольором;
- позначати перетини між етапами використовуючи додаткові формули умовного форматування, які дозволяють виявляти та виділяти дні, коли строки виконання кількох етапів накладаються або збігають з вихідними днями.

На рисунку 1.4 представлено приклад календаря етапів проєкту, побудованого за допомогою умовного форматування в Microsoft Excel. У цьому прикладі ви можете побачити, як виглядають активні дні виконання

проєкту (зелений колір), вихідні (жовтий колір), перетини між етапами та коли проєкт виконується на вихідних (червоний колір), недійсні дати (сірий колір), що забезпечує наочне відображення ходу проєкту.

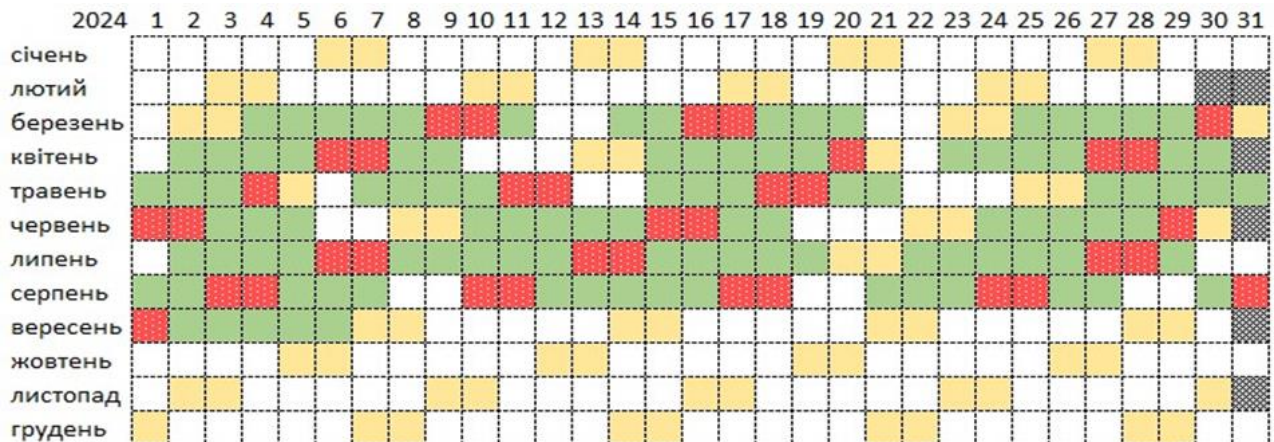


Рисунок 1.4 – Календар етапів проєкту, побудований за допомогою умовного форматування в Microsoft Excel

Цей метод має низку переваг. Використання умовного форматування є простим у реалізації, не потребує спеціалізованих знань або складних інструментів, що робить його ідеальним для створення простих календарів. Він має низькі вимоги до ресурсів, оскільки для його впровадження достатньо базових функцій Microsoft Excel, що робить цей підхід доступним для більшості користувачів. Крім того, календар легко адаптується до специфіки проєкту завдяки можливості модифікації формул або додавання нових правил умовного форматування. Це дозволяє виділяти додаткові параметри, такі як завершення критичних етапів або дні з підвищеним ризиком.

Попри численні переваги, цей підхід має й кілька недоліків. Одним із основних є обмежена гнучкість при роботі з великими або складними проєктами, де кількість етапів може бути дуже великою. У такому випадку

календар може стати занадто заплутаним і важким для сприйняття. Крім того, якщо проєкт передбачає часті зміни в датах або залежностях між етапами, умовне форматування потребує постійного оновлення формул, що може зайняти значний час і зусилля. Оскільки цей метод базується на використанні простих функцій Excel, він також не дозволяє легко відображати складні залежності між етапами чи ресурси, що може обмежувати його ефективність для більш масштабних проєктів. З іншого боку, такий підхід вимагає уважного налаштування умовного форматування, що може бути складно для користувачів без досвіду в Excel.

Таким чином, підхід із використанням умовного форматування є ідеальним рішенням для невеликих проєктів, де простота та швидкість налаштування є пріоритетними, тоді як для складніших проєктів варто розглянути альтернативні методи,

Другий підхід до створення календаря етапів проєкту полягає у використанні діаграми Ганта, яка є одним з найбільш популярних інструментів для візуалізації графіків виконання проєктів. Діаграма Ганта дозволяє наочно представити етапи проєкту у вигляді горизонтальних смуг, де кожен етап відображається як окрема смуга, що має свою довжину, що відповідає тривалості цього етапу. Цей підхід є дуже корисним для відображення як загального плану проєкту, так і для демонстрації його етапів і важливих залежностей між ними.

Для створення діаграми Ганта в Microsoft Excel застосовуються стовпчасті діаграми з використанням функцій BAR та STACKED BAR, що дозволяє точно відобразити строки виконання кожного етапу та взаємозалежності між ними. Кожен етап позначається окремим рядком, який відображає дату початку та тривалість етапу. Для побудови діаграми використовуються такі кроки:

– створюється таблиця, що містить основні дані про етапи проєкту, включаючи назви етапів, дати початку та тривалість. Додатково можуть бути вказані залежності між етапами, якщо це необхідно для відображення зв'язків між ними;

– вибирається тип стовпчастої діаграми Stacked Bar (складена стовпчаста діаграма), після чого налаштовуються осі, щоб візуалізувати етапи у відповідності до їхніх строків. Для цього дата початку етапу стає початковою точкою смуги, а тривалість – її довжиною.

– за допомогою додаткового форматування налаштовуються кольори смуг для кожного етапу, що дає можливість легко виділяти різні етапи проєкту або визначати критичні ділянки.

На рисунку 1.5 представлена діаграма Ганта, що відображає етапи проєкту з використанням стовпчастої діаграми в Microsoft Excel

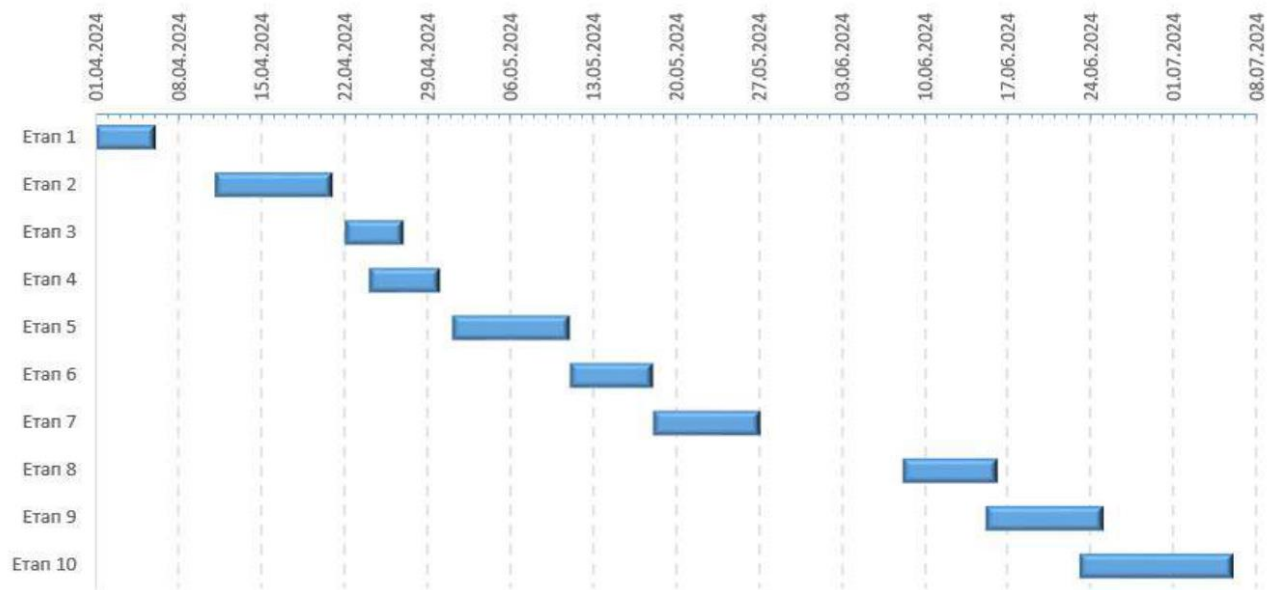


Рисунок 1.5 – Діаграма Ганта, побудована за допомогою Microsoft Excel

Діаграма Ганта має кілька важливих переваг. По-перше, вона забезпечує чітке візуальне представлення строків та залежностей, даючи змогу наочно побачити тривалість етапів, строки їх виконання та важливі взаємозалежності між етапами, що сприяє ефективному управлінню проектом. По-друге, вона є зручною для масштабних проектів, оскільки дозволяє відображати всі етапи та їхні залежності одночасно, що особливо корисно для великих проектів з численними етапами та складними взаємозв'язками. І по-третє, діаграму Ганта, створену в Excel, можна інтегрувати з іншими інструментами для управління проектами, такими як Microsoft Project або Power BI, що дає можливість аналізувати дані в більш широкому контексті та автоматизувати процеси управління проектом. Однак, діаграма Ганта має й деякі недоліки. Один з основних недоліків – це складність оновлення в реальному часі при змінах у проекті. Якщо в проекті відбуваються значні зміни, наприклад, зміщення строків або додавання нових етапів, діаграма може потребувати значного перероблення, особливо якщо етапів багато. Інший недолік полягає в тому, що вона не завжди добре працює для проектів з високим рівнем змін або гнучкістю, де постійно змінюються строки або ресурси. Також діаграма Ганта може бути складною для розуміння для людей, які не мають досвіду в управлінні проектами, оскільки вона вимагає певної кваліфікації для правильного інтерпретування складних взаємозв'язків і залежностей. Крім того, для великих проектів з великою кількістю етапів діаграма може стати перевантаженою і важко читабельною, що ускладнює її використання.

Таким чином, у ході дослідження було виявлено, що умовне форматування краще підходить для невеликих проектів, де необхідно швидко створити простий календар із базовими функціями. Водночас діаграма Ганта демонструє високу ефективність для складних проектів із великою кількістю взаємозалежностей.

Основними недоліками умовного форматування є обмежена масштабованість і недостатня наочність при роботі з великими даними. Діаграма Ганта, хоч і потребує більше часу на налаштування, дозволяє відстежувати критичні шляхи, залежності між етапами та візуалізувати ключові показники ефективності проєкту.

Для більш наочного представлення відмінностей між умовним форматуванням та діаграмою Ганта проведемо їх порівняння за основними критеріями в таблиці 1.4.

Також у рамках дослідження були створені два варіанти календаря етапів проєкту. Умовне форматування забезпечило швидке налаштування під конкретний проєкт, тоді як діаграма Ганта дозволила виявити залежності між етапами та оптимізувати планування. Обидва підходи продемонстрували свою ефективність у різних контекстах і можуть використовуватися залежно від масштабу проєкту.

Таблиця 1.4 – Порівняльний аналіз календаря проєкту та діаграми Ганта

Критерій	Календар проєкту	Діаграма Ганта
Простота використання	Висока, швидке налаштування	Середня, потребує більше часу
Легкість у навчанні	Інтуїтивно зрозумілий	Потребує базових знань з управління проєктами
Візуалізація	Чітке відображення дат	Графічне уявлення взаємозв'язків
Масштабованість	Обмежено малими проєктами	Зручно для складних проєктів
Гнучкість	Легко адаптується до задач	Потребує детального налаштування
Гнучкість у зміні даних	Швидка адаптація	Зміни потребують часу

Продовження таблиці 1.4

Критерій	Календар проєкту	Діаграма Ганта
Час на створення	Мінімальний	Значний
Інтеграція з інструментами	Можлива обмежено (Excel)	Висока (Microsoft Project, Jira тощо)
Контроль прогресу	Загальний огляд	Деталізоване відображення прогресу
Застосовуваність	Для невеликих і середніх проєктів	Для довгострокових і комплексних проєктів
Ресурсне планування команди	Ресурсне планування	Ресурсне планування
Аналіз ризиків	Мінімальні можливості	Детальний аналіз критичних шляхів

Висновки. Порівняння методів управління проєктами продемонструвало, що використання календаря проєкту є оптимальним для невеликих проєктів із чітко визначеними строками, обмеженою кількістю завдань і відсутністю складних залежностей між ними. У свою чергу, діаграма Ганта виявилася більш ефективною для управління великими проєктами з багатьма взаємозалежними етапами, де критично важливо відстежувати прогрес виконання та враховувати вплив затримок одного завдання на інші. Відповідно до отриманих результатів, слід зазначити, що обидва методи мають свої сильні сторони, і вибір між ними залежить від масштабу проєкту, рівня складності завдань і ресурсних обмежень.

Перспективи подальших досліджень включають розробку автоматизованих шаблонів у Excel, які динамічно враховують зміни у строках, завданнях і залежностях. Важливим напрямом є інтеграція Excel із сучасними аналітичними інструментами, такими як Power BI, для створення інтерактивних дашбордів і синхронізації даних у реальному

часі. Можливим є також впровадження гібридних підходів, що поєднують переваги календаря проекту та діаграми Ганта, для більш комплексного управління проектами різного масштабу. Окрім того, доцільно адаптувати існуючі методи до умов віддаленої роботи й хмарних платформ, забезпечуючи доступність і зручність використання. Додаткові емпіричні дослідження можуть допомогти оцінити ефективність цих методів у реальних проектах, враховуючи вплив людського фактора на їхнє застосування.

Таким чином, подальші дослідження спрямовані на вдосконалення існуючих підходів та створення нових інструментів, які підвищать ефективність управління проектами та забезпечать адаптивність до потреб сучасного бізнесу.

2 РОЗРОБКА КОМПОНЕНТІВ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

2.1 Розробка та використання платформи автоматизації обліку та аналізу EDUFLOW BI технічного університету «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» в контексті українських практик освітньої аналітики

Цифровізація вищої освіти вимагає переходу від описової статистики до прогностичної та рекомендаційної аналітики. Для українських ЗВО критично важливо створювати системи, що інтегрують адміністративні та поведінкові дані, забезпечують достовірність та підтримують управлінські рішення [33, 34]. EduFlow BI розроблена як університетська платформа наскрізної аналітики, що відповідає сучасним міжнародним тенденціям [35-38].

Постановка задачі. Метою даної роботи є стислий аналіз архітектури, функціоналу та AI-модулів платформи EduFlow BI, а також визначення її місця серед українських рішень освітньої аналітики [33, 39, 40]. Основні задачі: окреслити структуру та підсистеми EduFlow BI; показати можливості застосування ШІ; провести коротке порівняння з практиками інших ЗВО; виділити інноваційний потенціал платформи.

Основний зміст роботи

1. Архітектура EduFlow BI. Розроблена та впроваджена в університеті платформа базується на трикомпонентній моделі:

- Облікова система – джерело адміністративних та академічних даних (структура університету, кадри, навчальні плани, контингент, успішність).
- LMS Moodle – поведінкові та поточні навчальні дані студентів.
- Аналітичний модуль Power BI – консолідація, візуалізація та управлінська аналітика.

У підсистемі «Успішність» реалізовано повний цикл фіксації, валідації та юридичного підтвердження оцінок за допомогою КЕП, що забезпечує достовірність даних для формування офіційних документів. Загальну схему трикомпонентної архітектури платформи EduFlow BI представлено на рис. 2.1.

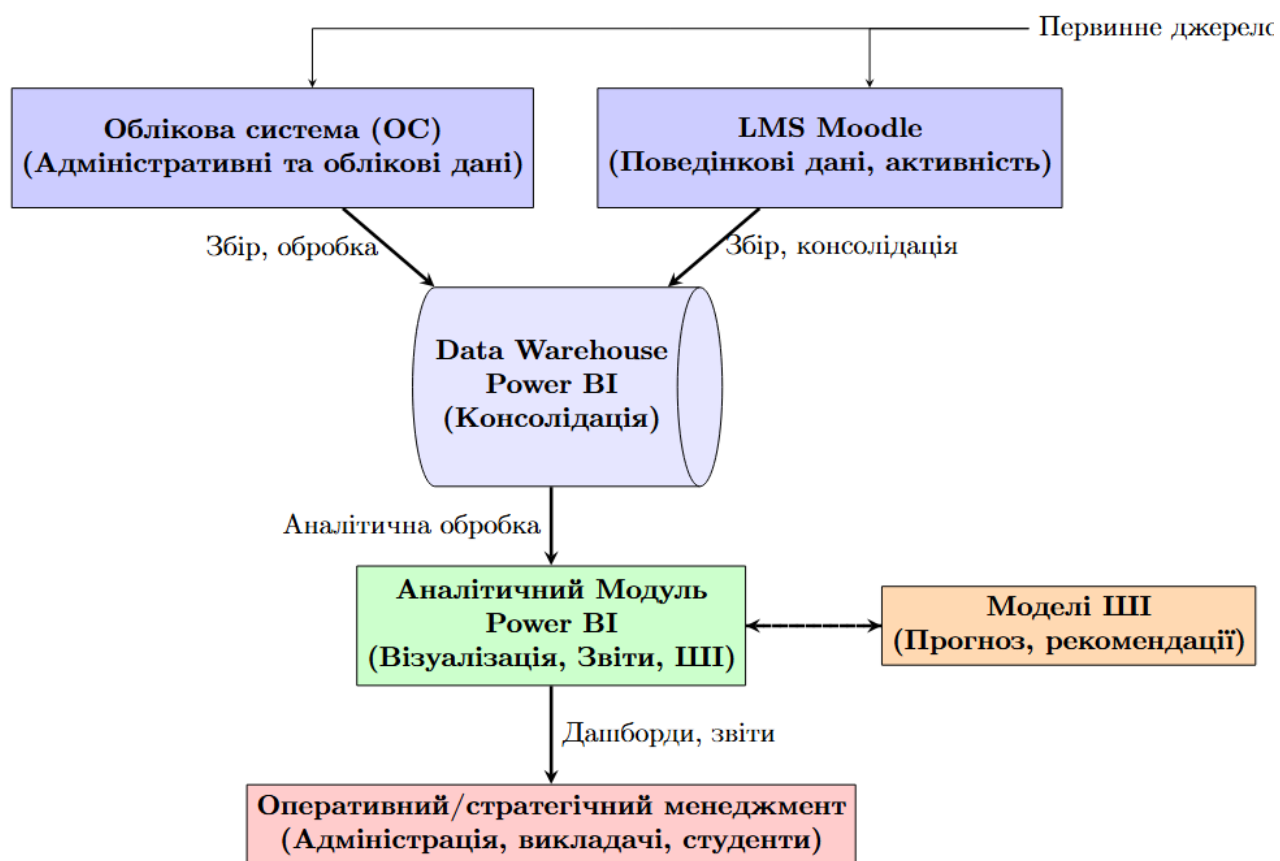


Рисунок 2.1 – Трикомпонентна архітектура платформи EduFlow BI

2. Аналітична звітність Power BI. Платформа формує інтерактивні дашборди: контроль нульової активності, академічних боргів, індивідуальних планів, рейтингів, статистики контингенту та успішності. Це дозволяє оперативно реагувати на академічні ризики та планувати розвиток освітніх програм.

3. Використання ШІ. У EduFlow BI використовується:

- модель прогнозування відтоку студентів (градієнтний бустинг, точність 82–92%), що дозволяє завчасно ідентифікувати групи ризику;
- рекомендаційну систему вибору дисциплін, створену на основі колаборативної фільтрації, яка забезпечує персоналізацію освітніх траєкторій;
- кластеризацію студентів і викладачів для виявлення навчальних патернів і підтримки педагогічних рішень.

4. Порівняння з деякими українськими практиками розробки та впровадження комплексного e-learning середовища:

- НУБіП та КУ ім. Б. Грінченка – фокус системи, яка розроблена та застосовується: Moodle-центрична аналітика, фокус на активності та якості онлайн-курсів [1];
- СумДУ – комплексне e-learning середовище, орієнтоване на майбутнє впровадження ШІ [7];

За результатами порівняльного аналізу розглянутих сучасних кейсів та EduFlow BI, визначено, що дана розробка вирізняється:

- наскрізною інтеграцією адміністративних і поведінкових даних;
- гарантованою юридичною достовірністю записів;
- вже реалізованими AI-моделями.

Наукова новизна розробки та дослідження полягає в наступному:

- обґрунтовано та реалізовано трикомпонентну архітектуру, яка поєднує облікові й поведінкові дані в єдиному аналітичному просторі;

- представлено діючі прогностичні та рекомендаційні AI-моделі, інтегровані у щоденне управління університетом;
- запропоновано підхід до кластеризації студентів і викладачів для виявлення прихованих закономірностей навчання.

Висновки. EduFlow BI є високорівневою платформою освітньої аналітики, що забезпечує: повну інтеграцію даних від обліку до аналітики; юридично підтверджену достовірність академічних записів; практичне застосування ШІ для прогнозування ризиків і персоналізації навчання; конкурентні переваги відносно інших українських практик за рівнем системності й функціональності. Платформа формує основу для переходу університету до AI-driven управління якістю освіти та ефективного розвитку академічного середовища.

2.2 Автоматизація розрахунку на міцність балочних конструкцій для інформаційної підтримки інженерної діяльності

2.2.1 Вступ та постановка проблеми

Оскільки балки виконують роль ключових несучих елементів у більшості конструкцій, їхній розрахунок на міцність є невід'ємною складовою процесу проєктування інженерних споруд. Необхідність забезпечення безпеки конструкцій, раціонального використання матеріалів і підвищення надійності в умовах змінного навантаження зумовлює актуальність такого розрахунку.

Через те що розрахунок балок на міцність пов'язаний зі складними інженерними обчисленнями, для його виконання застосовують спеціалізоване програмне забезпечення. Існує широкий спектр таких

програмних продуктів, наприклад SAP2000, ANSYS, ЛІРА-САПР та багато інших.

SAP2000 [41] є універсальним програмним засобом, призначеним для чисельного моделювання та інженерного аналізу просторових конструкцій, зокрема балок, рам і складних структурних систем.

ANSYS [42] – це багатофункціональна система комп'ютерного інженерного аналізу, призначена для чисельного моделювання фізичних процесів у твердих тілах, рідинах і газах. Програмне забезпечення забезпечує розв'язання задач механіки деформівного твердого тіла, теплопередачі, гідро- та аеродинаміки, електромагнетизму, а також міждисциплінарного аналізу. Завдяки використанню методу скінченних елементів (FEM), ANSYS дозволяє здійснювати високоточне моделювання напружено-деформованого стану конструкцій, оптимізацію геометрії та параметрів матеріалів, а також прогнозування поведінки об'єктів у складних умовах експлуатації.

ЛІРА-САПР [43] – це багатофункціональний програмний комплекс для чисельного моделювання, аналізу та проєктування будівельних конструкцій різного типу. Програма реалізує метод скінченних елементів і дозволяє виконувати статичний, динамічний, сейсмічний та нелінійний аналіз просторових і плоских систем. ЛІРА-САПР підтримує розрахунок залізобетонних, сталевих, кам'яних і дерев'яних конструкцій, а також взаємодію споруд з основою.

Таким чином, перелічені програми є багатофункціональними, і розрахунок балок на міцність є однією з їх багатьох функцій. Використання цих програм вимагає від користувачів глибокої теоретичної підготовки в області опору матеріалів і теоретичної механіки, а також знання відповідної мови моделювання. Недостатній рівень теоретичних знань у відповідних галузях ускладнює ефективне використання такого

програмного забезпечення користувачами з недостатньою теоретичною підготовкою.

Проте в практичних умовах часто виникає потреба у виконанні спрощених розрахунків на міцність, що дозволяють підібрати відповідний номер профілю за сортаментом, здатного витримати задане навантаження.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розробка інтуїтивно зрозумілого програмного забезпечення для комплексного розрахунку балочних конструкцій, орієнтованого на широкий спектр користувачів.

Метою роботи є розробка комп'ютерної програми для розрахунку міцності балочних конструкцій на основі спрощеного підходу, що використовує концепцію безпечних факторних просторів профілів балок [44, с. 143].

Для досягнення цієї мети необхідно розробити інтуїтивно-зрозумілий користувацький інтерфейс, який дозволяє користувачу ефективно вводити навантаження, які діють на конструкцію і параметри балки. Крім того, необхідно автоматизувати виконання необхідних розрахунків і візуалізувати результати у вигляді графіків і відповідної текстової інформації.

Реалізації цієї мети і завдань присвячена дана робота.

2.2.2 Методи та методики дослідження

Для розрахунку балок на міцність використовується так звана спрощена методика (див. наприклад [44, с.143]). Сутність цієї методики полягає в тому, що для кожного номеру балочного профілю із

сортаменту([45, 46]) в системі координат (Q,M) будується область, для всіх точок якої виконуються умови міцності за нормальними, дотичними та еквівалентними напруженнями. Тут Q – поперечна сила, а M – згинальний момент. Ця область є фігурою, яка обмежена осями координат Q і M, прямими $M=[M]$ і $Q=[Q]$ та еліпсом

$$\frac{M^2}{\beta^2} + \frac{Q^2}{\gamma^2} = 1 ,$$

де

$$\beta = \frac{J_x \cdot [\sigma]}{y_K} ,$$

$$\gamma = \frac{d \cdot J_x \cdot [\sigma]}{\sqrt{\alpha} \cdot \left(S_x - \frac{1}{2} \cdot d \cdot y_K^2 \right)} .$$

Тут J_x – момент інерції перерізу відносно осі x , $\alpha=4$ за третьою теорією міцності, $[\sigma]$ – допустиме напруження для матеріалу балки на розтягання і стискання, S_x – статичний момент половини перерізу відносно осі x , d – товщина стінки балочного профілю, W_x - момент опору відносно осі x . Значення y_K , наприклад, для двотавра визначається формулою

$$y_K = \frac{h}{2} - t ,$$

де h – висота двотавра, t – середня товщина полиці. В цій точці еквівалентне напруження може досягати максимального значення.

$[M]$ і $[Q]$ – це допустимі величини згинального моменту і поперечних

сил у перерізах балки, які визначаються за формулами

$$[M] = W_x \cdot [\sigma],$$

$$[Q] = \frac{d \cdot J_x \cdot [\sigma]}{S_x \cdot \sqrt{\alpha}}.$$

Значення h, t, W_x, J_x, S_x для виконання розрахунків беруться з сортаменту.

Область, в якій виконуються всі умови міцності балочних профілів, називається безпечним факторним простором. Безпечний факторний простір показано на рисунку 2.2.

Для розрахунку балок на міцність реалізовано наступний алгоритм.

Для заданого навантаження будуються епюри поперечних сил і згинальних моментів. Для перерізів, розташованих вдовж довжини балки з деяким достатньо малим кроком Δx , визначаємо значення поперечних сил та згинальних моментів, користуючись побудованими епюрами.

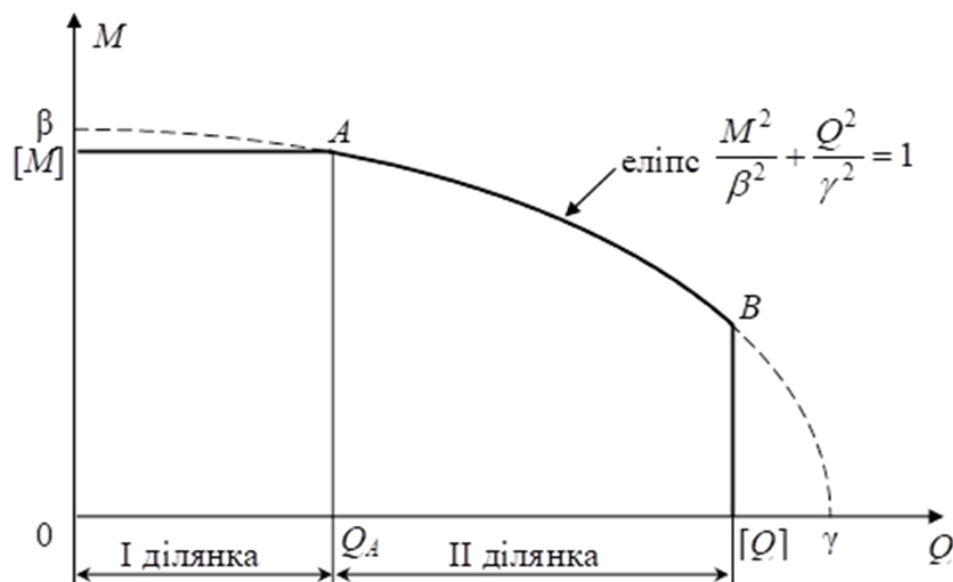


Рисунок 2.2 – Безпечний факторний простір

Для визначених значень (Q_i, M_i) , $i = 1, 2, \dots, n$ (n -кількість точок вздовж довжини балки) перевіряємо, чи належать ці точки області безпечного факторного простору для першого номеру профіля в сортаменті. Значення (Q_i, M_i) беруться за модулем. Якщо всі точки не виходять за межі безпечного факторного простору, то заданий номер профілю задовольняє умові міцності за нормальними, дотичними та еквівалентними напруженнями. Якщо хоч одна точка виходить за межі цього простору, беремо наступний профіль з сортаменту, будуємо для нього відповідний безпечний факторний простір і перевіряємо приналежність точок з координатами (Q_i, M_i) цьому безпечному факторному простору. Алгоритм повторюємо доти, доки не знайдемо профіль, для якого значення поперечних сил і згинальних моментів для всіх обраних точок вздовж довжини балки не належать його безпечному факторному простору. Цей профіль і буде задовольняти умовам міцності за нормальними, дотичними та еквівалентними напруженнями.

2.2.3 Результати розробки

Авторами створено комп'ютерну програму для повного розрахунку на міцність балочних конструкцій, яка є модернізованою версією попередніх розробок, виконаних у середовищі Mathcad [47-49]. На відміну від них, нова програма реалізована мовою програмування Python, що було обумовлено її широкими можливостями для виконання складних математичних обчислень та розробки графічного інтерфейсу користувача.

Застосування бібліотеки Tkinter дало змогу створити зручний і функціональний інтерфейс, який забезпечує повноцінний доступ до всіх опцій програми. Крім того, важливою перевагою є те, що Python – це безкоштовне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом.

Розроблена комп'ютерна програма забезпечує наступний функціонал для розрахунку балочних конструкцій. Вона дозволяє візуалізувати схему балки на основі введених користувачем параметрів, автоматично визначати опорні реакції, а також будувати епюри поперечних сил Q та згинальних моментів M . Програма здійснює підбір мінімального номера балочного профілю, який задовольняє вимоги міцності за нормальними, дотичними та еквівалентними напруженнями. Крім того, реалізована побудова безпечного факторного простору в координатах Q - M , що дозволяє аналізувати межі допустимих навантажень. Як профіль можна обирати двотавровий переріз, швелер, здвоєний швелер або прямокутний замкнутий профіль.

З метою демонстрації роботи програмного забезпечення розглянемо конкретний приклад розрахунку балочної конструкції.

2.2.4 Приклад розрахунку балочної конструкції

Задача. Для консольної балки із сталі Ст.4пс (рис. 2.3) визначити опорні реакції, побудувати епюри поперечних сил і згинальних моментів, визначити з умов міцності потрібний номер профілю, розрахувати для нього прогин у точці H і кут повороту перерізу K , побудувати графіки цих переміщень за довжиною балки, якщо її профіль – швелер за ДСТУ 3436–96.

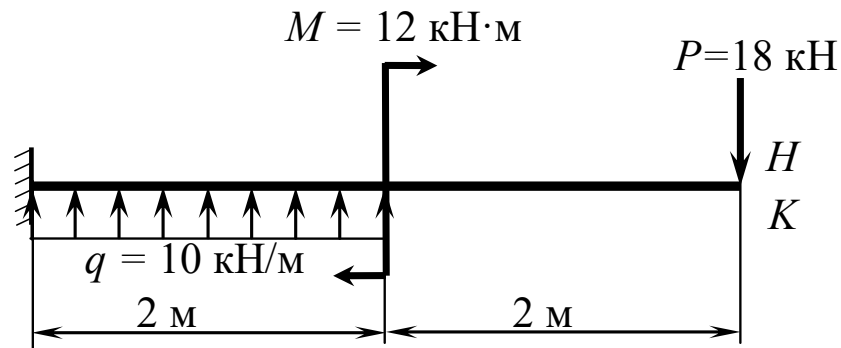


Рисунок 2.3 – Схема навантажень та закріплення балки

Рішення:

У меню Початкові дані головного вікна програми оберіть пункт Введення даних. У вікні, що з'явилося введіть такі параметри: довжину балки, величину згинального моменту та точку його прикладання, зосереджену силу з відповідною точкою прикладання, а також рівномірне навантаження, вказавши його початкову точку та довжину. Після цього натисніть кнопку Зберегти, а потім – Додати момент, Додати силу, Додати навантаження. Ви можете внести будь-яку кількість навантажень (моментів, зосереджених сил, рівномірних навантажень). Всі введені навантаження відображаються у відповідному списку (рис. 2.4).

Для того, щоб отримати схему балки, яка відповідає введеним даним, натисніть на кнопку показати балку в головному меню програми (рис. 2.5). В результаті з'явиться схема балки, побудована на основі введених даних. Це зроблено для того, щоб користувач перевіряв правильність введених опор і навантажень балки.

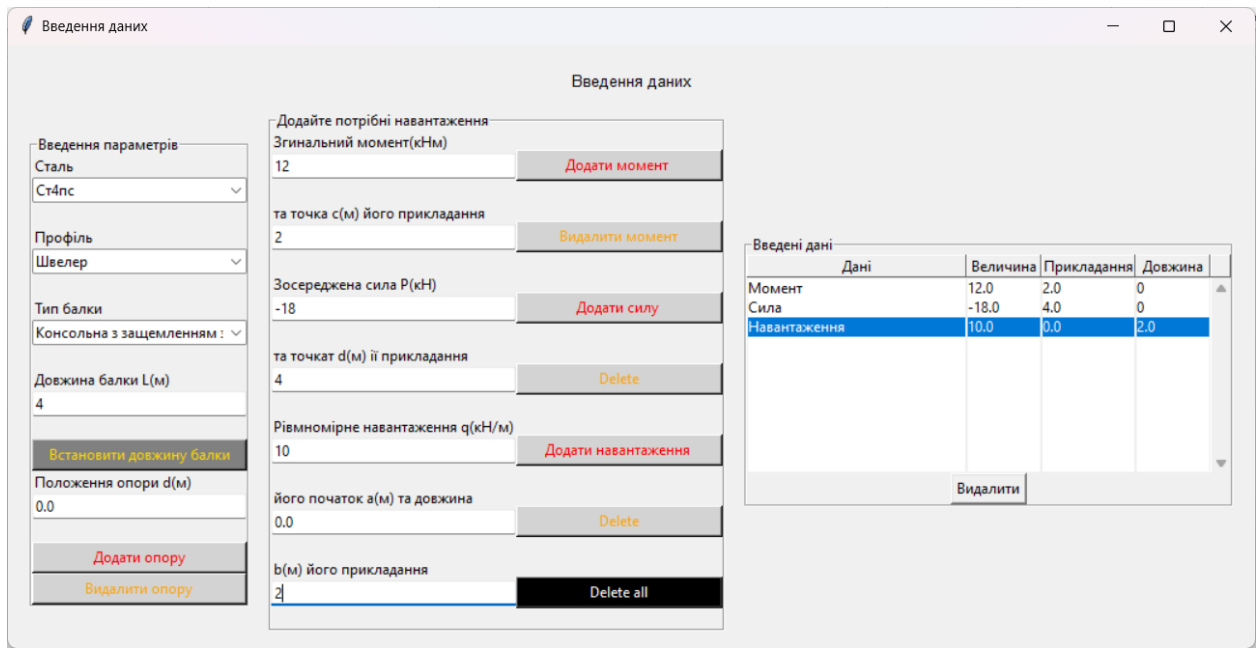


Рисунок 2.4 – Введення початкових даних для розв'язку задачі

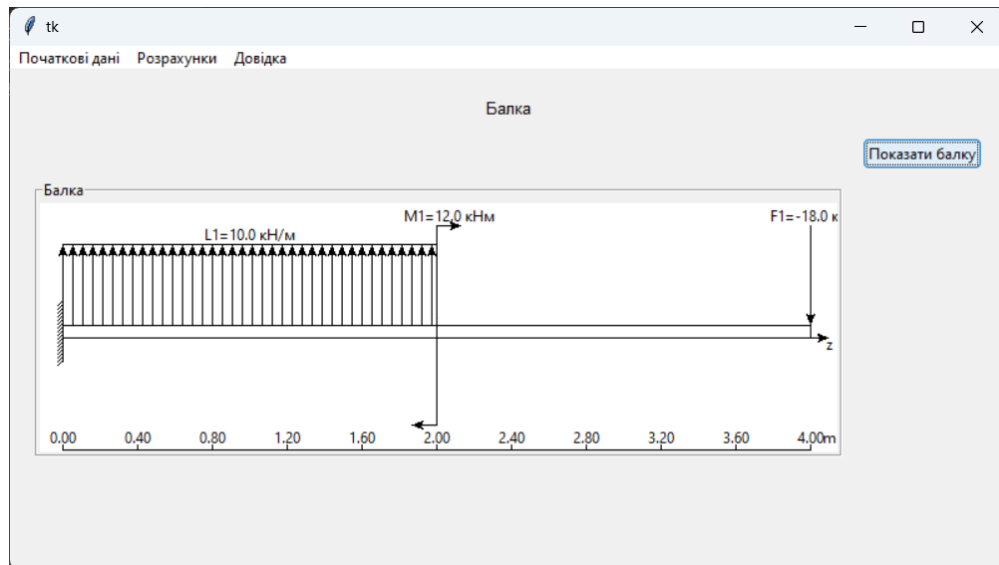


Рисунок 2.5 – Схема балки, побудована за даними користувача

У меню Розрахунки оберіть пункт Епюри для побудови епюр поперечних сил і згинальних моментів. Результати розрахунку наведено на рисунку 2.6.

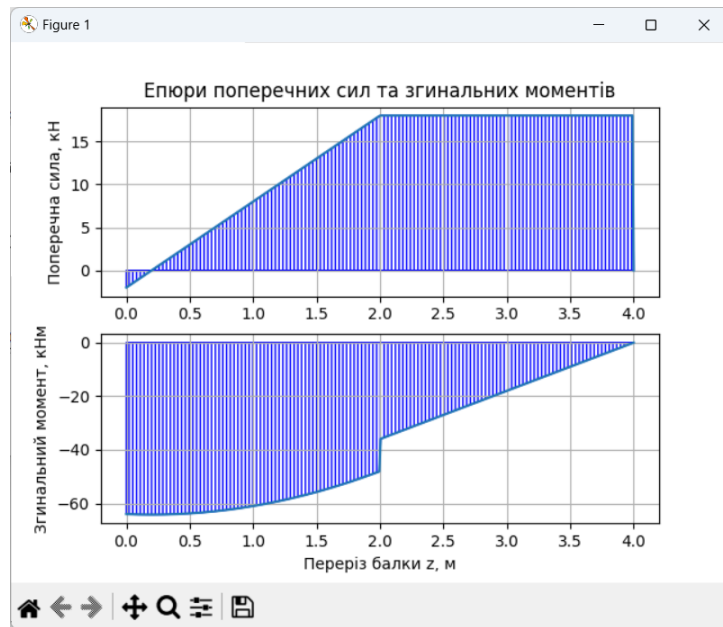


Рисунок 2.6 – Епюри поперечних сил та згинальних моментів

У меню Розрахунки оберіть пункт Номер профілю для визначення мінімального номера швелера, який відповідає умовам міцності за нормальними, дотичними та еквівалентними напруженнями. Результати розрахунку наведено на рисунку 2.7.

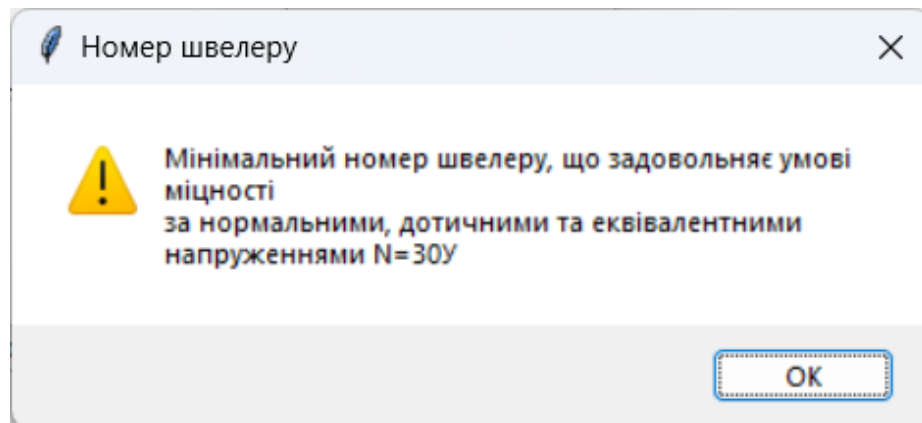


Рисунок 2.7 – Визначений номер швелеру

У меню «Розрахунки» оберіть пункт «Безпечний факторний простір»

для побудови допустимої області напружень профілю, що відповідає умовам міцності за нормальними, дотичними та еквівалентними напруженнями (див. рис. 2.8).

На рисунку 2.8 точками позначено координати (Q, M) у характерних перерізах балки. Згідно зі спрощеною методикою, якщо всі точки (Q, M) перебувають у межах побудованого безпечного факторного простору, то вибраний профіль вважається таким, що задовольняє умову міцності за всіма розглянутими критеріями.

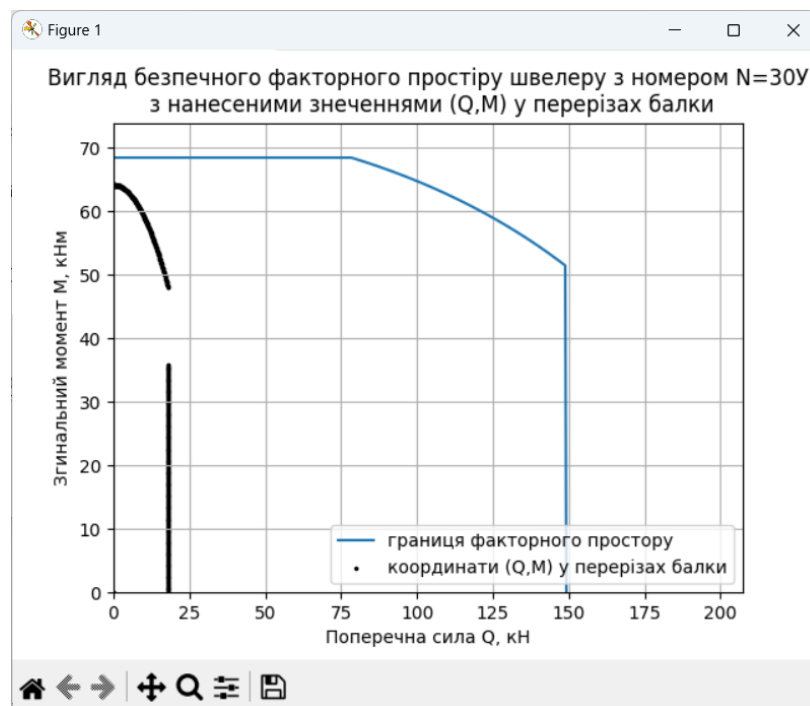


Рисунок 2.8 – Безпечний факторний простір знайденого профілю

У меню «Розрахунки» оберіть пункт «Порівняння з попереднім номером профілю» для перевірки того, що обраний номер швелеру є мінімальним із тих, що задовольняють умовам міцності за нормальними, дотичними та еквівалентними напруженнями (див. рис. 2.9).

Як показано на рисунку 2.9, для попереднього номера профілю за ДСТУ 3436-96 в окремих перерізах балки координати поперечної сили та

згинального моменту (Q , M) виходять за межі безпечного факторного простору. Це підтверджує, що обраний номер є мінімально допустимим. Вибір цього номеру сприяє раціональному використанню матеріалу.

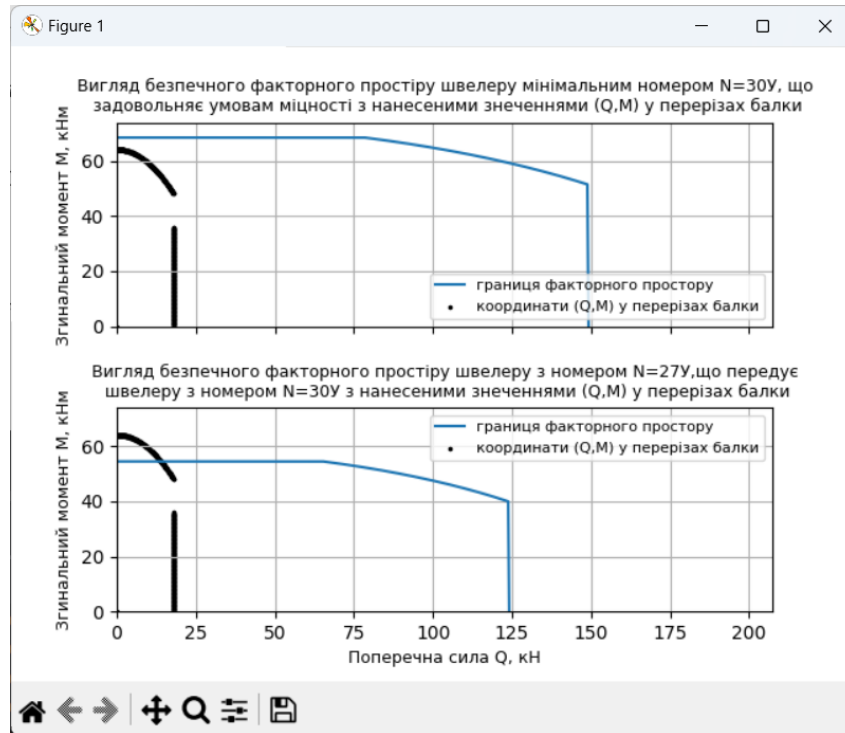


Рисунок 2.9 – Порівняння з попереднім номером швелеру

Щоб визначити прогин балки у конкретній точці, слід обрати пункт меню «Прогин в заданій точці». Після цього відкриється діалогове вікно, в якому необхідно ввести координату або номер перерізу балки. Натиснувши кнопку «ОК» після введення координати, користувач отримає нове діалогове вікно з результатами обчислення прогину для вказаного перерізу (рис. 2.10).

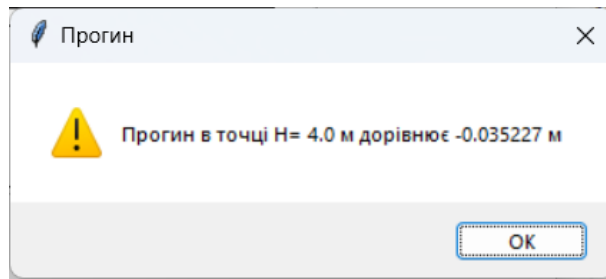


Рисунок 2.10 – Визначення прогину в заданій точці

Для обчислення кута повороту перерізу балки у заданій точці слід обрати пункт меню «Кут повороту в заданій точці». У діалоговому вікні необхідно вказати положення перерізу балки, після підтвердження вводу буде відображено обчислене значення кута повороту для обраного перерізу (рис. 2.11).

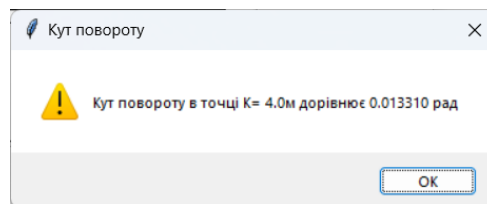


Рисунок 2.11 – Визначення кута повороту перерізу балки в заданій точці

Для побудови графіків залежності прогину та кута повороту балки від положення її перерізу слід обрати пункт меню «Епюри одиничних сил та згинальних моментів». У результаті буде побудовано графік зміни цих величин уздовж довжини балки (рис. 2.12).

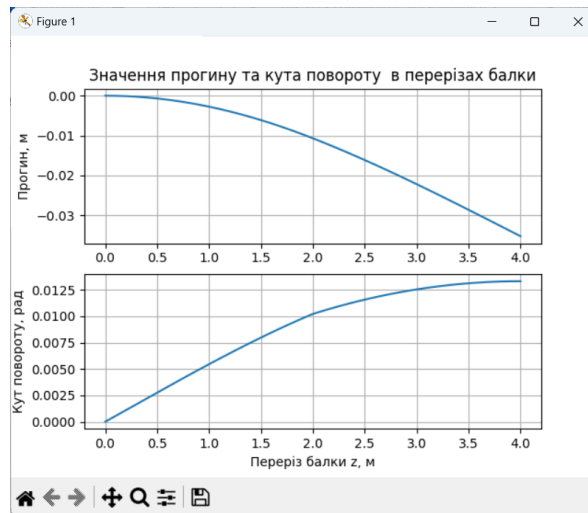


Рисунок 2.12 – Значення прогину і кута повороту в перерізах балки

Дана задача була розв’язана аналітично і за допомогою системи Mathcad в роботі [50, с. 118]. Отримані результати співпадають з розрахунками, наведеними в цій роботі.

Таким чином, в результаті роботи було автоматизовано розрахунки на міцність балочних конструкцій для різних типів профілей і балок за допомогою розробленої комп’ютерної програми. Користування програмою не вимагає глибоких теоретичних знань в області опору матеріалів і теоретичної механіки і доступно широкому колу користувачів. Програма використовує вільно розповсюджене програмне забезпечення і не потребує ліцензії. Розрахунки балок на міцність мають велике значення для забезпечення безпеки, довговічності та ефективності будь-якої будівельної конструкції. Вони дозволяють визначити, чи витримає балка задане навантаження без перевищення допустимих напружень, забезпечити вибір мінімально необхідного номеру профілю, що знижує витрати на матеріали, передбачити прогини та кути повороту, які можуть вплинути на експлуатаційні характеристики конструкції. В подальшому планується автоматизувати розрахунки на міцність рам і ферм.

2.2.5 Висновки

Розроблено комп'ютерну програму для розрахунку на міцність балочних конструкцій із урахуванням нормальних, дотичних та еквівалентних напружень. Основою методики є використання безпечних факторних просторів, що суттєво спрощує та пришвидшує обчислювальний процес.

Розроблений програмний продукт вирізняється простотою у використанні та має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що робить його зручним для широкого кола користувачів.

Програму можна рекомендувати для використання як фахівцями у галузі проектування та інженерії, так і студентами технічних спеціальностей – як у навчальному процесі, так і в практичних розрахунках.

2.3 Критичний аналіз метрик ефективності накопичення та обробки даних засобами сучасних систем управління базами даних

Вступ. Наразі в процесі впровадження Big Data та цифрової трансформації ефективне управління величезними обсягами даних є критично важливим для успіху будь-якої організації. Системи управління базами даних (СУБД) є ядром, яке забезпечує надійне накопичення та швидку обробку цієї інформації. Проте, без об'єктивної оцінки їхньої продуктивності, неможливо забезпечити стабільну та оптимальну роботу [51]. Метою цієї роботи є аналіз ключових метрик ефективності, які

використовуються для оцінки процесів накопичення (запису) та обробки (читання/запиту) даних у сучасних СУБД [52-53].

1. Метрики ефективності накопичення даних

Ефективність накопичення даних (запису) безпосередньо впливає на пропускну здатність системи та її здатність витримувати високе навантаження транзакцій.

1.1. Пропускна здатність запису (Write Throughput)

Визначення: кількість операцій запису (транзакцій або записів), які система може виконати за одиницю часу (наприклад, записів на секунду, TPS - Transactions Per Second).

Важливість: основний показник масштабованості системи. Високий Write Throughput необхідний для систем з інтенсивним навантаженням на запис (наприклад, IoT-платформи, фінансові біржі).

1.2. Латентність запису (Write Latency)

Визначення: час, необхідний для завершення однієї операції запису. Вимірюється як середній, 95-й або 99-й перцентиль (p95, p99) латентності, щоб оцінити продуктивність для переважної більшості запитів.

Важливість: низька латентність критична для інтерактивних додатків, де користувач не повинен чекати підтвердження операції.

1.3. Коефіцієнт стиснення та використання дискового простору

Визначення: співвідношення розміру сирих даних до їх розміру після стиснення та індексації.

Важливість: ефективне стиснення даних (особливо в NoSQL та колоночних СУБД) знижує витрати на зберігання та може покращити швидкість читання за рахунок зменшення обсягу даних, які потрібно зчитати з диска.

2. Метрики ефективності обробки даних

Ефективність обробки даних (запитів/читання) визначає швидкість отримання інформації користувачами та додатками.

2.1. Пропускна здатність читання (Read Throughput)

Визначення: кількість операцій читання або запитів, які система може обробити за одиницю часу.

Важливість: ключовий показник для аналітичних систем і додатків з інтенсивним читанням, де багато користувачів одночасно отримують доступ до даних.

2.2. Латентність запиту (Query Latency)

Визначення: час, необхідний для виконання конкретного запиту (SQL-запиту, NoSQL-операції). Також вимірюється за перцентилями (p95, p99).

Важливість: безпосередньо впливає на час відгуку додатку. Висока латентність критичних запитів може паралізувати бізнес-процеси.

2.3. Кількість операцій I/O (Input/Output Operations)

Визначення: загальна кількість операцій читання/запису даних на фізичні пристрої зберігання (диски). Вимірюється в IOPS (I/O Operations Per Second).

Важливість: показує рівень навантаження на підсистему зберігання. Низька кількість I/O при високій пропускну здатності часто свідчить про ефективне використання кешу та індексації.

3. Комплексні метрики та інструменти

Сучасні СУБД, такі як PostgreSQL, MySQL, MongoDB, Cassandra та ClickHouse, пропонують розширені механізми моніторингу, які інтегруються з комплексними метриками.

3.1. Коефіцієнт влучання кешу (Cache Hit Ratio)

Визначення: частка запитів, які були виконані даними, що вже знаходились у оперативній пам'яті (кеші), без необхідності доступу до диска.

Важливість: один з найважливіших показників оптимізації. Високий коефіцієнт (близький до 1 або 100%) свідчить про ефективне використання пам'яті та мінімізацію повільних дискових операцій.

3.2. Навантаження на процесор та пам'ять (CPU & Memory Utilization)

Визначення: відсоток використання центрального процесора та оперативної пам'яті процесорами СУБД.

Важливість: дозволяє ідентифікувати вузькі місця (bottlenecks). Надмірне використання CPU може вказувати на неефективні запити або проблеми з планувальником, а вичерпання пам'яті – на необхідність масштабування або оптимізації конфігурації кешу.

3.3. Блокування та взаємні блокування (Locks and Deadlocks)

Визначення: кількість та тривалість блокувань ресурсів (таблиць, рядків) між паралельними транзакціями та випадки взаємного блокування (deadlocks).

Важливість: ці метрики прямо впливають на конкурентність та доступність системи. Часті блокування призводять до збільшення латентності та зниження пропускної здатності.

Висновки. Ефективне використання метрик накопичення та обробки даних є фундаментом для проактивного управління СУБД. Сучасні системи управління базами даних надають багатий набір інструментів для моніторингу, які дозволяють:

1. Ідентифікувати вузькі місця у продуктивності.
2. Оптимізувати конфігурацію, індексацію та структуру даних.
3. Планувати масштабування системи відповідно до зростаючого навантаження.

Упровадження постійного моніторингу ключових показників (Write/Read Throughput, Latency p95/p99, Cache Hit Ratio) забезпечує не лише стабільну роботу, але й дозволяє СУБД бути адаптивним та надійним інструментом у динамічному цифровому середовищі.

2.4 Розробка віртуального лабораторного стенда з використанням web-технологій для інформаційної підтримки навчального процесу

Вступ. Розвиток сучасних освітніх технологій та поява доступних онлайн-інструментів створили умови для широкого застосування віртуальних лабораторій у підготовці фахівців технічних спеціальностей. Віртуальні стенди дають змогу імітувати роботу реальних апаратних систем, проводити експерименти, тестувати алгоритми та вивчати взаємодію апаратних компонентів без необхідності використання фізичного обладнання [54, 55]. У межах проєкту було розроблено комплексний віртуальний лабораторний стенд, що поєднує емулятор мікроконтролера AVR, набір периферійних модулів та веб-інтерфейс для взаємодії з користувачем.

Постановка задачі. Метою роботи є створення віртуального лабораторного стенда, який забезпечує повноцінну емуляцію мікроконтролера AVR, моделювання периферійних пристроїв, можливість інтеграції компонентів у єдину систему та доступ користувачів через веб-технології, з підтримкою режимів графічного відображення та клієнт-серверної архітектури [56].

Основний зміст роботи. Створений віртуальний лабораторний стенд базується на реалізації емулятора мікропроцесорного ядра з

набором AVR команд. Основою для моделювання є інтерпретація набору команд AVR, що включає арифметичні, логічні, керуючі та інші типи інструкцій. Емулятор відтворює роботу регістрів, стеку, лічильника команд, механізмів переривань, необхідних для коректного функціонування прикладних програм, створених користувачами. Завдяки відтворенню архітектури AVR у програмній моделі забезпечується сумісність з прошивками, що розробляються для мікроконтролерів цієї платформи [57] в середовищі розробки Arduino.

Крім центрального процесора, було реалізовано набір периферійних модулів, які традиційно використовуються в мікроконтролерних системах: порти вводу-виводу, таймери, UART, SPI. Порти вводу-виводу підтримують режими роботи з цифровими лініями, включаючи читання станів, керування вихідними сигналами. Таймери моделюються з урахуванням справжніх частот відліку. UART та SPI відтворюють послідовну передачу даних у режимах master/slave [58, 59].

Особливістю розробленого стенда є широка підтримка зовнішніх цифрових компонентів, що можуть підключатися до мікроконтролера. Серед них -- кнопки, світлодіоди, зсувні регістри 74НС595, 74НС165, 74НС589, контролер світлодіодних матриць MAX7219, цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі, мікросхема реального часу та графічний дисплей. Для кожного з модулів було створено окрему модель, яка взаємодіє з емітованими портами вводу-виводу, забезпечуючи реалістичну поведінку системи. Наприклад, модуль 74НС595 дозволяє передавати дані в паралельних шинах через послідовний інтерфейс, MAX7219 дає змогу формувати відображення на світлодіодних матрицях, а RTC моделює хід часу, враховуючи різні параметри роботи [60].

Для забезпечення комплексності лабораторного стенда реалізовано механізм об'єднання всіх модулів у єдине інтегроване середовище.

Компоненти можуть взаємодіяти між собою як у фізичній системі: мікроконтролер передає дані на периферію, периферія змінює свої стани, зовнішні сигнали впливають на перебіг виконання програм. Це дозволяє створювати навчальні сценарії, лабораторні роботи, демонстраційні проекти та моделювати складні електронні системи без використання реального обладнання [61].

Базовий емулятор було реалізовано мовою програмування C, що забезпечує високу швидкість роботи та портативність. Для підвищення зручності інтеграції у різні проекти було створено програмні інтерфейси, які дозволяють використовувати емулятор із мов програмування Python і Java. Це розширює можливості застосування стенда: він може бути інтегрований у навчальні середовища, інструменти автоматизації, віддалені лабораторії тощо [62].

Значущою частиною проекту стала розробка веб-інтерфейсу та клієнт-серверного режиму роботи. Емулятор може працювати як сервер, передаючи клієнту мета-інформацію про стан модулів і внутрішніх регістрів. У цьому режимі браузер відповідає за графічне представлення системи, включаючи візуалізацію модулів, кнопок, світлодіодів, регістрів та дисплеїв. Такий підхід дозволяє реалізувати сучасний інтерактивний інтерфейс без залежності від специфічного програмного забезпечення. Крім того, існує режим генерації графічного подання на сервері з передаванням готової картинки клієнту через VNC-протокол. Це дає змогу використовувати віртуальний стенд у середовищах, де веб-інтерфейси працюють обмежено або потребують сумісності з існуючими інструментами віддаленого доступу [63].

Розроблений стенд підтримує інтеграцію з Arduino IDE. Це дозволяє студентам та розробникам створювати та компілювати програми для емітованого мікроконтролера із використанням звичних інструментів.

Після компіляції прошивка завантажується в емулятор, який відтворює поведінку програми. Такий підхід дозволяє уникнути потреби у фізичних мікроконтролерах, що значно знижує витрати на організацію навчального процесу.

Загалом створений віртуальний стенд забезпечує можливість моделювання різних рівнів мікроконтролерних систем -- від виконання інструкцій ЦП до взаємодії з периферійними цифровими пристроями та графічними дисплеями. Комбінація програмної емуляції, клієнт-серверної архітектури та веб-технологій створює інноваційний інструмент для дистанційного навчання, досліджень і практичної роботи з мікроконтролерними системами.

Наукова новизна роботи полягає у створенні комплексної платформи, що поєднує емуляцію мікропроцесорного ядра, периферійних модулів і веб-інтерфейсу в єдиному середовищі, забезпечуючи інтеграцію апаратної та програмної моделі та підтримку декількох режимів графічного подання результатів.

Висновки. У роботі наведено підхід до розробки віртуального лабораторного стенда, що забезпечує моделювання мікроконтролерних систем, інтеграцію з периферією, підтримку веб-технологій та можливість віддаленої взаємодії. Запропонована платформа може бути ефективно використана у навчальному процесі, дистанційних курсах і прикладних дослідженнях.

2.5 Інформаційна підтримка процесу підбору сонячних панелей та інверторів для альтернативного живлення домогосподарств України

Вступ. Сучасна енергетична ситуація в Україні є нестабільною через часті відключення електроенергії, пошкодження інфраструктури та зростання тарифів. Це створює значні незручності для домогосподарств, впливає на комфорт і безпеку життя. В умовах воєнних дій та економічних викликів потреба в автономних джерелах живлення стає критичною. Сонячні електростанції (СЕС) пропонують реальне рішення для забезпечення енергетичної незалежності та зниження витрат на електроенергію [64]. Проте основна проблема полягає у складності підбору обладнання: користувачам важко визначити оптимальну кількість панелей, тип інвертора, врахувати кліматичні умови та бюджет. Неправильний вибір може призвести до перевитрат або недостатньої продуктивності системи, що робить процес підбору обладнання складним і ризикованим для пересічного споживача [65].

На ринку України вже існують комерційні рішення «під ключ», які пропонують проектування та монтаж сонячних електростанцій. Такі компанії, як Radia Energy та Ecotech Ukraine, надають послуги підбору обладнання з урахуванням індивідуальних параметрів. Крім того, доступні онлайн-калькулятори, що дозволяють приблизно оцінити кількість панелей та вартість системи. Однак ці рішення мають суттєві обмеження: комерційні сервіси орієнтовані на продаж обладнання, а не на оптимізацію для користувача; онлайн-калькулятори часто не враховують специфіку українських регіонів, такі як інсоляція, кут нахилу та сезонні коливання; відсутня інтегрована база даних для порівняння моделей панелей та інверторів за технічними характеристиками та ціною [65-66]. Це створює

прогалину для більш гнучкого та локалізованого рішення.

Існуючі рішення на ринку включають послуги монтажу та підбору обладнання від компаній, а також онлайн-калькулятори для приблизних розрахунків. Проте ці сервіси мають обмеження: вони не забезпечують прозорості процесу підбору, не враховують локальні кліматичні умови та не пропонують навчальних можливостей для користувачів. Більшість комерційних рішень орієнтовані на продаж, а не на оптимізацію конфігурації для конкретних потреб домогосподарства. Онлайн-калькулятори, у свою чергу, не мають гнучкої бази даних і не дозволяють порівнювати обладнання за різними параметрами. Це робить їх менш ефективними для користувачів, які прагнуть отримати точні та економічно вигідні рекомендації.

Пропоноване рішення полягає у створенні інформаційної системи для підбору сонячних панелей та інверторів, яка базується на сучасних технологіях та враховує специфіку українських умов. Система включатиме базу даних з актуальними характеристиками обладнання, алгоритм оптимізації, що дозволяє підбирати обладнання за критеріями потужності, бюджету та ефективності, а також зручний інтерфейс для користувача (мобільний або десктоп). Такий підхід забезпечить точність розрахунків, прозорість процесу підбору та можливість швидко отримати готову конфігурацію з розрахунком вартості. Крім того, система може бути використана як навчальний інструмент для студентів та інженерів, що сприятиме розвитку знань у сфері альтернативної енергетики.

Дана розробка може мати низку переваг у порівнянні з існуючими аналогами. По-перше, гнучкість: можливість додавати нові моделі обладнання та оновлювати дані в базі. На відміну від конфігураторів виробників, запропоноване рішення порівнює обладнання різних брендів (наприклад, інвертор Huawei + панелі JinkoSolar) для знаходження справді

оптимального техніко-економічного рішення По-друге, прозорість: користувач бачить логіку вибору конфігурації та може оцінити її ефективність. По-третє, локалізація: врахування українських кліматичних умов, що робить розрахунки точнішими та більш релевантними. Нарешті, освітній аспект: система може використовуватися як навчальний інструмент для студентів та інженерів, що сприятиме підвищенню кваліфікації у сфері альтернативної енергетики. Таким чином, дана розробка не лише вирішує проблему підбору обладнання, але й створює основу для розвитку цифрових сервісів у цій галузі.

Висновки. Запропонована інформаційна система вирішує ключову проблему підбору сонячних панелей та інверторів для домогосподарств України, забезпечуючи точність, прозорість та локалізацію розрахунків. Вона створює основу для розвитку цифрових сервісів у сфері альтернативної енергетики, сприяє підвищенню енергетичної незалежності та може використовуватися як навчальний інструмент. У перспективі система може бути розширена для інтеграції з API погоди, додавання акумуляторів та інших компонентів, що зробить її ще більш корисною та універсальною.

2.6 Удосконалення ітераційних алгоритмів та паралельних обчислень в інформаційних технологіях управління складними системами

Вступ. Розвиток цифрового інтелекту в управлінні складними системами ґрунтується на використанні чисельних методів для моделювання та аналізу процесів, що описуються диференціальними рівняннями. Одним із фундаментальних підходів є метод скінченних

різниць, який забезпечує дискретизацію неперервних математичних моделей та їх реалізацію в обчислювальних середовищах. Такий підхід дозволяє формалізувати складні фізичні та технічні явища у вигляді систем різницевого рівняння, що є основою для алгоритмічної обробки даних.

Важливим аспектом методології є застосування ітераційних алгоритмів (Jacobi, Gauss-Seidel, Successive Over-Relaxation), які забезпечують ефективне розв'язання великих систем рівнянь. Оптимізація обчислювальних процесів досягається за рахунок масово-паралельних обчислень, що критично для задач реального часу. Поєднання математичної точності, алгоритмічної оптимізації та інформаційних технологій формує основу цифрового інтелекту, орієнтованого на управління складними системами та процесами.

Практичні сфери застосування методології включають наступні напрямки:

- моделювання теплопередачі для визначення стаціонарних температурних полів у промислових установках;
- розрахунок електростатичних потенціалів у складних електронних системах;
- аналіз гідродинамічних процесів у трубопроводах та резервуарах;
- оптимізацію технологічних процесів у виробництві;
- управління енергетичними мережами з використанням високоточних моделей для балансування навантажень.

Таким чином, дана робота в рамках розробки методологічних основ цифрового інтелекту підтримує інтеграцію математичних моделей, алгоритмічних рішень та інформаційних технологій, що дозволяє реалізувати ефективні системи управління в умовах високої складності та динамічності процесів.

Ітераційне рішення задач математичної фізики на сітці з околom Мура.

Диференціальні рівняння з частинними похідними широко використовуються для опису фізичних явищ у таких галузях, як механіка, гідродинаміка, акустика, теплопередача, електрика, магнетизм та інші. У більшості випадків неможливо аналітично знайти рішення цих рівнянь. Тому для їх вирішення широко застосовуються чисельні методи, зокрема метод скінчених різниць.

У методі скінчених різниць вихідне рівняння з частинними похідними зводиться до системи різницевих рівнянь, для розв'язання яких застосовуються прямі та ітераційні методи. У багатьох випадках це єдиний спосіб знайти розв'язок рівнянь з частинними похідними.

Суть методу скінчених різниць полягає у вирішенні різницевих рівнянь, які отримуються з вихідного рівняння з частинними похідними шляхом заміни частинних похідних на їх різницеві аналоги з більшою або меншою точністю.

Наприклад, застосовуючи метод скінчених різниць, рівняння Лапласа

$$\frac{\partial^2 u(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(x, y)}{\partial y^2} = 0$$

можна замінити наступним різницеvim співвідношенням

$$\frac{u(x - h, y) - 2u(x, y) + u(x + h, y)}{h^2} + \frac{u(x, y - h) - 2u(x, y) + u(x, y + h)}{h^2},$$

де $h > 0$ — крок дискретизації.

За допомогою цієї заміни ми отримуємо рівняння, яке пов'язує значення бажаної функції в окремо взятих точках, які зазвичай вибираються так, щоб вони утворювали квадратну сітку.

Розглянемо різні способи апроксимації часткових похідних та відповідні їм закономірності, які найчастіше зустрічаються при вирішенні задач математичної фізики.

Побудуємо диференціальні наближення для випадку функції двох незалежних змінних $u(x, y)$ на прямокутній сітці. Не обмежуючи загальності, припустимо, що область зміни аргументу x є відрізком $0 \leq x \leq 1$, а область зміни аргументу y – відрізком $0 \leq y \leq 1$. Розділимо відрізки $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ точками $x_i = ih (i = 0, 1, 2, \dots, N)$, $y_j = jh (j = 0, 1, 2, \dots, N)$ на N рівних частин довжиною $h = \frac{1}{N}$ кожна. Множина точок (x_i, y_j) з координатами $x_i = ih (i = 0, 1, 2, \dots, N)$ та $y_j = jh (j = 0, 1, 2, \dots, N)$ називається сіткою в квадраті $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$. Під $u_{i,j}$ ми позначаємо значення функції u в точках з координатами (x_i, y_j) : $u_{i,j} = u(x_i, y_j)$.

Наведемо деякі аналоги часткових похідних, які використовуються при застосуванні методу скінченних різниць. Наступні наближення скінченних різниць можна знайти в підручниках [67-69]. На рис. 2.13 показані трафарети, що відповідають заданим різницеvim операторам.

$$1. \quad \frac{\partial u_{i,j}}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j} - u_{i-1,j}}{2h}, \text{ порядок похибки } O(h^2) \text{ (рис. 2.13.a)}$$

$$2. \quad \frac{\partial u_{i,j}}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j+1} - u_{i-1,j+1} + u_{i+1,j-1} + u_{i-1,j-1}}{2h}, \text{ порядок похибки } O(h^4) \text{ (рис. 2.13.b)}$$

$$3. \quad \frac{\partial u_{i,j}}{\partial y} \approx \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j-1}}{2h}, \text{ порядок похибки } O(h^2) \text{ (рис. 2.13.c)}$$

$$4. \quad \frac{\partial u_{i,j}}{\partial y} \approx \frac{u_{i+1,j+1} - u_{i+1,j-1} + u_{i-1,j+1} + u_{i-1,j-1}}{4h} \text{ порядок похибки } O(h^4) \text{ (рис. 2.13.b)}$$

$$5. \quad \frac{\partial^2 u_{i,j}}{\partial x^2} \approx \frac{u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j}}{h^2}, \text{ порядок похибки } O(h^2) \text{ (рис. 2.13.d)}$$

$$6. \quad \frac{\partial^2 u_{i,j}}{\partial x^2} \approx \frac{u_{i+1,j+1} - 2u_{i,j+1} + u_{i-1,j+1} + u_{i+1,j} - 2u_{i,j} + u_{i-1,j} + u_{i+1,j-1} - 2u_{i,j-1} + u_{i-1,j-1}}{3h^2},$$

порядок похибки $O(h^4)$ (рис. 2.13.e)

$$7. \quad \frac{\partial^2 u_{i,j}}{\partial y^2} \approx \frac{u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1}}{h^2}, \text{ порядок похибки } O(h^2) \text{ (рис. 2.13.f)}$$

$$8. \quad \frac{\partial^2 u_{i,j}}{\partial y^2} = \frac{u_{i+1,j+1} - 2u_{i+1,j} + u_{i+1,j-1} + u_{i,j+1} - 2u_{i,j} + u_{i,j-1} + u_{i-1,j+1} - 2u_{i-1,j} + u_{i-1,j-1}}{3h^2}$$

порядок похибки $O(h^4)$ (рис. 2.13.e)

$$9. \quad \frac{\partial^2 u_{i,j}}{\partial x \partial y} = \frac{u_{i+1,j+1} - u_{i+1,j-1} - u_{i-1,j+1} + u_{i-1,j-1}}{4h^2} \text{ порядок похибки } O(h^4) \text{ (рис. 2.13.b)}$$

$$10. \quad \frac{\partial^4 u_{i,j}}{\partial x^4} = \frac{u_{i+1,j+1} + u_{i-1,j+1} + u_{i+1,k-1} + u_{i-1,j-1} - 2u_{i+1,j} - 2u_{i-1,j} - 2u_{i,k+1} - 2u_{i,k-1} + 4u_{i,j}}{h^4}$$

порядок похибки $O(h^4)$ (рис. 2.13.e)

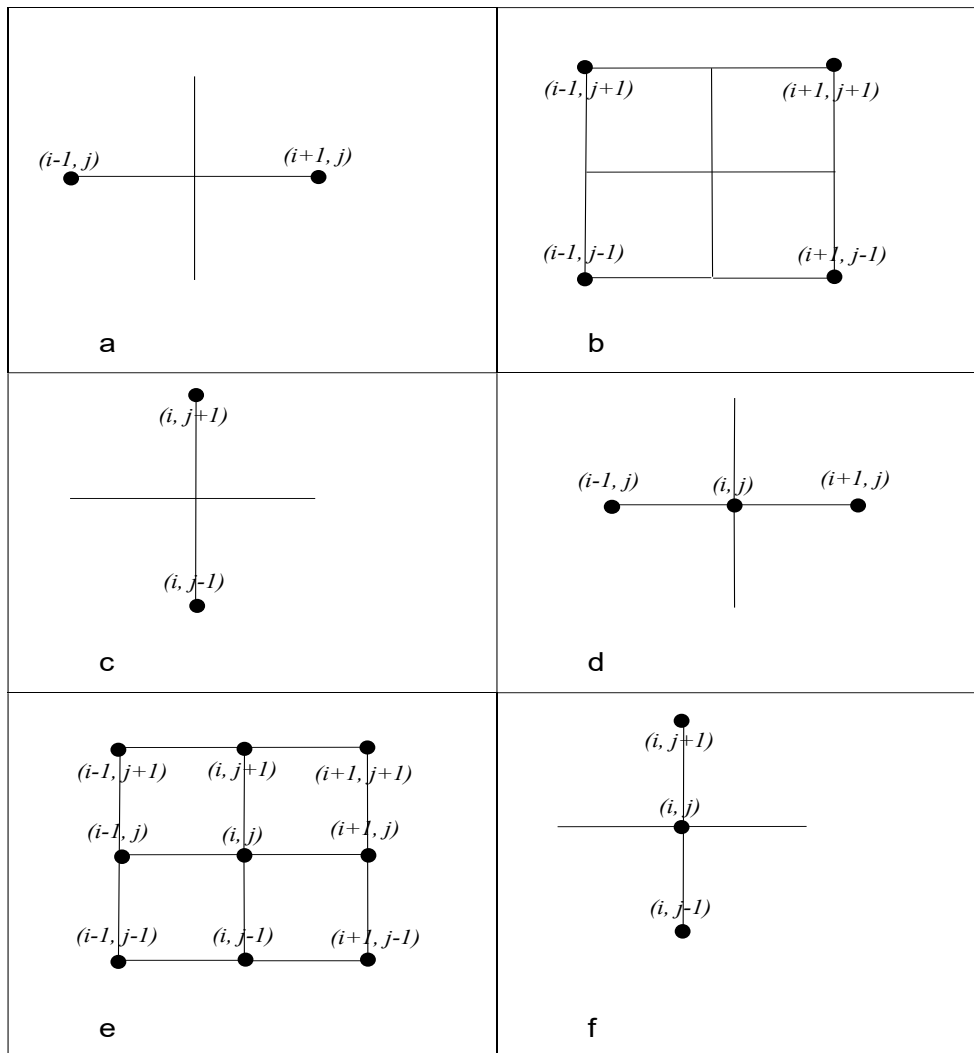


Рисунок 2.13 – Внутрішні трафарети

На рис. 2.13 показано, що різницеві аналоги 6,8,11 утворюють окіл Мура. Таким чином, окіл Мура виникає в різницевому наближенні рівнянь часткових похідних, що містять похідні 2-го і 4-го порядку. Як приклад застосування наближення, що призводить до окілу Мура, розглянемо задачу Діріхле для рівняння Лапласа.

Ми вирішимо таку задачу: потрібно знайти функцію двох змінних $u(x, y)$, що задовольняє в області $D = \{0 < x < 1, 0 < y < 1\}$ рівнянню Лапласа

$$\frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

і приймає на межі ∂D області D задані значення

$$u|_{\partial D} = \varphi(x, y). \quad (2)$$

Тут $\varphi(x, y)$ заданная функція.

В області D будуємо сітку з кроком h , як описано раніше. У [68] для наближення рівняння Лапласа 4-го рівня точності будується наступна різницева схема $O(h^4)$:

$$u_{i,j} = \frac{4(u_{i,j-1} + u_{i-1,j} + u_{i,j+1} + u_{i+1,j}) + u_{i-1,j-1} + u_{i+1,j+1} + u_{i-1,j+1} + u_{i+1,j-1}}{20}$$

$$i = 1, 2, \dots, N - 1, j = 1, 2, \dots, N - 1 \quad (3)$$

Тут N — кількість точок поділу вздовж напрямків x та y .

Значення бажаної функції на граничних вузлах визначається з умови

(2)

$$u_{i,0} = \varphi(x_i, 0) \quad (4)$$

$$u_{i,N} = \varphi(x_i, 1) \quad (5)$$

$$u_{0,j} = \varphi(0, y_j) \quad (6)$$

$$u_{N,j} = \varphi(1, y_j) \quad (7)$$

$$(i = 0, 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, N - 1.$$

Для розв'язання системи різницевих рівнянь (3)-(7) будемо використовувати метод простих ітерацій.

Встановимо початкове наближення $u_{i,j}^{(0)}$. Для внутрішніх точок області D ми вибираємо початкове наближення довільно, на межі початкове наближення визначається співвідношеннями (4)-(7). Наступні наближення визначаються за формулою

$$u_{i,j}^{(s+1)} = \frac{4(u_{i,j-1}^{(s)} + u_{i-1,j}^{(s)} + u_{i,j+1}^{(s)} + u_{i+1,j}^{(s)}) + u_{i-1,j-1}^{(s)} + u_{i+1,j+1}^{(s)} + u_{i-1,j-1}^{(s)} + u_{i+1,j-1}^{(s)}}{20}, \quad (8)$$

де s – номер ітерації $s=0, 1, 2, \dots, i = 1, 2, \dots, N - 1, j = 1, 2, \dots, N - 1$.

Обчислення продовжуються до виконання умови

$$\max_{i,j} |u_{i,j}^{(s+1)} - u_{i,j}^{(s)}| < \varepsilon$$

У [68] було показано, що розв'язок задачі (3)-(6) збігається з розв'язком задачі (1)-(2) зі швидкістю $O(h^4)$. З результатів [68] випливає, що ітераційний процес (8) збігається при будь-якому початковому наближенні.

Розв'язання крайових задач для рівняння Лапласа має велике практичне значення. Задачі про знаходження стаціонарного теплового поля зводяться до розв'язання цієї задачі. Наприклад, на межі області задано режим постійної температури, і необхідно знайти розподіл

температури всередині області. Також задачі про знаходження потенціалу електричного поля стаціонарного струму, потенціалу електростатичного поля зводяться до розв'язання крайової задачі для рівняння Лапласа.

Розглянемо деякі роботи, присвячені розв'язанню задачі Діріхле для рівняння Лапласа. У [70] розподіл електричного потенціалу в області, що нас цікавить, було знайдено шляхом розв'язання задачі Діріхле для рівняння Лапласа з заданим потенціалом на межі. Автори [71] провели порівняльний аналіз трьох ітераційних методів, які використовувалися для розв'язання відповідної різницевої задачі: методу Якобі, методу Гаусса-Зейделя та методу послідовної надрелаксації (SOR). Показано, що метод SOR є найефективнішим з точки зору швидкості збіжності. У [72] для розв'язання задачі Діріхле для рівняння Лапласа було використано три методи: метод скінченних різниць (FDM), метод скінченних елементів (FEM) та метод марківських ланцюгів (MoM). Отримані результати було порівняно з точним розв'язком для перевірки точності використаних методів. У [72] було проведено дослідження точності трьох методів: методу скінченних різниць (FDM), методу скінченних елементів (FEM) та методу моментів (MoM) для розв'язання задачі Діріхле для рівняння Лапласа. Були обговорені переваги та недоліки цих методів.

Для проведення чисельного експерименту з використанням схеми різниць (3)-(7) було знайдено рішення задачі про розподіл температурного поля в брусі квадратного перерізу з боками одиничної довжини, припускаючи, що розподіл вздовж його граней відомий. Рішення системи лінійних рівнянь (3)-(7) було знайдено методом простих ітерацій. Задача полягала у знаходженні розв'язку рівняння (1) у квадраті з сторонами одиничної довжини та наступними граничними умовами

$$u(x, 0) = 1, \quad 0 \leq x \leq 1$$

$$u(0, y) = 0, \quad 0 < y \leq 1$$

$$u(x, 1) = 0, \quad 0 \leq y < 1$$

$$u(1, y) = 1, \quad 0 \leq y \leq 1$$

Результати розрахунків показані на рис. 2.

З рис. 2.14 можна зробити висновок, що розподіл температури в стаціонарному стані всередині бруса приймає значення між мінімальним і максимальним значеннями температури на межі, що узгоджується з принципом максимуму, якому задовольняє рішення рівняння Лапласа.

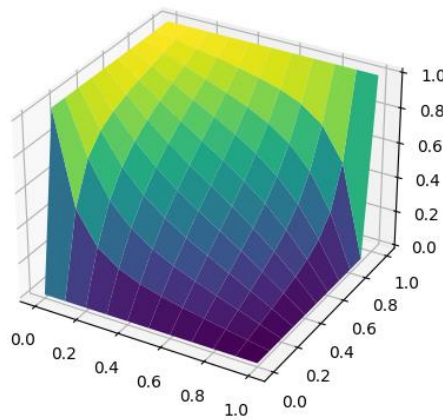


Рисунок 2.14 – Поверхневий графік розподілу температури всередині поперечного перерізу балки.

Цей алгоритм дуже легко паралелізувати. Якщо є достатня кількість процесорів, кожна ітерація може бути виконана за один крок, що значно збільшить швидкість знаходження рішення задачі.

2.7 Розробка методу прогнозування ризику борошністої роси пшениці як складової інформаційної технології управління

Вступ. В умовах глобальних кліматичних змін та зростаючої потреби у продовольчих ресурсах, цифрові технології стають ключовим фактором сталого розвитку агропромислового комплексу. Концепція 'розумного землеробства' (Smart Farming), що базується на інтеграції Інтернету речей (IoT), машинного навчання та штучного інтелекту, дозволяє трансформувати традиційні підходи до ведення сільського господарства. Пшениця відіграє провідну роль в агросекторі України, проте аналіз статистичних даних свідчить про відсутність пропорційного зростання врожайності, що значною мірою зумовлено впливом хвороб та мінливих агрокліматичних умов. Це створює потребу у впровадженні ефективних методів прогнозування ризиків виникнення хвороб на досимптомній стадії для своєчасного реагування.

Мета дослідження: розробка та експериментальна перевірка комп'ютеризованого методу прогнозування ризику розвитку борошністої роси (*Blumeria graminis*) на посівах пшениці з використанням моделей машинного навчання.

Методологія. Дослідження охоплювало етапи збору та підготовки даних, інженерію ознак, балансування класів, відбір найбільш інформативних атрибутів, а також навчання та валідацію моделей. Дані отримано з метеостанцій Metos, інтегрованих з IoT-платформою FieldClimate, протягом року у двох агрокліматичних зонах України (Дніпропетровська та Черкаська області). Набір даних включав 14 основних атрибутів (температура, вологість, опади, точка роси, евапотранспірація тощо). Для підвищення точності моделювання

застосовано агрегацію до добових значень та створено синтетичні ознаки (FVT12S, TL16S, RHG85S). Цільова змінна PMBG_class мала три категорії: зростання, зниження, стабільність ризику. Проблему дисбалансу класів вирішено методами undersampling та SMOTE. Відбір ознак здійснено за допомогою алгоритму Harris Hawk Optimizer.

Результати. Аналіз показав [73], що застосування oversampling за допомогою алгоритму SMOTE значно підвищило точність моделей (до 90–91% на валідаційних даних). Найкращі результати на тестових даних продемонстрували Medium Neural Network та Cubic SVM (80% точності). Модель Bagged Trees показала стабільність (74%). Практична реалізація включала експорт моделі в MATLAB Simulink для інтеграції в IoT-системи.

Висновки та рекомендації. Балансування даних критично важливе для підвищення точності прогнозування. Оптимізація ознак скоротила розмірність і підвищила ефективність моделей. Розроблені моделі придатні для впровадження в системи моніторингу. Рекомендовано оптимізувати гіперпараметри, розширити джерела даних та інтегрувати рішення з IoT-платформами для роботи в реальному часі.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання першого етапу науково-дослідної роботи «Перспективні технології розвитку та застосування цифрового інтелекту при впровадженні інформаційних технологій у процеси покращення операційної ефективності» отримано наступні основні результати:

1. Теоретичні результати

1.1. Проведено комплексний аналіз задач штучного інтелекту та стану їх розв'язання під час інформаційної підтримки діяльності та прийняття рішень в організаційно-технічних системах. Виявлено ключові напрямки застосування методів ШІ для підвищення операційної ефективності, зокрема: інтелектуальний аналіз даних, автоматизація управлінських процесів, прогнозування ризиків та підтримка прийняття рішень.

1.2. Обґрунтовано застосування теорії категорій як альтернативного математичного фундаменту для концептуального проектування баз даних. Продемонстровано, що категорійний підхід забезпечує формальну семантику, уніфікований фреймворк для різних типів даних та ефективне моделювання бізнес-правил через комутативні діаграми та універсальні конструкції, що є принциповою перевагою порівняно з традиційною ER-моделлю.

1.3. Розроблено методологічні основи застосування мультиагентних AI-систем в освітньому середовищі. Запропоновано архітектуру, що поєднує агента-вчителя з функціями адаптивного пояснення матеріалу та агентів-студентів для створення соціальної атмосфери групової роботи, що підвищує залученість та ефективність навчання.

1.4. Досліджено можливості Microsoft Excel як універсального інструменту для управління проектами. Проведено порівняльний аналіз методів побудови календаря проекту через умовне форматування та діаграми Ганта, визначено оптимальні сценарії застосування кожного підходу залежно від масштабу та складності проекту.

2. Практичні результати та розробки

2.1. Створено трикомпонентну систему штучного інтелекту для оптимізації інформаційної підтримки управлінської діяльності при забезпеченні відповідності стандартам ISO. Система включає: модуль превентивного контролю на етапі постановки завдань, консультаційний інструмент з каскадною логікою фільтрації та вдосконалену модель багатокритеріальних зважених оцінок для розрахунку коефіцієнта готовності до аудиту. Це забезпечує наскрізний інтелектуальний контроль якості управлінських рішень.

2.2. Розроблено та впроваджено платформу EDUFLOW BI для автоматизації обліку та аналізу діяльності технічного університету «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА». Платформа інтегрує адміністративні та поведінкові дані, забезпечує юридичну достовірність записів через використання КЕП та включає AI-моделі для прогнозування відтоку студентів і рекомендаційні системи вибору дисциплін.

2.3. Створено комп'ютерну програму для автоматизованого розрахунку на міцність балочних конструкцій, реалізовану мовою Python з графічним інтерфейсом на базі бібліотеки Tkinter. Програма забезпечує: візуалізацію схеми балки, автоматичне визначення опорних реакцій, побудову епюр поперечних сил і згинальних моментів, підбір оптимального номера профілю за умовами міцності та побудову безпечного факторного простору.

2.4. Розроблено метод прогнозування ризику борошністої роси пшениці на основі машинного навчання. Застосування балансування даних методом SMOTE та оптимізації ознак алгоритмом Harris Hawk Optimizer дозволило підвищити точність прогнозування на валідаційних даних. Найкращі результати на тестових даних показали Medium Neural Network та Cubic SVM (80% точності).

2.5. Створено комплексний віртуальний лабораторний стенд для інформаційної підтримки навчального процесу, що забезпечує емуляцію мікроконтролера AVR, моделювання широкого спектру периферійних модулів (порти вводу-виводу, таймери, UART, SPI, 74HC595, 74HC165, MAX7219, RTC, графічний дисплей) та підтримує веб-технології для віддаленого доступу через клієнт-серверну архітектуру.

3. Методологічні досягнення

3.1. Вдосконалено ітераційні алгоритми та методи паралельних обчислень для розв'язання систем різницевих рівнянь, що виникають при моделюванні складних фізико-технічних процесів методом скінченних різниць. Це створює основу для ефективного управління складними системами в реальному часі.

3.2. Проведено критичний аналіз метрик ефективності накопичення та обробки даних у сучасних СУБД. Систематизовано ключові показники (Write/Read Throughput, Latency p95/p99, Cache Hit Ratio, IOPS), що дозволяє об'єктивно оцінювати продуктивність систем і виявляти вузькі місця для подальшої оптимізації.

3.3. Розроблено концептуальну основу інформаційної системи для підбору сонячних панелей та інверторів для альтернативного живлення домогосподарств України з урахуванням локальних кліматичних умов, що забезпечує прозорість процесу підбору обладнання та оптимізацію за критеріями потужності, бюджету та ефективності.

4. Наукова новизна

Наукова новизна отриманих результатів полягає у:

- запропонованому функціональному розподілі модулів штучного інтелекту для забезпечення відповідності стандартам ISO з інтеграцією на етапі постановки завдань;
- обґрунтуванні застосування теорії категорій для формалізації бізнес-правил на рівні концептуального проектування баз даних через комутативні діаграми;
- створенні комплексної платформи освітньої аналітики з інтеграцією адміністративних і поведінкових даних та діючими AI-моделями прогнозування;
- розробці мультиагентної освітньої системи, що поєднує соціальний шар агентів-студентів з адаптивним агентом-вчителем та циклом внутрішньої еволюції.

5. Практична значущість

Практична значущість результатів підтверджується:

- впровадженням платформи EDUFLOW BI в Технічному університеті «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»;
- створенням програмних продуктів з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, доступних для користувачів без глибокої теоретичної підготовки;
- використанням розроблених методів і систем в навчальному процесі та науково-дослідній діяльності;
- можливістю застосування результатів у різних галузях: будівництві, сільському господарстві, освіті, енергетиці.

6. Перспективи подальших досліджень

На другому етапі НДР планується:

- розробка методів інтеграції сучасних технологій штучного інтелекту в існуючі та нові компоненти ІТ-інфраструктури організаційно-технічних систем;
- проведення експериментальних досліджень та моделювання для верифікації розроблених методів і моделей;
- формування практичних рекомендацій щодо впровадження інформаційних технологій для оптимізації процесів в ОТС різних типів;
- розширення функціональності створених програмних продуктів та їх адаптація до нових предметних областей.

Таким чином, на першому етапі НДР виконано комплексне дослідження задач штучного інтелекту та розроблено компоненти концептуальної моделі застосування методів і засобів ШІ для підвищення операційної ефективності організаційно-технічних систем, що створює міцний фундамент для продовження досліджень на наступному етапі.

Результати роботи опубліковані [73 - 91].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Tooa E.G., Weaver P. The management of project management: A conceptual framework for project governance. *International Journal of Project Management*. 2014. Vol. 32, Issue 8. P. 1382-1394.
2. Alias Z., Zawawi E.M.A., Yusof K., Aris N.M. Determining Critical Success Factors of Project Management Practice: A Conceptual Framework. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 2014. Vol. 153. P. 61-69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.041>.
3. Date C. J. An Introduction to Database Systems. Ed. 8.: Pearson, 2003. 1024 p.
4. Koupil P., Holubová I. A unified representation and transformation of multi-model data using category theory. *J Big Data*. 2022. Vol. 9, Issue 61. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40537-022-00613-3>.
5. Baclawski K., Simovici D. A., White W. 1994. A Categorical Approach to Database Semantics. *Math. Struct. Comput. Sci.* 1994. Vol. 4, Issue 2. P. 147–183.
6. Jiaheng Lu. A Categorical Unification for Multi-Model Data: Part I Categorical Model and Normal Forms. 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2502.19131> (дата звернення 20.08.2025).
7. Walter R. F. C. Categories and Computer Science. Cambridge: Cambridge Universities Press, 1991. 166 p.
8. Tarasov O., Sahaida P., Podlesny S., Vasylieva L. Categorical-ontological approach to information support of educational activities. *Conference on History, Theory and Methodology of Learning: 3rd International (ICHTML 2022), Kryvyi Rih, Ukraine, SHS Web Conf.* 2022. Vol. 142. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/202214203005>.

9. Spivak D. I. Category theory for the sciences. MIT Press, 2014. 435 p.
10. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 16 с.
11. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 27 с.
12. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 14001:2015, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 32 с.
13. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 45001:2018, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 48 с.
14. Крушеницька О. А. Управління якістю : навчальний посібник. Київ : ЦУЛ, 2017. 368 с.
15. Мельник О. Г., Ільчук П. Г. Теорія систем та системний аналіз : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 376 с.
16. Петров А. П. Моделі багатокритеріальної оцінки ризиків невідповідності. *Управління розвитком складних систем*. 2022. № 49. С. 89–96.
17. Johnson, B. The Role of AI in ISO Compliance and Auditing. *ISO Journal*. 2024. URL: <https://www.iso-journal.com/ai-compliance-auditing>.
18. Ispas L, Mironeasa C, Severin T-L, Cerlincă D-A, Mironeasa S. Artificial Intelligence Applications in Risk Management Within Integrated Management Systems: A Review. *Systems*. 2025. Vol. 13, No. 11. Art. 967. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems13110967>.
19. Леонт'єв В. М. Застосування методів NLP для аналізу неструктурованих даних в системах підтримки прийняття рішень. *Вісник*

ХНУ. Серія "Економіка". 2021. № 3. С. 45–52.

20. Jiang Y.-H., Li R., Zhou Y., Qi C., Hu H., Wei Y., Jiang B., Wu Y. AI Agent for Education: von Neumann Multi-Agent System Framework. URL: <https://arxiv.org/html/2501.00083v1>

21. Hao Z. Student-AI Interaction in an LLM-Empowered Learning Environment. URL: <https://arxiv.org/html/2503.01694v3>

22. Li X., Wang S., Zeng S., Wu Y., Yang Y. A Survey on LLM-based Multi-Agent Systems: workflow, infrastructure and challenges. *Vicinagearth*. 2024. Vol. 1, No 9. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44336-024-00009-2>

23. Chu Z., Wang Sh., Xie J., Zhu T., Yan Y., Ye J., Zhong A., Hu X., Liang J., Yu S. Ph., Wen Q. LLM Agents for Education: Advances and Applications. URL: <https://arxiv.org/html/2503.11733v1>

24. Aquino G. A., Azevedo N., Okimoto L., Camelo L., Bragnaca H., Fernandes R, Printes A., Cardoso F., Claudio R., Torne I. From RAG to Multi-Agent Systems: A Survey of Modern Retrieval and MAS Techniques. URL: https://www.researchgate.net/publication/388773274_From_RAG_to_Multi-Agent_Systems_A_Survey_of_Modern_Approaches_in_LLM_Development

25. Глушенко А.А. Управління інноваційними проєктами в умовах цифрової трансформації. *Економіка. Менеджмент. Бізнес. Науковий журнал Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*. 2024. № 2. с. 56-61. DOI: <https://doi.org/10.31673/24158089.2024.010707>

26. Онисько Е., Фармага І. Огляд та аналіз систем управління проєктами. *Комп'ютерні системи проєктування. Теорія і практика. Науковий журнал*. Вип. 6, № 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.23939/cds2024.01.209>

27. Супруненко С.А. Сучасні методичні підходи до проєктного менеджменту та аналізу. *Ефективна економіка*. 2024. № 7. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2024.7.65>

28. Ярощук М.С., Тараніч О.В. Використання іт-інструментів в управлінні проєктами інформатизації бізнесу. *New integrations of modern education in universities*. 2023. с. 156-160. URL: <http://surl.li/rakkgn>

29. Родащук Г. Ю. и др. Мережеве планування в управлінні ІТ-проєктами. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2023. №. 1. С. 42-56. DOI: <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2023.1.5>

30. Колодінська Я. Мережеві методи моделювання процесів управління іт-проєктами в умовах цифрової економіки. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*. 2024. Вип. 326. №1. с. 289-296. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-326-45>

31. Талах Т., Талах В. Використання функцій Excel в аналітичних дослідженнях та в економічній аналітиці. *Економіка та суспільство*. 2023. № 50. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-50-58>

32. Рекова Н. Ю., Держевецька М.А., Гетьман І.А. Використання мультимедійних технологій в освітньому процесі. *Нотатки сучасної науки*. 2023. №. 6. С. 10-11. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/notmodsc_2023_6_8

33. Глазунова О. Г., Клименко Є. О., Волошина Т. В., Мокрієв М. В., Вороненко О. В. Освітня аналітика в університетах: інструменти для аналізу та прогнозування. Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2024. № 2 (83). С. 49-59. DOI : <https://doi.org/10.31673/2412-4338.2024.026171>

34. Romero C., Ventura S. Educational Data Mining: a Review of the State of the Art. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*. 2010. Vol. 40, No. 6. P. 601–618.

35. Hoti A. H., Zenuni X., Ajdari J., Ismaili F. Predictive Modeling of Student Success Using Machine Learning. *International Journal on Information Technologies & Security*. 2025. Vol. 17, No. 1, P. 37–46.

36. Vaarma M., Li H. Predicting student dropouts with machine learning: An empirical study in Finnish higher education. *Technology in Society*. 2024. Vol. 76. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102474>

37. Matz S.C., Bukow C.S., Peters H., Deacons C., Dinu A., Stachl C. Using machine learning to predict student retention from socio-demographic characteristics and app-based engagement metrics. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13. Art. 5705. DOI : <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32484-w>

38. Nguyen K. L., Mayberry T. R., Liu Y., Khine M. S., Pallipuram V. K. An Evaluation of Tiered Machine Learning Framework to Predict Science Achievement Among Singapore Students. *International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*. 2023. P. 200–206.

39. Навчальні ресурси СумДУ. University online learning ecosystem. URL : <https://elearning.sumdu.edu.ua/>

40. Kuchyn Yu. L., Naumenko O.M., Vlasenko O.M., Lytvynova S.H., Burov O. Yu., Kucherenko I.I., Mykytenko P.V. The experience of designing a single information and educational environment of the university “NMU Digital”. *Educational Technology Quarterly*. 2022. Vol. 1. P. 73-87. DOI : <https://doi.org/10.55056/etq.10>

41. SAP2000 | STRUCTURAL ANALYSIS AND DESIGN. Structural Engineering Software | Computers and Structures, Inc. URL: <https://www.csiamerica.com/products/sap2000> (date of access: 30.06.2025).

42. ANSYS. ANSYS Engineering Simulation Software. URL: <https://www.ansys.com/>

43. Програми для розрахунку та проектування конструкцій. Сайт Групи компаній «LIRALAND» URL: <https://www.liraland.ua/>

44. Холодняк Ю. С., Костіков О.А., Чоста Н. В. Опір матеріалів : курс лекцій для студентів усіх механічних спеціальностей денної і заочної прискорених форм навчання. Краматорськ : ДДМА, 2023. 259 с.

45. ДСТУ 8768:2018. ДСТУ 8768:2018 Двотаври сталеві гарячекатані. Сортамент. На заміну ГОСТ 8239-89 ; чинний від 2019-01-01. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2018. 8 с.

46. ДСТУ 3436-96. ДСТУ 3436-96 Швелери сталеві гарячекатані. Сортамент. На заміну ГОСТ 8240-89 ; чинний від 1999-01-01. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1996. 20 с.

47. Холодняк Ю. С., Костіков А. А., Подлесний С. В., Капорович С. В. Про комп'ютерні програми до спрощеної методики комплексної оцінки міцності двотаврових балок. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. 2019. № 3 (47). С. 72–81.

48. Kholodnyak Yu., Kostikov A., Podlesny S. et al. About Computer Programs for Simplified Methodology of Complex Assessment of Strength of Two-beam Beams. *Перспективні технології та прилади*. 2019. No. 15. P. 99–108. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2019-15-15>.

49. Холодняк Ю. С., Костіков А. А., Подлесний С. В., Капорович С. В. Розвиток комп'ютерних програм спрощеного розрахунку на міцність двотаврових балок. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. 2020. № 1 (48). С. 117–126.

50. Холодняк Ю. С., Костіков О. А., Сагайда П. І., Касьянюк О. С. Автоматизація розрахунків в інженерній практиці : навчальний посібник. ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка». Одеса: Олді+, 2025. 160с. URL: <https://dspace.mipolytech.education/items/77a8a5f2-ed56-4f6e-b7b7-d2edd4e965be>

51. Liang, X., Li, J., Wang, J. Database management system performance comparisons: A comprehensive analysis. *Journal of Systems and Software*. 2024. Vol. 205. Article 111609. DOI :10.1016/j.jss.2023.111609.

52. Metrics for data ingestion and processing. AWS Well-Architected Framework, DevOps Guidance. 2024. URL : <https://docs.aws.amazon.com/wellarchitected/latest/devops-guidance/metrics-for-data-ingestion-and-processing.html>

53. Chukwuma C. O., Ogbuokiri B. O., Bamigbola A. Evaluating Database Ingestion Techniques for Big Data Applications. *Journal of Science, Agriculture, Engineering and Research*. 2022. Vol. 9, № 11. C. 292–297. URL: <https://jsaer.com/download/vol-9-iss-11-2022/JSAER2022-9-11-292-297.pdf>

54. Balamuralithara B., Woods P. Virtual laboratories in engineering education: the simulation lab and remote lab. *Computer Applications in Engineering Education*. 2009. Vol. 17. P. 108–118. DOI: <https://doi.org/10.1002/cae.20186>

55. Zutin D., Auer M. Online Engineering and Remote Laboratories. *Springer*. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1109/FIE.2011.6143131>

56. Ally M. Mobile and Web-Based Learning. *Athabasca University Press*. 2009.

57. Microchip Technology Inc. AVR Instruction Set Manual. Chandler (AZ), 2020. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/AVR-Instruction-Set-Manual-DS40002198A.pdf>

58. Axelson J. Serial Port Complete: COM Ports, USB Virtual COM Ports, and Ports for Embedded Systems. Lakeview Research. 2007. 380 p.

59. Gajski D., Abdi S., Gerstlauer A., Schirner G. Embedded System Design: Modeling, Synthesis and Verification. *Springer*. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0504-8>

60. Harris D., Harris S. Digital Design and Computer Architecture. Morgan Kaufmann, 2015.

61. Kopetz H. Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications. Springer, 2011.

62. King S. T., Dunlap G. W., Chen P. M. Operating system support for virtual machines. *Proceedings of the 2003 USENIX Annual Technical Conference (USENIX ATC 03)*. URL : <https://www.usenix.org/conference/2003-usenix-annual-technical-conference/operating-system-support-virtual-machines> (дата звернення: 17.11.2025).

63. Keim D., Andrienko G., Fekete J. D., Görg C., Kohlhammer J., Melançon G. Visual Analytics: Definition, Process, and Challenges. *Information Visualization. Lecture Notes in Computer Science*. 2008. Vol. 4950. Berlin; Heidelberg: Springer. P. 154–175. DOI: 10.1007/978-3-540-70956-5_7.

64. Iwaszczuk A., Zapukhliak I., Iwaszczuk N., Dzoba O., Romashko O. Prospects for the Development of Photovoltaics in Ukraine. *European Research Studies Journal*. 2023. Vol. 26, Is. 4. URL : <https://ersj.eu/journal/3287>.

65. Electricity from solar energy. For your family. State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine (SAEE). Kyiv, 2019. 24 p. URL: <https://saee.gov.ua/static-objects/saee/sites/1/Files/vidnovuvalna-energetyka/electricity-from-solar-for-house.pdf>.

66. Olis D., Sakharova A. Prefeasibility Assessment for Solar PV and Storage for Critical Facilities in Chernihiv, Ukraine. National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2024. 78 p. URL: <https://docs.nrel.gov/docs/fy25osti/91296.pdf>

67. Gardner C. L. *Applied Numerical Methods for Partial Differential Equations*. Springer Nature Switzerland, 2024. URL : <https://doi.org/10.1007/978-3-031-69630-5>

68. Samarskii A. A. *Theory of Difference Schemes*. Taylor & Francis Group, 2001.
69. Strikwerda J. *Finite Difference Schemes and Partial Differential Equations (Second Edition)*. Society for Industrial Mathematics, 2007.
70. Atsue T., Tikyaa E. V. & Nwokike S. C. A numerical solution of the 2D Laplace's equation for the estimation of electric potential distribution. *Journal of Scientific and Engineering Research*. 2018. Vol. 5. P. 268-276.
71. Patil P. V. & Prasad D. J. K. Numerical solution for two-dimensional Laplace equation with Dirichlet boundary conditions. *IOSR Journal of Mathematics*. 2013. Vol. 6(4). P. 66-75.
72. Glushica B., Kuhar A. & Arnautovski Toseva V. Accuracy Investigation of FDM, FEM and MoM for a Numerical Solution of the 2D Laplace's Differential Equation for Electrostatic Problems. *The Journal of CIEES*. 2021. Vol. 1(2). P. 26–30. <https://doi.org/10.48149/jciees.2021.1.2.5>
73. Diachenko G., Laktionov I., Moroz D., Derzhevetska M., Semenov S. A computerized method for predicting the risk of powdery mildew in wheat based on software analysis of soil and climatic monitoring data. AdvAIT-2024: 1st International Workshop on Advanced Applied Information Technologies, December 5, 2024, Khmelnytskyi, Ukraine - Zilina, Slovakia. 2024. P. 172-185. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3899/paper16.pdf> (Scopus).
74. Zaitsev D. A., Shmeleva T. R., Kostikov A. A. Computing and Communication Structure Design for Fast Mass-Parallel Numerical Solving PDE.. *Parallel Processing Letters*. 2025. 2550004. DOI:10.1142/S0129626425500045
75. Костіков О.А., Холодняк Ю.С., Сагайда П.І. Автоматизація розрахунку на міцність балочних конструкцій. *Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. № 4*. 2025. С. 94-102. DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-4-12>

76. Гурковська С.С. Інтеграція САПР із технологіями 3d-друку для прискорення інженерного прототипування. *Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. № 4. 2025. С. 71-76.* DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-4-12>

77. Сагайда П.І., Костіков О.А., Касьянюк О.С. Використання теорії категорій при концептуальному проектуванні бази даних для предметної області «Управління проектами». *Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. № 5. 2025. С. 92-98.* DOI: <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-5-10>.

78. Гетьман І.А., Держевецька, М.А. Застосування методу найменших квадратів у середовищі Excel для аналітичного і навчального моделювання. Педагогічна Академія: наукові записки № 22, 2025. URL: <https://pedagogical-academy.com/index.php/journal/article/view/1280>

79. Держевецька М. А., Гетьман І. А. Шаблони Excel як інструмент підвищення ефективності освітнього процесу. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. 2025. № 217. С. 104-107. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2025-1-217-104-107>.

80. Гетьман І. А., Держевецька М. А. Успішна презентація як важливий інструмент для популяризації наукових досліджень. Педагогічна Академія: наукові записки. 2025. № 14. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14794275>.

81. Держевецька М. А., Гетьман І. А. Excel як універсальний інструмент для управління проектами. Наука і техніка сьогодні. Серія: Техніка. 2025. № 1(41). С. 1137-1147. DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-1\(42\)-1137-1147](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-1(42)-1137-1147).

82. Панченко М.В., Сагайда П.І. ESCAPA-TDNN для голосової біометрії: переваги над X-VECTORS та RESNET для інтегрованої верифікації мовця та антиспуфінгу. *Проблеми використання*

інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: XX міжнар. конф. (5 грудня 2025 р., м. Дніпро): зб. наук. пр. / ред. кол.: О.О. Азюковський та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДП», 2025. № 10. С. 293-295. URL : https://pzks.nmu.org.ua/ua/science/2025_fin.pdf.

83. Ровенська В.В., Сагайда П.І., Рекова Н.Ю., Касьянюк О.С. Розробка та використання платформи EDUFLOW ВІ технічного університету «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» в контексті українських практик освітньої аналітики. *Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: XX міжнар. конф.* (5 грудня 2025 р., м. Дніпро): зб. наук. пр. / ред. кол.: О.О. Азюковський та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДП», 2025. № 10. С. 284-286. URL : https://pzks.nmu.org.ua/ua/science/2025_fin.pdf.

84. Сагайда П.І., Ільяшенко І.О. Дослідження моделей та методів інформаційної підтримки формування змісту дисциплін освітньо-професійних програм у технічному університеті. *Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: XX міжнар. конф.* (5 грудня 2025 р., м. Дніпро): зб. наук. пр. / ред. кол.: О.О. Азюковський та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДП», 2025. № 10. С. 254-256. URL : https://pzks.nmu.org.ua/ua/science/2025_fin.pdf.

85. Сагайда П.І., Мироненко О.В. Оптимізація інформаційної підтримки управлінської діяльності для забезпечення відповідності стандартам сертифікації з залученням штучного інтелекту. *Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: XX міжнар. конф.* (5 грудня 2025 р., м. Дніпро): зб. наук. пр. / ред. кол.: О.О. Азюковський та ін.; М-во освіти і науки України, Нац.

техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДП», 2025. № 10. С. 269-271. URL : https://pzks.nmu.org.ua/ua/science/2025_fin.pdf.

86. Сагайда П.І., Плуталов Я.А. Дослідження методів та алгоритмів використання AI-агентів для організації інтелектуального освітнього середовища. *Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: XX міжнар. конф.* (5 грудня 2025 р., м. Дніпро): зб. наук. пр. / ред. кол.: О.О. Азюковський та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДП», 2025. № 10. С. 275-277. URL : https://pzks.nmu.org.ua/ua/science/2025_fin.pdf.

87. Держевецька М. А. Вплив диджиталізації на трансформацію сучасного суспільства. Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод : матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції, 17–19 квітня 2025 р. / За заг. ред. О. Ф. Тарасова. Краматорськ – Тернопіль: ДДМА, 2025. С. 13-15.

88. Добряк С.К., Гурковська С.С. Розробка віртуального лабораторного стенда з використанням web-технологій. *Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості: XX міжнар. конф.* (5 грудня 2025 р., м. Дніпро): зб. наук. пр. / ред. кол.: О.О. Азюковський та ін.; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ «ДП», 2025. № 10. С. 262-264. URL : https://pzks.nmu.org.ua/ua/science/2025_fin.pdf.

89. Самойленко Д. О. Сучасна розробка кросплатформенних додатків на С# з використанням .NET MAUI. Теорія модернізації в контексті сучасної світової науки: збірник наукових праць з матеріалами ІV Міжнародної наукової конференції (м. Мукачево, 24 січня, 2025 р.). Вінниця: УКРЛОГОС Груп, 2025. С. 287-288.

URL: <https://archives.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/issue/view/24.01.2025>

90. Самойленко Д. О. Порівняння бібліотек для тестування програмного забезпечення розробленого на мові програмування С#. Модернізація та сучасні українські і світові наукові дослідження: матеріали VIII Міжнародної студентської наукової конференції (м. Луцьк, 24 січня, 2025 р.). Вінниця: УКРЛОГОС Груп, 2025. С. 188-190.

URL: <https://archive.liga.science/index.php/conference-proceedings/issue/view/inter-24.01.2025>

91. Автоматизація розрахунків в інженерній практиці : навчальний посібник / Ю. С. Холодняк, О. А. Костіков, П. І. Сагайда, О. С. Касьянюк ; ТОВ «Технічний університет «Метінвест Політехніка». Одеса : Олді+, 2025. 160 с. URL: <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/2130>