

УДК 004.89:004.4; 004.89:002.8  
№ держреєстрації 0122U201379

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  
«23» січня 2025 року

**ЗВІТ**  
**ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**  
**«Методологічні основи цифрового інтелекту, інформаційні технології**  
**управління складними системами та процесами»**  
**(остаточний)**

Науковий керівник, д.е.н., професор

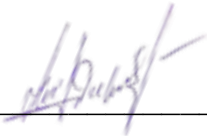

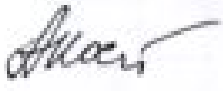
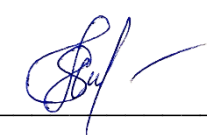
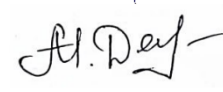

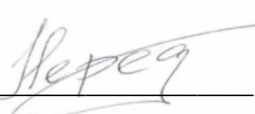
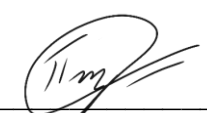
Наталія РЕКОВА  
«20» січня 2025 року

2025

Рукопис закінчено «20» січня 2025 року

Результати роботи розглянуто Науково-технічною радою  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», протокол  
№ 6 від «23» січня 2025 року

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР, д-р екон. наук, професор		Наталія РЕКОВА (вступ, висновки, 1.2, 1.3)
Відповідальний виконавець, д-р техн. наук, доцент		Павло САГАЙДА (вступ, висновки, 1.1-1.4, 2.1, 3.4, 3.5)
Виконавець, канд. фіз.-мат. наук, доцент		Олександр КОСТІКОВ (1.1, 1.5)
Виконавець, канд. техн. наук, доцент		Світлана ГУРКОВСЬКА (2.7)
Виконавець, канд. екон. наук		Марина ДЕРЖЕВЕЦЬКА (1.2-1.4)
Виконавець, ст. викладач		Олександр КАСЬЯНЮК (3.1-3.3, 2.2-2.6, участь в оформленні результатів)
Виконавець, ст. гр. 122-22п(бак.)		Олег НЕФЕДЧЕНКО (2.1, участь в оформленні результатів)
Виконавець, ст. гр. 122-24м(маг.)		Ярослав ПЛУТАЛОВ (3.4, участь в оформленні результатів)

## РЕФЕРАТ

**ЗВІТ про НДР (завершальний): 120 с., 139 джерел.**

**Ключові слова:** складні системи та процеси, цифровий інтелект, інформаційні технології, автоматизація управління, генеративний штучний інтелект.

**Об'єкт дослідження** – автоматизація управління складними системами і процесами та інформаційна підтримка діяльності.

**Мета роботи** – вдосконалення процесів управління ефективністю та якістю в складних системах за рахунок розроблення відповідних моделей, методів та програмних компонентів.

**Предмет дослідження:** моделі, методи та інформаційні технології автоматизації управління складними системами і процесами та інформаційна підтримка діяльності на основі розвитку цифрового інтелекту фахівців і студентів, застосування генеративного штучного інтелекту та сучасних підходів до розробки програмних компонентів.

**Результати та їх новизна:** удосконалення методології створення систем інформаційного забезпечення діяльності у різних предметних областях, на основі методів інженерії знань, в тому числі категоріально-онтологічного моделювання, та методів інтелектуального аналізу даних і генеративного штучного інтелекту; розробка методологічних основ розвитку цифрового інтелекту користувачів інформаційних технологій (спеціалістів, аналітиків і менеджерів) та розробників програмних компонентів; результати удосконалення інформаційних технологій застосування генеративного штучного інтелекту в інформаційній підтримці діяльності та процесах управління ефективністю та якістю в складних системах.

**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 дозволяють 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 системах.

**Значимість роботи:** покращення інформаційного забезпечення та підтримки діяльності досягається шляхом розробки алгоритмічного забезпечення і реалізації програмних компонентів з використанням розвинутого цифрового інтелекту розробників, на основі застосування методів інженерії знань і генеративного штучного інтелекту; результати теоретичних та практичних досліджень забезпечують удосконалення математичного забезпечення і методів обробки даних, підвищення рівня абстракції при вирішенні задач автоматизації діяльності у різних предметних областях і за рахунок цього – підвищення продуктивності праці і якості виробничих процесів.

**Висновки, пропозиції щодо розвитку об'єкта дослідження й доцільності продовження досліджень:** Теоретичні та практичні результати роботи, такі, як розвиток та узагальнення методології створення систем інформаційного забезпечення діяльності на основі розвинення онтологічного підходу до представлення концептуальних знань у предметних областях, відповідного розвитку цифрового інтелекту як користувачів інформаційних технологій, так і розробників програмних компонентів, дослідження і розвитку ефективних методик застосування методів штучного інтелекту, в тому числі машинного навчання, пропонується активно використовувати в навчальному процесі здобувачів вищої освіти за спеціальністю «Комп'ютерні науки» та під час підвищення кваліфікації спеціалістів та менеджерів, які задіяні у проектах

цифрової трансформації та диджиталізації підприємств й організацій. Дане дослідження потрібно розвивати та продовжувати розробку ефективних технологій інформаційної підтримки управління складними системами та процесами, управління ефективністю та якістю в складних системах, з використанням сучасних досягнень у концептуальному моделюванні та всебічного застосування методів інтелектуального аналізу даних, генеративного штучного інтелекту і підтримки прийняття рішень.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1 МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ УДОСКОНАЛЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ</b> .....	10
1.1 Алгоритмічне забезпечення методу верифікації онтологічної моделі з використанням теорії категорій під час проектування сховищ даних та знань інформаційних систем .....	10
1.2 Категоріально-онтологічний підхід до моделювання та формування освітньої програми «Комп’ютерні науки та цифровий інтелект» .....	21
1.3 Процес удосконалення кібербезпеки з використанням методів машинного навчання, як складової інформаційної підтримки діяльності на основі цифрового інтелекту.....	23
1.4 Інформаційно-вимірювальна система контролю якості керамічної плитки на основі бази знань про вбудовування зображень виробів відповідного сорту.....	27
1.5 Дослідження щодо властивостей ультраметричних просторів. Простір Дельомма-Лафлама-Пузе-Зауера як групоїд .....	34
1.5.1 Вступ. Ультраметрика та псевдоультраметрика .....	34
1.5.2 Попередні дані про ультраметрично-зберігаючі функції та групоїди .....	36
1.5.3 Основні результати .....	41
<b>2 РОЗВИТОК ЦИФРОВОГО ІНТЕЛЕКТУ ЗА РАХУНОК АВТОМАТИЗАЦІЇ НАУКОВОЇ ТА НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ Й ЕМУЛЯЦІЇ ЕТАПІВ АНАЛІЗУ ДАНИХ ТА РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ</b> .....	56

2.1 Автоматизація процесів інтелектуального аналізу даних в режимі візуальної побудови етапів перетворення даних на прикладі orange3 .....	56
2.2 Методика використання ML.NET для вирішення задачі класифікації за допомогою C# .....	59
2.3 Навчання студентів програмуванню мобільних пристроїв з використанням .NET MAUI.....	64
2.4 Використання .NET Interactive для візуалізації даних у інтерактивних блокнотах створених за допомогою C# .....	67
2.5 Застосування засобів емуляції пристроїв IoT для отримання студентами відповідних компетентностей .....	70
2.6 Використання Wokwi під час навчання студентів програмуванню мікроконтролерів ESP32 для створення пристроїв для IoT.....	72
2.7 Автоматизована побудова 2D-креслень з 3D-моделей із використанням інструментів комп'ютерної графіки .....	75
<b>3 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА МЕТОДИК ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ТЕХНІЧНИХ ТА УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ.....</b>	<b>84</b>
3.1 Штучний інтелект в освіті та бізнесі: можливості та виклики .....	84
3.2 Огляд сучасних мовних моделей генеративного штучного інтелекту для та перспективи їх використання у автоматизації бізнес-процесів .....	89
3.3 Використання штучного інтелекту та інструментарію моделювання в проєктному менеджменті .....	91
3.4 Напрямки застосування RAG-систем для підвищення точності та змістовності результатів запитів до великих мовних моделей.....	95
3.5 Технології використання агентів штучного інтелекту для автоматизації виконання завдань з пошуку та узагальнення даних із зовнішніх джерел .....	97
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>103</b>
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>106</b>

## ВСТУП

В умовах глобалізації світової економіки та інтеграції України до загальноєвропейського економічного простору інформаційні технології набувають більшого поширення у суспільстві. Аналіз об'ємів інформації, інтенсивності її використання вимагає застосування цифрового інтелекту у професійному та особистому житті людини. У науково-технічній літературі, Інтернет-джерелах, засобах масової інформації об'єкти різної природи називаються відповідними видами складних систем – технічної, економічної, політичної, соціальної, операційної і т.д. Найрізноманітніші процеси вимагають швидких реакцій управління та прийняття рішень, які здатні змінити ситуацію в потрібному або бажаному напрямку для дієвості відповідної системи. Підвищення якості, ефективності, обґрунтованості рішень, які приймаються щодо управління складними системами та процесами потребує впровадження існуючих і розробки нових інформаційних технологій з використанням цифрового інтелекту. Отже розгляд та розробка методологічних основ цифрового інтелекту, інформаційних технологій управління складними системами та процесами є актуальною темою для інженерії у сучасному світі.

Сучасні інформаційні підсистеми в складних організаційних і технічних системах повинні забезпечувати більшість етапів виміру параметрів об'єктів контролю й керування, обчислювальних перетворень отриманих даних, формування керуючих сигналів для виконавчих пристроїв і підтримку прийняття рішень. Від реалізації цих етапів залежить ефективність роботи організаційно-технічних комплексів, продуктивність у ході вироблення товарів і послуг, а також їхня якість. У конкурентному середовищі виявлення й використання нетривіальних закономірностей і залежностей у виробничій діяльності дозволяє домогтися зниження витрат й оперативності в реагуванні на зміни зовнішніх умов і вимоги до виробів і технологічних процесів. Дана робота присвячена удосконаленню методології розробки методів і засобів підвищення ефективності інформаційних систем інтелектуальної обробки даних, у ході якої витягаються й

використаються моделі роботи предметних областей. Тема роботи є актуальною й забезпечує розвиток теоретичних і практичних основ розробки й реалізації компонентів таких систем.

Використання в складі компонентів комп'ютерних систем баз і сховищ знань, що вміщують моделі предметних областей й алгоритмів обробки даних, дозволяє забезпечити інтелектуалізацію комп'ютерних систем і підвищити точність й оперативність обробки даних. Однак у теперішній час процес витягу знань із даних є багато в чому творчим процесом, що вимагає постійного використання інтелекту інженерів в області Data Mining й Machine Learning. Алгоритмічне забезпечення жорстко інтегровано до складу програмних компонентів комп'ютерних систем і часто обумовлено архітектурою апаратних засобів таких систем. Необхідні нові теоретичні основи й концептуальні рішення в області розробки методології управління складними процесами та системами, алгоритмічного забезпечення процесів інтелектуальної обробки даних. Такі рішення дозволяють формалізувати й хоча б частково автоматизувати найменш автоматизовані етапи проектування систем інформаційної підтримки діяльності, залучити навички та вміння цифрового інтелекту аналітиків, спеціалістів в предметних областях, інженерів по знанням та розробників програмних компонентів при реалізації процесів концептуального проектування, видобутку знань з даних, візуалізації та поглибленого аналізу даних.

# 1 МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ УДОСКОНАЛЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

1.1 Алгоритмічне забезпечення методу верифікації онтологічної моделі з використанням теорії категорій під час проектування сховищ даних та знань інформаційних систем

Сучасні підприємства та організації потребують впровадження, за результатами відповідної розробки та дослідження, ефективних методів проектування інформаційних систем, здатних до інтелектуальної обробки даних [1, 2]. Необхідно залучати до процесу проектування фахівців предметної області, які, хоча й не мають глибоких знань в ІТ, володіють цінною експертизою та можуть сформулювати базову модель предметної області у вигляді тезауруса або онтології [3]. Співпраця фахівців предметної області та інженерів знань є критично важливою для успішного проектування системи. Фахівці предметної області надають глибоке розуміння своєї галузі, а інженери знань перетворюють ці знання в формальну модель. На даний момент розроблено ряд рекомендацій для ефективного концептуального моделювання [4,5], однак існуючі підходи до створення таких систем часто базуються на інтуїції та досвіді фахівців, що може призводити до суб'єктивних оцінок та труднощів у верифікації результатів.

Для вирішення цієї проблеми необхідно застосувати єдиний, формалізований метод проектування, заснований на міцній математичній основі. Такий підхід дозволить забезпечити доказовість та об'єктивність результатів, а також полегшить співпрацю фахівців з різних галузей та аспектів проектування.

Одним із перспективних напрямків для цього є застосування теорії категорій. Цей розділ математики пропонує потужний інструментарій для формалізації знань та побудови абстрактних моделей [6, 7]. Використання теорії категорій дозволить створювати більш точні та наочні моделі предметних областей, а також здійснювати строгу верифікацію концептуальних моделей.

Крім того, теорія ескізів, як розвиток теорії категорій, дозволяє представляти математичні конструкції у вигляді графів та діаграм [8-10]. Це значно спрощує розуміння моделей навіть для фахівців, які не мають глибоких знань математики. Такий візуальний підхід до моделювання сприяє ефективній комунікації між членами проектної команди та замовниками.

Таким чином, використання теорії категорій та теорії ескізів дозволить забезпечити потрібний рівень формалізації та точності у процесі проектування інформаційних систем, що, в свою чергу, призведе до підвищення якості та надійності розробок. Відповідно, об'єктом дослідження є розробка алгоритмічного забезпечення універсального методу проектування інформаційних систем, здатних до інтелектуальної обробки даних. Цей метод базується на категоріально-онтологічному підході, розробленому у [11], і дозволяє забезпечити послідовність і верифікованість етапів концептуального проектування сховищ даних та знань інформаційних систем. На цих етапах відсутній єдиний, строго формалізований метод проектування інформаційних систем. На сьогоднішній день різні команди розробників використовують різноманітні методики та технології, що ускладнює співпрацю та іноді призводить до семантичних бар'єрів між ними. Потрібен наскрізний метод, який підходить для командної роботи над проектами та спрощує обмін знаннями як серед учасників команд, так і з замовниками та експертами в предметній області [12].

Мета дослідження полягає у створенні відповідного алгоритмічного забезпечення такого методу. Його використання дозволить об'єднати зусилля аналітиків, розробників та замовників з використанням формальної основи для опису предметної області, а також надати засоби для верифікації та валідації розроблених часткових онтологічних моделей.

Для досягнення поставленої мети необхідно: проаналізувати існуючі підходи, визначити їх сильні та слабкі сторони, а також можливості інтеграції; запропонувати формальний алгоритм для перевірки правильності та повноти онтологічних моделей; застосувати для цього теорію категорій, а саме –

використати математичний апарат теорії категорій для верифікації абстрактних моделей предметних областей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційні підходи до концептуального моделювання та проектування сховищ даних та знань інформаційних систем можна віднести до таких, що формалізують, в основному, підхід, орієнтований на формалізацію атрибутів (властивостей). Прикладами його є технологія з використанням діаграм «сутність-відношення-атрибут» (ERA) [13] і технологія Anchor [14]. Технологіями моделювання більш високого рівня абстракції є модель Entity-Relationship Diagrams (ERD) [15], і фреймворк Semantic Web, Resource Description Framework (RDF) [16].

Історично склалося так, що однією з перших технологій моделювання предметних областей та програмного забезпечення стала реалізація об'єктно-рольового моделювання (ORM). На основі ORM була розроблена технологія Integration DEfinition for Information modeling (IDEF1X), яка є невід'ємною частиною сімейства методів діаграм IDEF, яка використовується для формалізації різних аспектів ПрО. Результатом злиття декількох схожих підходів до моделювання і формалізації, а також проектування апаратних і програмних комплексів стала технологія моделювання Unified Modeling Language (UML) [17], яка надає широкі можливості для моделювання класів, їх екземплярів і відносин між ними. Однак для представлення бізнес-правил і алгоритмів взаємодії в об'єктах знадобилося розробити спеціалізовану мову на основі UML-діаграм - Object Constraint Language (OCL) [17]. Застосування OCL дозволило використовувати для цієї мети вирази, близькі за виразом до логіки першого порядку, але специфічні і складні з точки зору фахівців в ПрО.

Для підвищення рівня абстракції при моделюванні та автоматизації розробки ІС в останні роки розроблена і впроваджується ініціатива Meta-Object Facility (MOF) [18]. MOF передбачає використання стандарту для розробки на основі моделі, підготовленого Object Management Group на основі UML. Аналіз показує, що даний підхід є метамоделлю над UML і не має інших корисних властивостей для задач, що вирішуються в даній роботі.

В якості основи для методу, який розглядається в даній роботі, застосовуються технології, засновані на категоріальному підході до моделювання ПрО, так як цей підхід дозволяє верифікувати інформаційні моделі, що зазвичай виражають суб'єктивну точку зору їх авторів, на основі формального математичного апарату. До цих технологій, заснованих як на представленні атрибутів, так і на підході теорії категорій, відносяться Olog Diagrams [7] і Sketches, які є розвитком технології ERA [13]. Авторами цих технологій розроблені мови і засоби автоматизації отримання схем баз даних з діаграм відповідно Algebraic Query Language (AQL) і Graphical modeling of EA sketches and views (EASIC).

Недоліком цих технологій, незважаючи на деякі елементи онтологічного моделювання, є відсутність в їх складі засобів для представлення правил верифікації складних онтологічних моделей підприємств і організацій.

Виклад основного матеріалу. Як було вказано, часткова онтологічна модель є суб'єктивною й на практиці наразі математично не верифікується. У роботі застосовано підхід категоріально-онтологічного (КО) моделювання, що реалізує побудову онтологічних моделей, які верифікуються на основі теорії категорій і скетчів. Метод побудови онтологічних моделей, представлених у нотації діаграми класів UML та верифікованих на основі теорії категорій, сформульовано далі у вигляді алгоритму відповідних перетворень. Етапи реалізації методу, у вигляді діаграми SADT, наведено на рисунку 1.1.

Цей метод передбачає використання теорії категорій для формалізації знань про предметну область і створення онтологічних моделей. На діаграмі SADT (рисунок 1.1) наведено наступні елементи.

Відомості про ПрО: вхідні дані для процесу моделювання, які включають інформацію про предметну область, для якої створюється модель.

Онтологічне моделювання ПрО: активність, яка перетворює вихідні дані про предметну область в онтологічну модель.

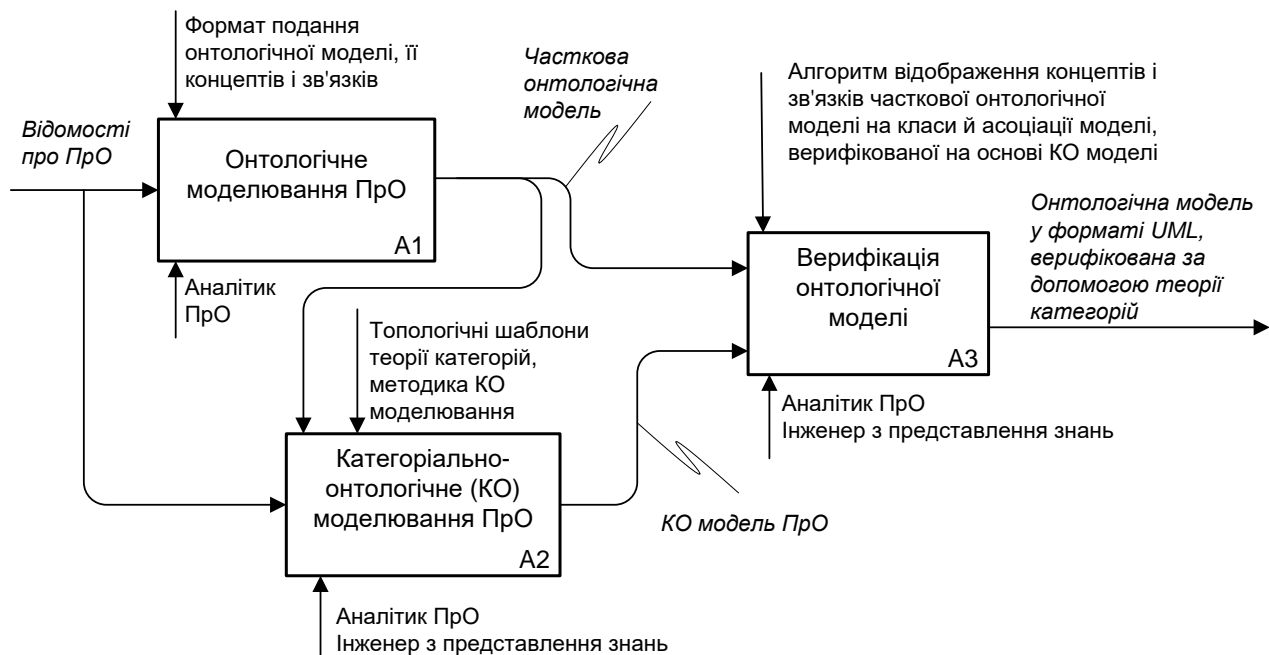


Рисунок 1.1 – SADT-діаграма етапів реалізації методу побудови онтологічних моделей, верифікованих на основі теорії категорій

Часткова онтологічна модель: проміжний результат процесу моделювання, який представляє частину повної онтологічної моделі, отриману від аналітика-проектувальника; вона відображає аспект розгляду предметної області та суб'єктивні знання аналітика.

Категоріально-онтологічне (КО) моделювання ПрО: активність, яка використовує методи теорії категорій та її топологічні шаблони для формалізації онтологічної моделі.

КО-модель ПрО: кінцевий результат процесу моделювання, який представляє формалізовану онтологічну модель в термінах теорії категорій.

Верифікація онтологічної моделі: активність, яка перевіряє коректність і повноту отриманої онтологічної моделі з урахуванням отриманої КО-моделі, за відповідним алгоритмом відображення.

Алгоритм відображення концептів і зв'язків: набір правил, який дозволяє перевести онтологічну модель в формат, зручний для подальшої обробки (наприклад, у вигляді UML-діаграми).

Символьна модель у форматі UML: кінцевий результат процесу перетворення онтологічної моделі в у вдосконалений її варіант, верифікований на основі об'єктів, морфізмів та теорем теорії категорій, у форматі подання, зрозумілому розробникам бази даних та знань або інформаційної системи.

Таким чином, можна сформулювати основні етапи процесу побудови онтологічних моделей, верифікованих на основі теорії категорій:

1. Збір інформації про предметну область: на цьому етапі збираються всі необхідні дані про предметну область, для якої створюється модель.

2. Побудова часткової онтологічної моделі: на основі зібраних даних створюється початкова версія онтологічної моделі.

3. Формалізація за допомогою теорії категорій: часткова модель трансформується в категоріальну модель, з урахуванням відомостей про предметну область, зібраних на першому етапі.

4. Верифікація моделі: проводиться перевірка коректності та повноти часткової онтологічної моделі на основі категоріального представлення відомостей про предметну область; також виконується перевірка категоріальної моделі з точки зору урахування всіх сутностей та зв'язків між ними (це може вимагати декількох ітерацій з взаємним узгодженням вмісту обох моделей); додаються або трансформуються, за необхідності, елементи часткової онтологічної моделі, таким чином, щоб вони відповідали відомостям про предметну область та топологічним шаблонам побудованої категоріальної моделі.

5. Перетворення в UML: категоріально-онтологічна модель, тобто онтологічна модель, узгоджена з категоріальною моделлю, переводиться в формат UML для подальшого використання в процесі розробки інформаційного та програмного забезпечення.

Для реалізації розробленого підходу було проведено глибокий та докладний аналіз етапу перетворення категоріально-онтологічної моделі, тобто моделі, побудованої аналітиками на основі відомостей про предметну область та методик використання топологічних шаблонів теорії категорій, в модель нотації

UML. Ця модель на етапі верифікації (активність A3 на рисунку 1.1) власне і використовується для перевірки якості часткової онтологічної моделі, побудованої розробниками баз даних та знань інформаційної системи. Етап, який буде докладно розглянуто в даній роботі, є визначальним з точки зору якості проєктування інформаційних систем, оскільки забезпечує адекватність результатів концептуального моделювання та узгодженість моделей для відповідної ефективної реалізації.

За результатами розробки та вивчення процесу побудови КО-моделі в форматі подання UML був розроблений узагальнений алгоритм. Його реалізація дозволяє верифікувати загальну онтологічну модель на основі положень, аксіом та теорем теорії категорій (ТК). Компоненти алгоритму, що описують окремі етапи відображення елементів моделі, показані на рисунку 1.2.

```

Input: // General ontological model; Categorical-ontological model
PrivateOntology=  $\langle Concepts, Relations \rangle$ ; COmodel=
 $\langle Obj_{\Gamma}, Hom_{\Gamma}, Lim_{\Gamma} \rangle$ ;
Output: // Verified ontological model in the form of an UML class diagram
VerifiedOntology=
 $\langle Classes, Links, PartConstraints, Attributes \rangle \cong UML$ ;
  begin
     $Classes = \{ \}; Links = \{ \}; PartConstraints = \{ \}; Attributes = \{ \};$ 
    // Verification and addition to the resulting model of all concepts
    // from the CO model and connections generation based on morphisms
    for all  $O \in Obj_{\Gamma}$  in COmodel do
      for all  $C \in Concepts$  in PrivateOntology do
        if not  $O \cong C$  then  $C = create(O)$  as Concept;
         $Classes = Classes \cup C$ ;
      for all  $\mu \in Hom_{\Gamma}$  in COmodel do
        if not  $\exists C \cong dom(\mu)$  then  $C_{Dom} = createDomain(\mu)$  as Concept;
        if not  $\exists C \cong cod(\mu)$  then  $C_{Cod} = createCodomain(\mu)$  as Concept;
         $Classes = Classes \cup C_{Dom} \cup C_{Cod}$ ;
         $Links = Links \cup (\mu \text{ as Link})$ ;
      end for;
    end for;
  end for;

```

Рисунок 1.2 – Алгоритм побудови діаграми класів і відношень в UML на основі категоріально-онтологічної моделі, що дозволяє верифікувати загальну онтологічну модель шляхом застосування теорії категорій, лист 1

```

// Definition of classes-associations based on limits and colimits in the CO model
for all  $L \in \text{Lim}_\Gamma$  in COmodel do
  for all  $C \in \text{Concepts}$  in PrivateOntology do
    if not  $L \cong C$  then  $C_{AS} = \text{createClassAssotiation}(L)$  as Concept;
     $\text{Classes} = \text{Classes} \cup C_{AS}$ ;
    for all  $R \in \text{Links}$  in VerifiedOntology do
      if not  $\text{isPartOf}(C_{AS}, R)$  and  $\text{Domain}(R) \cup \text{Range}(R) \cap \text{dom}(\mu_L) \cup \text{cod}(\mu_L) \neq \emptyset$ 
      then  $R = \text{completeAssociation}(C_{AS}, R)$ ;
    end for;
  end for;
end for;
// Search and exclusion of connections from the resulting model that do not satisfy
// the laws of commutativity and composition according to the CO model;
for all  $R_i, R_j, R_q \in \text{Links}$  in VerifiedOntology do
  for all  $\mu_m, \mu_n, \mu_k \in \text{Hom}_\Gamma$  in COmodel do
    if  $(R_i \cong \mu_m, R_j \cong \mu_n, R_q = R_j \circ R_i, \mu_k = \mu_n \circ \mu_m)$  and  $R_q \not\cong \mu_k$  then
     $\text{Links} = \text{Links} \setminus \{R_q\}$ ;
  end for;
end for;
// Finding and excluding classes from the resulting model that are aggregations of
// previously entered classes and relations, or for which no relations are established
for all  $\langle C_i, C_j, C_q \rangle \in \text{Classes}$  in VerifiedOntology do
  for all  $R \in \text{Links}$  in VerifiedOntology do
    if  $C_i \cong \langle \{C_j = \text{Range}(R), C_q = \text{Domain}(R)\}; R \rangle$  then  $\text{Classes} = \text{Classes} \setminus \{C_i\}$ ;
    if not  $C_j = \text{Range}(R)$  or  $C_j = \text{Domain}(R)$  then  $\text{Classes} = \text{Classes} \setminus \{C_j\}$ ;
  end for;
end for;

```

Рисунок 1.2 – Алгоритм побудови діаграми класів і відношень в UML на основі категоріально-онтологічної моделі, що дозволяє верифікувати загальну онтологічну модель шляхом застосування теорії категорій, лист 2

```

// Imposing restrictions on the type of relations in the UML model and restrictions
// on the participation cardinality of the class instances in relationships
for all  $R \in \text{Links}$  in VerifiedOntology do
  for all  $C \in \text{Concepts}$  in PrivateOntology do
    if  $\text{isParticipant}(R,C)$  then begin
       $PC = \text{createPartConstraint}(R,C, \text{PrivateOntology}, \text{COmodel});$ 
       $\text{PartConstraints} = \text{PartConstraints} \cup PC;$  end;
    end for;
  end for;
  // Mapping the corresponding objects of the CO model into class attributes
  // in the UML model
  for all  $C \in \text{Concepts}$  in PrivateOntology do
    for all  $Cl \in \text{Classes}$  in VerifiedOntology do
      if  $\text{isAttributeOf}(C,Cl)$  then begin
         $At = \text{createAttributeOf}(C,Cl, \text{PrivateOntology}, \text{COmodel});$ 
         $\text{Attributes} = \text{Attributes} \cup At;$  end;
      end for;
    end for;
  return (VerifiedOntology  $\cong$  UML);
end

```

Рисунок 1.2 – Алгоритм побудови діаграми класів і відношень в UML на основі категоріально-онтологічної моделі, що дозволяє верифікувати загальну онтологічну модель шляхом застосування теорії категорій, лист 3

Для розробленого алгоритму, крім розглянутих раніше термінів і об'єктів, необхідно пояснити наступний момент. Визначення класів-асоціацій виконується на основі об'єктів ТК pullbacks, products, equalizers, cones, що входять у множину

лімітів,  $\lim_{O \in \text{Obj}_\Gamma} \Gamma(O)$  і об'єктів ТК pushouts, coproduct, coequalizer, cocones, що входять в множину колімітів  $\text{colim}_{O \in \text{Obj}_\Gamma} \Gamma(O)$ , для яких

$$\text{Lim}_\Gamma = \left\langle \lim_{O \in \text{Obj}_\Gamma} \Gamma(O), \text{colim}_{O \in \text{Obj}_\Gamma} \Gamma(O) \right\rangle,$$

і кожен такий об'єкт задовольняє вимозі:

$$L \cong \langle O_L \subseteq \text{Obj}_\Gamma, \mu_L \subseteq \text{Hom}_\Gamma \mid \forall O_L \subseteq \{\text{dom}(\mu_L) \cup \text{cod}(\mu_L)\} \rangle \in \text{Lim}_\Gamma.$$

Твердження, що використовуються в наведеному алгоритмі, вводяться та обґрунтовуються на основі положень, визначень та лем ТК [6,7,9]. Введення та обґрунтування обмежень для об'єктів ТК на комутативних діаграмах для розроблених КО-моделей дозволило довести існування та унікальність морфізмів, що обумовлюють несуперечливість онтологічної моделі та необхідність введених у моделі концептів та зв'язків між ними, а також досяжність результатів відображень та перетворень, описаних цією моделлю.

Обговорення результатів. В результаті застосування запропонованого методу та розробленого для його реалізації алгоритмічного забезпечення були подолані деякі семантичні і лінгвістичні бар'єри між розробниками під час проектування ІС. Замовники, аналітики та розробники мають можливість використовувати наскрізний метод, придатний для колективної роботи та обміну знаннями, який є зрозумілим та об'єктивним з точки зору доказовості та валідності моделей. Цей метод може бути використаний для повного комплексу науково-дослідних і проектних робіт, незалежно від форматів представлення даних і схематичних прийомів формалізації знань ПрО. Категоріально-онтологічний підхід до моделювання та проектування дає можливість формально обґрунтовувати суб'єктивні результати інженерії знань та використовувати об'єкти теорії категорій у вигляді шаблонів проектування на високому рівні абстракції [12,19].

Особливістю розробленого методу є підвищення вимог до рівня абстрактного мислення аналітиків, що займаються онтологічним моделюванням ПрО. При використанні розробленого методу вони повинні оволодіти математичними основами теорії категорій і ескізів та навичками використання своїх положень при представленні результатів інженерії знань. Як і в будь-якому способі формалізації знань, якісні результати можуть бути отримані тільки на основі досвіду тривалого практичного застосування розробленого методу.

Додатковими можливостями, що виникають при досягненні мети даного дослідження, є вирішення проблем інтелектуалізації комп'ютерних систем, підвищення якості розробки та ефективності використання таких систем на основі методів інженерії знань. Це дозволяє розробляти продуктивні ІС, які виконують завдання оперативної та аналітичної обробки даних, ефективної інженерії знань та вилучення адекватних моделей з наборів даних. Складові таких ІС впроваджені на ряді промислових підприємств, у наукову діяльність та освітній процес [11,12].

Труднощі застосування отриманих результатів в дослідженні результатів пов'язані з наступним фактором. Фахівці, які застосовують відповідну методику проектування протягом тривалого часу і отримують задовільні результати, можуть мати відповідні упередження до запропонованого методу і сумніватися в його практичній корисності. Разом з тим, зростаюча складність ІС і масштабу вирішуваних з їх допомогою завдань, зростаюча конкуренція в області інформаційних технологій, вимагають розробки нових підходів до проектування, заснованих на сучасних досягненнях наукової думки.

## 1.2 Категоріально-онтологічний підхід до моделювання та формування освітньої програми «Комп'ютерні науки та цифровий інтелект»

Сучасні освітні програми, в тому числі і в області інформаційних технологій, являють собою складний конгломерат розрізнених елементів освітнього контенту. Такі програми розробляються і функціонують в однаково

складних умовах для задоволення попиту роботодавців на компетентність майбутніх фахівців і для задоволення все більш складних і вимогливих вимог виробничого середовища одночасно [20]. Освітня програма «Комп'ютерні науки та цифровий інтелект» на магістерському рівні вимагає насичення її освітніх компонентів модулями, які за результатами їх вивчення дадуть можливість магістрам застосувати своє розуміння ролі та можливостей інформаційних технологій та сучасного алгоритмічного забезпечення для вирішення складних завдань цифровізації бізнес-процесів.

Для розробки та удосконалення освітньої програми в проектній групі запропоновано онтологічний підхід до моделювання предметної області освітньої діяльності [20]. Онтологічний підхід в даний час активно використовується вченими і практиками для формалізації знань про предметну область [21]. Однак його класичне використання викликає ряд проблем. Результати онтологічного моделювання дуже суб'єктивні, а самі моделі часто використовуються просто як тезауруси або таксономії. Метою роботи є використання онтологічного підходу до формалізації знань про освітній процес під час формування освітньої програми підготовки магістрів з різними спеціалізаціями (майнорами) підготовки.

Розроблення змісту підготовки магістрів у галузі ІТ потребує послідовного виконання таких завдань: формування типових виробничих функцій за класифікатором професій та видів економічної діяльності; визначення рівня підготовки магістра до виконання зазначених функцій та ключових компетентностей за цим освітньо-кваліфікаційним рівнем; розвиток цих компетентностей для сфери професійної діяльності; формування вмінь, що відрізняються від вимог, які пред'являються до навичок бакалавра; оволодіння складом і змістом дисциплін, в рамках яких формуються необхідні знання та вміння. Для вирішення цих завдань результати аналізу предметної області були представлені у вигляді таксономії освітньої діяльності з виділеними ознаками понять. Вона стала першим кроком на шляху до побудови онтологічної моделі формалізації цілей, процесів і об'єктів освітньої діяльності. У той же час

онтологічна модель, побудована в загальному вигляді на основі накопичених відомостей про роботу предметної області, має ряд істотних недоліків. При її розробці аналітик не зобов'язаний слідувати формальним правилам і обмеженням. Якість онтологічної моделі залежить від ефективності застосовуваних практик і є дуже суб'єктивною. Теорія категорій (КТ) має найважливішу можливість впровадити математичні основи, верифікацію результатів і демонстративну силу топологічних шаблонів проектування в процес інженерії знань. Математичний апарат цієї теорії дозволяє розробляти комутативні діаграми, в тому числі і для формалізації знань. Відповідно до запропонованого підходу розроблено категоріально-онтологічну модель освітньої діяльності з використанням різних об'єктів і теорем теорії категорій. Частково ця модель була використана для побудови онтологічної моделі необхідних знань, умінь і навичок для формалізації змісту освіти. Дисципліни та модулі до них були використані як специфічний контент для підготовки магістрів у сфері розвитку інформаційних технологій, формування та використання цифрового інтелекту. Ця модель була заповнена екземплярами сутностей. Потім, до його формального опису, на мові OWL/RDF, були застосовані запити в мові веб-правил семантичних запитів - SQWRL. Використання таких запитів дає можливість ефективно формувати перелік та зміст дисциплін та модулів для навчання студентів необхідним компетентностей.

1.3 Процес удосконалення кібербезпеки з використанням методів машинного навчання, як складової інформаційної підтримки діяльності на основі цифрового інтелекту

Сьогодні рівень кіберзлочинності зростає до тривожного рівня, тому вже включений до порядку денного національної безпеки та оборони практично всіх країн [22], в тому числі, України. Ці злочини є глобальною епідемією, яка вражає кожну комп'ютерну систему у світі. Профіль кіберзлочинця більше не пов'язаний з експертом і ентузіастом-хакером, який має на меті зламати безпеку для

тестування систем. Технічно розвинені країни зараз більше залучені до інцидентів у сфері безпеки з різним впливом (як через політичні, так і через економічні причини). У той же час злочинні організації, як правило, змінюють сферу своєї діяльності, щоб зробити свою злочинну практику більш витонченою. Кіберзлочинність стала більш професійною, розумною та прихованою [23]. Це призвело до зміни кількості нападів, які останніми роками трапляються ще частіше. Почастішали атаки, спрямовані на використання вразливостей, що існують в інформаційних системах, з боку критичних інфраструктур [23], а також зі стратегічних сфер, таких як енергетика або водопостачання, охорона здоров'я, транспорт або фінанси. Крім того, малі та середні підприємства (МСП) через свою слабкість та значимість у діяльності та економіці країни також є актуальними цілями. Атаки МСП спрямовані на порушення або переривання їх базових структур, що має величезний вплив як на суб'єкта господарювання, так і на безперервність його послуг, які, іноді, є важливими.

Таким чином, важливою складовою забезпечення цифрової обізнаності робітників та цифрової трансформації організаційно-технічних систем є підвищення рівня цифрового інтелекту випускників магістерських освітніх програм за рахунок освоєння ними компетентностей, пов'язаних з вміннями та навичками забезпечення кібербезпеки – впровадження заходів з кібербезпеки для захисту від загроз у цифровому середовищі. Ваговою складовою таких заходів, інформаційну підтримку яких повинні забезпечувати випускники освітньо-професійних програм (ОПП) спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», а особливо, ОПП «Комп'ютерні науки та цифровий інтелект», є удосконалення кібербезпеки інформаційних систем з використанням методів машинного навчання. Для того, щоб визначитись з необхідним вмістом освітніх компонентів даної ОПП в цьому аспекті підготовки, було досліджено процеси такого удосконалення, формалізовано алгоритми та підходи до її реалізації.

Удосконалення кібербезпеки інформаційних систем з використанням методів машинного навчання повинно виконуватися за рахунок його використання за наступними напрямками:

1. Автоматизоване виявлення загроз: машинне навчання дозволяє створити системи, які автоматично виявляють аномалії та потенційні загрози для інформаційних систем, підвищуючи швидкість реагування на атаки.
2. Прогнозування поведінки зловмисників: застосування методів машинного навчання допомагає визначати шаблони дій зловмисників, забезпечуючи можливість попередження атак на інформаційні системи.
3. Адаптивний захист: системи кібербезпеки, що використовують машинне навчання, можуть адаптуватися до нових видів загроз, навчаючись на льоту та оновлюючи свої захисні механізми.
4. Виявлення аномалій: методи машинного навчання дозволяють системам виявляти незвичайні патерни та аномалії у поведінці системи або користувачів, що може вказувати на потенційні загрози.
5. Зменшення хибних тривог: штучний інтелект у кібербезпеці спроможний зменшити кількість помилкових спрацювань систем безпеки, що дозволяє більш точно визначати загрози.
6. Удосконалення відновлення після атак: машинне навчання допомагає створювати системи, які вчаться із попередніх атак та швидко адаптуються для попередження майбутніх інцидентів.
7. Оптимізація захисту в реальному часі: застосування алгоритмів машинного навчання дозволяє створити системи, які аналізують та реагують на загрози у реальному часі, забезпечуючи миттєву відповідь на атаки.
8. Розширення області виявлення загроз: машинне навчання дозволяє розширити спектр виявлення загроз, охоплюючи раніше невідомі види атак.
9. Забезпечення автономності захисту: системи кібербезпеки, засновані на машинному навчанні, можуть функціонувати автономно, адаптуючись до змінних умов без необхідності постійного втручання.
10. Підвищення ефективності захисту: використання методів машинного навчання у кібербезпеці дозволяє створювати більш ефективні та інтелектуальні системи захисту, зменшуючи ймовірність успіху кібератак та мінімізуючи шкоду від інцидентів.

Наступний опис слугує основою для побудови структурно-функціональної схеми бізнес-процесу «Удосконалення кібербезпеки з використанням методів машинного навчання» у відповідній нотації:

1. Вхідні дані: дані, які поступають до процесу, наприклад, дані про загрози, інформація про системи безпеки тощо.
2. Аналіз загроз: цей етап включає методи машинного навчання для аналізу та виявлення потенційних загроз для інформаційних систем.
3. Розробка захисних стратегій: на основі результатів аналізу створюються стратегії захисту від виявлених загроз.
4. Впровадження систем захисту на основі впровадження рішень з кібербезпеки, які базуються на машинному навчанні.
5. Моніторинг та апгрейд: після впровадження системи кібербезпеки потрібно постійно моніторити для виявлення нових загроз та вдосконалення системи захисту.
6. Вихідні дані: результати та звіти, які включають в себе оновлені стратегії безпеки та відповіді на потенційні загрози.

Окремо треба зазначити, що система інформаційної підтримки удосконалення кібербезпеки інформаційних систем з використанням методів машинного навчання повинна базуватися на відповідній базі даних. Сучасний підхід для розпізнавання шахрайських дій та підозрілих операцій, в тому числі таких, що несуть загрозу кібербезпеці, полягає у створенні та відповідному використанні графових баз даних. Їх перевагою у порівнянні з звичними реляційними, або навіть документо-орієнтованими базами даних, полягає у відстежуванні послідовностей дій кіберзлочинців, які можуть бути представлені у вигляді графів взаємозв'язків та оброблені алгоритмами graph data science для визначення відповідних шаблонів на етапі машинного навчання, і швидкого їх пошуку в майбутньому.

Для кожного етапу розглянутого бізнес-процесу проаналізовані їх складові, послідовність виконання або взаємодії, побудовано відповідні діаграми активностей, запропоновано відповідні модулі для наповнення змістом освітніх

компонентів, які, після їх освоєння студентами галузі «Інформаційні технології», дозволять розвинути компетентності і досягнути рівня цифрового інтелекту, що дозволять вирішувати проблеми організації та впровадження засобів кібербезпеки на основі методів машинного навчання.

#### 1.4 Інформаційно-вимірювальна система контролю якості керамічної плитки на основі бази знань про вбудовування зображень виробів відповідного сорту

Як показує практика, найменш автоматизованою ділянкою підприємств з виробництва облицювальної плитки залишається ділянка сортування готової продукції (за критеріями, визначеними в технічних умовах і стандартах на конкретний вид продукції). В роботах [24, 25, 26] було розвинуто підходи до побудови інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) контролю якості керамічних виробів шляхом отримання та аналізу зображень зовнішнього вигляду керамічних виробів (облицювальних плиток), розглянуто питання отримання якісних зображень в умовах виробництва, проведено дослідження ознак фрагментів зображень, що належать до областей дефектів зовнішнього вигляду виробів, які дозволили визначити найбільш інформативні, з точки зору дослідників та для використаного корпусу зображень, ознаки. Побудова на основі відібраних ознак ІВС контролю якості виробів, із застосуванням нейронно-нечіткої мережі в якості класифікатора, яка обробляє вектори числових характеристик ознак та прогнозує оцінку якості зовнішнього вигляду, дозволила отримати достатньо стійкий до завад технологічного процесу результат та частково автоматизувати процес контролю виробів безпосередньо на конвеєрній лінії керамічного підприємства. Однак таке рішення, дослідно впроваджене на керамічному підприємстві ПрАТ «Зевс-Кераміка» м. Слов'янськ [27], виявило ряд проблем, що залишаються невирішеними на відповідному етапі розвитку ІВС. Так, застосування експертного відбору характеристик ознак фрагментів зображень, що відповідають дефектам поверхні плиток, призводить до

негнучкості системи контролю, складнощах її настроювання під час змін в технології виготовлення плиток, тому що ефективність застосування ознак при розв'язанні задачі класифікації плиток відповідає тільки конкретним навчальним вибіркам об'єктів контролю, і може швидко і суттєво погіршуватися в різних технологічних умовах. Відповідно, підбір та обґрунтування нових ознак потребує великих витрат часу та ресурсів. Окрім того, гарантій, що відібрані «вручну» (тобто шляхом досліджень за відповідними методиками [27]) ознаки та навчені на їх основі моделі є близькими до оптимальних, немає, в умовах обмеженості ресурсів на дослідження. Іншою проблемою є недостатня оперативність систем такого типу, яка виникає завдяки великим об'ємам різномірних обчислень запропонованих ознак сегментів зображень, що потребує відповідних обчислювальних потужностей та викликає затримки на конвеєрних лініях. В свою чергу, скорочення ознак, що обчислюються, знижує якість обробки даних до такого рівня, який не відповідає вимогам технічного контролю. Крім того, інформативність ознак, що запропоновані до використання в системі з розглянутою архітектурою, великою мірою залежать від масштабів зображення та масштабів самих дефектів, що викликає помилки при класифікації виробів.

Метою роботи є розробка підходу до створення інформаційно-вимірювальної системи контролю якості зовнішнього вигляду облицювальної плитки в процесі її виготовлення з використанням машинного зору, організованого на основі бази знань про вбудовування зображень виробів відповідного сорту та глибокої нейронної мережі.

Для досягнення цієї мети, потрібно: проаналізувати існуючі підходи до опису зображень поверхні виробів; можливості вбудовування фрагментів зображень та застосування векторної бази даних для швидкого пошуку близьких вбудовувань серед збережених та класифікованих фрагментів, і підтримки прийняття рішень про сорт виробу; розробити структурно-функціональну схему процесу аналізу та сортування для реалізації відповідного технічного рішення.

В процесі контролю якості поверхні (зовнішнього вигляду) облицювальних плиток шляхом обробки їх зображень, після сегментації зображення, виявлення

сегментів, що не входять до складу зображення бездефектної плитки, розпізнавання типу дефекту і оцінки його параметрів [26, 27], а також формування морфологічного опису переліку і координат дефектів на досліджуваній плитці, необхідно підтримати виконання важливого завдання – сортування плитки шляхом співвіднесення її зображення із зображенням плитки 1-го, 2-го сорту або бракованої. Це завдання є досить складним з наступних причин. В даний час існуючі стандарти сортування плиток [28] є застарілими у зв'язку зі швидкою зміною технології її виготовлення та застосування. Також, ці стандарти, як і весь процес сортування в цілому, вкрай суб'єктивні. Зокрема, ряд дефектів припустимі за умови, що вони непомітні на певній відстані від плитки. На процес сортування також впливають заводські регламенти і технічні вимоги, а також вимоги замовників і споживачів. У цих умовах недоцільним є використання алгоритмічного програмного забезпечення, що реалізує методи неглибокого машинного навчання. Навчання моделей на основі текстурних, контурних, кольорових ознак окремих сегментів на зображенні плитки, створення на основі цих моделей баз правил для виконання сортування плитки в реальному маркетинговому та виробничому процесі є складним і дорогим заходом з ненадійними результатами.

Автор розробки [27] запропонував використовувати емпіричну функцію інтенсивності потоку дефектів для кожної плитки для сортування плитки за результатами виявлення та розпізнавання її дефектів зовнішнього вигляду. Як і будь-яка емпірична функція, вона є результатом суб'єктивного аналізу та синтезу, який задовільно відповідає обмеженим умовам конкретного підприємства, і не може бути масштабованою без додаткових експериментальних досліджень.

Підхід, який запропоновано в даній роботі, базується на іншому методі узагальнення оцінки зовнішнього вигляду облицювальної плитки, а саме – вбудовуванню зображень наборів плиток, які розглядаються операторами-контролерами як такі, що належать до відповідного сорту готової продукції. Вбудовування [29] може бути виконано з залученням переднавчених глибоких нейронних мереж, що дозволяє розташувати зображення у багатовимірному

семантичному просторі, отримати векторний опис кожного зображення і використати швидкий пошук в такому просторі для з'ясування приналежності зображення плитки на поточному етапі виготовлення до зображень плиток, які належать відповідному сорту. Сортність взірцевих плиток визначається до етапу отримання їх вбудовувань, на основі вимог замовників та нормативних документів підприємств. Такий підхід дозволяє позбутися більшості проблем, які виникають при розробці ознак зображень з використанням складних математичних моделей, що базуються на цих ознаках, та суб'єктивних дослідних обґрунтувань їх інформативності і адекватності.

Запропоновано рішення з удосконалення ІВС контролю якості зовнішнього вигляду керамічних виробів з використанням бази знань про зображення дефектів поверхонь, яка формується на основі векторного представлення дефектів. Формування векторного представлення пропонується забезпечити за допомогою наперед навченої глибокої згорткової нейронної мережі (приклад дослідження ефективності видобутку високорівневих ознак зображень плитки з використанням згорткових мереж наведено у [30]), що не буде потребувати додаткових досліджень ознак і дозволить виконати вбудовування (embedding) зображень, що обробляються, у багатовимірний семантичний простір. Це, в свою чергу, дасть можливість представляти зображення плиток, або окремих типів дефектів на їх поверхні, у вигляді векторів (стовпців координат зображень у цьому просторі), а базу знань про можливі дефекти, або про припустимі зображення плиток відповідного сорту, організувати під управлінням спеціалізованої (векторної) системи управління базами даних (СУБД).

Використання векторної СУБД спрощує та прискорює пошук близьких за вбудовуванням зображень дефектів, якщо ІВС зорієнтована на пошук окремих дефектів на поверхні. В такому випадку, після знаходження відповідних сегментів, потрібно далі виконати детальну обробку контурів, текстури та кольорового забарвлення сегменту зображення, щоб далі навчати класифікатор, наприклад, на основі нейронно-нечіткої мережі. Однак такий підхід не компенсує раніше розглянутих недоліків, пов'язаних з великим обчислювальним

навантаженням при режимі контролю в реальному масштабі часу на технологічних лініях.

Тому пропонується застосувати підхід до створення ІВС, структурно-функціональна схема роботи якої у вигляді діаграми в нотації SADT представлена на рисунку 1.3. SADT (Structured Analysis and Design Technique) – методологія функціонального моделювання, яка описує систему як мережу функцій (активностей), пов'язаних між собою потоками даних та керування [31]. Діаграма на рисунку 1.3 відображає процес аналізу та сортування керамічної плитки з використанням глибокої згорткової нейронної мережі (Deep CNN) та векторної бази даних (наприклад, Weavate або Faiss [32]). Процес поділений на два основні етапи.

Етап 1. Етап навчання (підготовки векторної бази даних з вбудовуваннями зображень облицювальних плиток відповідного сорту): створення та наповнення бази даних векторними представленнями (embeddings) зображень взірцевих плиток. Цей етап включає в себе наступні активності та сутності, які беруть в них участь:

- A1: Векторизація (embedding) взірцевих зображень;
- A2: Поповнення векторної бази даних.

Етап 2: Етап сортування на технологічній лінії (підтримки прийняття рішень про якість виробу). Цей етап включає в себе наступні активності:

- A4: Векторизація (embedding) вхідних зображень, отриманих на технологічній лінії;
- A3: Обробка запиту до векторної СУБД на пошук близьких зображень;
- A5: Підтримка прийняття рішень про якість виробу, за результатами пошуку в базі даних та обробки цього результату.

Особливостями запропонованого технічного рішення для реалізації ІВС контролю якості зовнішнього вигляду облицювальної плитки є використання глибокої згорткової нейронної мережі з попередньо навченими параметрами, яка

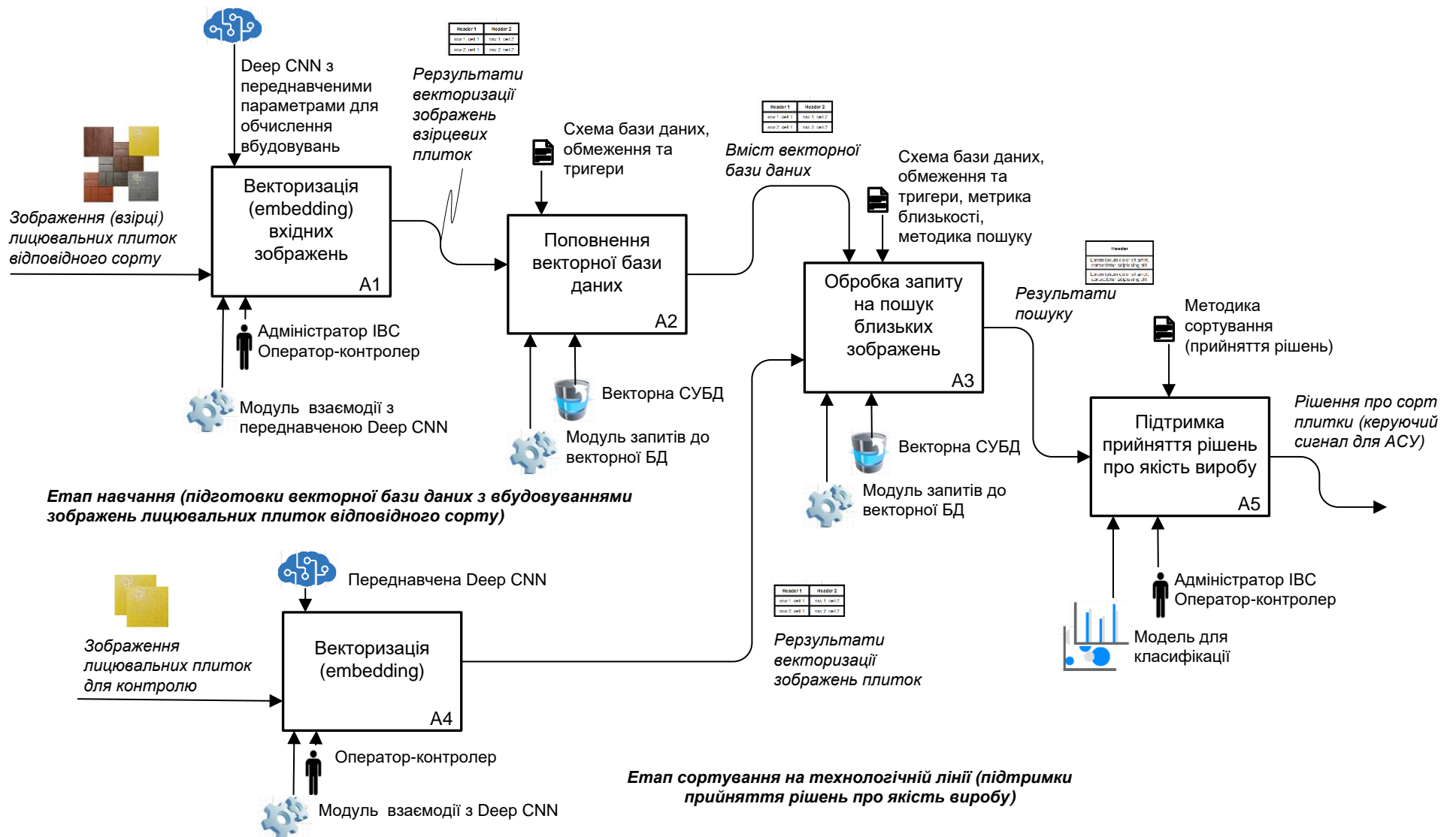


Рисунок 1.3 – Структурно-функціональна схема роботи IBC, що забезпечує процес аналізу та сортування керамічної плитки з використанням глибокої згортової нейронної мережі (Deep CNN) та векторної бази даних

забезпечує обчислення вбудовувань для зображень та дозволяє ефективно представляти зображення у багатовимірному семантичному просторі, що спрощує та прискорює пошук та порівняння зображень облицювальних плиток на конвеєрі та вірцевих плиток у базі даних. Модуль підтримки прийняття рішень ІВС може використовувати результати пошуку для автоматичного сортування плитки, визначаючи результат мажоритарного голосування для групи найближчих зображень, що відповідають сорту, визначеному при наповненні бази даних операторами технологічного процесу та експертами предметної області.

Запропоновано новий підхід до створення інформаційно-вимірювальної системи контролю якості, який базується на використанні глибокої згорткової нейронної мережі з попередньо навченими параметрами, вбудовуванні (embedding) зображень у багатовимірний семантичний простір, застосуванні векторної бази даних для швидкого пошуку схожих зображень. Розроблена структурно-функціональна схема інформаційно-вимірювальної системи забезпечує ефективну векторизацію зображень еталонних зразків та контрольованих виробів, швидкий пошук близьких за характеристиками зображень у базі даних, автоматизовану підтримку прийняття рішень щодо сортування продукції. Запропоноване технічне рішення дозволяє уникнути проблем, пов'язаних з експертним відбором характеристик зображень та ознак їх сегментів в існуючих системах, зменшити обчислювальне навантаження при контролі в реальному часі, підвищити гнучкість системи при зміні технологічних умов виробництва, забезпечити об'єктивність процесу контролю якості. Практична цінність розробленої системи полягає в зниженні витрат на залучення фахівців-контролерів, зменшенні втрат від помилок сортування, підвищенні ефективності управління виробничим процесом, можливості інтеграції з автоматизованою системою управління підприємством.

## 1.5 Дослідження щодо властивостей ультраметричних просторів. Простір Дельомма-Лафлама-Пузе-Зауера як групоїд

В даному розділі наведені теоретичні дослідження щодо властивостей ультраметричних просторів. Як було показано в попередніх дослідженнях (попередній звіт), існує зв'язок помічених дерев з локальними скінченими ультраметричними просторами. Результати цього дослідження дозволять застосовувати математичний апарат теорії ультраметричних просторів до виявлення властивостей графів типу поміченого дерева.

Дані дослідження можуть бути використані в комп'ютерних науках при проектуванні графових баз даних.

### 1.5.1 Вступ. Ультраметрика та псевдоультраметрика

Позначимо через  $\mathbb{R}^+$  множину всіх невід'ємних дійсних чисел.

**Означення 1.1.** Нехай  $X$  - непорожня множина. *Ультраметрикою* на  $X$  називається функція  $d: X \times X \rightarrow \mathbb{R}^+$  така, що для всіх  $x, y, z \in X$ :

- $(d(x, y) = 0) \Leftrightarrow (x = y)$  *властивість позитивності*;
- $d(x, y) = d(y, x)$  *властивість симетрії*;
- $d(x, y) \leq \max\{d(x, z), d(z, y)\}$  *сильна нерівність трикутника*.

Якщо  $d$  є ультраметричним на  $X$ , то ми скажемо, що  $(X, d)$  є ультраметричним простором.

Наступний ультраметричний простір був введений Дельоммом, Лафламом, Пузе та Зауером, і саме цей простір є основним об'єктом нашого дослідження.

Визначимо відображення  $d^+: \mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  як

$$d^+(p, q) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } p = q \\ \max(p, q) & \text{інакше} \end{cases} \quad (1.1)$$

Тоді  $d^+$  - це ультраметрика на  $\mathbb{R}^+$ .

Різноманітні властивості ультраметричних просторів вивчалися в [33, 38, 39, 43–54, 56–62, 64, 68, 69, 73, 74, 76, 77]. Важливість простору  $(\mathbb{R}^+, d^+)$  та його підпросторів у теорії ультраметричних просторів відзначив Йошіто Ішікі у статті [52].

Корисним узагальненням поняття ультраметрики є поняття псевдоультраметрики.

**Означення 1.2.** Нехай  $X$  - непорожня множина і нехай  $d: X \times X \rightarrow \mathbb{R}^+$  - симетрична функція, така, що  $d(x, x) = 0$  виконується для кожного  $x \in X$ . Функція  $d$  називається *псевдоультраметрикою* на  $X$ , якщо вона задовольняє сильної нерівності трикутника.

Якщо  $d$  є псевдоультраметрикою на  $X$ , то  $(X, d)$  називається псевдоультраметричним простором.

**Означення 1.3.** Функція  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  називається зберігаючою ультраметрику (*зберігаючою псевдоультраметрику*), якщо  $(X, f \circ d)$  є ультраметричним простором (псевдоультраметричним простором) для кожного ультраметричного (псевдоультраметричного) простору  $(X, d)$

*Зауваження 1.1.* Тут ми пишемо  $f \circ d$  для відображення

$$X \times X \xrightarrow{d} \mathbb{R}^+ \xrightarrow{f} \mathbb{R}^+.$$

Позначимо через  $\mathbf{P}_U$  і множину всіх ультраметрично-зберігаючих функцій і, відповідно, через  $\mathbf{P}_{PU}$  множину всіх псевдоультраметрично-зберігаючих функцій. Також будемо використовувати наступні позначення:

$\mathbf{In}(\mathbf{P}_U)$  - множина всіх ін'єктивних  $f \in \mathbf{P}_U$ ;

$\mathbf{In}(\mathbf{P}_{PU})$  - множина всіх ін'єктивних  $f \in \mathbf{P}_{PU}$ ;

$\mathbf{Ai}(\mathbf{P}_{PU})$  - множина всіх  $f \in \mathbf{P}_{PU}$  з ін'єктивним обмеженням  $f|_{\mathbb{R}^+ \setminus f^{-1}(0)}$ ;

**ASI** - набір всіх  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  з  $f(0) = 0$  і строго зростаючим обмеженням  $f|_{\mathbb{R}^+ \setminus f^{-1}(0)}$ ;

**SI** - множина всіх строго зростаючих  $f \in \mathbf{ASI}$ ;

**End**( $S, *$ ) - множина всіх ендоморфізмів групоїда ( $S, *$ );

**Mon**( $S, *$ ) - множина всіх мономорфізмів ( $S, *$ );

**Aut**( $S, *$ ) - множина всіх автоморфізмів ( $S, *$ );

Основною нашою метою є доведення рівностей

$$\mathbf{ASI} = \mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+), \quad (1.2)$$

$$\mathbf{SI} = \mathbf{Mon}(\mathbb{R}^+, d^+). \quad (1.3)$$

Наступний пункт містить деякі означення та результати, пов'язані з групоїдами, зберігаючими ультраметрику (ультраметрично-зберігаючими) функціями та зберігаючими псевдоультраметрику (псевдоультраметрично-зберігаючими) функціями.

Основні результати наведено в Розділі 3. Рівності (1.2) та (1.3) доведено в теоремах 3.1 та 3.3 відповідно.

Теорема 3.4 показує, що  $\mathbf{Aut}(\mathbb{R}^+, d^+)$  збігається з множиною всіх самогомеоморфізмів  $\mathbb{R}^+$ .

### 1.5.2 Попередні дані про ультраметрично-зберігаючі функції та групоїди

Нагадаємо, що  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  зростаюча, якщо

$$(a \geq b) \Rightarrow (f(a) \geq f(b))$$

зберігається для всіх  $a, b \in \mathbb{R}^+$ . Більш того,  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  строго зростаюча, якщо

$$(a > b) \Rightarrow (f(a) > f(b))$$

виконується для всіх різних  $a, b \in \mathbb{R}^+$

Кажуть, що функція  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  є аменабельною, якщо  $f^{-1}(0) = \{0\}$ .

П. Понсгрійам та І. Термвуттіпонг знайшли наступну просту характеристику  $\mathbf{P}_U$  в [64].

**Теорема 2.1.** Функція  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  є ультраметрично-зберігаючою тоді і тільки тоді, коли  $f$  є аменабельною та зростаючою.

Наступне розширення теореми 5 було отримано в роботі [40].

**Твердження 2.1.** Наступні умови еквівалентні для кожної функції  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$

- $f$  зростає, і справедливо  $f(0) = 0$ .
- $f$  є псевдоультраметрично-зберігаючою.

*Зауваження 2.1.* Множина  $\mathbf{P}_U$  ультраметрично-зберігаючих функцій також досліджувалась у [34, 35, 41, 55] та у [75].

З твердження 2.1 та визначення  $\mathbf{SI}$  випливає наступний наслідок.

**Наслідок 2.1.** *Справедлива рівність*

$$\mathbf{SI} = \mathbf{In}(\mathbf{P}_U). \quad (1.4)$$

*Доведення.* Для доведення (2.1) достатньо зазначити, що зростаюча функція  $f$  є строго зростаючою тоді і тільки тоді, коли  $f$  є ін'єктивною.

**Лема 9.** Розглянемо довільне  $f \in \mathbf{In}(\mathbf{P}_U)$ . Тоді  $f$  є ультраметрично-зберігаючою,

$$f \in \mathbf{P}_U. \quad (1.5)$$

*Доведення.* З  $f \in \mathbf{In}(\mathbf{P}_U)$  випливає, що  $f \in \mathbf{P}_U$ . Оскільки  $f$  належить  $\mathbf{P}_U$ , то  $f$  зростає і рівність

$$f(0) = 0 \tag{1.6}$$

виконується згідно твердженню . З ін'єктивності  $f$  та (1.6) випливає, що

$$f^{-1}(0) = \{0\}.$$

Таким чином,  $f$  є аменебельною і зростаючою. Отже, (1.5) випливає з теореми 2.1

З леми (2.1) випливає наступне твердження, яке буде використано в пункті 3 нижче.

**Твердження 2.2.** *Справедлива рівність*

$$\mathbf{In}(\mathbf{P}_{\mathbf{P}_U}) = \mathbf{In}(\mathbf{P}_U) . \tag{1.7}$$

*Доведення.* З теореми (2.1) і твердження (2.1) випливає включення

$$\mathbf{In}(\mathbf{P}_{\mathbf{P}_U}) \supseteq \mathbf{In}(\mathbf{P}_U). \tag{1.8}$$

Припустимо тепер, що  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  є довільним елементом множини  $\mathbf{In}(\mathbf{P}_{\mathbf{P}_U})$  . Тоді належність

$$f \in \mathbf{P}_U \tag{1.9}$$

виконується за лемою 2.1. Оскільки  $f$  є ін'єктивною то з (1.9) випливає

$$f \in \mathbf{In}(\mathbf{P}_U).$$

Отже, справедливе включення

$$\mathbf{In}(\mathbf{P}_{\mathbf{P}_U}) \subseteq \mathbf{In}(\mathbf{P}_U)$$

Останнє включення та (1.8) дають (1.7).

Згадаймо деякі визначення, пов'язані з поняттям групоїда.

**Означення 2.1.** Групоїдом називається пара  $(S, *)$ , що складається з множини  $S$  та бінарної операції  $*$ :  $S \times S \rightarrow S$ , яка називається композицією на  $S$ . Кажуть, що елемент  $e \in S$  групоїда  $(X, *)$  є одиницею  $S$ , якщо виконуються рівності

$$e * s = s * e = s$$

для кожного  $s \in S$ .

*Зауваження 12.* Ніколя Бурбакі використовує термін "унітарна магма" для позначення групоїда з одиничним елементом (див. Означення 2 в [36, с.12]).

Легко довести, що для довільного групоїда  $(S, *)$  одиничний елемент є єдиним, якщо він існує, див., наприклад, [72], с. 111, теорема 1. Надалі ми позначатимемо такий елемент як  $1_S$ .

Розглянемо базовий для нас приклад групоїда.

**Приклад 2.2.** Нехай  $(\mathbb{R}^+, d^+)$  - ультраметричний простір, визначений формулою (1.1). Тоді  $(\mathbb{R}^+, d^+)$  - групоїд з композицією  $d^+$  та одиничним елементом

$$1_{\mathbb{R}^+} = 0. \tag{1.10}$$

Щоб переконатися, що (1.10) виконується, достатньо зауважити, що рівності

$$d^+(x, 0) = x = d^+(0, x)$$

впливають з (1.1) для кожного  $x \in \mathbb{R}^+$ .

**Означення 2.2.** Групоїд  $(S, *)$  називається моноїдом, якщо  $S$  містить одиничний елемент, і операція  $*$  є асоціативною.

**Приклад 2.2.** Визначимо композицію  $\vee$  на множині  $\mathbb{R}^+$  у вигляді

$$x \vee y = \max\{x, y\}$$

для всіх  $x, y \in \mathbb{R}^+$ . Тоді  $(\mathbb{R}^+, \vee)$  - моноїд з елементом тотожності

$$1_{\mathbb{R}^+} = 0. \quad (1.11)$$

Щоб переконатися, що  $(\mathbb{R}^+, \vee)$  дійсно є моноїдом і (1.11) виконується, достатньо зауважити, що рівності

$$\max\{\{x, y\}, z\} = \max\{x, y, z\} = \max\{x, \{y, z\}\}$$

і

$$\max\{x, 0\} = \max\{0, x\} = x$$

задовольняються для всіх  $x, y, z \in \mathbb{R}^+$ .

**Твердження 2.3.** Групоїд  $(\mathbb{R}^+, d^+)$  не є моноїдом.

*Доведення.* Дійсно, нехай  $x, y \in \mathbb{R}^+$  і нехай подвійна нерівність

$$x > y > 0$$

виконується. Тоді, використовуючи (1.1) та (2.9), отримаємо

$$d^+(d^+(x, x), y) = d^+(0, y) = y \neq 0 = d^+(x, x) = d^+(x, d^+(x, y)).$$

Таким чином, композиція  $d^+$  не є асоціативною.

**Означення 2.3.** Нехай  $S = (S, *, 1_S)$  - групоїд. Тоді відображення  $\Phi: S \rightarrow S$  називається *ендоморфізмом*, якщо для всіх  $x, y \in S$  маємо

$$\Phi(x * y) = \Phi(x) * \Phi(y)$$

і рівність

$$\Phi(1_S) = 1_S$$

має місце. Ін'єктивний ендоморфізм  $S \rightarrow S$  називається *мономорфізмом*  $S$ . Бієктивні ендоморфізми  $S$  називаються *автоморфізмами*  $S$ .

**Лема 2.2.** Функція  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  є ендоморфізмом групоїда  $(\mathbb{R}^+, d^+)$  тоді і тільки тоді, коли  $f(0) = 0$  і рівність  $f(d^+(x, y)) = d^+(f(x), f(y))$  виконується для всіх  $x, y \in \mathbb{R}^+$ .

*Доведення.* Це випливає з означень 2.1 та 2.3

### 1.5.3 Основні результати

Звернемося тепер до множини  $\mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+)$  ендоморфізмів групоїда  $(\mathbb{R}^+, d^+)$ .

**Лема 3.1.** *Має місце включення*

$$\mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+) \subseteq \mathbf{P}_{\text{PU}}. \quad (1.12)$$

*Доведення.* Розглянемо довільний ендоморфізм  $f$  групоїда  $(\mathbb{R}^+, d^+)$

$$f \in \mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+). \quad (1.13)$$

Щоб довести включення (3.1), потрібно показати, що

$$f \in \mathbf{P}_{\text{PU}}. \quad (1.14)$$

За твердженням 3.1 включення (1.14) має місце, якщо  $f$  зростає і задовольняє рівність

$$f(0) = 0. \quad (1.15)$$

Рівність (1.15) випливає з Означення 2.3 та включення (3.2). Таким чином, достатньо довести, що  $f$  є зростаючою функцією, тобто

$$f(x) \leq f(y) \tag{1.16}$$

виконується завжди, коли  $x, y \in \mathbb{R}^+$  та

$$x \leq y. \tag{1.17}$$

Розглянемо довільні  $x, y \in \mathbb{R}^+$ , що задовольняють (1.17). Згідно Леми 2.2 з включення (3.2) випливає рівність

$$f(d^+(x, y)) = d^+(f(x), f(y)). \tag{1.18}$$

Використовуючи (1.1) та (1.17) отримуємо рівність  $d^+(x, y) = y$ . Остання рівність і (1.18) дають нам

$$f(y) = d^+(f(x), f(y)). \tag{1.19}$$

Припустимо спочатку, що  $f(y) = 0$ . Тоді ми можемо переписати (1.18) як

$$d^+(f(x), f(y)) = 0. \tag{1.20}$$

Оскільки  $d^+$  є ультраметричним, (1.20) виконується, якщо

$$f(x) = f(y),$$

звідки випливає (1.16). Якщо  $f(y) \neq 0$ , то з (1.19) випливає рівність

$$f(y) = \max\{f(x), f(y)\}. \tag{1.21}$$

Нерівність (1.16) випливає з (1.1) та (1.21).

Доведення завершено.

Наступний приклад показує, що  $\mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+)$  є нетривіальною підмножиною  $\mathbf{P}_{PU}$ .

**Приклад 20.** Нехай  $a$  - довільна точка  $(0, \infty)$ . Визначимо  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  як

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{якщо } t = 0 \\ a & \text{інакше.} \end{cases}$$

З твердження 2.1 випливає, що  $f \in \mathbf{P}_{PU}$ . Припустимо, що  $f$  є ендоморфізмом  $(\mathbb{R}^+, d^+)$ . Тоді, за лемою 2.2, виконується рівність

$$f(d^+(x, y)) = d^+(f(x), f(y)) \quad (1.21)$$

виконується для всіх  $x, y \in \mathbb{R}^+$ . Зокрема, для  $x = 0$  та  $y = 1$ , використовуючи (1.1), отримаємо

$$f(a) = f(d^+(0, 1)) = d^+(f(0), f(1)) = d^+(0, a) = a. \quad (1.22)$$

Аналогічно, якщо  $x = 1$  і  $y = 2$ , то, використовуючи (1.1), отримаємо

$$f(a) = f(d^+(1, 2)) = d^+(f(1), f(2)) = d^+(a, a) = 0. \quad (1.23)$$

З (1.22) та (1.23) випливає, що  $a = 0$ , на відміну від  $a > 0$ . Таким чином, маємо

$$f \in \mathbf{P}_{PU} \quad \text{та} \quad f \notin \mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+).$$

Аналізуючи приклад (1.10), ми можемо довести наступну лему.

**Лема 3.2.** Нехай  $a \in (0, \infty)$  і нехай  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  - функції такі, що  $f(0) = 0$  і  $f(x) = f(y) = a$  для деяких різних  $x, y \in (0, \infty)$ . Тоді  $f$  не є ендоморфізмом групоїда  $(\mathbb{R}^+, d^+)$ ,  $f \notin \mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+)$ .

**Лема 3.3.** *Справедливе включення*

$$\mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+) \subseteq \mathbf{ASI}. \quad (1.24)$$

*Доведення.* Розглянемо довільну функцію

$$f \in \mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+). \quad (1.25)$$

Ми повинні показати, що

$$f \in \mathbf{ASI}. \quad (1.26)$$

Припустимо, що навпаки

$$f \notin \mathbf{ASI}. \quad (1.27)$$

За лемою 3.1, з належності (1.25) випливає

$$f \in \mathbf{P}_{\text{PU}}. \quad (1.28)$$

Тепер, використовуючи (1.28) і твердження 2.1, отримуємо, що  $f$  зростає і задовольняє  $f(0) = 0$ . З (1.27) випливає, що обмеження  $f$  на множині  $\mathbb{R}^+ \setminus f^{-1}(0)$  не є строго зростаючим. Зростаюча функція є строго зростаючою, якщо вона є ін'єктивною функцією. Таким чином,  $f|_{\mathbb{R}^+ \setminus f^{-1}(0)}$  не є ін'єктивною функцією. Отже, існують  $a \in (0, \infty)$  та  $x, y \in \mathbb{R}^+ \setminus f^{-1}(0)$  такі, що

$$f(x) = f(y) = a. \quad (1.29)$$

Рівність  $f(0) = 0$  передбачає

$$\mathbb{R}^+ \setminus f^{-1}(0) \subseteq (0, \infty).$$

Отже, точки  $a, x$  та  $y$  належать  $(0, \infty)$ . Тепер, застосовуючи Лему 3.2, отримаємо

$$f \notin \mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+)$$

на відміну від (1.25). Отже, (1.26) справедлива, звідки випливає (1.24). Доведення завершено.

**Лема 3.4.** *Справедлива рівність*

$$\mathbf{ASI} = \mathbf{Ai}(\mathbf{P}_{\mathbf{PU}}).$$

*Доведення.* Нехай  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  - зростаюча функція, така що  $f(0) = 0$ . Тоді обмеження  $f|_{\mathbb{R}^+ \setminus f^{-1}(0)}$  строго зростаюче, якщо це обмеження ін'єктивне.

Наступна теорема є першим основним результатом розділу.

**Теорема 3.1.** *Справедлива рівність*

$$\mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+) = \mathbf{ASI} = \mathbf{Ai}(\mathbf{P}_{\mathbf{PU}}). \quad (1.30)$$

*Доведення.* За Лемою 3.4 маємо рівність

$$\mathbf{ASI} = \mathbf{Ai}(\mathbf{P}_{\mathbf{PU}}).$$

Більше того, Лема 3.3 дає нам включення

$$\mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+) \subseteq \mathbf{ASI}.$$

Звідси, (1.30) виконується, якщо

$$\mathbf{ASI} \subseteq \mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+). \quad (1.31)$$

Для доведення (1.31) розглянемо довільну функцію  $f \in \mathbf{ASI}$ . Достатньо показати, що

$$f \in \mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+). \quad (1.32)$$

За Лемою 2.2 приналежність (1.32) має місце, якщо

$$f(d^+(x, y)) = d^+(f(x), f(y)) \quad (1.33)$$

виконується для всіх  $x, y \in \mathbb{R}^+$ .

Розглянемо довільні  $x, y \in \mathbb{R}^+$ . Припустимо спочатку, що

$$x, y \in f^{-1}(0). \quad (1.34)$$

Припустимо, не втрачаючи загальності, що

$$x \geq y.$$

Тоді  $d^+(x, y) = x$  внаслідок (1.1) і маємо

$$f(x) = f(y) = 0 \quad (1.35)$$

внаслідок (1.34).

Тепер, використовуючи (1.34) і (1.35), отримаємо (1.32),

$$f(d^+(x, y)) = f(x) = 0 = d^+(0, 0) = d^+(f(x), f(y)).$$

Припустимо тепер, що рівно одна з точок  $x, y$  належить  $f^{-1}(0)$ . Не втрачаючи загальності, нехай  $x \in \mathbb{R}^+ \setminus f^{-1}(0)$  і  $y \in f^{-1}(0)$ . Тоді маємо

$$f(x) > 0 \quad \text{and} \quad f^{-1}(y) = 0. \quad (1.36)$$

Приналежність  $f \in \mathbf{ASI}$  означає, що  $f$  зростає. Отже, з (1.36) випливає нерівність

$$d^+(f(x), f(y)) = f(x). \quad (1.37)$$

Тепер, використовуючи (1.36), (1.37) та (1.1), отримаємо

$$f(d^+(x, y)) = f(x) \quad (1.38)$$

і

$$d^+(f^+(x), f^+(y)) = f(y). \quad (1.39)$$

Таким чином, (1.39) виконується. Для завершення доведення (1.32) залишилось розглянути випадок, коли

$$x, y \in \mathbb{R}^+ \setminus f^{-1}(0). \quad (1.40)$$

Якщо  $x = y$ , то  $f(x) = f(y)$  і, відповідно, маємо

$$f(d^+(x, y)) = f(0) = 0 = d^+(f(x), f(y)),$$

що означає (1.32). Припустимо, що  $x \neq y$ . Без втрати загальності, нехай  $x > 0$

Тоді з (1.40) випливає

$$f(x) > f(y).$$

Тому справедливі (1.38) і (1.39).

Таким чином, рівність (3.23) справедлива для всіх  $x, y \in \mathbb{R}^+$ , що означає справедливість (3.22).

Доведення завершено.

Наступна теорема була доведена в [42].

**Теорема 25.** Множини  $\mathbf{End}(\mathbb{R}^+, \mathcal{V})$  та  $\mathbf{P}_{PU}$  співпадають,

$$\mathbf{End}(\mathbb{R}^+, \mathcal{V}) = \mathbf{P}_{PU}. \quad (1.41)$$

З цієї теореми випливає наступна лема.

**Лема 3.5.** Справедлива рівність

$$\mathbf{Mon}(\mathbb{R}^+, \mathcal{V}) = \mathbf{In}(\mathbf{P}_{PU}) \quad (1.42).$$

*Доведення.* Рівність (1.42) випливає з (1.41) та означень  $\mathbf{Mon}(\mathbb{R}^+, \mathcal{V})$  і  $\mathbf{In}(\mathbf{P}_{PU})$

Наступна теорема є другим основним результатом роботи.

**Теорема 3.3.** Справедливі рівності

$$\mathbf{Mon}(\mathbb{R}^+, d^+) = \mathbf{SI} = \mathbf{In}(\mathbf{P}_U) = \mathbf{In}(\mathbf{P}_{PU}) = \mathbf{Mon}(\mathbb{R}^+, \mathcal{V}). \quad (1.43)$$

*Доведення.* Рівність

$$\mathbf{Mon}(\mathbb{R}^+, \mathcal{V}) = \mathbf{In}(\mathbf{P}_{PU})$$

було доведено у Лемі 3.5. Лема 2.1 і твердження 2.2 дають рівності

$$\mathbf{SI} = \mathbf{In}(\mathbf{P}_U) = \mathbf{In}(\mathbf{P}_{PU}).$$

Отже, (1.43) виконується, якщо

$$\mathbf{Mon}(\mathbb{R}^+, d^+) = \mathbf{SI}. \quad (1.44)$$

З теореми 3.1 випливає рівність

$$\mathbf{End}(\mathbb{R}^+, d^+) = \mathbf{ASI}.$$

Остання рівність і Означення 2.3 дають нам

$$\mathbf{Mon}(\mathbb{R}^+, d^+) = \{f \in \mathbf{ASI}: f \text{ is injective}\}. \quad (1.45)$$

Тепер, використовуючи означення множин  $\mathbf{ASI}$  та  $\mathbf{SI}$ , бачимо, що

$$\mathbf{SI} = \{f \in \mathbf{ASI}: f \text{ is injective}\}. \quad (1.46)$$

Рівність (1.44) випливає з рівностей (1.45-1.46).

Доведення завершено.

**Наслідок 3.1.** Функція  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  є мономорфізмом групоїда  $(\mathbb{R}^+, d^+)$  тоді і тільки тоді, коли  $f$  є аменабельною і строго зростаючою.

*Доведення.* Це випливає з (3.33) і теореми 2.1.

Наша наступна мета - охарактеризувати множину  $\mathbf{Aut}(\mathbb{R}^+, d^+)$  всіх автоморфізмів групоїда  $(\mathbb{R}^+, d^+)$ .

**Лема 3.6.** Нехай  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  зростає. Для кожного  $x_0 \in (0, \infty)$  запишемо  $f(x_0 + 0) := \inf\{f(x): x \in (x_0, \infty)\}$ , та  $f(x_0 - 0) := \sup\{f(x): x \in [0, x_0)\}$  і, крім

того, позначимо через  $f(0+0)$  інфімум множини  $\{f(x): x \in (0, \infty)\}$ ,  $f(0+0) := \inf\{f(x): x \in (0, \infty)\}$ . Тоді  $f$  є неперервною функцією на  $\mathbb{R}^+$  тоді і тільки тоді, коли  $f(0) = f(0+0)$ , та рівності  $f(x_0-0) = f(x_0) = f(x_0+0)$  виконуються для кожного  $x_0 \in (0, \infty)$ .

Для доказу див. [63, с.204-205].

Наступна лема впливає безпосередньо з теореми 5 (див. с. 338-339).

**Лема 3.7.** Відображення  $f: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  є самогомеоморфізмом  $\mathbb{R}^+$  тоді і тільки тоді, коли  $f(\mathbb{R}^+) = \mathbb{R}^+$  і  $f$  строго монотонна і неперервна на  $\mathbb{R}^+$ .

*Зауваження 3.1.* У Лемі 3.7 та теоремі 3.4 ми розглядаємо  $\mathbb{R}^+$  як топологічний простір з топологією, що визначається звичайною метрикою

$$d(x, y) = |x - y|, \quad \text{for } x, y \in \mathbb{R}^+.$$

**Теорема 3.4.** Наступні твердження еквівалентні для кожної функції  $F: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$ .

- i.  $F \in \mathbf{Aut}(\mathbb{R}^+, d^+)$ .
- ii.  $F$  строго зростає і задовольняє рівності  $F(\mathbb{R}^+) = \mathbb{R}^+$ .
- iii.  $F$  є самодостатнім гомеоморфізмом  $\mathbb{R}^+$ .

*Доведення.* (i)  $\Rightarrow$  (ii). Нехай  $F$  належить  $\mathbf{Aut}(\mathbb{R}^+, d^+)$ . Тоді

$$F \in \mathbf{Mon}(\mathbb{R}^+, d^+)$$

виконується і, отже,  $F$  строго зростає за Наслідком 3.1. Справедливість (1.47) впливає з Означення (ii). Таким чином, (ii) виконується.

(ii)  $\Rightarrow$  (iii). Нехай (ii) справедливо. Оскільки  $F$  строго зростає, то  $F$  строго монотонна. Крім того, (3.37) впливає з твердження (ii). Таким чином, за Лемою 3.7, твердження (iii) справедливе, якщо  $F$  неперервна.

Припустимо, навпаки, що  $F$  - розривна функція. Тоді, за Лемою 3.6,

$$f(0) < f(0 + 0) \quad (1.48)$$

або існує  $x_0 \in (0, \infty)$  таке, що

$$f(x_0 - 0) < f(x_0 + 0). \quad (1.49)$$

Якщо виконується (1.48), то за допомогою (1.16) отримаємо рівність

$$(f(0), f(0 + 0)) \cap f(\mathbb{R}^+) = \emptyset \quad (1.50)$$

Де

$$(f(0), f(0 + 0)) = \{x \in \mathbb{R}^+ : f(0) < x < f(0 + 0)\}. \quad (1.51)$$

Інтервал  $(f(0), f(0 + 0))$  непорожній згідно (1.48). Отже,  $F(\mathbb{R}^+)$  є нетривіальною підмножиною  $\mathbb{R}^+$ ,

$$F(\mathbb{R}^+) \subsetneq \mathbb{R}^+ \quad (1.52)$$

всупереч (1.47).

Якщо нерівність (1.49) виконується для деякої точки  $x_0 \in (0, \infty)$ , то, міркуючи аналогічно, можна довести, що (1.52) також виконується. Оскільки (1.52) суперечить (1.47), то виконується твердження (iii).

(iii)  $\Rightarrow$  (i). Нехай  $F: \mathbb{R}^+ \rightarrow \mathbb{R}^+$  - гомеоморфізм. Потрібно довести, що

$$F \in \mathbf{Aut}(\mathbb{R}^+, d^+).$$

За Лемою 3.7 має місце рівність (3.37). Отже, за Означенням 2.3, (1.53) справедливе, якщо

$$F \in \mathbf{Mon}(\mathbb{R}^+, d^+). \quad (1.54)$$

З Наслідку 3.1 випливає, що (1.54) має місце, якщо  $F$  строго зростає і задовольняє рівності

$$F(0) = 0. \quad (1.55)$$

Доведемо рівність (1.55).

Обмеження  $F$  на інтервалі  $(0, \infty)$  є гомеоморфізмом  $(0, \infty)$  на  $\mathbb{R}^+ \setminus \{F(0)\}$ . Отже,  $\mathbb{R}^+ \setminus \{F(0)\}$  є зв'язною підмножиною  $\mathbb{R}^+$ . Останнє твердження справедливе, якщо виконується (3.45).

Рівність (1.55) і Лема 3.7 означають, що  $F$  строго зростає. Дійсно, нехай  $x_0$  є довільною точкою  $(0, \infty)$ . Оскільки  $F$  є бієктивним, з (1.55) випливає, що

$$F(x_0) \in (0, \infty).$$

Таким чином, нерівність

$$F(x_0) > F(0) \quad (1.56)$$

виконується. За Лемою 3.7, відображення  $F$  строго монотонне. Остання властивість та (1.56) означають, що  $F$  є строго зростаюче.

Таким чином, (1.54) виконується. Звідси випливає твердження (i) .

Доведення завершено.

Слід зазначити, що поняття функцій, зберігаючих ультраметрику було поширено на окремий випадок "ультраметричних відстаней" [39]. Ці відстані були введені Прісс-Крампом та Рібенбоймом [65] і вивчалися різними дослідниками [66, 67, 70, 71]. Видається цікавим знайти узагальнення основних результатів цієї статті на групоїди, породжені такими відстанями.

Нехай  $\mathbb{R}^+ = [0, \infty)$  і  $d^+$ - ультраметрика на  $\mathbb{R}^+$  така, що  $d^+(x, y) = \max\{x, y\}$  для всіх різних  $x, y \in \mathbb{R}^+$ . В розділі показано, що мономорфізм групоїду  $(\mathbb{R}^+, d^+)$  співпадає з ін'єктивними ультраметрично-зберігаючими функціями і що автоморфізми  $(\mathbb{R}^+, d^+)$  співпадають з само-геоморфізмами  $\mathbb{R}^+$ . Також описана структура ендоморфізмів  $(\mathbb{R}^+, d^+)$ .

## Висновки за розділом 1

1. Проведено порівняльне дослідження підходів і методів, що використовуються при концептуальному проектуванні інформаційних систем. Визначено, що моделі, створені на різних етапах проектування та з використанням різних методик, не дозволяють виконати їх відображення без втрат. Така ситуація вимагає розробки і застосування методу, придатного для колективної роботи і обміну знаннями, що інтегрує існуючі методи і базується на єдиному математичному апараті.

2. Розроблено алгоритмічне забезпечення методу проектування інформаційних систем для розв'язання задач обробки та аналізу даних на основі категоріально-онтологічних моделей. В результаті розробки і застосування даного методу були подолані семантичні і лінгвістичні бар'єри, що виникають між членами проектної команди при проектуванні ІС. Використання категоріально-онтологічного підходу до моделювання та проектування дає можливість формально обґрунтовувати суб'єктивні результати інженерії знань та використовувати об'єкти теорії категорій у вигляді шаблонів проектування на високому рівні абстракції. Алгоритм, наведений в роботі, дозволяє автоматизувати складний етап моделювання предметних областей, на якому відбувається перетворення категоріально-онтологічної моделі у діаграми класів UML для подальшої формалізації результатів концептуального проектування інформаційної системи.

3. Системний підхід до організації освітнього процесу вимагає розробки складної моделі процесів навчання і об'єктів, що беруть в них участь, заснованої на абстракціях високого рівня. Представлення з використанням категоріального

онтологічного підходу компетентностей, умінь і навичок для реалізації освітнього процесу, застосоване в даній роботі, дозволило систематизувати плани і зміст освіти. Методологія інформаційного забезпечення освітньої та інженерної діяльності отримала подальший розвиток на основі побудови та використання відповідних онтологій і баз знань, організації освітнього процесу та стандартизації освіти на основі категоріально-онтологічного підходу.

4. Застосування системного підходу до аналізу предметної області «Удосконалення кібербезпеки з використанням методів машинного навчання, як складової інформаційної підтримки діяльності з використанням цифрового інтелекту» дозволило визначити основні напрямки та підходи до забезпечення надійного захисту сучасних інформаційних систем, які стикаються з посилення загроз від зовнішнього втручання та знищення. Формалізація результатів аналізу та дослідження з використанням діаграмних методик, визначення методики застосування машинного навчання для удосконалення процесів аналізу та запобігання несанкціонованим та навмисним діям вимагає від адміністраторів інформаційних систем та їх користувачів всебічного розвитку їх цифрового інтелекту, застосування відповідних знань та навичок для відповідального використання складних інформаційних технологій.

5. Для вирішення проблеми автоматизації процесу контролю якості та сортування керамічної облицювальної плитки проведено критичний аналіз впроваджених на даний час інформаційно-вимірювальних систем, які базуються на експертний відборі ознак фрагментів зображень для контролю якості поверхні плитки. Визначено наступні особливості таких систем: негнучкість та залежність від навчальних даних; висока вартість та тривалість розробки; низька оперативність та високі обчислювальні витрати при обчисленні великої кількості різнорідних ознак сегментів зображень; залежність від масштабу зображення та дефектів; відсутність гарантії оптимальності для відібраних вручну ознак. Доведено, що такий підхід є неефективним, негнучким та ресурсовитратним, особливо в умовах мінливого керамічного виробництва. Запропоновано новий підхід до створення

інформаційно-вимірювальної системи контролю якості, що базується на використанні машинного зору з глибокою нейронною мережею та векторною базою даних. На відміну від існуючих рішень, які використовують емпіричні функції та експертний відбір характеристик зображень, запропонована система використовує вбудовування (embedding) зображень у багатовимірний семантичний простір за допомогою переднавченої згорткової нейронної мережі. Розроблено структурно-функціональну схему процесу аналізу та сортування, яка включає два основних етапи: підготовку векторної бази даних з вбудовуваннями зображень еталонних плиток та автоматизацію сортування на технологічній лінії на основі підтримки прийняття рішень про якість виробу шляхом порівняння вбудовувань зображень. Запропоноване рішення дозволяє уникнути проблем, пов'язаних з суб'єктивністю експертних оцінок та великим обчислювальним навантаженням при контролі в реальному часі з використанням раніше впроваджених систем контролю.

6. Проведено теоретичні дослідження щодо властивостей ультраметричних просторів. Результати цього дослідження дозволять застосовувати математичний апарат теорії ультраметричних просторів до виявлення властивостей графів типу поміченого дерева. Ці графи грають велику роль під час розробки алгоритмічного забезпечення таких важливих методів машинного навчання, як дерева рішень, випадкові ліси (Random Forests) та ін., відповідно, розробка математичного обґрунтування побудови та дослідження властивостей таких дерев дає можливість підвищити ефективність методів машинного навчання, як складової штучного інтелекту. Також результати досліджень можуть бути використані в комп'ютерних науках при проектуванні раціональної архітектури графових баз даних, які, в тому числі, у якості графів знань (Knowledge Graph) наразі застосовуються для покращення роботи великих мовних моделей.

## **2 РОЗВИТОК ЦИФРОВОГО ІНТЕЛЕКТУ ЗА РАХУНОК АВТОМАТИЗАЦІЇ НАУКОВОЇ ТА НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ Й ЕМУЛЯЦІЇ ЕТАПІВ АНАЛІЗУ ДАНИХ ТА РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

2.1 Автоматизація процесів інтелектуального аналізу даних в режимі візуальної побудови етапів перетворення даних на прикладі orange3

У сучасних умовах швидкого розвитку інформаційних технологій підприємства та організації стикаються із великою необхідністю використовувати інструменти для аналізу даних щоб забезпечити підтримку прийняття рішень в сфері. Тому з кожним роком фахівці Data Science стають все більш потрібними в цьому процесі, оскільки вони забезпечують аналіз даних, і це є основою для побудови моделей прогнозування, автоматизації операцій і виявлення важливих закономірностей під час роботи з даними.

Розвиток сфери Data Science вимагає від спеціалістів володіння різними мовами програмування, знання алгоритмів машинного навчання та навичок візуалізації даних. Задачі, що потрібно виконувати у цій галузі, охоплюють статистичну обробку, створення моделей, оцінювання їх точності та побудову звітів. При цьому для виконання таких завдань потрібні не тільки технічні знання, але й ефективні інструменти, що забезпечують:

- простоту використання для новачків;
- підтримку різноманітних джерел даних для аналізу;
- можливість автоматизувати стандартні операції;
- гнучкість у налаштуванні й адаптації для певних задач.

На сучасних підприємствах та в організаціях накопичені корпоративні дані мають великі розміри та стають все більш доступними для фахівців з їх обробки та витягу з них моделей. Відповідно, зростають вимоги до рівня підготовки спеціалістів з Data Science. Якісний розвідувальний аналіз даних (exploratory data

analysis) потребує володіння декількома мовами або засобами програмування для розв'язання задач статистичної обробки даних, візуалізації результатів, підготовки звітів. Між тим коло працівників-аналітиків розширюється, необхідність використання оброблених, з метою підтримки прийняття рішень, даних збільшується. Це потребує підготовки фахівців, які можуть проводити дослідження даних швидко та без необхідності написання і налагодження великих програм, і одночасно забезпечувати якість і надійність результатів проведених досліджень. Це, в свою чергу, вимагає знань і навичок застосування багатьох алгоритмів обробки, особливостей і режимів їх використання. Тому наразі виникає гостра потреба в інструментах, які дозволяють ефективно аналізувати дані та витягувати з них корисну інформацію, з можливістю довідкової та інформаційної підтримки такої діяльності, можливістю автоматизації рутинних активностей.

Одним з таких інструментів є Orange3. Цей візуальний програмний пакет призначений для автоматизації багатьох етапів машинного навчання, крім того, він дає можливість навіть початківцям проводити складні аналізи даних без необхідності написання великої кількості коду. На відміну від аналогічних за функціональністю інструментів від Azure Machine Learning та Google Vertex AI, він не вимагає платного акаунту та суттєвої підготовки в галузі інформаційних технологій.

Orange3 – це вільно розповсюджуваний програмний пакет з відкритим кодом, який використовується для візуального програмування в області машинного навчання та data mining. Він надає інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє будувати складні аналітичні pipelines (послідовності операцій обробки даних) шляхом візуального конструювання: перетягування та з'єднання візуальних блоків (віджетів), кожен з яких відповідає за окремий етап перетворення або трансформації даних.

Перевагами використання Orange3 для автоматизації процесу обробки даних та витягу з них моделей є:

- візуальний інтерфейс, простий у використанні, навіть для тих, хто не має глибоких знань програмування;
- підтримка широкого спектру алгоритмів машинного навчання, від класифікації та регресії до кластеризації та асоціативного аналізу.
- можливість інтеграції з іншими пакетами та бібліотеками, за рахунок чого аналітик може працювати з даними з різних джерел, включаючи файли CSV, бази даних, і легко інтегрується з іншими бібліотеками Python (NumPy, SciPy, scikit-learn).
- велика та досить активна спільнота користувачів і розробників, що забезпечує постійний розвиток пакету та підтримку аналітиків-початківців.
- доступність початкового коду програмного комплексу, що дозволяє глибоко зануритися в роботу пакету та адаптувати його під свої потреби.

Приклад використання Orange3. Припустимо, у нас є набір даних про клієнтів підприємства, і ми хочемо передбачити, чи клієнт відмовиться від отримання послуг або товарів. За допомогою Orange3 можна:

- завантажити дані про клієнтів (їх ознаки та результати співробітництва) та в програму;
- виконати попередню обробку даних, видаливши пропущені значення та закодувавши категоріальні змінні;
- обрати алгоритм класифікації, наприклад, логістичну регресію;
- навчити модель на навчальних даних;
- оцінити точність моделі на тестових даних;
- візуалізувати результати класифікації, наприклад, побудувати received operation curve (ROC-криву), яка дозволить оцінити якість навченої моделі та можливість її використання для прогнозів.

Всі ці операції та активності не потребують багато часу, дозволяють швидко освоєння користувальницького інтерфейсу, та дають можливість у короткий термін провести багатоваріантний інтелектуальний аналіз даних.

**Таким чином,** Orange3 – це потужний і зручний інструмент для аналізу даних, який дозволяє автоматизувати багато рутинних задач і зосередитися на інтерпретації результатів. Він особливо корисний для тих, хто хоче швидко отримати перші результати аналізу без глибоких знань програмування. Однак, для більш складних задач і пристосування до особливостей та вимог конкретного підприємства або організації може знадобитися додаткове програмування на Python. Для розв’язання складних задач, наприклад, проведення глибокого навчання, потрібно виконувати інтеграцію Orange3 з фреймворками глибокого навчання, такими як TensorFlow або PyTorch, а також комбінування Orange3 з іншими інструментами для аналізу даних, такими як Jupyter Notebook, PyCharm.

## 2.2 Методика використання ML.NET для вирішення задачі класифікації за допомогою C#

ML.NET [78] для C# є актуальним інструментом машинного навчання, особливо для розробників і компаній, що вже працюють у .NET екосистемі. Він забезпечує глибоку інтеграцію з .NET платформами, такими як ASP.NET та WPF, що робить впровадження моделей у реальні додатки максимально зручним і швидким. ML.NET використовує знайомий синтаксис C#, спрощуючи початок роботи для програмістів, що вже знають цю мову, та пропонує великий вибір вбудованих алгоритмів для різноманітних задач, таких як класифікація чи регресія.

Завдяки AutoML розробники можуть швидко налаштувати оптимальні параметри моделей навіть без глибоких знань у ML, а підтримка формату ONNX дозволяє використовувати моделі, створені в інших ML-екосистемах, таких як TensorFlow чи PyTorch, без необхідності переходу на інші платформи.

Проведемо дослідження ML.NET для вирішення задачі класифікації Ірисів Фішера [79]. В першу чергу потрібно підготувати класи для вхідних і вихідних даних моделі. Код для них продемонстровано на рисунку 2.1.

```

using Microsoft.ML.Data;

public class IrisData {
    [LoadColumn(0)]
    public float SepalLength;
    [LoadColumn(1)]
    public float SepalWidth;
    [LoadColumn(2)]
    public float PetalLength;
    [LoadColumn(3)]
    public float PetalWidth;
    [LoadColumn(4)]
    public string Label;
}

public class IrisPrediction {
    [ColumnName("PredictedLabel")]
    public string PredictedLabel;
}

```

Рисунок 2.1 – Код для збереження даних моделі

Далі вже йдуть налаштування моделі, її навчання та тестування, код для яких продемонстровано на рисунку 2.2. Цей код розроблявся для інтерактивного блокноту .Net Interactive.

```

using System;
using Microsoft.ML;
using Microsoft.ML.Data;

// Створюємо ML контекст
var mlContext = new MLContext();

```

Рисунок 2.2 – Налаштування, навчання та тестування моделі, лист 1

```

// Завантажуємо дані
string dataPath = "iris.data";
IDataView          dataView          =
mlContext.Data.LoadFromTextFile<IrisData>(dataPath, hasHeader: false,
separatorChar: ',');

// Розбиваємо дані на тренувальні та тестові набори
var splitData      = mlContext.Data.TrainTestSplit(dataView,
testFraction: 0.2);
var trainData      = splitData.TrainSet;
var testData       = splitData.TestSet;

// Створюємо пайплайн для підготовки даних і навчання моделі
var pipeline       =
mlContext.Transforms.Conversion.MapValueToKey("Label")
    .Append(mlContext.Transforms.Concatenate("Features",
"SepalLength", "SepalWidth", "PetalLength", "PetalWidth"))
    .Append(mlContext.MulticlassClassification.Trainers.SdcaMaximumEntropy("Label", "Features"))
    .Append(mlContext.Transforms.Conversion.MapKeyToValue("PredictedLabel"));

// Навчаємо модель
var model = pipeline.Fit(trainData);

// Оцінюємо модель
var predictions = model.Transform(testData);
var metrics     =
mlContext.MulticlassClassification.Evaluate(predictions, "Label",
"Score");

```

Рисунок 2.2 – Налаштування, навчання та тестування моделі, лист 2

```

Console.WriteLine($"Log-loss: {metrics.LogLoss}");
Console.WriteLine($"Переконфігуровані дані точності:
{metrics.MacroAccuracy}");
Console.WriteLine($"Мікро точність: {metrics.MicroAccuracy}");

// Тестуємо на новому наборі даних
var predictor = mlContext.Model.CreatePredictionEngine<IrisData,
IrisPrediction>(model);
var sampleData = new IrisData()
{
    SepalLength = 5.1f,
    SepalWidth = 3.5f,
    PetalLength = 1.4f,
    PetalWidth = 0.2f
};

var prediction = predictor.Predict(sampleData);
Console.WriteLine($"Прогнозований клас ірису:
{prediction.PredictedLabel}");

```

Рисунок 2.2 – Налаштування, навчання та тестування моделі, лист 3

Готову модель, яку ми навчили, можна зберегти у файл. Код для цього продемонстрований на рисунку 2.3.

```

// Зберігаємо модель на диск
string modelPath = "model.zip";
mlContext.Model.Save(model, trainData.Schema, modelPath);
Console.WriteLine("Модель збережено в файлі model.zip");

```

Рисунок 2.3 – Збереження моделі

Далі цю модель можна завантажити та знову використовувати для класифікації. Код для цього продемонстрований на рисунку 2.4.

```
// Завантажуємо модель
DataViewSchema modelSchema;
ITransformer loadedModel = mlContext.Model.Load(modelPath, out
modelSchema);

// Створюємо PredictionEngine для використання завантаженої
моделі
var loadedPredictor =
mlContext.Model.CreatePredictionEngine<IrisData,
IrisPrediction>(loadedModel);

// Виконуємо прогнозування на новому прикладі
var newSample = new IrisData()
{
    SepalLength = 5.1f,
    SepalWidth = 3.5f,
    PetalLength = 1.4f,
    PetalWidth = 0.2f
};

var newPrediction = loadedPredictor.Predict(newSample);
Console.WriteLine($"Прогнозований клас ірису для нової моделі:
{newPrediction.PredictedLabel}");
```

Рисунок 2.4 – Завантаження та використання моделі

Цей приклад на C# і ML.NET реалізує модель для класифікації ірисів, показуючи весь процес створення: завантаження даних, їх поділ, налаштування обробки, тренування та оцінку моделі. Код також підтримує збереження та

повторне завантаження моделі, що спрощує її застосування без повторного навчання.

ML.NET є чудовим вибором для розробників C# і компаній, які вже працюють в .NET екосистемі, забезпечуючи простий спосіб інтеграції ML у наявні рішення без складних інтеграцій або змін технологічного стеку.

## 2.3 Навчання студентів програмуванню мобільних пристроїв з використанням .NET MAUI

Навчання студентів програмуванню мобільних пристроїв залишається дуже актуальним у сучасному світі інформаційних технологій. Мобільні пристрої стали не просто популярними розважальними інструментами, але й незамінними інструментами для бізнесу, освіти, медицини та інших сфер.

З огляду на те, що сучасний світ стає все більш цифровим і мобільним, навички у програмуванні мобільних пристроїв стають дедалі важливішими для студентів, незалежно від їх майбутньої спеціалізації. Вони набувають знання та навички, які можуть використовувати як у професійній кар'єрі, так і у власних проектах та стартапах.

.NET MAUI (Multi-platform App UI) – це нова мобільна розробницька платформа від Microsoft, призначена для створення крос-платформених мобільних додатків. Вона є наступником Xamarin.Forms.

.NET MAUI об'єднує API-інтерфейси Android, iOS, macOS та Windows в один API, який надає розробникам можливість виконувати одну і ту ж саму операцію в будь-якому місці, забезпечуючи додатковий доступ до кожного аспекту кожної з платформ [80].

.NET MAUI надає єдину платформу для створення користувацьких інтерфейсів для мобільних та класичних додатків. На рисунку 2.5 показано високорівневе уявлення архітектури додатка .NET MAUI.

У програмі .NET MAUI ви пишете код, який в основному взаємодіє з API MAUI .NET (1). Потім .NET MAUI використовує власні платформи API (3). Крім того, код програми може безпосередньо виконувати API платформи (2), якщо це необхідно.

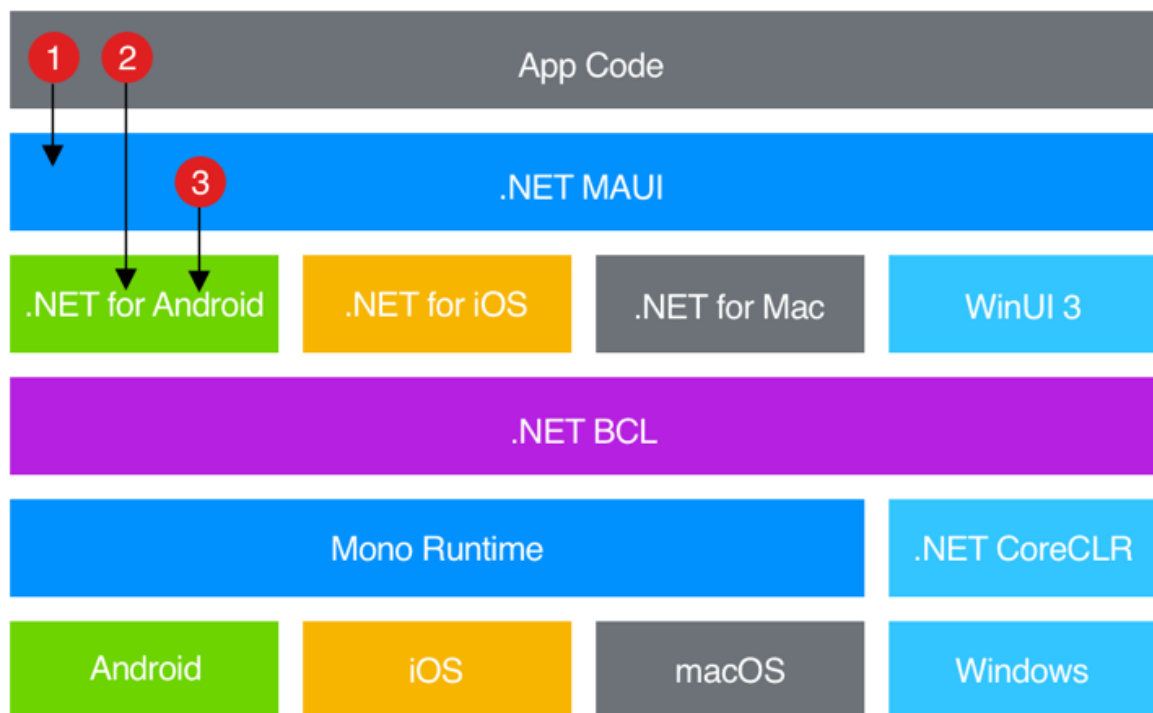


Рисунок 2.5 – Високорівневе уявлення архітектури додатка .NET MAUI

.NET MAUI пропонує ряд переваг і нововведень [81]:

- розробники можуть використовувати спільний код для створення інтерфейсів користувача, бізнес-логіки та інших компонентів додатка для різних платформ;
- .NET MAUI включає в себе новий набір уніфікованих інтерфейсів користувача, що дозволяє створювати зручні, красиві та функціональні додатки для різних платформ;

- платформа надає підтримку сучасних функцій, таких як темна та світла теми, жести, анімації та інші, що робить додатки більш привабливими для користувачів;

- .NET MAUI інтегрується з іншими сервісами та інструментами Microsoft, такими як Azure, Visual Studio, та інші, що спрощує розробку та розгортання додатків;

- платформа підтримує різні типи мобільних пристроїв, включаючи смартфони, планшети, та інші, а також дозволяє адаптувати інтерфейс для різних розмірів екрану.

Використання .NET MAUI для навчання студентів програмуванню мобільних пристроїв може бути дуже актуальним і корисним:

1. .NET MAUI дозволяє розробляти мобільні додатки для різних платформ, таких як Android, iOS, та Windows, використовуючи спільний код. Це зменшує час, необхідний для розробки додатків для кожної платформи окремо.

2. Багато університетів вже навчають мові програмування C#, тому для студентів буде легше вивчати розробку мобільних додатків з використанням .NET MAUI.

3. .NET MAUI інтегрується з іншими сервісами та інструментами, такими як Azure, що може бути корисним для створення повноцінних мобільних додатків з розширеними можливостями.

4. Використання останніх технологій дозволяє студентам отримувати актуальні знання, які будуть корисними в їх майбутній кар'єрі в галузі розробки програмного забезпечення.

5. .NET MAUI вже має активну спільноту розробників, яка може надавати підтримку та відповіді на питання студентів під час їх навчання.

Отже, використання .NET MAUI для навчання студентів програмуванню мобільних пристроїв може бути дуже актуальним та ефективним підходом, що допоможе їм отримати необхідні навички для успішної кар'єри в IT-індустрії.

## 2.4 Використання .NET Interactive для візуалізації даних у інтерактивних блокнотах створених за допомогою C#

Використання інтерактивних блокнотів, таких як .NET Interactive [82], набуває все більшої актуальності в освіті, дослідженнях і бізнес-аналізі. Ці блокноти створюють багатомовне середовище, що підтримує C#, F#, PowerShell, SQL, HTML та інші мови, завдяки чому користувачі можуть працювати з різними типами даних і завданнями в межах однієї платформи без необхідності перемикатися між різними середовищами. Це особливо зручно для інтерактивного виконання коду, оскільки дозволяє писати і виконувати код блоками, миттєво отримуючи результати. Такий підхід спрощує навчання, дозволяє швидко відстежувати і виправляти помилки, експериментувати з кодом і тестувати ідеї.

Microsoft.Data.Analysis [83] – це бібліотека для роботи з даними в .NET, яка надає функціонал для обробки, аналізу та маніпуляції великими обсягами даних безпосередньо в середовищі .NET. Вона включає потужні структури, такі як DataFrame, які підтримують різні типи даних і дозволяють швидко виконувати операції, наприклад, обчислення статистичних показників, фільтрацію, злиття та агрегацію даних.

Прикладом використання Microsoft.Data.Analysis в інтерактивному блокноті є відображення DataFrame, яке продемонстровано на рисунку 2.6.

XPlot.Plotly.Interactive [84] – це бібліотека для побудови інтерактивних графіків у .NET з використанням Plotly, яка дозволяє легко створювати візуалізації даних безпосередньо в середовищах на кшталт Jupyter Notebook і .NET Interactive.

Прикладом використання є візуалізація даних з DataFrame на графіку. Код для візуалізації представлено на рисунку 2.7, а графік – на рисунку 2.8.

```
+ Code + Markdown | ▶ Run All ↺ Restart ☰ Clear All Outputs | 📄 Variables ... 🏠 .NET Interactive
```

```
using Microsoft.Data.Analysis;
using System;

// Створення стовпців
var names = new StringDataFrameColumn("Names", new
string[] { "Alice", "Bob", "Catherine", "David" });
var ages = new Int32DataFrameColumn("Age", new int[] {
23, 30, 26, 45 });
var salaries = new DecimalDataFrameColumn("Salary", new
decimal[] { 70000m, 80000m, 90000m, 120000m });

// Створення DataFrame
var df = new DataFrame(names, ages, salaries);

// Виведення DataFrame
display(df);
```

[6] csharp - C# Script Code

...

index	Names	Age	Salary
0	Alice	23	70000
1	Bob	30	80000
2	Catherine	26	90000
3	David	45	120000

Рисунок 2.6 – Створення та відображення даних у інтерактивному блокноті

```
using XPlot.Plotly;
```

```
var chart = Chart.Plot(  
    new Scattergl() {  
        x = df["Names"],  
        y = df["Salary"],  
        mode = "lines"  
    }  
);  
  
chart.Display();
```

[11] ✓ 0.6s csharp - C# Script Code

Рисунок 2.7 – Код для візуалізації даних за допомогою XPlot.Plotly.Interactive

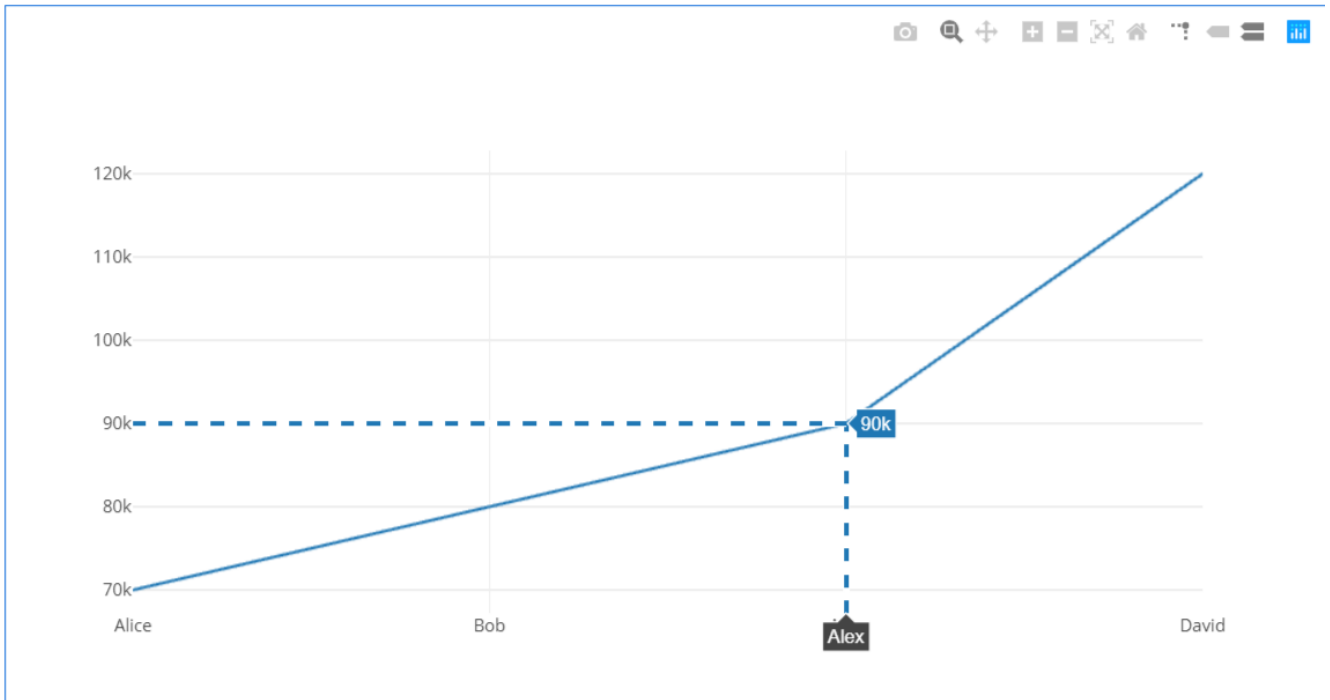


Рисунок 2.8 – Приклад візуалізації даних за допомогою XPlot.Plotly.Interactive

В освітній сфері .NET Interactive надає гнучкі та доступні інструменти для створення інтерактивних навчальних матеріалів, що робить процес навчання програмуванню, алгоритмам і базам даних зрозумілішим і захопливішим. Як проєкт з відкритим вихідним кодом, .NET Interactive розвивається за рахунок підтримки спільноти, яка додає нові функції і модулі відповідно до потреб користувачів. Ця гнучкість дозволяє швидко реагувати на зміни у технологічному світі. Таким чином, використання .NET Interactive сприяє прискоренню розробки та аналізу, підвищує ефективність освітнього процесу та розширює можливості інтеграції з іншими інструментами, що робить його актуальним для багатьох спеціалістів.

## 2.5 Застосування засобів емуляції пристроїв IoT для отримання студентами відповідних компетентностей

Вивчення дисципліни "Інтернет речей" (IoT) стає все більш важливим у сучасному світі технологій. IoT відкриває безліч можливостей для покращення життя людей і оптимізації різних сфер, від промисловості до побуту.

Однією з основних переваг IoT є здатність підключати різні пристрої до Інтернету, що дозволяє збирати, обробляти та аналізувати великі обсяги даних в реальному часі. Це відкриває нові можливості для моніторингу, управління та оптимізації процесів у різних галузях.

Поширення IoT також створює попит на фахівців, які мають розуміння цієї технології. Вивчення дисципліни "Інтернет речей" надає студентам знання та навички, необхідні для успішної кар'єри в галузі IT. Розуміння IoT дозволяє студентам розробляти інноваційні рішення, працювати з сучасними технологіями та приносити користь суспільству через застосування "розумних" пристроїв та систем.

Засоби емуляції мікроконтролерів набувають значення у вивченні дисципліни "Інтернет речей" (IoT) через кілька причин.

По-перше, вони дозволяють студентам експериментувати, навчатися програмуванню без необхідності мати фізичне обладнання при дистанційному навчанні.

По-друге, засоби емуляції є зручним та доступним способом навчання, оскільки вони можуть бути використані онлайн з будь-якого пристрою. Емуляція надає студентам можливість ефективно вивчати програмування мікроконтролерів, симулюючи реальні умови та взаємодію з різними сенсорами та пристроями.

Також, вона спрощує тестування та налагодження коду, дозволяючи тестувати програми безпосередньо на віртуальних пристроях. Використання емуляції допомагає прискорити розробку програмного забезпечення для IoT-пристроїв, оскільки не потрібно чекати на фізичне обладнання для тестування.

Для емуляції мікроконтролерів існує кілька популярних варіантів, які можуть бути корисними для різних завдань:

1. Proteus [85] – це програмне забезпечення дозволяє створювати схеми та емуляції мікроконтролерів, таких як AVR, PIC, ARM та інші. Воно широко використовується для навчання та розробки електронних проектів.

2. Tinkercad Circuits [86] – це безкоштовний веб-додаток від Autodesk, який дозволяє створювати та симулювати електронні схеми. Він ідеально підходить для початківців та освітніх цілей.

3. Wokwi [87] – це веб-платформа для симуляції електронних схем та мікроконтролерів. Вона дозволяє створювати та тестувати проекти з використанням таких плат, як Arduino, ESP32, STM32 та інших компонентів.

Серед цих засобів найбільш привабливим є Wokwi (рисунок 2.9) через кілька причин.

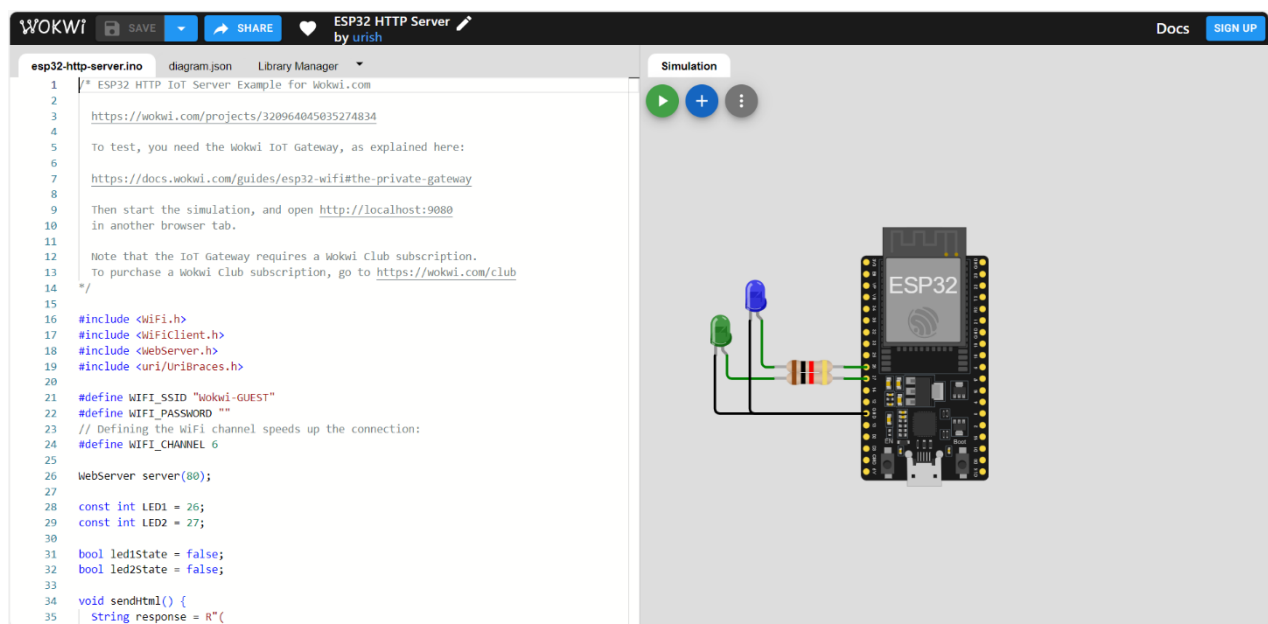


Рисунок 2.9 – Приклад емуляції HTTP серверу на ESP32 за допомогою Wokwi

По-перше, в ньому є можливість емуляції роботи різних мікроконтролерів, таких як Arduino Uno, ESP32, Raspberry Pi Pico та STM32, а Arduino UNO та ESP32 є найбільш популярними складовими «розумних» речей.

По-друге, він має інтеграцію з Visual Studio Code для більш зручного написання та тестування коду, а також емуляції локальної мережі з ESP32.

А також в ньому є безкоштовний план, що дозволяє його використовувати в навчанні студентів та школярів.

Висновки. У цілому, вивчення дисципліни "Інтернет речей" є важливим для підготовки фахівців, які будуть готові до викликів та можливостей, які принесе розвиток цієї сфери в майбутньому. А засоби емуляції мікроконтролерів відіграють важливу роль у навчанні дисципліни "Інтернет речей", поліпшуючи доступність, зручність та ефективність навчання в цій галузі.

Wokwi є чудовим вибором для тих, хто шукає розширені можливості симуляції та підтримку різних мов програмування. Tinkercad Circuits підходить для початківців та освітніх цілей завдяки своїй простоті використання. Proteus, у свою чергу, є потужним інструментом для професійних інженерів, які працюють зі складними схемами.

## 2.6 Використання Wokwi під час навчання студентів програмуванню мікроконтролерів ESP32 для створення пристроїв для IoT

Інтернет речей (IoT) залишається актуальним і важливим напрямом розвитку технологій у сучасному світі. Це полягає у здатності різних пристроїв та об'єктів збирати та обмінюватися даними через Інтернет, що відкриває широкі можливості для управління, моніторингу та оптимізації різних процесів [88]. Застосування IoT охоплює багато сфер життя, включаючи промисловість, охорону здоров'я та багато іншого.

Навчання студентів програмуванню мікроконтролерів ESP32 для створення пристроїв для IoT важко переоцінити в контексті швидкого розвитку цієї галузі. Ось чому це важливо:

1. ESP32 став одним з найбільш популярних мікроконтролерів для розробки пристроїв IoT завдяки своїй потужності, гнучкості та доступності.

2. Зростаючий попит на розумні пристрої та системи IoT створює потребу в кваліфікованих спеціалістах, які можуть розробляти, налагоджувати та підтримувати такі системи.

3. IoT застосовується у різних галузях, включаючи домашній та комерційний сектори. Це відкриває безліч можливостей для студентів реалізувати свої ідеї та внести вагомий внесок у ці галузі.

4. Робота з мікроконтролерами ESP32 дозволяє студентам отримати практичні навички в програмуванні вбудованих систем, розробці апаратних проектів та взаємодії з сенсорами та іншими пристроями.

Wokwi – онлайн-симулятор електроніки. Ви можете використовувати його для симуляції Arduino, ESP32, STM32 та багатьох інших популярних плат, деталей і датчиків [87].

Wokwi для Visual Studio Code надає рішення для моделювання програмістам вбудованих систем та систем Інтернету речей. Розширення інтегрується з наявним середовищем розробки, дозволяючи моделювати проекти безпосередньо з редактора коду. Встановивши це розширення [89] ми отримуємо можливість емуляції мережевих взаємодій – WEB-server, який потім можна використовувати або локально, або глобально через захищений сервер та API.

Для емуляції ESP32 за безкоштовним планом (немає можливості створювати схеми у Visual Code та потрібне інтернет з'єднання) необхідно виконати наступні дії:

1. На сайті Wokwi [87] створити необхідну схему для емуляції через конструктор.

2. Скопіювати схему з сайту та додати у свій проект у файл diagram.json.

3. Створити файл з кодом для прошивки ESP32 та скомпілювати його за допомогою PlatformIO [90].

4. Запустити емуляцію у Visual Code (рисунок 2.10-2.11).

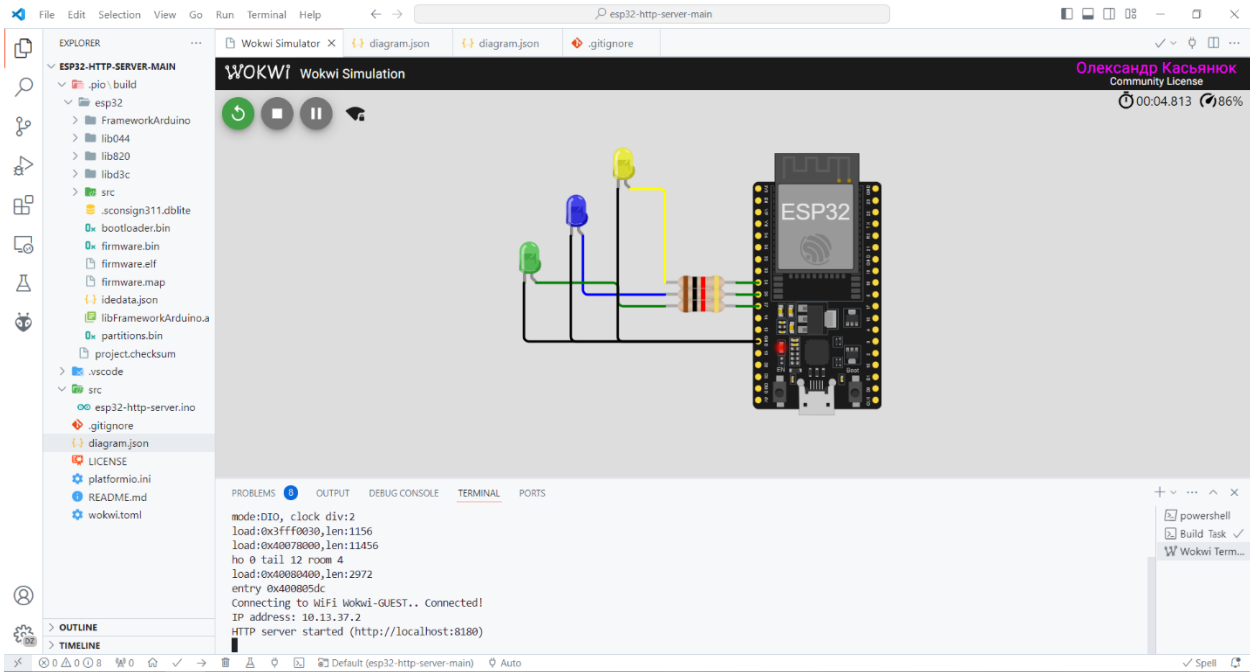


Рисунок 2.10 – Приклад емуляції у Visual Code

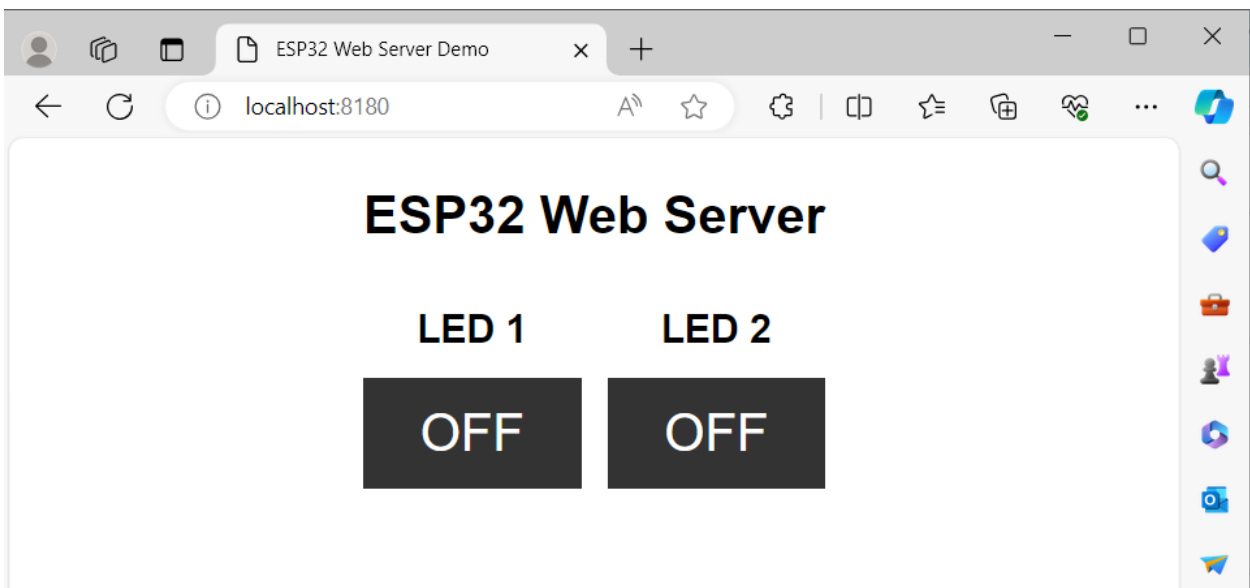


Рисунок 2.11 – Приклад сторінки, яку повертає ESP32

Можна зробити висновок, що навчання програмуванню мікроконтролерів ESP32 для створення пристроїв для IoT є важливою складовою підготовки майбутніх фахівців у галузі інформаційних технологій та сприяє подальшому розвитку цього напрямку емулятор Wokwi й його версія для Visual Code.

## 2.7 Автоматизована побудова 2D-креслень з 3D-моделей із використанням інструментів комп'ютерної графіки

Сучасна промисловість і освіта перебувають у процесі активної інтеграції автоматизованих рішень для створення технічної документації, зокрема креслень, на основі тривимірних моделей. Це зумовлено зростанням вимог до швидкості виконання проєктів, точності технічної інформації та мінімізації людських помилок. Розвиток інструментів комп'ютерного моделювання надав змогу значно полегшити та прискорити процес проєктування, але існують серйозні виклики, пов'язані з адаптацією програмного забезпечення до роботи зі складними геометричними формами та забезпеченням гнучкого налаштування креслень відповідно до стандартів і вимог конкретного проєкту.

Проблема полягає у нерівномірному рівні функціональності сучасних програмних інструментів у контексті обробки моделей зі складною геометрією, таких як криволінійні поверхні, багат шарові структури чи органічні форми. Тому є необхідність в формуванні у фахівців чіткого розуміння функціоналу цих інструментів для оптимального та ґрунтовно обумовленого вибору та використанні в роботі над проєктами різного характеру.

Тема автоматизації створення креслень із тривимірних моделей є актуальною як у промисловості, так і в наукових дослідженнях. Останні публікації в цій галузі зосереджені на вдосконаленні алгоритмів обробки геометричних форм, оптимізації процесів конструювання та інтеграції штучного інтелекту для розв'язання складних технічних завдань.

Дослідження [91] спрямоване на оптимізацію процесів трансформації даних із 3D у 2D. Авторами запропоновано алгоритм, який базується на цифрових методах обробки зображень і використовує потужності сучасних CAD-програм, таких як SolidWorks і AutoCAD. Значну увагу приділено обробці криволінійних поверхонь, які зазвичай викликають складнощі при перетворенні. Впровадження такого підходу дозволило спростити процеси автоматизації й підвищити точність створюваних моделей.

У роботі [92] зосереджено увагу на практичних аспектах інтеграції CAD/CAM-систем у проектування. Авторами наведено реальні приклади автоматизації проектування складних конструкційних деталей, що показує ефективність використання автоматизованих інструментів для промислових завдань. Зокрема, підкреслено важливість побудови тривимірних моделей як основи для подальшого виготовлення деталей на верстатах із ЧПК.

У статті [93] висвітлено питання автоматизації моделювання в середовищі CAD із використанням прикладного програмування. Автори аналізують можливості застосування програмних інтерфейсів API для виконання рутинних завдань, таких як створення параметричних моделей або модифікація існуючих креслень. Пропонуються алгоритми, які дозволяють значно скоротити час проектування та автоматизувати процес створення моделей із високим рівнем повторюваності елементів.

Роботи українських авторів [94, 95] також приділяють значну увагу питанням автоматизації у використанні CAD/CAM систем. У [94] описано застосування таких систем у навчальному процесі для підготовки майбутніх інженерів. Зокрема, дослідники підкреслюють важливість інтеграції методів автоматизації при викладанні інженерної графіки. У [95] акцентується на алгоритмах спрощення геометрії, які є критично важливими при перетворенні тривимірних моделей у складні кресленики.

Дослідження [96] розглядає нові підходи до автоматизації обробки 2D-креслень у галузі архітектури. Основна увага приділяється використанню інтелектуальних

алгоритмів, здатних оптимізувати реконструкцію великих за обсягом даних, таких як плани будівель або інженерні схеми. Пропоновані методи довели свою ефективність, зменшуючи витрати часу на побудову тривимірних моделей. У роботі [97] детально розглянуто методи автоматизованого виявлення стін у 2D-CAD кресленнях для створення цифрових 3D-моделей. Дослідники розробили алгоритм, здатний автоматично розпізнавати контури стін, що суттєво скорочує час моделювання в архітектурному та будівельному проєктуванні. Це досягається завдяки аналізу ключових геометричних характеристик креслення. Крім того, автори акцентують увагу на тому, що використання такого підходу дозволяє значно знизити кількість помилок, пов'язаних із ручною реконструкцією даних.

Автори [98] досліджують технічні аспекти впровадження автоматизованих систем у промисловість. Виконано аналіз труднощів, які виникають при адаптації програмного забезпечення під специфічні потреби користувачів та пропонують рішення, спрямовані на покращення сумісності між різними платформами.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що автоматизація процесу переходу від 2D до 3D є не лише актуальною, а й стратегічно важливою для подальшого розвитку інженерної графіки та пов'язаних із нею галузей.

Метою цього дослідження є порівняльний аналіз можливостей програмного забезпечення AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360 та алгоритмів, заснованих на згорткових нейронних мережах, у задачах автоматизації створення плоских креслень на основі тривимірних моделей. Дослідження спрямоване на визначення рівня їхньої ефективності за такими ключовими параметрами, як швидкість обробки, адаптація до складних форм і гнучкість у налаштуванні креслень. Отримані результати дозволять сформулювати рекомендації щодо вибору програмних інструментів для різних типів завдань залежно від вимог до геометричної складності, точності та зручності адаптації технічної документації.

Сучасна промисловість і освіта дедалі більше фокусуються на автоматизації процесів створення креслень різноманітних об'єктів. Цими об'єктами можуть бути як інженерні конструкції, так і архітектурні одиниці. Потреба у швидшому

виконанні проєктів, мінімізації людського фактору та підвищенні ефективності роботи з великими обсягами технічної інформації – це є одні з пріоритетних вимог промисловості. Все частіше інженери, конструктори, архітектори першочергово розробляють тривимірну модель об'єкту, а потім на її основі розробляють технічну документацію, включаючи відповідні кресленики. Це стало можливим з розвитком інструментів комп'ютерного моделювання.

Процес перетворення тривимірних моделей у плоскі креслення залежить не лише від особливостей самого програмного забезпечення, але й від алгоритмів, що реалізуються в цих системах. У дослідженні було оцінено можливості AutoCAD, SolidWorks, Fusion 360 та алгоритмів, заснованих на глибоких згорткових нейронних мережах (Convolutional Neural Networks, CNN), для виконання таких завдань. Аналіз проводився за основними критеріями: швидкість обробки, адаптація до складних форм та гнучкість у налаштуванні вихідних креслень.

AutoCAD використовує базові алгоритми перетворення тривимірних об'єктів у двовимірні проєкції, що ґрунтуються на принципах проєкційної геометрії. Ці алгоритми забезпечують швидке створення креслень із чіткими лініями та простими геометричними формами. Цей інструмент краще використовувати для створення кресленика однієї деталі, проте для перетворення складальної одиниці функціонал AutoCAD недостатньо розвинуто. Обмеження у роботі з криволінійними поверхнями чи складними багатогранними об'єктами значно звужують спектр застосування AutoCAD у завданнях, де необхідна деталізація складної форми. Слід зауважити, що мова йде про машинобудівне креслення.

SolidWorks використовує більш просунуті алгоритми для генерації проєкцій, зокрема алгоритми інтерполяції сплайнів, що дозволяють точно відображати криволінійні елементи та заокруглення. Додатково система інтегрує методи автоматичного створення перерізів та відображення внутрішньої геометрії моделі, що значно підвищує точність та деталізацію плоских креслень. Завдяки підтримці параметричних моделей SolidWorks адаптується до змін у тривимірному об'єкті, автоматично оновлюючи відповідні креслення.

Fusion 360 поєднує переваги алгоритмів проєкційної геометрії та хмарних обчислень. Використовуючи методи обчислювальної графіки для створення двовимірних видів, Fusion 360 може швидко обробляти навіть складні моделі. Алгоритми цієї системи оптимізовані для роботи з криволінійними та органічними формами, що робить Fusion 360 універсальним інструментом для різноманітних завдань. Однак час створення проєкцій може зрости при роботі з великими моделями через залежність від інтернет-з'єднання для обчислень.

Алгоритми CNN, що застосовуються для створення плоских креслень із тривимірних об'єктів, використовують принципи навчання на великому обсязі даних. Нейромережі аналізують складні моделі, визначаючи ключові елементи та їх просторові зв'язки. Ці алгоритми забезпечують автоматичне створення креслень із високою деталізацією, включаючи приховані елементи та перерізи. Однак ефективність CNN залежить від якості підготовки моделі та потребує значних обчислювальних ресурсів, що може обмежувати їх практичне використання у звичайних робочих середовищах.

Адаптація програмного забезпечення до роботи зі складними формами в контексті перетворення тривимірних моделей у плоскі креслення визначається його здатністю точно та ефективно обробляти моделі з ускладненою геометрією. До таких форм належать об'єкти зі складними криволінійними поверхнями, багат шаровою структурою, деталізованими текстурами, внутрішніми елементами конструкцій і нерегулярними органічними контурами.

Ефективне програмне забезпечення для таких задач використовує сучасні алгоритми, наприклад, інтерполяцію кривих, апроксимацію поверхонь чи побудову об'ємних перерізів. Зокрема, SolidWorks застосовує сплайнові алгоритми для створення точних проєкцій криволінійних поверхонь, тоді як Fusion 360 забезпечує якісну обробку органічних форм завдяки використанню потужних обчислювальних методів. У свою чергу, AutoCAD має обмежені можливості в роботі зі складними формами, оскільки його функціонал орієнтований переважно на обробку базових геометричних елементів.

Значну адаптивність у роботі зі складними геометріями демонструють згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN), які здатні аналізувати і моделювати зв'язки між елементами навіть у випадках нерегулярних або пошкоджених об'єктів. Це робить їх незамінними для проєктів із високим рівнем складності, таких як архітектурні об'єкти, біомедичні моделі чи дизайн із вільними формами.

Гнучкість у налаштуванні креслень визначається як здатність програмного забезпечення надавати користувачеві розширені можливості для адаптації двовимірної графіки до специфічних вимог проєкту. Це включає налаштування зовнішнього вигляду, стилю та формату креслень, а також модифікацію параметрів, створених автоматично на основі тривимірної моделі.

Одним із важливих аспектів є можливість змінювати стандарти креслення, що дозволяє програмному забезпеченню підтримувати різноманітні технічні норми, такі як ISO, ANSI чи ГОСТ, і адаптуватися до вимог конкретного проєкту. Гнучкість також передбачає контроль рівня деталізації, зокрема регулювання видимості елементів креслення, таких як приховані чи осьові лінії, а також перерізи.

Ще одним важливим фактором є підтримка експорту креслень у різні формати, як-от DWG, DXF чи PDF, що забезпечує зручність передачі даних для подальшої роботи. Програмні рішення, такі як SolidWorks і Fusion 360, демонструють високу гнучкість завдяки можливості автоматичного створення стандартних креслень із подальшим ручним редагуванням, наприклад, зміною масштабу, розташування проєкцій або додаванням текстових приміток чи таблиць специфікацій.

Проте менш гнучкі системи, наприклад AutoCAD у базовій конфігурації, обмежують можливості користувача, що часто призводить до необхідності виконання значного обсягу ручної роботи для адаптації креслень до вимог конкретного завдання.

У межах дослідження проведено тестування зазначених інструментів на трьох типах моделей: простій симетричній формі, об'єкті із криволінійними поверхнями та складному багатоплощинному об'єкті (рисунк 2.12). Результати тестування узагальнено у таблиці 2.1.

Результати показали, що AutoCAD забезпечує найвищу швидкість обробки, однак точність геометрії є найнижчою серед усіх тестованих інструментів. Це пов'язано з обмеженнями алгоритмів AutoCAD у роботі зі складними формами. Хоча система залишається популярною завдяки простоті використання та доступності, її можливості адаптації до сучасних складних завдань є обмеженими.

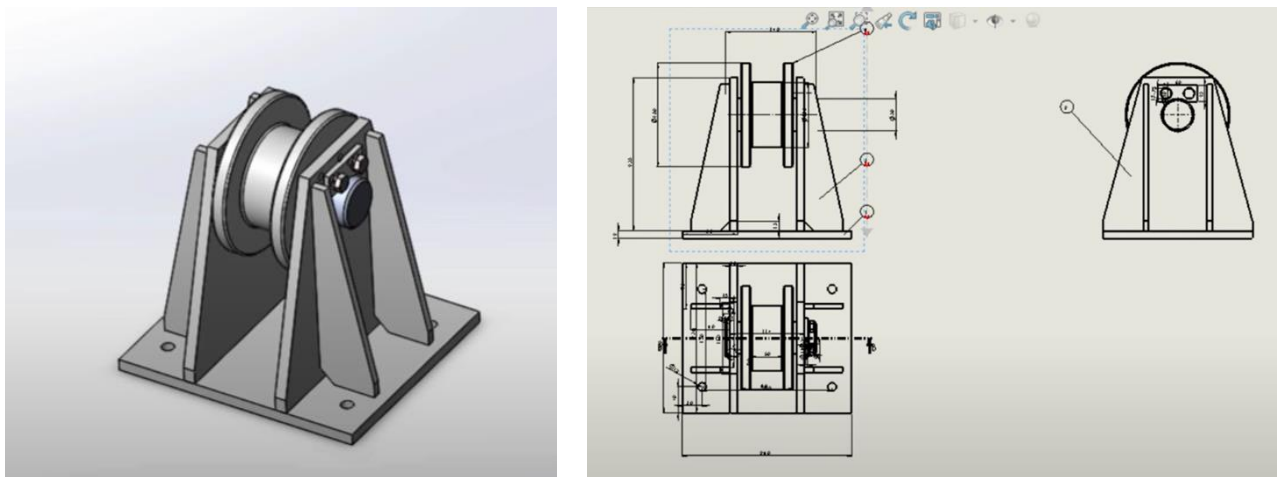


Рисунок 2.12 – Приклад перетворення складного багатоплощинного об'єкту з 3D моделі в плоский кресленик в SolidWorks

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз ефективності інструментів автоматизації побудови плоских креслеників з 3D-моделей

Інструмент	Швидкість обробки (с)	Адаптація до складних форм (бал, 1–5)	Гнучкість у налаштуванні креслень (бал, 1–5)
AutoCAD	2	3	3
SolidWorks	4	5	5
Fusion 360	5	4	5
Convolutional Neural Networks (CNN)	8	5	3

SolidWorks продемонстрував високі показники точності та адаптації до криволінійних форм завдяки використанню алгоритмів сплайнів. Крім того, його функціонал дозволяє гнучко налаштувати вигляд вихідного креслення, що робить систему оптимальною для створення технічної документації зі складними геометріями. Fusion 360 має схожі показники із SolidWorks, але залежність від хмарної обробки може вплинути на час виконання завдань, особливо при великих обсягах даних.

CNN показали найвищу точність і здатність адаптуватися до складних форм, зокрема органічних поверхонь і багатоплощадних моделей. Однак вони виявилися найповільнішими через потребу у великій обчислювальній потужності. Гнучкість у налаштуванні креслень також була найнижчою через складність контролю над генерованими результатами та залежність від підготовки моделей.

Висновки. Звичайно, вибір інструмента залежить від вимог проєкту. Для простих задач, які не передбачають обробки складних геометрій, AutoCAD може виступати доволі доцільним варіантом використання завдяки своїй швидкості та простоті. Для складніших проєктів із високими вимогами до деталізації найкращими рішеннями є SolidWorks та Fusion 360, які демонструють високі показники точності й адаптації. Fusion 360 може бути рекомендований для командної роботи завдяки інтеграції хмарних обчислень, а SolidWorks — для проєктів із високим рівнем індивідуалізації креслень.

Алгоритми CNN, завдяки своїм сильним сторонам, наразі є найбільш ефективними для дослідницьких і експериментальних задач. Їх можна рекомендувати для вирішення специфічних завдань, таких як обробка складних поверхонь або автоматична генерація креслень із вбудованими деталями. Для комерційного використання доцільно розвивати інтеграцію CNN із традиційними CAD-системами, що дозволить поєднати високу точність з гнучкістю традиційних підходів.

## Висновок за розділом 2

1. Розвиток цифрового інтелекту за рахунок автоматизації наукової та навчальної діяльності є важливим напрямком удосконалення сучасної навчально-методичної бази для підготовки фахівців з інформаційних технологій та комп'ютерних наук. Студенти та науковці в процесі застосування засобів візуалізації й емуляції етапів аналізу даних та розробки програмного забезпечення отримують можливість більш ефективно удосконалити свої компетентності розробки моделей, алгоритмічного забезпечення та інформаційних систем, що забезпечують підтримку діяльності користувачів та прийняття рішень в складних системах та процесах.

2. Використання програмних комплексів наочної візуалізації процесів, що моделюються, та віртуалізації окремих фізичних компонентів комп'ютерних систем, дозволяють з меншими витратами та в умовах он-лайн навчання або он-лайн командної роботи забезпечити отримання стійких знань, навичок та вмінь, підтримати креативність та продуктивність навчальної та наукової роботи.

3. В даній роботі розглянуто можливості, визначено переваги та обмеження, запропоновано методики використання програмних комплексів для автоматизації і візуальної побудови конвеєрів обробки даних (на прикладі orange3, .NET Interactive та ML.NET), засобів емуляції пристроїв IoT (на прикладі Wokwi та Visual Code), автоматизованої побудови 2D-креслень з 3D-моделей виробів.

4. Досліджено можливості та переваги використання потужних засобів штучного інтелекту – згорткових нейронних мереж (CNN), – для автоматизації розв'язання важливої задачі підтримки діяльності інженерів-конструкторів: створення плоских креслень із тривимірних об'єктів, використовують принципи навчання на великому обсязі даних. Алгоритми CNN аналізують складні моделі, визначаючи ключові елементи та їх просторові зв'язки, та забезпечують автоматичне створення креслень із високою деталізацією, включаючи приховані елементи та перерізи. Однак ефективність CNN залежить від якості підготовки моделі та потребує значних обчислювальних ресурсів, що може обмежувати їх практичне використання у звичайних робочих середовищах.

## **3 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ТА МЕТОДИК ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ ТЕХНІЧНИХ ТА УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ**

### **3.1 Штучний інтелект в освіті та бізнесі: можливості та виклики**

Постановка проблеми. Дослідження використання штучного інтелекту (ШІ) у сферах освіти та бізнесу є необхідним з огляду на наступні причини. По-перше, ШІ може внести суттєві поліпшення в процеси навчання та освіти. Він дозволяє створювати персоналізовані навчальні програми, враховуючи індивідуальні потреби та особливості учнів. А по-друге, у сфері бізнесу ШІ може бути потужним інструментом для підвищення ефективності управління та прийняття рішень. Крім того, дослідження використання ШІ у цих сферах необхідне для вдосконалення інноваційних технологій та їх впровадження. Розвиток і використання ШІ в освіті та бізнесі може стимулювати прогрес та забезпечувати зростання якості та ефективності цих сфер. Дослідження дозволяє виявити нові можливості та виклики, що виникають при застосуванні ШІ, та розробити стратегії для їх подолання.

Основний матеріал. Результати опитування фонду «Walton Family Foundation» [99] за 2023 рік показали, що 72% вчителів вважають, що "у сучасному світі ми не можемо працювати в школах, спираючись лише на старі традиції". Тому опанування інструментів ШІ надає освітянам нові можливості економії часу та зусиль насамперед через автоматизацію рутинних завдань, які полягають у простому зборі та структуруванні інформації, а також для саморозвитку та самоосвіти (вивчення іноземної мови), для виконання будь-яких задач на підставі отриманих результатів систематизації та обробки інформації, прогнозування та моделювання [99 - 101].

За отриманими результатами опитування «Intelligent.com» [100] (рис. 3.1) близько 8 з 10 опитаних вчителів вже зараз постійно використовують ChatGPT для

складання планів уроків, виставлення оцінок, надання учням зворотного зв'язку, написання електронних листів і рекомендацій. Головною причиною такого використання вчителі називають економію часу. [100]

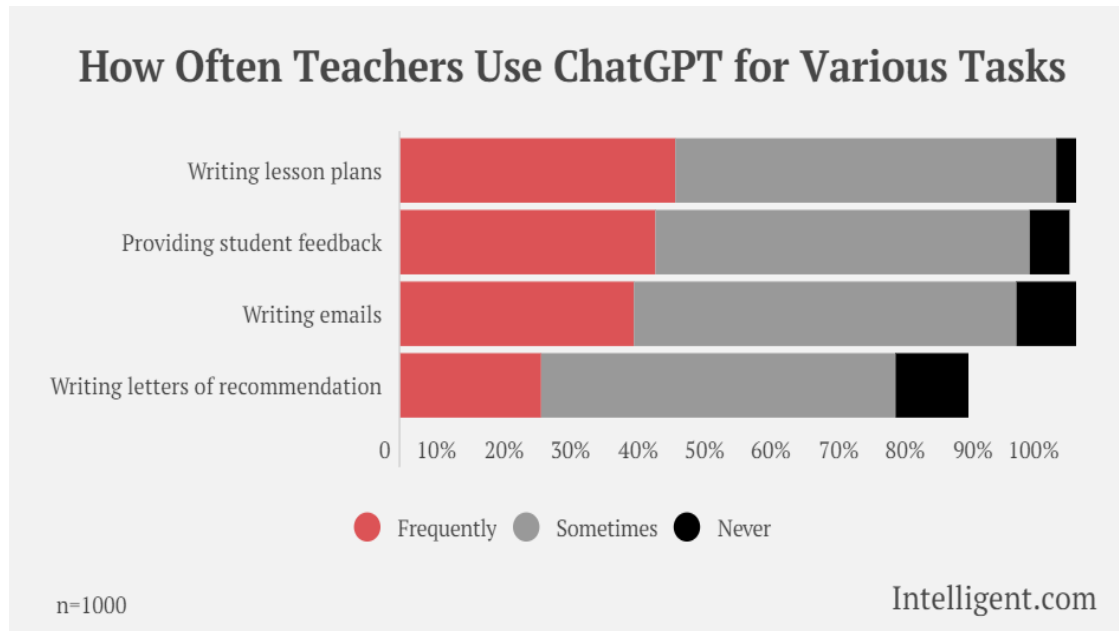


Рисунок 3.1 – Частота та напрями використання вчителями ChatGPT для різних завдань

Джерело: дані «Intelligent.com» по США за 2023 рік за матеріалами [100]

В США в 2023 році приблизно 28% вчителів стверджували, що вони мають певні жорсткі вимоги щодо використання ChatGPT у класі, які сформульовані, наприклад, наступним чином [100]: "1) Я дозволяю учням використовувати його для критики, генерування ідей, розробки запитань, але вони не можуть подавати його як автентичну роботу. 2) Я не дозволяю учням використовувати ChatGPT для пошуку відповідей у класі, і вони не можуть використовувати ChatGPT для виконання домашніх завдань" [100].

Аналіз матеріалів [99-105 та ін.] дозволяє констатувати, що штучний інтелект (ШІ) вже сьогодні активно використовується як в освіті, так й в бізнес-середовищі, тому що він дозволяє оптимізувати різні процеси та заощадити ресурси (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Ключові напрями використання штучного інтелекту

В освіті	В бізнесі
<p>1. Автоматизація оцінювання.                      ШІ може аналізувати великі обсяги інформації в завданнях та надавати автоматично зворотний зв'язок студентам. Це допомагає викладачам швидше оцінювати роботу та зосереджуватися на індивідуальних потребах учнів.</p>	<p>1. Автоматизація процесів та завдань.                      ШІ може автоматизувати рутинні завдання, зменшуючи час на збирання та структурування інформації, що знижує й витрати зусиль.                      Недарма компанії США виділили понад 60% свого загального бюджету для впровадження Gen AI.</p>
<p>2. Персоналізоване навчання та підтримка при виконанні завдань.                      ШІ може адаптувати матеріали до рівня знань та інтересів кожного студента, що дозволяє краще задовольняти потреби різних груп учнів.                      Студенти можуть використовувати ШІ для самопідготовки до занять (обробки інформації, генерування плану роботи тощо) з обов'язковим дотриманням норм етичного використання ChatGPT</p>	<p>2. Аналіз та візуалізація даних.                      ШІ допомагає компаніям аналізувати великі обсяги даних швидше та точніше, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення та передбачати тренди. Споживачі всі більш використовують ШІ на своїх телефонах для пошуку і купівлі більшості продуктів, тому ШІ змінює ринок маркетингу</p>
<p>3. Створення навчально-методичних матеріалів та для виконання рутинних задач для наукової роботи.                      Викладачі можуть використовувати ШІ для створення планів лекцій, формування матеріалів, обробки інформації, для визначення першоджерел інформації та оформлення списку джерел за вимогами тощо.</p>	<p>3. Підтримка при виконанні завдань на підставі результатів прогнозування та моделювання.                      ШІ допомагає прогнозувати попит, поведінку цільової аудиторії, аналізує інші параметри, необхідні для взаємодії зі стейкхолдерами (листування через чат-ботів, складання плану комунікації та ін.).</p>
<p>4. Зменшення шахрайства.                      ШІ може виявляти прояви порушення академічної доброчесності (насамперед, прояви плагіату).</p>	<p>4. Збільшення продуктивності.                      Впровадження навчання персоналу для розвитку необхідних навичок на основі GenAI для приросту продуктивності. Важливо також навчати співробітників етичному використанню ШІ.</p>

Джерело: систематизовано автором

За даними міжнародної консалтингової компанії McKinsey, 2023 рік є «роком прориву» в галузі ШІ. Багато технологічних гігантів випустили ряд продуктів та послуг на основі ШІ, запроваджено багато інновацій, тому важко не погодитися з такою думкою. Зростання продуктивності, викликане Штучним Інтелектом, суттєво вплинуло на економіку всіх країн, і очікується, що воно стимулюватиме економічний зріст у найближчі кілька років. За підсумками 2023 року акції всіх п'яти провідних гравців на ринку ШІ (Microsoft, Google, META, Nvidia та Amazon) зросли на 50% або більше.

За даними опитування Conference Board, понад половина (56%) працівників у США використовують GenAI на роботі, а 42% заявили, що їхні компанії вивчають способи використання цієї технології.

Американська компанія International Data Corporation (IDC), яка спеціалізується на інформаційних технологіях, телекомунікаціях і споживчих товарах, також проаналізувала тренди у світі ІТ та надала власні прогнози використання GenAI до 2025 року. У цьому прогнозі IDC передбачає, що до 2025 року 35% підприємств у всьому світі будуть використовувати GenAI для спільної розробки цифрових продуктів і послуг, і що впровадження навчання для розвитку необхідних навичок на основі GenAI та можливості автоматизації процесів дозволить організаціям отримати понад \$1 трильйон приросту продуктивності по всьому світу до 2026 року.

Деякі закордонні дослідники [105] також продовжують робити прогнози щодо тенденцій розвитку штучного інтелекту на 2024 рік і відмічають наступні сфери використання штучного інтелекту:

- 1) Персональні чат-боти. У 2024 році компанії, які інвестували в генеративний штучний інтелект, виходять на ринок з персональними чат-ботами, спрямовуючи їх на більшу аудиторію шляхом розробки зручних платформ, що дозволяють користувачам налаштовувати потужні мовні моделі та створювати власні міні-чат-боти без потреби в програмуванні. Це може забезпечити доступ до штучного інтелекту для широкого кола людей і відкрити нові можливості для розробників програм.

2) Технології створення відео, які вражають швидкістю та якістю генерації на всіх етапах виробництва, включаючи синхронізацію акторських виступів і створення нових спец ефектів (зокрема створення дипфейк-аватарів в сферах кіноіндустрії, маркетингу та навчання).

3) Об'єм дезінформації на виборах, що створюється штучним інтелектом, буде зростати, а визнати правдивий контент у мережі стане складніше, ніж коли-небудь раніше. Політичний клімат, що і так підігрітий і поляризований, може мати серйозні наслідки, оскільки штучний інтелект робить створення дезінформації легким та доступним, а його результати стають все більш реалістичними.

4) На підставі використання GPT-4 і Gemini з'являється можливість створення більш універсальних роботів, які здатні виконувати широкий спектр завдань. Наприклад, вже зараз стрімко розвиваються технології ШІ для безпілотних автомобілів, в космічній галузі, в сфері ІТ, що одночасно відкривають нові горизонти для розвитку роботів в різних сферах.

Українські експерти [104] також відмічають перспективи та перешкоди використання ШІ у комерційному секторі, в нерухомості, в комунікаціях, в промисловості, зокрема для автоматизації продажів та документообігу, персоналізації в digital-маркетингу та ритейлі. У 2023 році виникло багато питань до захисту авторських прав у генераторах зображень та текстів, створення дипфейків та їх поширення у ЗМІ, а також нових інструментів злому на основі ШІ. У 2024 році продовжиться активне обговорення питання про необхідність регулювання систем ШІ, що неминуче призведе до збільшеної уваги до їхнього впливу на державному рівні та численних політичних дебатів.

## Висновки.

1. Розглянуто рівень використання штучного інтелекту в освіті та бізнесі в сучасному світі, виділено ключові напрями використання штучного інтелекту, описано прогнози щодо тенденцій розвитку штучного інтелекту на 2024 рік й перспективи та перешкоди використання штучного інтелекту у комерційному

секторі, в нерухомості, в комунікаціях, в промисловості, зокрема для автоматизації продажів та документообігу, персоналізації в digital-маркетингу та ритейлі.

2. ШІ не потрібно боятися, а варто використовувати собі на благо. Недарма вже зараз зрозуміло, що при всіх ризиках та етичних обмеженнях штучний інтелект відкриває нові можливості як у навчанні, так і в бізнесі. Важливо знати та вміти використовувати цей інструментарій ефективно та етично, при цьому потрібно розробити для всіх користувачів зрозумілі «правила гри» і затвердити їх на міжнародному рівні.

3.2 Огляд сучасних мовних моделей генеративного штучного інтелекту для та перспективи їх використання у автоматизації бізнес-процесів

Генеративний штучний інтелект (ГШІ) є важливою та актуальною галуззю в сучасній інформаційній технології. Його застосування охоплює широкий спектр сфер, включаючи мистецтво бізнес.

У бізнесі ГШІ допомагає в розробці персоналізованих рекомендацій для клієнтів, прогнозуванні тенденцій на ринку, управлінні даними та прийнятті рішень. Також ГШІ використовується для автоматизації бізнес-процесів, оптимізації виробництва та підвищення продуктивності.

Використання ГШІ у автоматизації бізнес-процесів є надзвичайно актуальним у сучасному бізнес-середовищі. ГШІ може вплинути на бізнес у багатьох аспектах, включаючи оптимізацію робочих процесів, підвищення продуктивності та покращення якості прийняття рішень.

Однією з основних переваг використання ГШІ є його здатність генерувати нові ідеї, контент або рішення на основі вхідних даних. Це може значно полегшити та прискорити процеси прийняття рішень у бізнесі. Наприклад, ГШІ може автоматично створювати звіти, аналізувати дані для прогнозування тенденцій або навіть розробляти маркетингові стратегії.

Крім того, використання ГШІ може допомогти у виявленні патернів та трендів у даних, що дозволяє бізнесу приймати кращі та більш обґрунтовані рішення. Автоматизація бізнес-процесів за допомогою ГШІ також дозволяє зменшити людський фактор у процесах та знизити витрати на персонал.

Далі розглянемо найпопулярніші мовні моделі ГШІ.

1. ChatGPT [106] – це версії моделей заснованих на технології GPT (Generative Pre-trained Transformer), які були розроблені компанією OpenAI. Ці моделі є частиною сімейства штучних інтелектуальних агентів, які можуть генерувати текст на основі вхідної інформації.

ChatGPT використовується для розв'язання різноманітних завдань, таких як відповіді на запитання, генерація тексту у відповідь на команди користувача, допомога в пошуку інформації, надання порад або взагалі спілкування з користувачем у форматі чату.

Також він використовує глибоке навчання на великому обсязі даних, що дозволяє йому розуміти мову, контекст та генерувати природні відповіді на запитання. Ці моделі можуть адаптуватися до широкого спектру тематик і завдань завдяки своїй гнучкості та загальному навчанню на великому обсязі текстових даних.

2. Google Gemini [107] – це велика мовна модель від Google AI, яка має мультимодальні можливості.

Gemini може розуміти, обробляти та комбінувати різні типи інформації, включаючи текст, код, аудіо, зображення та відео<sup>1</sup>. Це робить її надзвичайно універсальною для різних завдань.

Також вона інтегрується з різними продуктами Google, такими як Gmail, Docs та інші, що дозволяє користувачам отримувати доступ до передових можливостей AI безпосередньо в їхніх улюблених додатках.

3. Microsoft Copilot [108] – це інструмент на основі штучного інтелекту, який інтегрується з різними продуктами Microsoft, такими як Word, Excel, PowerPoint, Outlook та інші. Він допомагає користувачам підвищити

продуктивність, розблокувати творчий потенціал та краще розуміти інформацію за допомогою простого чату.

Copilot може автоматизувати рутинні завдання, такі як створення звітів, аналіз даних та написання електронних листів.

Інструмент допомагає створювати унікальні зображення, презентації та документи, використовуючи можливості генерації тексту та зображень.

Copilot інтегрується з продуктами Microsoft 365, такими як Word, Excel, PowerPoint та Outlook, що дозволяє користувачам використовувати AI безпосередньо в їхніх улюблених додатках.

Висновки. Перспективи використання таких інструментів, як ChatGPT, Google Gemini та Microsoft Copilot, для автоматизації бізнес-процесів є значними. ChatGPT може слугувати потужним помічником у створенні текстового контенту, відповідях на запитання та навіть у програмуванні.

Google Gemini, який інтегрований у екосистему Google, пропонує переваги у вигляді глибокої інтеграції з іншими сервісами Google та здатності до обробки природної мови.

Microsoft Copilot, у свою чергу, розширює можливості Microsoft 365, пропонуючи інтелектуальну підтримку у різних додатках, таких як Word, Excel та Outlook.

Використання цих інструментів може значно підвищити продуктивність, оптимізувати робочі процеси та забезпечити більш ефективне управління даними. Вони відкривають нові можливості для бізнесу, дозволяючи автоматизувати рутинні завдання та зосередитися на більш стратегічних ініціативах.

### 3.3 Використання штучного інтелекту та інструментарію моделювання в проєктному менеджменті

Штучний інтелект (ШІ) може суттєво змінити наше суспільство на краще. Сфера штучного інтелекту має величезний економічний потенціал для сучасного світу, за оцінками експертів PricewaterhouseCoopers, до 2030 року штучний інтелект додасть до

світового ВВП 15,7 трлн. доларів США. Штучний інтелект сприятиме розробці ефективних рішень, які збережуть час, візьме на себе повсякденні завдання й вивільнить час на креативність, критичне мислення, творчість. Продуктивність діяльності людини підвищиться, що дасть змогу у повній мірі реалізувати власний потенціал. Можливий внесок штучного інтелекту в розвиток людства вимагає такого ж глибинного вивчення, як і проблеми, що постають перед ним [109, с. 13]

Дослідження показали, що існують деякі проблеми, пов'язані з впровадженням штучного інтелекту, включаючи вартість на його впровадження, відсутність необхідних технічних знань і навичок для його ефективного застосування, несприйняття ШІ як ефективного інструменту допомоги, який полегшує роботу. Багато людей висловлюють обурення, бо бояться, що не зможуть конкурувати з ним у своїй професії та можуть залишитись без роботи. Однак штучний інтелект може автоматизувати багато рутинних та повторювальних завдань, звільняючи час для вирішення більш важливих справ, таких як стратегічне планування, управління ризиками та прийняття рішень. Алгоритми штучного інтелекту можуть швидко та точно аналізувати фінансові дані, виявляючи шахрайство та невідповідності у режимі реального часу. [110, с. 5; 111, с. 38].

Вже зараз ШІ, повсякденне використання ChatGPT змінює правила гри для приватних осіб і компаній, які прагнуть підвищити ефективність діяльності і продуктивність праці. Як потужна мовна модель, розроблена OpenAI, ChatGPT має потенціал, щоб кардинально змінити спосіб роботи та співпраці людей, команд і всіх нас особисто.

Загально інструменти обробки даних, прикладної статистики, різні інструменти моделювання бізнес-процесів та управління проєктами з використанням різних нотацій надають уявлення про процедуру (алгоритм) управління в різних аспектах діяльності.

Не зважаючи на чисельні публікації щодо потенційних загроз стрімкого розповсюдження штучного інтелекту (іноді маніпулятивного характеру), його

використання вже не зупинити і тому необхідно лише визначити та прийняти правила добросовісного використання цього зручного інструменту на кшталт MS Excel.

Питання добросовісного використання штучного інтелекту у сфері освіти та науки зараз обговорюються на наукових конференціях [111], проте вже зараз зрозуміло, що в різних сферах діяльності постійно з'являються все нові можливості при використанні ChatGPT - від економії часу співробітників на збір та обробку даних до покращення роботи всієї команди, оптимізації процесів та документообігу.

Вважаємо, що вже зараз можна визначити суттєві переваги від використання ChatGPT в різних функціональних аспектах управління підприємством, зокрема в проектному менеджменті.

В 2023 році було опублікована стаття відомого фахівця в сфері управління проектами Інституту проектного менеджменту (PMI, США) Фредеріка Кінга (Frederick King) [109], в якій перелічено вісім основних переваг від використання ChatGPT в роботі проектної команди:

1. Надання ідей по кращому запуску проекту на заплановану зустріч для проектної команди. Наприклад, ChatGPT може швидко та ефективно надати декілька варіантів ідей з проектування, що сприяє швидкому запуску та розвитку проекту.

2. Роль консультанта та підготовка звіту. ChatGPT може виступати в ролі консультанта, який допомагає у підготовці звіту про стан ринку електронної комерції, що забезпечує швидке та точне збирання релевантної інформації.

3. Надання обґрунтування щодо вигід та переваг від впровадження нового проекту. ChatGPT може допомогти в обґрунтуванні необхідності нового проекту, обробити дані, змодельовати ситуації «до проекту» та «після проекту», вказуючи на можливості та явні та так звані неявні вигоди, які він може принести.

4. Імітація мозкового штурму та надання варіантів рішень. ChatGPT може генерувати варіанти рішень для різних ситуацій, що допомагає знайти оптимальний шлях вирішення проблеми.

5. Підготовка заходів для мінімізації ризику. ChatGPT може обробити вихідні дані та підготувати заходи для зменшення або усунення ризику, на підставі якого менеджмент та команда проекту може прийняти обґрунтовані рішення.

6. Підготовка порядку денного зустріч та нарад. ChatGPT може підготувати повний та зрозумілий план наради команди проекту, що допомагає забезпечити її плідну роботу, знижує стрес від невизначеності завдань та планів на майбутнє.

7. Підготовка офіційного електронного запрошення. Система може створити варіант офіційного (але дружнього) електронного запрошення різних стейкхолдерів (власника бізнесу, інвестора, клієнта, представників уряду, різних представників громадських організацій) на зустріч для презентації майбутнього проекту, для вирішення різних питань його впровадження, що сприяє позитивному сприйняттю запрошення та можливого ставлення до наданих пропозицій.

8. Переклад тексту на потрібну мову. ChatGPT може здійснювати переклад на потрібну мову тексту або документу, що є корисною функцією для міжнародного спілкування та співпраці з учасниками з різних країн.

Вважаємо, що для управління проектами вже не достатньо існуючих інструментів проектного аналізу, моделювання бізнес-процесів [111], загально прийнятих сучасних методів управління проектами згідно діючих у всьому світі стандартів Project Management [112]. Недарма й популярні в усьому світі підходи Agile - управління проектами передбачають здатність адаптуватися під нові вимоги бізнес-середовища. Тому зараз й виникає потреба використання штучного інтелекту як у повсякденному житті , так й в бізнесі.

Висновок. Отже, штучний інтелект має потенціал кардинально змінити суспільство на краще, забезпечуючи значні економічні вигоди та підвищення продуктивності праці. Хоча існують проблеми, пов'язані з його впровадженням, такі як деякі обмеження безкоштовному використанню, не відпрацьовані ще правила добросовісного використання ШІ, відсутність необхідних навичок та сприйняття, існує великий потенціал для автоматизації та оптимізації рутинних

завдань. Використання інструментів штучного інтелекту, таких як ChatGPT, вже зараз демонструє значний вплив на підвищення ефективності управління підприємством та проектами, і досягнення його потенціалу вимагає уважного вивчення та впровадження етичних стандартів.

3.4 Напрямки застосування RAG-систем для підвищення точності та змістовності результатів запитів до великих мовних моделей

Поточні дослідження підходу Retrieval-Augmented Generation (RAG) спрямовані на покращення продуктивності великих мовних моделей (ВММ) через інтеграцію компонентів інформаційного пошуку на основі документів та ресурсів предметної області або підприємства (організації), для інформаційної підтримки фахівців якої призначена відповідна система [113]. Зазвичай ВММ генерують відповіді на основі навчальних даних, але з RAG вони можуть звертатися до зовнішніх джерел для отримання актуальної або специфічної інформації, що підвищує точність і змістовність генерації. У цій роботі висвітлюються ключові переваги цієї технології, зокрема гнучкість та розширення знань моделі, особливо в контексті швидко мінливих або специфічних сфер, в тому числі для створення інтелектуального асистента інформаційного порталу Технічного університету «Метінвест Політехніка».

Робочий процес RAG [114] складається з трьох етапів — індексування, пошук і генерація, які працюють разом, щоб підвищити точність відповіді. На етапі індексування текст кодується у вставки, які зберігаються у векторній базі даних із можливістю пошуку. Під час пошуку запит користувача також кодується, щоб знайти найбільш релевантні документи в цій базі даних. На етапі генерації модель поєднує запит користувача зі знайденими документами, що дає змогу системі генерувати більш точні результати. З використанням описаного вище структурованого підходу ВММ надає відповіді, які спираються на сучасні, релевантні джерела інформації.

Спосіб обробки даних, застосовуючи RAG системи, сприяє наданню більш чітких відповідей користувачеві та детальнішою роботою з певною документацією або необхідним джерелом даних, а не більш загальними знаннями ВММ. Сфера застосування RAG розширюється до мультимодальних галузей, адаптуючи його принципи до інтерпретації та обробки різноманітних форм даних, як-от зображення, відео та код. Подібне розширення підкреслює значне практичне значення RAG для розгортання штучного інтелекту, що може стати серйозним поштовхом для академічного та промислового секторів.

Попри значні переваги, RAG постає перед викликами: проблеми з ефективністю під час обробки великих наборів даних, залежність від якості зовнішніх джерел, а також ризики «галюцинацій» — ситуацій, коли модель може неправильно інтерпретувати або змішувати знайдену інформацію.

Використання RAG з інтеграцією зовнішніх джерел інформації підвищує точність та релевантність відповідей, надаючи можливість отримувати сучасні знання, що особливо корисно для напрямів з інтенсивним розвитком та унікальними вимогами. Проте виникає необхідність в подальших дослідженнях щодо підвищення ефективності генерування результатів та покращення якості джерела пошуку.

Перспективним напрямком даного дослідження є використання підходу RAG до створення інтелектуального асистента інформаційного порталу Технічного університету «Метінвест Політехніка», який на основі корпусу нормативних документів Університету буде формувати відповіді на питання студентів, викладачів та абітурієнтів по особливостям навчального процесу, наукових досліджень в Університеті, іншим аспектам функціонування закладу вищої освіти. При цьому відповіді повинні підкріплюватися посиланнями на релевантні абзаци або сторінки відповідних документів.

Висновки. Основна ідея RAG полягає у поєднанні великих мовних моделей з зовнішніми джерелами інформації для покращення якості відповідей. Організація таких систем повинна забезпечити виконання трьох основних етапів: індексацію

документів підприємства або організації, пошук релевантних фрагментів тексту у відповідності до запиту користувача, генерацію відповідей з використанням великих мовних моделей. Перевагами використання систем RAG для інформаційної підтримки користувачів є отримання більш точних, актуальних та деталізованих відповідей, які базуються на корпусі документів предметної області. Проблемами та викликами залишаються недостатня продуктивність таких систем, залежність від якості даних, що використовуються під час пошуку, ризику "галюцинацій". Перспективним напрямком даного дослідження є використання підходу RAG до створення інтелектуального асистента інформаційного порталу Технічного університету «Метінвест Політехніка».

3.5 Технології використання агентів штучного інтелекту для автоматизації виконання завдань з пошуку та узагальнення даних із зовнішніх джерел

Швидкий розвиток технологій штучного інтелекту (ШІ) та зростання обсягів даних створюють потребу в нових нетривіальних інструментах для ефективної обробки даних та витягу з даних знань про роботу предметних областей. В даний час існує проблема, яка вимагає постійних досліджень для свого вирішення: традиційні методи пошуку та аналізу даних в різноманітних джерелах (сховищах даних, корпусах документів підприємств та організацій, корпоративних та соціальних мережах) часто не справляються з великими обсягами неструктурованої інформації та складними запитами.

Мета дослідження: проаналізувати потенціал агентів ШІ, інтегрованих з великими мовними моделями (Large Language Models – LLM), для автоматизації виконання завдань у сфері обробки даних та розв'язання задач інтелектуальної діяльності, зокрема, з пошуку та узагальнення даних з зовнішніх, відносно бази знань LLM, джерел даних.

В ході дослідження було проаналізовано архітектуру та функціонал агентів ШІ, сучасні доробки в галузі теорії та практики організації і застосування багатоагентних систем.

Аналіз архітектури сучасних технічних рішень показав наступне. Незалежно від типу, більшість агентів мають такі основні компоненти:

- компонент сприйняття (перцепції), – забезпечує здатність агента сприймати інформацію з навколишнього середовища через сенсори (датчики або інтерфейси для отримання даних з інших систем);

- виконавчі інструменти, – програмні комплекси та бібліотеки функцій для взаємодії з навколишнім середовищем. Агент може виконувати різні дії, такі як переміщення в інформаційному просторі, маніпулювання об'єктами даних, зміна стану інших програмних систем, тощо;

- база знань, – компонент, який містить інформацію про навколишній світ, правила поведінки, цілі агента та інші умови і обмеження, необхідні для прийняття рішень;

- компонент прийняття рішень, – використовує відповідні алгоритми для вибору дій агентом на основі сприйнятої інформації та наявних знань про предметну область.

Суттєвим досягненням сучасної науки про штучний інтелект та великою відмінністю від багатоагентних систем попередніх поколінь є інтеграція агентів ШІ з великими мовними моделями. Інтеграція агентів ШІ з LLM відкриває нові можливості для розширення їхньої функціональності та переліку задач, які вони можуть розв'язувати. Особливістю цього підходу є наступні ознаки агентів ШІ:

- взаємодія з LLM для виконання завдань: агент може передавати LLM текстові запити, а LLM генерує відповіді, які агент використовує для прийняття рішень або виконання завдань;

- передача контексту: агент може передавати LLM додаткову інформацію про контекст завдання, щоб допомогти їй генерувати більш точні та релевантні відповіді;

– спільне використання знань: LLM може служити розширеною базою знань для агента, надаючи доступ до великих обсягів накопиченої під час навчання LLM інформації та знань, які можуть бути використані для вирішення складних завдань агента в конкретній предметній області.

Агенти штучного інтелекту, які інтегровані з великими мовними моделями, відкривають нові можливості для ефективного пошуку та аналізу інформації. Так, при автоматизації пошуку даних і знань у зовнішніх джерелах визначено наступні завдання для виконання агентами III:

– складні багатоступінчасті запити, – вміст завдання: агенти здатні розуміти та виконувати складні запити, що включають кілька умов і логічних операцій. Наприклад, при виконанні запиту: "Знайти всі наукові статті про методи проєктування нереляційних баз даних, опубліковані в журналах з високим імпаکت-фактором за останні п'ять років", агент зможе розбити цей запит підзапити, знайти відповідну літературу та надати структуровану відповідь. Цю відповідь можна обробити засобами іншого агента, який зможе виконати узагальнення вмісту або пошук подібних статей.

– пошук інформації в реальному часі, – завдяки інтеграції з різноманітними джерелами даних, агенти можуть здійснювати пошук, відстежувати зміни та оновлювати результати.

– верифікація та оцінка достовірності джерел, – агенти можуть використовувати різні методи для оцінки достовірності джерел інформації. Наприклад, вони можуть аналізувати репутацію джерела, перевіряти факти, порівнювати інформацію з інших джерел та виявляти ознаки маніпуляції або недоброчесності.

Дуже корисним в процесі автоматизації пошуку даних в зовнішніх джерелах є спроможність агентів узагальнювати дані. Агенти можуть автоматично виділяти найважливішу інформацію з великих обсягів тексту, витягати вагомі сутності та ключові показники. Ще одна корисна властивість – спроможність виявлення відношень між даними, таких як причинно-наслідкові зв'язки, кореляції, аналогії

тощо. Це дозволяє виявляти закономірності, робити прогнози та будувати більш глибоке розуміння даних. Також це дозволяє автоматизувати створення онтологічних моделей про функціонування предметних областей, створювати графові бази знань, які також використовуються в процесах підвищення ефективності обробки даних засобами LLM, в рамках технології RAG (retrieving augmented generation), а саме її різновиду GraphRAG.

Перевагами використання агентів III, в тому числі при пошуку даних в зовнішніх джерелах, є продуктивність і швидкість виконання завдань, за рахунок взаємодії та паралельного виконання окремих етапів, підвищення точності результатів завдяки використанню складних алгоритмів та їх комплексування. Додатковою перевагою є розширення діапазону можливих завдань та підвищення їх складності (агенти в багатоагентному середовищі здатні знаходити більш точні відповіді на складні запити, від пошуку інформації до її аналізу та узагальнення).

Проблеми, які виникають при організації та під час використання багатоагентних систем III, пов'язані перед усім з якістю даних, що обробляються. Ефективність роботи агентів суттєво залежить від цілісності, чистоти та надійності даних, відсутності протиріч в них. Інтерпретація результатів їх діяльності також може бути складною, особливо під час складної оркестровці взаємодії багатьох агентів. В таких умовах важко відслідкувати логіку прийняття рішень агентом та визначити, на якому саме етапі роботи окремого агента або на якому етапі обміну повідомленнями між ними сталася аварійна ситуація або було втрачено якість обробки даних. Також залишається неусуненою загальна вада LLM та агентів, які взаємодіють з ними: можливість порушення етичних правил, а саме виникнення упередженості, дискримінації, галюцинацій.

Висновки. Агенти штучного інтелекту, інтегровані з великими мовними моделями, є потужним інструментом для роботи з інформацією, в тому числі, під час пошуку даних і відомостей у зовнішніх джерелах (сховищах даних, корпоративних та соціальних мережах, тощо). Відповідні технології використання агентів базуються на їх спроможності автоматичного виділення найважливішої

інформації з великих обсягів тексту, витягати вагомі сутності та ключові показники, виявляти різноманітні відношення між даними, такі як причинно-наслідкові зв'язки, кореляції, аналогії тощо. Однак, для успішного застосування агентів необхідно враховувати їхні обмеження та вирішувати пов'язані з ними етичні проблеми.

### **Висновки до розділу 3**

1. Досліджено рівень використання штучного інтелекту в освіті та бізнесі в сучасному світі, виділено ключові напрями використання штучного інтелекту, описано прогнози щодо тенденцій розвитку штучного інтелекту на 2024 рік й перспективи та перешкоди використання штучного інтелекту у комерційному секторі, в нерухомості, в комунікаціях, в промисловості, зокрема для автоматизації продажів та документообігу, персоналізації в digital-маркетингу та ритейлі.

2. Розглянуто особливості використання інструментів генеративного штучного інтелекту, на прикладі ChatGPT, Google Gemini та Microsoft Copilot, для автоматизації бізнес-процесів. Визначено, що їх використання може значно підвищити продуктивність, оптимізувати робочі процеси та забезпечити більш ефективне управління даними, автоматизувати рутинні завдання та зосередитися на більш стратегічних ініціативах.

3. Retrieval-Augmented Generation (RAG) спрямовані на покращення продуктивності великих мовних моделей через інтеграцію компонентів інформаційного пошуку на основі документів та ресурсів предметної області або підприємства (організації), для інформаційної підтримки фахівців якої призначена відповідна система. Організація таких систем повинна забезпечити виконання трьох основних етапів: індексацію документів підприємства або організації, пошук релевантних фрагментів тексту у відповідності до запиту користувача, генерацію відповідей з використанням великих мовних моделей. Превагами використання систем RAG для інформаційної підтримки користувачів є отримання більш точних, актуальних та деталізованих відповідей, які базуються на корпусі документів

предметної області. Перспективним напрямком даного дослідження є використання підходу RAG до створення інтелектуального асистента інформаційного порталу Технічного університету «Метінвест Політехніка».

4. Агенти штучного інтелекту, інтегровані з великими мовними моделями, визначено як комплекс перспективних інформаційних технологій та потужний інструмент для роботи з інформацією, в тому числі, під час пошуку даних і відомостей у зовнішніх джерелах (сховищах даних, корпоративних та соціальних мережах, тощо). Відповідні технології використання агентів базуються на їх спроможності автоматичного виділення найважливішої інформації з великих обсягів тексту, витягати вагомі сутності та ключові показники, виявляти різноманітні відношення між даними, такі як причинно-наслідкові зв'язки, кореляції, аналогії тощо. Однак, для успішного застосування агентів необхідно враховувати їхні обмеження та вирішувати пов'язані з ними етичні проблеми.

## ВИСНОВКИ

1. Використання категоріально-онтологічного підходу до моделювання та проектування дає можливість формально обґрунтувати суб'єктивні результати інженерії знань та використовувати об'єкти теорії категорій у вигляді шаблонів проектування на високому рівні абстракції. Алгоритм, який розроблено в роботі, дозволяє автоматизувати складний етап моделювання предметних областей, на якому відбувається перетворення категоріально-онтологічної моделі у діаграми класів UML для подальшої формалізації результатів концептуального проектування інформаційної системи.

2. Представлення з використанням категоріально-онтологічного підходу компетентностей, умінь і навичок для реалізації освітнього процесу, застосоване в даній роботі, дозволило систематизувати плани і зміст освіти, методологія інформаційного забезпечення освітньої та інженерної діяльності отримала подальший розвиток на основі побудови та використання відповідних онтологій і баз знань.

3. Застосування системного підходу до аналізу предметної області «Удосконалення кібербезпеки з використанням методів машинного навчання, як складової інформаційної підтримки діяльності з використанням цифрового інтелекту» дозволило визначити основні напрямки та підходи до забезпечення надійного захисту сучасних інформаційних систем, які стикаються з посилення загроз від зовнішнього втручання та знищення.

4. Запропоновано новий підхід до створення інформаційно-вимірjuвальної системи контролю якості, що базується на використанні машинного зору з глибокою нейронною мережею та векторною базою даних. На відміну від існуючих рішень, які використовують емпіричні функції та експертний відбір характеристик зображень, запропоноване технічне рішення використовує вбудовування (embedding) зображень плиток у багатовимірний семантичний простір за допомогою переднавченої згорткової нейронної мережі та пошук

(порівняння) вбудовувань для розв'язання задачі сортування плиток за їх зовнішнім виглядом.

5. Проведено теоретичні дослідження щодо властивостей ультраметричних просторів. Результати цього дослідження дозволять застосовувати математичний апарат теорії ультраметричних просторів до виявлення властивостей графів типу поміченого дерева. Розробка математичного обґрунтування побудови та дослідження властивостей таких дерев дає можливість підвищити ефективність методів машинного навчання, як складової штучного інтелекту.

6. Розвиток цифрового інтелекту за рахунок автоматизації наукової та навчальної діяльності є важливим напрямком удосконалення сучасної навчально-методичної бази для підготовки фахівців з інформаційних технологій та комп'ютерних наук. Студенти та науковці в процесі застосування засобів візуалізації й емуляції етапів аналізу даних та розробки програмного забезпечення отримують можливість більш ефективно удосконалити свої компетентності розробки моделей, алгоритмічного забезпечення та інформаційних систем, що забезпечують підтримку діяльності користувачів та прийняття рішень в складних системах та процесах.

7. Використання програмних комплексів наочної візуалізації процесів, що моделюються, та віртуалізації окремих фізичних компонентів комп'ютерних систем, дозволяють з меншими витратами та в умовах он-лайн навчання або он-лайн командної роботи забезпечити отримання стійких знань, навичок та вмінь, підтримати креативність та продуктивність навчальної та наукової роботи.

8. В даній роботі розглянуто можливості, визначено переваги та обмеження, запропоновано методики використання програмних комплексів для автоматизації і візуальної побудови конвеєрів обробки даних (на прикладі orange3, .NET Interactive та ML.NET), засобів емуляції пристроїв IoT (на прикладі Wokwi та Visual Code), автоматизованої побудови 2D-креслень за результатами аналізу 3D-моделей виробів, в тому числі з використанням такого методу штучного інтелекту, як згорткові нейронні мережі.

9. Досліджено рівень використання штучного інтелекту в освіті та бізнесі в сучасному світі, виділено ключові напрями використання штучного інтелекту, описано прогнози щодо тенденцій розвитку штучного інтелекту й перспективи та перешкоди використання штучного інтелекту у комерційному секторі, в нерухомості, в комунікаціях, в промисловості, зокрема для автоматизації продажів та документообігу, персоналізації в digital-маркетингу та ритейлі.

10. Розглянуто особливості використання інструментів генеративного штучного інтелекту, на прикладі ChatGPT, Google Gemini та Microsoft Copilot, для автоматизації бізнес-процесів. Визначено, що їх використання може значно підвищити продуктивність, оптимізувати робочі процеси та забезпечити більш ефективне управління даними, автоматизувати рутинні завдання та зосередитися на більш стратегічних ініціативах.

11. Retrieval-Augmented Generation (RAG) спрямовані на покращення продуктивності великих мовних моделей через інтеграцію компонентів інформаційного пошуку на основі документів та ресурсів предметної області або підприємства (організації), для інформаційної підтримки фахівців якої призначена відповідна система. Перспективним напрямком даного дослідження є використання підходу RAG до створення інтелектуального асистента інформаційного порталу Технічного університету «Метінвест Політехніка».

12. Агенти штучного інтелекту, інтегровані з великими мовними моделями, визначено як комплекс перспективних інформаційних технологій та потужний інструмент для роботи з інформацією, в тому числі, під час пошуку даних і відомостей у зовнішніх джерелах (сховищах даних, корпоративних та соціальних мережах, тощо). Відповідні технології використання агентів базуються на їх спроможності автоматичного виділення найважливішої інформації з великих обсягів тексту, витягати вагомі сутності та ключові показники, виявляти різноманітні відношення між даними.

Результати досліджень опубліковано в роботах [115 - 139].

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sharda R., Delen D., Turban E. Business intelligence and analytics: systems for decision support. London : Pearson Education, 2014. 688 p.
2. Data mining: practical machine learning tools and techniques / ed. by I. H. Witten, F. Eibe. Burlington : Morgan Kaufmann Publishers, 2005. 654 p.
3. Gruber T. A translation approach to portable ontologies. URL: <http://www-ksl.stanford.edu/kst/what-is-an-ontology.html>.
4. Guizzardi G. Ontological Foundations for Structural Conceptual Models. Veenendaal : Universal Press, 2005. 416 p.
5. Gomez-Perez A., Fernandez-Lopez M., Corcho O. Ontological engineering. Berlin : Springer, 2004. 403 p.
6. Walter R. F. C. Categories and Computer Science. Cambridge : Cambridge University Press, 1991. 184 p.
7. Spivak D. I. Category theory for the sciences. Cambridge : MIT Press, 2014. 486 p.
8. Wells C. Sketches: Outline with References. URL: <http://www.cwru.edu/artsci/math/wells/pub/pdf/Sketch.pdf>.
9. Barr M. Models of sketches. *Cashiers Topologie Geom. Differentielle*. 1986. Vol. 27. P. 93–107.
10. Wells C. A generalization of the concept of sketch. *Theoretical Computer Science*. 1990. Vol. 70, № 1. P. 159–178.
11. Сагайда П. І. Алгоритмічні засоби та програмні компоненти комп'ютерних систем інтелектуальної обробки даних в організаційно-технічних комплексах : дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.05. Покровськ, 2018. 541 с.
12. Sahaida P. Development of methodology for data and knowledge warehouse design in computer systems for intellectual data processing. *Technology audit and production reserves: Information and Control Systems*. 2018. Vol. 1, № 2(39). P. 10–15.

13. Johnson M., Rosebrugh R., Wood R. J. Entity-relationship-attribute designs and sketches. *Theory and Applications of Categories*. 2002. Vol. 10, № 3. P. 94–112.
14. About Anchor Modeling. URL: <http://www.anchor modeling.com>.
15. Date C. J. An Introduction to Database Systems. 8th ed. Boston : Pearson, 2003. 1024 p.
16. Ontology Management: Semantic Web, Semantic Web Services, and Business Applications / ed. by M. Hepp [et al.]. Berlin : Springer, 2007. 293 p.
17. Larman C. Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development. Boston : Addison Wesley Professional, 2004. 736 p.
18. ISO/IEC 19502:2005. Information technology – Meta Object Facility (MOF). URL: [http://webstore.iec.ch/preview/info\\_isoiec19502%7Bed1.0%7Den.pdf](http://webstore.iec.ch/preview/info_isoiec19502%7Bed1.0%7Den.pdf).
19. Sagayda P. Analysis of problems and tasks of knowledge discovery from data on the basis of ontological approach. *Research and Technology – Step into the Future*. Scientific & Research Journal of Transport and Telecommunication Institute (Riga). 2010. Vol. 5, No 2. P. 15.
20. Tarasov O., Sahaida P., Podlesny S., Vasylieva L. Categorical-ontological approach to information support of educational activities. *SHS Web of Conferences*. 2022. Vol. 142. DOI: 10.1051/shsconf/202214203005.
21. Nalepa G. J. Modeling with Rules Using Semantic Knowledge Engineering. Berlin : Springer, 2018. 308 p.
22. Lopez M. A. [et al.] Intelligent Detection and Recovery from Cyberattacks for Small and Medium-Sized Enterprises. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*. 2020. Vol. 6, № 3. P. 55–62.
23. Next-Generation Cybersecurity / ed. by K. Kaushik, I. Sharma. Singapore : Springer Nature Singapore, 2024. 428 p.
24. Getman I. A. Measuring control of ceramic tiles at processing of their images and decision-making about a sort in the informatively-measuring system. *Research and Technology: Step into the Future*. 2009. Vol. 4, № 4. P. 20–21.

25. Meena Y., Mittal A. Blobs and Cracks Detection on Plain Ceramic Tile Surface. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2013. Vol. 3, № 7. P. 647–652.

26. Sanghadiya F., Mistry Dr. Surface Defect Detection in a Tile using Digital Image Processing: Analysis and Evaluation. *International Journal of Computer Applications*. 2015. Vol. 116, № 10. P. 33–35.

27. Гетьман І. А. Рішення задач класифікації при вимірювальному контролі керамічних плиток та прийняття рішення про сорт. *Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод* : матеріали ІІ Всеукр. наук.-техн. конф., 19–21 квіт. 2018 р. Краматорськ : ДДМА, 2018. С. 132–133.

28. ДСТУ EN 14411:2019 (EN 14411:2012, IDT). Плитки керамічні. Визначення, класифікація, характеристики, оцінка відповідності та маркування : затв. наказом ДП "УкрНДНЦ" від 18.12.2019 № 442. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0442774-19#Text>.

29. Rostami M. Transfer Learning Through Embedding Spaces. Boca Raton : CRC Press LLC, 2021. 220 p.

30. Okeke S. [et al.] A Machine Learning Method for Detection of Surface Defects on Ceramic Tiles Using Convolutional Neural Networks. *Electronics*. 2022. Vol. 11, № 1. P. 55.

31. Mylopoulos J. Conceptual Modelling III. Structured Analysis and Design Technique (SADT). URL: <http://www.cs.toronto.edu/~jm/2507S/Notes04/SADT.pdf>.

32. Nayak P. Which Vector Database Should You Use? Choosing the Best One for Your Needs. *Medium*. URL: <https://medium.com/the-ai-forum/which-vector-database-should-you-use-choosing-the-best-one-for-your-needs-5108ec7ba133>.

33. Beyrer J., Schroeder V. Trees and ultrametric Möbius structures. *p-adic Numbers Ultrametric Analysis and Applications*. 2017. Vol. 9, № 4. P. 247–256.

34. Bilet V., Dovgoshey O. On monoid of metric preserving functions. *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*. 2024. Vol. 10. P. 1420671.

35. Bilet V., Dovgoshey O., Shanin R. Ultrametric preserving functions and weak similarities of ultrametric spaces. *p-adic Numbers Ultrametric Analysis and Applications*. 2021. Vol. 13. P. 186–203.
36. Bourbaki N. Algebra I. *Chapters 1–3*. Reading : Addison-Wesley Publishing Company, 1974. 722 p.
37. Bourbaki N. General Topology. *Chapters 1-4*. Berlin : Springer-Verlag, 1995. 437 p.
38. C. Delhommé [et al.] Indivisible ultrametric spaces. *Topology and its Applications*. 2008. Vol. 155, № 14. P. 1462–1478.
39. Dovgoshey O. Combinatorial properties of ultrametrics and generalized ultrametrics. *Bulletin of the Belgian Mathematical Society - Simon Stevin*. 2020. Vol. 27, № 3. P. 379–417.
40. Dovgoshey O. On ultrametric-preserving functions. *Mathematica Slovaca*. 2020. Vol. 70, № 1. P. 173–182.
41. Dovgoshey O. Strongly ultrametric preserving functions. *Topology and its Applications*. 2024. Vol. 351. P. 108931.
42. Dovgoshey O. Ultrametric-preserving functions as monoid endomorphisms. *arXiv.org*. 2024. P. 1–17. URL: <https://arxiv.org/abs/2406.07166v2>.
43. Dovgoshey O., Dordovskyi D. Ultrametricity and metric betweenness in tangent spaces to metric spaces. *p-adic Numbers Ultrametric Analysis and Applications*. 2010. Vol. 2, № 2. P. 100–113.
44. Dovgoshey O., Kostikov A. Locally finite ultrametric spaces and labeled trees. *Journal of Mathematical Sciences*. 2023. Vol. 276, № 5. P. 614–637.
45. Dovgoshey O., Martio O. Blow up of balls and coverings in metric spaces. *Manuscripta Mathematica*. 2008. Vol. 127. P. 89–120.
46. Dovgoshey O., Martio O. Products of metric spaces, covering numbers, packing numbers and characterizations of ultrametric spaces. *Revue Roumaine de Mathématiques Pures et Appliquées*. 2009. Vol. 54, № 5-6. P. 423–439.

47. Dovgoshey O., Petrov E. Subdominant pseudoultrametric on graphs. *Sbornik: Mathematics*. 2013. Vol. 204, № 8. P. 1131–1151.
48. Gomory R. E., Hu T. C. Multi-terminal network flows. *SIAM Journal on Applied Mathematics*. 1961. Vol. 9, № 4. P. 551–570.
49. Groot J. D. Non-Archimedean metrics in topology. *Proceedings of the American Mathematical Society*. 1956. Vol. 7, № 5. P. 948–953.
50. Ibragimov Z. Möbius maps between ultrametric spaces are local similarities. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae Mathematica*. 2012. Vol. 37. P. 309–317.
51. Ishiki Y. An embedding, an extension, and an interpolation of ultrametrics. *p-Adic Numbers Ultrametric Analysis and Applications*. 2021. Vol. 13, № 2. P. 117–147.
52. Ishiki Y. Constructions of Urysohn universal ultrametric spaces. *p-Adic Numbers Ultrametric Analysis and Applications*. 2023. Vol. 15, № 4. P. 266–283.
53. Ishiki Y. Simultaneous extensions of metrics and ultrametrics of high power. *Topology and its Applications*. 2023. Vol. 336, № 37. P. 108624.
54. Ishiki Y. Uniqueness and homogeneity of non-separable Urysohn universal ultrametric spaces. *Topology and its Applications*. 2024. Vol. 342, № 11. P. 108762.
55. Khemaratchatakumthorn T. [et al.] Further remarks on b-metrics, metric-preserving functions, and other related metrics. *International Journal of Mathematics and Computer Science*. 2019. Vol. 14, № 2. P. 473–480.
56. Kirk W. A., Shahzad N. Some fixed point results in ultrametric spaces. *Topology and its Applications*. 2012. Vol. 159. P. 3327–3334.
57. Lemin A. J. On isosceles metric spaces. *Functional Analysis and its Applications*. 1984. P. 26–31.
58. Schikhof W. H. *Ultrametric Calculus. An Introduction to p-Adic Analysis*. Cambridge University Press. 1985.
59. Diestel. R. *Graph Theory*, fifth ed. Berlin : Springer. 2017.
60. Bilet V., Dovgoshey O., and Kononov Y. Ultrametrics and complete multipartite graphs. *Theory and Applications of Graphs*. 2022. Vol. 9(1), Article 8.

61. Lemin A. J. An application of the theory of isosceles (ultrametric) spaces to the Trnkova-Vinarek theorem. *Commentationes Mathematicae Universitatis Carolinae*. 1988. Vol. 29, № 3. P. 427–434.
62. Lemin A. J. The category of ultrametric spaces is isomorphic to the category of complete, atomic, tree-like, real graduated lattices LAT. *Algebra Universalis*. 2003. Vol. 50, № 1. P. 35-49.
63. Natanson I. P. Theory of Functions of a Real Variable. New York : Frederick Ungar Publishing Co, 1983. Vol. I.
64. Pongsriiam P., Termwuttipong I. Remarks on ultrametrics and metric-preserving functions. *Abstract and Applied Analysis*. 2014. P. 1-9.
65. Priess-Crampe S., Ribenboim P. Fixed points, combs and generalized power series. *Abhandlungen aus dem Mathematischen Seminar der Universität Hamburg*. 1993. Vol. 63. P. 227-244.
66. Priess-Crampe S., Ribenboim P. Generalized ultrametric spaces I. *Abhandlungen aus dem Mathematischen Seminar der Universität Hamburg*. 1996. Vol. 66. P. 55-73.
67. Priess-Crampe S., Ribenboim P. Generalized ultrametric spaces II. *Abhandlungen aus dem Mathematischen Seminar der Universität Hamburg*. 1997. Vol. 67. P. 19-31.
68. Qiu D. Geometry of non-Archimedean Gromov–Hausdorff distance. *p-adic Numbers Ultrametric Analysis and Applications*. 2009. Vol. 1, № 4. P. 317-337.
69. Qiu D. The structures of Hausdorff metric in non-Archimedean spaces. *p-adic Numbers Ultrametric Analysis and Applications*. 2014. Vol. 6, № 1. P. 33-53.
70. Ribenboim P. The new theory of ultrametric spaces. *Periodica Mathematica Hungarica*. 1996. Vol. 32, № 1-2. P. 103-111.
71. Ribenboim P. The immersion of ultrametric spaces into Hahn Spaces. *Journal of Algebra*. 2009. Vol. 323, № 5. P. 1482-1493.

72. Rosenfeld A. An introduction to algebraic structures. San Francisco ; Cambridge ; London ; Amsterdam : Holden-Day, 1968. 327 p.

73. Samphavat S., Khemaratchatakumthorn T., Pongsriiam P. Remarks on b-metrics, ultrametrics, and metric-preserving functions. *Mathematica Slovaca*. 2020. Vol. 70, № 1. P. 61-70.

74. Samphavat S., Prinyasart T. On ultrametrics, b-metrics, w-distances, metric-preserving functions, and fixed point theorems. *Fixed Point Theory and Algorithms for Sciences and Engineering*. 2024. Vol. 9.

75. Vallin R. W. , Dovgoshey O. A. P-adic metric preserving functions and their analogues. *Mathematica Slovaca*. 2021. Vol. 71, № 2. P. 391-408.

76. Vaughan J. E. Universal ultrametric spaces of smallest weight. *Topology Proceedings*. 1999. Vol. 24. P. 611-619.

77. Vestfrid I. On the universal ultrametric space. *Ukrainian Mathematical Journal*. 1994. Vol. 46, № 12. P. 1890-1898.

78. ML.Net : NuGet. URL: <https://www.nuget.org/packages/microsoft.ml/>.

79. Iris Dataset : UC Irvine Machine Learning Repository. URL: <http://archive.ics.uci.edu/dataset/53/iris>.

80. .NET Multi-platform App UI documentation // Microsoft Learn. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/maui/what-is-maui?view=net-maui-8.0>.

81. Cummings M., Hindrikes D., Karlsson J. .NET MAUI Projects. Birmingham : Packt Publishing, 2024. URL: <https://read.kortext.com/reader/pdf/2536005/ii>.

82. .NET Interactive : GitHub. URL: <https://github.com/dotnet/interactive?tab=readme-ov-file#net-interactive>.

83. Microsoft.Data.Analysis : NuGet. URL: <https://www.nuget.org/packages/Microsoft.Data.Analysis/>.

84. XPlot.Plotly.Interactive : NuGet. URL: <https://www.nuget.org/packages/XPlot.Plotly.Interactive/> (дата звернення: 29.10.2024).

85. Proteus : PCB Design & Simulation Made Easy. URL: <https://www.labcenter.com/>.

86. Tinkercad : Circuits on Tinkercad. URL: <https://www.tinkercad.com/circuits>.
87. Wowki : World's most advanced ESP32 simulator. URL: <https://wokwi.com/>.
88. Vlasenko M. , Khlaponin Y. The Internet of Things (IoT) in World Practice: Review and Analysis. *Pidvodni Tehnologii*. 2024. Vol. 13. P. 21-27. DOI: <https://doi.org/10.32347/uwt.2023.13.1202>.
89. Wokwi Simulator. *Visual Studio Marketplace*. URL: <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=platformio.platformio-ide>.
90. PlatformIO IDE. *Visual Studio Marketplace*. URL: <https://marketplace.visualstudio.com/items?itemName=platformio.platformio-ide> (дата звернення: 11.04.2024).
91. Nguyen H. T. , Nguyen T. T. N. Automated Generation of 3D Models Based on Digital Methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1827. P. 012115.
92. Лисканич Ю. І. Використання CAD/CAM систем для автоматизації проектування. *Матеріали студентської наукової конференції*. 2018. С. 208-209.
93. Tsai W. Engineering Applications Using CAD-Based Application Programming Interface. *ResearchGate*. 2017. URL: [https://www.researchgate.net/publication/312077164\\_Engineering\\_applications\\_using\\_CAD\\_based\\_application\\_programming\\_interface](https://www.researchgate.net/publication/312077164_Engineering_applications_using_CAD_based_application_programming_interface).
94. Цись О. Використання CAD-систем у навчальному процесі. *Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова*. Серія 3. Фізика і математика у вищій і середній школі. 2019. № 21. С. 123-129.
95. Лисканич Ю. І., Пахаренко М. С. Інновації у CAD-проектванні. *Вісник технічних наук*. 2021. № 2. С. 45-53.
96. Іванченко В. Оптимізація геометричних моделей для автоматизації у будівництві. *Cybersecurity Journal*. 2020. № 5. С. 34-38.
97. Wei C., Chang K., Chiang H. Automated Wall Detection in 2D CAD Drawings to Create Digital 3D Models. *MDPI Informatics*. 2022. Vol. 5, № 2. P. 42.

98. Wei C., Tsai W. Automated 3D Modelling Methods for Industrial Applications. *ResearchGate*. 2022. URL: [https://www.researchgate.net/profile/Chialing-Wei/publication/362499736\\_Automated\\_Wall\\_Detection\\_in\\_2D\\_CAD\\_Drawings-to-Create-Digital-3D-Models](https://www.researchgate.net/profile/Chialing-Wei/publication/362499736_Automated_Wall_Detection_in_2D_CAD_Drawings-to-Create-Digital-3D-Models).

99. ChatGPT used by teachers more than students, new survey from Walton Family Foundation Finds. URL: <https://www.waltonfamilyfoundation.org/chatgpt-used-by-teachers-more-than-students-new-survey-from-walton-family-foundation-finds>.

100. 8 in 10 teachers approve of student use of CHATGPT, nearly all use it themselves. *Website Intelligent*. URL: <https://www.intelligent.com/8-in-10-teachers-approve-of-student-use-of-chatgpt-nearly-all-use-it-themselves/>.

101. Примаченко І. Штучний інтелект в освіті: можливості, виклики та перші кроки великої адаптації. *Українська правда*. 2023. URL: <https://life.pravda.com.ua/columns/2023/08/4/255650/>.

102. Висоцький О. Штучний інтелект: практичні кейси та можливості для українського бізнесу. *УБР*. URL: <https://ubr.ua/uk/blog-uk/praktika-biznesa-uk/iskusstvennyj-intellekt-prakticheskie-kejsy-i-vozmozhnosti-dlya-biznesa>.

103. Логінова І. Чи потрібен штучний інтелект у бізнесі?. URL: <https://inproject.org/chy-potriben-shtuchnyj-intelekt-u-biznesi/>.

104. Використання штучного інтелекту бізнесом: переваги впровадження AI. URL: <https://aiconference.com.ua/uk/news/primenenie-iskusstvennogo-intellekta-v-biznese-preimushchestva-vnedreniya-ai-92908>.

105. Heikkilä M., Heaven W. D. What's next for AI in 2024. *MIT Technology Review*. 2024. URL: <https://www.technologyreview.com/2024/01/04/1086046/whats-next-for-ai-in-2024>.

106. ChatGPT : OpenAI. URL: <https://chat.openai.com/>.

107. Gemini : Google. URL: <https://gemini.google.com/>.

108. Copilot : Microsoft. URL: <https://copilot.microsoft.com/>.

109. Кай-Фу Лі, Цюфань Чень Штучний інтелект 2041: 10 передбачень для майбутнього. Київ : Bookcheff, 2022. 464 с.

110. Андронюк Н. І., Степанюк Д. О. Розвиток штучного інтелекту в системі бухгалтерського обліку. *Нові інформаційні технології управління бізнесом* : збірник тез VI Всеукраїнської науково-практичної конференції. Київ : Спілка автоматизаторів бізнесу, 2023. С. 5-6. URL: <http://dkrkm.org.ua/cache/2022-2023/konf/180323/zbirnyk.pdf>.

111. Васильєва В. Г. Особливості та умови використання штучного інтелекту для вдосконалення функцій обліку й аудиту. *Технології добросовісного використання штучного інтелекту у сфері освіти та науки* : матеріали всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації. Одеса : Гельветика, 2023. С. 38-41. URL: [https://cuesc.org.ua/images/informlist/Maket\\_advanced\\_training\\_PSAU.pdf](https://cuesc.org.ua/images/informlist/Maket_advanced_training_PSAU.pdf).

112. King F. Unlocking the Potential of ChatGPT in Project Management: 8 easy use-cases. URL: <https://frederickking-hh.medium.com/unlocking-the-potential-of-chatgpt-in-project-management-8-easy-use-cases-c3fd7cff8466>.

113. Gao Y., Xiong Y., Gao X., Jia K., Pan J., Bi Y., Wang H. Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey. *arXiv.org e-Print archive*. URL: <https://arxiv.org/html/2312.10997v5#S2>.

114. Demir N. Hands-On with RAG: Step-by-Step Guide to Integrating Retrieval Augmented Generation in LLMs. *Medium*. URL: <https://blog.demir.io/hands-on-with-rag-step-by-step-guide-to-integrating-retrieval-augmented-generation-in-llms-ac3cb075ab6f>.

115. Dovgoshey O., A. Kostikov Delhomme–Laflamme–Pouzet–Sauer space as groupoid. *Journal of Mathematical Sciences*. 2024. Vol. 284, Issue 3. P. 315–328. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10958-024-07352-1>.

116. Vlasenko K. V., Armash T. S., Kostikov A. A., Lovianova I. V. and Moiseienko M. V. The usage of stochastic matrices while learning the topic “Eigenvalues and eigenvectors of a matrix” in the course of Higher Mathematics. *Journal of Physics: Conference Series*. 2024. Vol. 2871, No. 1. P. 012002. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2871/1/012002>.

117. Грудкіна Н.С., Костіков О.А., Ровенська О.Г. До питання формування дослідницької компетентності здобувачів вищої освіти в процесі розв'язання задач з теорії ймовірності. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2024. №10. DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.13891974>.

118. Грудкіна Н. С., Колесніков С.А., Костіков О.А. Аналіз раціональності використання СКМ Maple та MS Excel при розв'язанні ймовірнісних задач. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2024. №13. DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.14440352>.

119. Гетьман І. А., Держевецька М. А., Солод Ю. А. Застосування методів дослідження операцій для прогнозування температури навколишнього середовища за допомогою нейронних мереж. *Таврійський науковий вісник*. Серія: Технічні науки. 2024. Вип. 3. С. 13–19. URL : <https://journals.ksauniv.ks.ua/index.php/tech/issue/view/40>.

120. Гетьман І. А., Солод Ю. А., Держевецька М. А. Дослідження застосування штучних нейронних мереж для підвищення точності прогнозування температури навколишнього середовища. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2024. № 2 (89). С. 145–149. URL : [https://kntu.net.ua/index.php/ukr/content/download/116365/652955/file/Вісник%202020\(89\).pdf](https://kntu.net.ua/index.php/ukr/content/download/116365/652955/file/Вісник%202020(89).pdf).

121. Касьянюк С.В., Касьянюк О.С. Бізнес-аналітика та її роль в діяльності підприємства. *Інфраструктура ринку: електронний науково-практичний журнал*. 2024. Вип. 78. С.14-18. URL : [http://www.market-infr.od.ua/journals/2024/78\\_2024/5.pdf](http://www.market-infr.od.ua/journals/2024/78_2024/5.pdf).

122. Гурковська С. С., Добряк С. К. Формування дослідницької компетентності студентів при виборі інструментів веб-розробки для кросбраузерності. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2024. №12. URL : <https://pedagogical-academy.com/index.php/journal/article/view/481>.

123. Гурковська С. С. Особливості викладання дисципліни «Інженерна графіка» для технічних спеціальностей. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2024. № 13. URL : <https://pedagogical-academy.com/index.php/journal/article/view/474>.

124. Сагайда П.І., Костіков О.А. Алгоритмічне забезпечення методу верифікації онтологічної моделі з використанням теорії категорій під час проектування сховищ даних та знань інформаційних систем. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. 2024. Том 35 (74). № 6 (прийнята до друку).

125. Сагайда П.І., Костіков О.А., Добряк С.К. Метод застосування агентів штучного інтелекту в багатоагентній системі для автоматизації процесів інтелектуального аналізу даних. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2024. № 4(91) (прийнята до друку).

126. Сагайда П.І., Гетьман І.А., Касьянюк О.С. Інформаційно-вимірювальна система контролю якості керамічної плитки на основі бази знань про вбудовування зображень виробів відповідного сорту. *Науковий Журнал Метінвест Політехніки*. Серія: Технічні науки. 2024. № 3 (прийнята до друку).

127. Нефедченко О.О., Сагайда П.І. Використання orange3 для автоматизації процесів інтелектуального аналізу даних в режимі візуальної побудови етапів перетворення даних. *International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”* : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 1. P. 338-340.

128. Плуталов Я.А., Сагайда П.І. Використання RAG-систем для підвищення точності та змістовності результатів запитів до великих мовних моделей. *International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”* : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 1. P. 345-347.

129. Ткачук А.В., Сагайда П.І. Аналіз сучасного стану інформаційних систем підтримки туристичного бізнесу. *International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”* : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 1. P. 360-362.

130. Сагайда П.І., Добряк С.К. Технології використання агентів штучного інтелекту для автоматизації виконання завдань з пошуку та узагальнення даних із зовнішніх джерел. *International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”* : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 1. P. 349-352.

131. Ладигін О.В., Сагайда П.І. Методика автоматизації системи безперервного вдосконалення в сервісах товариства з обмеженою відповідальністю «МЕТІНВЕСТ БІЗНЕС СЕРВІС». *International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”* : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 1. P. 330-331.

132. Ільченко М.В., Сагайда П.І. Процес інвентаризації критичної інформації на підприємстві. *International scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”* : conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : “Baltija Publishing”, 2024. Vol. 1. P. 319-321.

133. Касьянюк О.С. Використання штучного інтелекту та інструментарію моделювання в проєктному менеджменті. *Інформаційні технології: теорія і практика*. І (VII) міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Інформаційні технології: теорія і практика»: тези доповідей (Дніпро, 20 –22 березня 2024) . М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : Свідлер А.Л. 2024. С. 68-71. URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/166565>.

134. Касьянюк О.С. Штучний інтелект в освіті та бізнесі: можливості та виклики. *Цифрові трансформації та інноваційні технології в економіці [електронне видання]* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (Ломжа - Харків, 14-15.03.2024) ; Харків: ПЗВО "Харківський технологічний університет "ШАГ", Частина 1, 2024. С. 215-219. URL: [https://fsx1.itstep.org/api/v1/files/r8Ot\\_0BPouGQWYeipbLHFyYjBgeSbTsN?inline=true](https://fsx1.itstep.org/api/v1/files/r8Ot_0BPouGQWYeipbLHFyYjBgeSbTsN?inline=true)

135. Касьянюк О.С., Самойленко Д.О. Використання .Net MAUI для навчання студентів програмуванню мобільних пристроїв. *VIII Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод»*: збірник матеріалів (18–20 квітня 2024 року, м. Краматорськ), Донбаська державна машинобудівна академія. м. Краматорськ: ДДМА. URL: [http://cit.dgma.donetsk.ua./materials/paper\\_citae\\_2024.pdf](http://cit.dgma.donetsk.ua./materials/paper_citae_2024.pdf).

136. Касьянюк О.С. Використання Wokwi для навчання студентів програмуванню мікроконтролерів Esp32 для створення пристроїв для IoT. *VIII Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод»*: збірник матеріалів (18–20 квітня 2024 року, м. Краматорськ), Донбаська державна машинобудівна академія. м. Краматорськ: ДДМА. URL: [http://cit.dgma.donetsk.ua./materials/paper\\_citae\\_2024.pdf](http://cit.dgma.donetsk.ua./materials/paper_citae_2024.pdf).

137. Касьянюк О.С. Використання засобів емуляції пристроїв IoT під час навчання студентів. *VII Міжнародна науково-теоретична конференція «Theoretical and practical scientific achievements: research and results of their implementation»* (13.09.2024, м. Піза, Італійська Республіка). URL: [https://previous.scientia.report/index.php/archive/issue/view/13.09.2024?utm\\_source=Sputnik-promo&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=SCIENTIA\\_Konferencija\\_%7C\\_Status:\\_opublikovano&utm\\_content=1337815277&utm\\_term=aWlkPThiYzUxYjMzLTZkZTEtNDRjNy1hZmQ3LTAyYjg4Y2VhNWVkMSZjaWQ9MTMzNzgxNTI3Nw==](https://previous.scientia.report/index.php/archive/issue/view/13.09.2024?utm_source=Sputnik-promo&utm_medium=email&utm_campaign=SCIENTIA_Konferencija_%7C_Status:_opublikovano&utm_content=1337815277&utm_term=aWlkPThiYzUxYjMzLTZkZTEtNDRjNy1hZmQ3LTAyYjg4Y2VhNWVkMSZjaWQ9MTMzNzgxNTI3Nw==).

138. Касьянюк О.С. Огляд сучасних мовних моделей генеративного штучного інтелекту для та перспективи їх використання у автоматизації бізнес-процесів. *V Міжнародна наукова конференція «Інноваційні тенденції сьогодення в сфері природничих, гуманітарних та точних наук»* (13.09.2024; м. Харків, Україна). URL: <https://archives.mcnd.org.ua/index.php/conference-proceeding/issue/view/13.09.2024>.

139. Основи наукових досліджень : глосарій / упоряд. Н.Ю. Рекова, І. А. Гетьман, М.А. Держевецька ; ТОВ «ТУ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»». Одеса : Олді+, 2024. 128 с. URL : <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/778>.