

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  
«25» січня 2024 року

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

Етап 1. Аналіз літературних джерел та детальна постановка завдань, що вирішуються у НДР. Дослідження поточного стану управління ефективністю та якістю в складних системах (організаційних, виробничих, соціально-економічних, техніко-економічних тощо). Дослідження задачі цифрового інтелекту в управлінні складними системами та процесами

Науковий керівник, д.е.н., професор  Наталія РЕКОВА  
«30» грудня 2023 року

Рукопис закінчено «30» грудня 2023 року

Результати роботи розглянуто Науково-технічною радою  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»,  
протокол № 5 від «25» січня 2024 року

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР,

д-р екон. наук, професор

Відповідальний виконавець,

д-р техн. наук, доцент

Виконавець, канд. техн.

наук, доцент

Виконавець, канд. екон.

наук

Виконавець, ст. викладач



---

Наталія РЕКОВА

(вступ, розділ 2)



---

Павло САГАЙДА

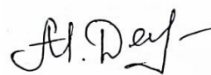
(вступ, висновки, розділи  
1, 3)



---

Олександр КОСТІКОВ

(розділ 5)



---

Марина ДЕРЖЕВЕЦЬКА

(розділ 4)



---

Олександр КАСЬЯНЮК

(розділ 4, участь в  
оформленні результатів)

## РЕФЕРАТ

**ЗВІТ про НДР (проміжний): 86 с., 64 джерела.**

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

**Об'єкт дослідження** – автоматизація управління складними системами та процесами.

**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 та процесами на основі розвитку цифрового 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 штучного інтелекту; розробка методологічних основ розвитку цифрового інтелекту користувачів інформаційних технологій (спеціалістів, аналітиків і менеджерів) та розробників програмних компонентів; результати розробки ефективних інформаційних технологій управління складними системами та процесами, процесів управління ефективністю та якістю в складних системах, з використанням сучасних досягнень у концептуальному моделюванні та всебічному застосуванні методів інтелектуального аналізу даних та підтримки прийняття рішень.

**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, які дозволять підтримати прийняття технічних та управлінських рішень на основі здобутих знань із даних й у такий спосіб підвищити продуктивність праці спеціалістів та менеджерів, вдосконалити процеси управління ефективністю та якістю в складних 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 використання методів штучного інтелекту; результати теоретичних та практичних досліджень забезпечують 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, пропонується активно використовувати в навчальному процесі здобувачів вищої освіти за спеціальністю «Комп'ютерні науки» та під час підвищення кваліфікації спеціалістів та менеджерів, які займаються управлінням ІТ-проектів та проектів цифрової трансформації підприємств та організацій. Проект потрібно розвивати та продовжувати розробку ефективних інформаційних технологій 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 і підтримки прийняття рішень.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАДАЧІ ФОРМУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО ІНТЕЛЕКТУ В УПРАВЛІННІ СКЛАДНИМИ СИСТЕМАМИ ТА ПРОЦЕСАМИ	8
1.1 Дослідження концепцій цифровізації й цифрової трансформації та взаємозв'язку між ними та цифровим інтелектом	
1.2 Аналіз можливостей розвитку цифрового інтелекту, як складової частини цифрової трансформації бізнесу та суспільства, в процесі підготовки здобувачів ЗВО	13
2 ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ В СУСПІЛЬСТВІ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ	17
3 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА РОЗРОБКИ ТА ІНТЕГРАЦІЇ ПІДСИСТЕМ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ІНЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ОСНОВІ КАТЕГОРІАЛЬНО-ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ	35
4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УДОСКОНАЛЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ, ЯК СКЛАДОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ДІЯЛЬНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВОГО ІНТЕЛЕКТУ	39
5 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНО СКІНЧЕНИХ УЛЬТРАМЕТРИЧНИХ ПРОСТОРІВ ТА МІЧЕНИХ ДЕРЕВ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ГРАФІЧНИХ БАЗ ДАНИХ	52
ВИСНОВКИ	74
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	77

## 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.і. 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 використовуються 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 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАДАЧІ ФОРМУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО ІНТЕЛЕКТУ В УПРАВЛІННІ СКЛАДНИМИ СИСТЕМАМИ ТА ПРОЦЕСАМИ

1.1 Дослідження концепцій цифровізації й цифрової трансформації та взаємозв'язку між ними та цифровим інтелектом

Великі дані та діджиталізація (цифровізація) – одні з найбільш обговорюваних концепцій, напрямків досліджень та експериментальних розробок і впроваджень останніх років. У той час як накопичення, обробка та аналіз великих даних для видобутку знань мають більш конкретні результати, діджиталізація бізнес-процесів все ще розглядається як необхідне майбутнє в рамках організаційної трансформації. Однак сьогодні питання вже в тому, як компаніям та організаціям адаптуватися до сучасного світу цифровізації. Не менш важливим є правильне застосування стратегії впровадження цифрових технологічних рішень, інформаційних технологій та заходів з розвитку цифрового інтелекту персоналу та менеджерів. Щоб забезпечити раціональне генерування додаткової вартості, в ході виконання бізнес-процесів необхідно знайти органічний компроміс, який одночасно відповідає потребі у творчій свободі співробітників та потребі в міцній структурі організаційно-технічної системи. Необхідна така трансформація бізнесу, при якій можлива синергія структурованого керівництва, ефективного управління та відповідного розвитку людських здібностей робітників.

Digital quotient (DQ) — це показник цифрової зрілості компанії або особи, який базується на оцінці ряду практик, пов'язаних з цифровою стратегією, можливостями та культурою [1]. DQ допомагає визначити, наскільки ефективно організація або працівник використовує цифрові технології для досягнення своїх цілей, а також виявити прогалини в цифрових навичках та компетенціях. DQ складається з чотирьох

складових: цифрова стратегія, цифрові здібності, цифрова культура та цифрова організація [2].

Існують різні методики для вимірювання та підвищення DQ, наприклад, Digital IQ від McKinsey або DQ Institute [3]. Вони дозволяють проводити діагностику, аналіз, навчання та моніторинг цифрового розвитку на рівні підприємства, команди або індивідуума. Високий рівень DQ сприяє підвищенню продуктивності, інноваційності, конкурентоспроможності та адаптації до змін у цифровому світі [4].

Організаційна трансформація - це зміни в способі функціонування організації. Трансформація організації - це термін, який використовується для відображення організаційних перетворень, визнаючи, що в міру того, як організація змінює зовнішнє обличчя, яке організація демонструє світові, також необхідні зміни у внутрішніх структурах і процесах всередині організації, щоб поліпшити і підтримати зовнішнє обличчя. Зміни, керовані ІТ, є основним рушієм організаційних перетворень. Має сенс представлення організаційної архітектури як основи для структурного аналізу та оцінки аспектів організації, на які можуть вплинути запропоновані зміни в ІТ-системах організації. Такий аналіз дозволяє розробити послідовну структуру, в якій можна розглядати організаційні трансформації у відповідь на зміни, керовані ІТ. Також такий підхід може бути використаний ретроспективно для аналізу того, як зміни в ІТ призвели до організаційних трансформацій.

Цифрова трансформація ґрунтується на використанні інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) для перетворення та модернізації бізнес-процесів, моделей роботи організацій, а також підвищення ефективності, інноваційності та конкурентоспроможності [5]. Основні концепції цифрової трансформації на основі ІКТ включають [6]:

Цифрові стратегії: Це плани дій, спрямовані на використання технологій для досягнення стратегічних цілей організації. Це може включати розробку нових продуктів, покращення відносин з клієнтами,

оптимізацію операцій і збільшення продуктивності.

**Цифрові інновації:** Використання нових технологій для створення унікальних продуктів, послуг або процесів, що відповідають на ринкові потреби, сприяють конкурентному перевагу та забезпечують нові можливості для розвитку бізнесу.

**Ефективність операцій:** Впровадження ІКТ для автоматизації процесів, оптимізації робочих процедур та підвищення продуктивності. Це може включати використання хмарних технологій, аналітику даних, штучний інтелект та інші інструменти.

**Культурна трансформація:** Зміна підходу до роботи та сприйняття нових технологій в організації. Це включає усвідомлення важливості цифрових змін серед персоналу, навчання новим технологіям, гнучкість у роботі та створення сприятливого середовища для інновацій.

**Персоналізація та взаємодія з клієнтами:** Використання технологій для аналізу даних про клієнтів, що дозволяє створювати персоналізовані послуги, підходи та пропозиції, підвищуючи задоволення клієнтів та їхню лояльність.

**Безпека та захист даних:** Забезпечення захисту конфіденційності, цілісності та доступності даних. Це охоплює застосування кіберзахисту, політик безпеки та застосування відповідних стандартів безпеки.

**Цифрові платформи та екосистеми:** Створення цифрових платформ, що об'єднують різні компоненти (технології, сервіси, додатки) для співпраці та взаємодії між різними гравцями ринку.

**Агільність та гнучкість:** Здатність організації швидко реагувати на зміни та інновації, шляхом швидкого впровадження нових ідей та адаптації до нових умов.

Ці концепції використовують ІКТ як основний інструмент для трансформації організацій та підвищення їхньої конкурентоспроможності та ефективності.

Цифровізація може принести значні переваги суспільству, зокрема [7]:

– Підвищення ефективності та продуктивності. Цифрові

технології можуть допомогти автоматизувати процеси, скоротити витрати та підвищити продуктивність праці.

- Покращення якості життя. Цифрові технології можуть зробити життя людей більш комфортним і доступним, наприклад, за допомогою цифрових послуг у сфері охорони здоров'я, освіти та транспорту.

- Зростання інновацій. Цифрові технології можуть стимулювати розвиток інновацій у різних сферах, що сприятиме економічному зростанню.

Разом з тим, цифровізація пов'язана з рядом викликів, зокрема:

- Нерівність. Цифрові технології можуть посилити нерівність у суспільстві, якщо доступ до них буде обмежений для певних груп населення.

- Безпека. Цифрові технології можуть бути використані для розкрадання персональних даних або поширення фейкових новин.

- Екологічний вплив. Виробництво та використання цифрових технологій може мати негативний вплив на навколишнє середовище.

Для подолання викликів цифровізації необхідно вжити заходів, зокрема:

- Сприяти рівному доступу до цифрових технологій. Це можна зробити шляхом розвитку цифрової інфраструктури та надання доступу до цифрових послуг для всіх верств населення.

- Забезпечувати захист персональних даних. Це можна зробити шляхом впровадження відповідних законодавчих норм та заходів безпеки.

- Зменшувати екологічний вплив цифрових технологій. Це можна зробити шляхом переходу на відновлювані джерела енергії та використання енергоефективних технологій.

Для адаптації сучасної людини-громадянина як спеціаліста та активного члена громади необхідно забезпечити формування її цифрової компетентності. Цифрова компетентність людини - це здатність людини використовувати цифрові технології для досягнення особистих, професійних та суспільних цілей. Вона включає в себе такі компоненти:

- Основні цифрові навички, такі як використання комп'ютера,

Інтернету та цифрових пристроїв.

- Цифрові навички критичного мислення, такі як здатність оцінювати надійність інформації та розпізнавати маніпуляцію.
- Цифрові навички творчого мислення, такі як здатність використовувати цифрові технології для створення нового контенту.
- Цифрові навички комунікації, такі як здатність ефективно спілкуватися за допомогою цифрових технологій.

Цифрове громадянство - це здатність людини ефективно брати участь у цифровому суспільстві. Воно включає в себе такі компоненти:

- Цифрові громадянські права та обов'язки, такі як право на доступ до інформації та захист персональних даних.
- Цифрові громадянські навички, такі як здатність використовувати цифрові технології для участі в громадському житті.
- Цифрові громадянські цінності, такі як повага до інших та відповідальність за власні дії в цифровому просторі.

Сучасні тенденції розвитку цифрової компетентності людини та цифрового громадянства в європейських країнах включають такі:

- Зростання важливості цифрової компетентності. Цифрова компетентність стає все більш важливою для успішного життя в сучасному світі.
- Диференціація підходів до розвитку цифрової компетентності.

У різних європейських країнах існують різні підходи до розвитку цифрової компетентності.

- Інтеграція цифрової компетентності в освітній процес. Цифрова компетентність все більше інтегрується в освітній процес.

Розвиток цифрової компетентності людини та цифрового громадянства є важливим завданням для сучасного суспільства. Для досягнення цього завдання необхідно впроваджувати сучасні підходи до навчання та виховання, а також розвивати цифрову інфраструктуру.

1.2 Аналіз можливостей розвитку цифрового інтелекту, як складової частини цифрової трансформації бізнесу та суспільства, в процесі підготовки здобувачів ЗВО

Цифровий інтелект – це сукупність знань, навичок та інструментів, які дозволяють використовувати цифрові технології для розв'язання складних завдань, прийняття рішень та інноваційного розвитку. В цифрову епоху, де дані та технології стають ключовими ресурсами, цифровий інтелект стає стратегічним активом для бізнесу та суспільства з численними наслідками [1,2]:

1. Конкурентоспроможність бізнесу: Успішні компанії активно використовують цифрові інструменти та аналізують великі обсяги даних для підвищення ефективності, залучення клієнтів та створення інноваційних продуктів і послуг. Цифровий інтелект дозволяє швидше реагувати на зміни на ринку та забезпечує конкурентні переваги.

2. Зростання продуктивності та оптимізація процесів: Використання цифрового інтелекту дозволяє автоматизувати багато процесів, що призводить до підвищення продуктивності, зниження витрат та вдосконалення бізнес- процесів.

3. Створення нових можливостей: Цифровий інтелект допомагає виявляти нові можливості для бізнесу, відкриваючи шляхи до розвитку нових продуктів, послуг та ринків.

4. Зміна парадигми в управлінні та стратегії: Керівництво компаній все більше розуміє, що цифровий інтелект не лише інструмент, але і стратегічна складова для досягнення довгострокового успіху.

5. Розвиток суспільства: Цифровий інтелект впливає на розвиток суспільства, сприяючи удосконаленню рішень у сферах охорони здоров'я, освіти, транспорту, технологій та виробництва.

Отже, розвиток цифрового інтелекту стає стратегічно важливим як для бізнесу, так і для суспільства в цілому, забезпечуючи не лише

конкурентоспроможність, а й сприяючи створенню нових можливостей, підвищенню ефективності та розвитку інноваційного середовища.

Основними методологічними засадами розвитку цифрового інтелекту як складової частини цифрової трансформації бізнесу та суспільства є наступні [3,4]:

1. Цифровий інтелект як стратегічний актив. Розвиток цифрового інтелекту визначає конкурентоспроможність бізнесу та суспільства у цифрову епоху.

2. Інтеграція даних та інтелектуальних технологій. Синергія між обробкою даних, штучним інтелектом та машинним навчанням є основою цифрового інтелекту.

3. Етика та правові аспекти. Розвиток методологій повинен ґрунтуватися на етичних та правових стандартах для забезпечення відповідального використання технологій.

4. Людський фактор у цифровому інтелекті. Включення гуманістичних цінностей та фокусу на підтримці людського потенціалу в умовах технологічного розвитку.

5. Адаптивність та гнучкість. Методології повинні сприяти швидкій адаптації до змін у вимогах бізнесу та суспільства.

6. Забезпечення кібербезпеки. Важливість впровадження заходів з кібербезпеки для захисту від загроз у цифровому середовищі.

7. Стандартизація та інтероперабельність. Розробка стандартів інтеграції систем для підвищення взаємодії між різними цифровими рішеннями.

8. Навчання та освіта. Формування програм навчання, спрямованих на розвиток навичок у сфері цифрового інтелекту для майбутніх поколінь.

9. Інновації та дослідження. Підтримка інноваційних досліджень для постійного розвитку нових методологій у цифровому

інтелекті.

10. Системний підхід до розвитку. Використання інтегрованих підходів до розробки методологій для забезпечення цілісності та ефективності цифрового інтелекту.

Відповідно, програми навчання бакалаврських та магістерських програм галузі 12 «Інформаційні технології», в тому числі, за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», повинні спрямовуватися, окрім отримання компетентностей, пов'язаних з отриманням знань та навичок у вирішенні відповідних завдань методами комп'ютерних наук, на використання навичок цифрового інтелекту під час автоматизації обробки та аналізу даних, для інформаційної підтримки функціонування бізнесу та суспільства. Такі освітні програми мають за мету підготувати фахівців з глибоким розумінням цифрових технологій, аналізу даних та штучного інтелекту [1] і можуть включати різноманітні дисципліни наступних напрямків:

1. Основи програмування: Вивчення базових мов програмування, алгоритмів та структур даних.

2. Проектування та розробка програмного забезпечення: Методи проектування програмного забезпечення, архітектура програмних систем, тестування та впровадження.

3. Аналіз бізнес-процесів: Розуміння та аналіз бізнес-моделей, системний аналіз, оптимізація процесів у контексті використання цифрових технологій.

4. Обробка та аналіз даних: Організація баз даних і знань, навички роботи з великими обсягами даних, методи аналізу, візуалізації та інтерпретації даних.

5. Машинне навчання та штучний інтелект: Розуміння алгоритмів машинного навчання, нейронних мереж, глибокого навчання та їх застосування.

6. Комп'ютерний зір та обробка зображень: Вивчення методів

обробки зображень, розпізнавання образів та відеоаналітики.

7. Обробка природної мови: Аналіз та розуміння текстів, розробка систем обробки мови для мовних інтерфейсів та аналізу текстів.

8. Інтернет речей (IoT): Розуміння концепції IoT, сенсорні мережі, збір та аналіз даних з різних джерел.

9. Кібербезпека: Основи захисту інформації, кібератаки, захист мереж та даних.

10. Етика та правові аспекти в інформаційних технологіях: Розуміння етичних проблем, пов'язаних з використанням технологій, та відповідального їх застосування.

Ці дисципліни можуть стати складовою частиною програми навчання з цифрового інтелекту, спрямованої на підготовку фахівців, які здатні ефективно впроваджувати та розвивати цифрові технології у бізнесі та суспільстві.

**Висновки.** За результатами дослідження сучасного стану цифрової трансформації бізнесу та суспільства визначено, що потреби стейкхолдерів вищої освіти визначають розробку та впровадження освітніх бакалаврських та магістерських програм навчання галузі 12 «Інформаційні технології», в тому числі, за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», які повинні спрямовуватися, окрім отримання компетентностей, пов'язаних з отриманням знань та навичок у вирішенні відповідних завдань методами комп'ютерних наук, на використання навичок цифрового інтелекту під час автоматизації обробки та аналізу даних, для інформаційної підтримки діяльності. Запропоновано основний перелік дисциплін, які можуть стати складовою частиною таких програм навчання.

## **2 ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ В СУСПІЛЬСТВІ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ**

Цифрова трансформація Європейського Союзу (ЄС) являє собою ключову зміну ландшафту сучасних економік, змінюючи те, як працюють підприємства, як взаємодіють люди та як уряди надають послуги. З 2014 року Європейська комісія ретельно відстежує та звітує про прогрес своїх держав- членів у цьому цифровому розвитку [14]. Ці звіти є цінним ресурсом у визначенні сфер для пріоритетних дій і комплексному аналізі критичних сферцифрової політики на рівні ЄС.

Пандемія COVID-19 значно прискорила впровадження цифрових рішень у всьому ЄС, особливо в тих випадках, коли антипандемічні заходи змушували людей приймати цифрові рішення як альтернативу звичним способам взаємодії людей. Протягом цього періоду спостерігалося помітне зростання використання цифрових технологій громадянами та бізнесом, що свідчить про тенденцію до глибшої цифровізації. Ця зміна не була рівномірною в усіх секторах; наприклад, розширення дистанційної роботи спостерігалося в першу чергу на високооплачуваних робочих місцях білих комерційців, що відображає структурні обмеження зайнятості, які дозволяють працювати віддалено. Під час пандемії також збільшилася кількість онлайн-взаємодій з клієнтами та різке зростання кількості фахівців з ІКТ, які виходять на європейський ринок.

Головним у цій цифровій трансформації є розвиток і вдосконалення цифрових навичок. У сучасному світі ці навички є не лише професійними вимогами, але й фундаментальними життєвими навичками, вкрай важливими для ефективної навігації в цифровій сфері, незважаючи на прогрес у зручних цифрових інтерфейсах. Оскільки залежність від Інтернету та цифрових технологій зростає, попит на передові цифрові компетенції серед робочої сили та населення відповідно зростає.

Усвідомлюючи це, ЄС віддав пріоритет цифровому переходу, маючи на меті озброїти щонайменше 80% свого населення основними цифровими навичками та значно збільшити кількість спеціалістів з ІКТ до 2030 року. Ця мета є частиною ширшого «Шляху до цифрового десятиліття» пропозиція, яка встановлює конкретні цілі для спрямування та стимулювання дій як ЄС, так і його держав-членів щодо цифрового суспільства (індекс цифрової економіки та суспільства [15, 16; 17]).

**Формулювання проблеми.** Незважаючи на узгоджені зусилля Європейського Союзу щодо просування цифрової трансформації як рушійної сили економічного зростання, фактичний вплив цих ініціатив на країни-члени все ще потребує повного розуміння. У той час як індекс цифрової економіки та суспільства (DESI) забезпечує основу для оцінки прогресу, відмінності в цифровому прогресі свідчать про складну та нерівномірну інтеграцію в економіку ЄС [14]. Пандемія прискорила перехід до цифрової економіки, але переваги цієї трансформації ще не реалізовані рівномірно, оскільки конкретні сектори та регіони випереджають інші. Крім того, приплив фахівців з ІКТ і зростання цифрових навичок ускладнює структуру ринку праці, що швидко змінюється, і підвищує потребу в адаптивній економічній політиці.

Основне завдання цього розділу полягає в тому, щоб з'ясувати, як цифрова трансформація, виміряна окремими індексами метрики DESI, корелює з економічною ефективністю та стійкістю країн ЄС та сприяє їм. Основою для дослідження такого співвідношення є припущення, що цифровізація створює передумови не тільки для підвищення ефективності існуючих процесів і технологій, але є основою для створення більшої доданої вартості шляхом вдосконалення існуючих і створення нових продуктів і послуг. У той час як попередні дослідження дозволяють зрозуміти вплив цифровізації на економічний розвиток, існує потреба в додатковому статистичному аналізі, який синтезує ці висновки та пропонує цілісне уявлення про ландшафт цифрової економіки ЄС.

Потрібно розглянути багатовимірний зв'язок між цифровою трансформацією та економічним зростанням, враховуючи різноманітність цифрової інтеграції, ефективність політики, готовність інфраструктури та розвиток навичок у ЄС. Це дозволить визначити потенціал цифрової трансформації для сприяння економічній стабільності та те, як поточні стратегії можна покращити для підтримки цієї мети.

**Огляд літератури.** Проблеми цифрової економіки та економічного зростання країн ЄС охоплюють низку питань на перетині технологічного прогресу та економічного розвитку. Є багато наукових робіт, пов'язаних з цією темою. Вони розглядають цю складну взаємодію з різних точок зору, пропонуючи зрозуміти, як цифровізація впливає на економічне зростання та динаміку бізнесу, зокрема в контексті Європейського Союзу. Наприклад, Chen and Miao [12] зосереджуються на міській цифровій трансформації та її наслідках для захисту персональних даних підприємства. Це підкреслює зростаючу важливість безпеки даних в економічному зростанні, спричиненому цифровою трансформацією. Stiveanu [13] досліджує роль цифрової інтенсивності та електронної комерції як рушійної сили сталого розвитку та економічного зростання в ЄС. Це дослідження підкреслює зростаюче значення цифрової комерції для сприяння сталому економічному розвитку. Kisel'áková et al. [22] емпірично оцінюють рівень цифрової економіки країн ЄС. Їхня робота має вирішальне значення для розуміння різного ступеня цифровізації в ЄС та її впливу на економічні структури. На основі індексу DESI, Kovács et al. [24] досліджують конвергенцію та ефект Метью в ЄС, виявляючи диспропорції в цифровому розвитку та їхні економічні наслідки. Olczyk and Kuc-Czarnecka [30] досліджують цифрову трансформацію та економічне зростання, зосереджуючись на вдосконаленні та впровадженні DESI. Їх дослідження проливає світло на ефективність цифрових стратегій і політики в стимулюванні економічного зростання. Szeles and Simionescu [42] досліджують регіональні моделі та рушійні сили цифрової економіки ЄС,

пропонуючи розуміння географічного розподілу та факторів, що впливають на цифрове економічне зростання. Таким чином, цифрова трансформація в Європейському Союзі, як це відображено в різних показниках DESI та інших відповідних показниках, суттєво корелює з економічним зростанням і стійкістю країн-членів і впливає на них. Цей вплив, однак, є унікальним для ЄС, оскільки варіації в цифровій інтеграції, ефективності політики та розвитку інфраструктури призводять до різноманітних результатів у економічних показниках та інтеграції цифрового ринку. Порівняльний аналіз країн ЄС на основі їх рівня цифрової інтеграції та економічних показників, таких як ВВП і зростання ВВП, виявить чіткі кластери країн з різним ступенем розвитку цифрової економіки. Ці кластери продемонструють, як політика цифрової трансформації, готовність інфраструктури та розвиток навичок сприяють чи перешкоджають економічному зростанню, надаючи розуміння ефективності стратегій цифрової трансформації ЄС.

**Мета дослідження.** Ступінь цифрової трансформації в Європейському Союзі, виміряний Індексом цифрової економіки та суспільства (DESI) і відповідними показниками, може допомогти визначити вплив цифрових інструментів на економічне зростання країн-членів. Очікується, що цей зв'язок буде очевидним через порівняльний аналіз, який враховує відмінності в цифровій інтеграції, ефективності політики та розвитку інфраструктури в ЄС. Крім того, існує гіпотеза, що країни ЄС формуватимуть окремі кластери на основі прогресу цифрової економіки, що ще більше висвітлює різний внесок політики цифрової трансформації, інфраструктури та розвитку навичок в економічне зростання. Ці кластери допомагають запропонувати розуміння ефективності стратегій ЄС в інших країнах. Крім того, вони можуть виявити потенційну цифрову трансформацію та підвищити загальну економічну стійкість.

Таким чином, робота була спрямована на дослідження того, як цифрова трансформація сприяє економічному зростанню в Європейському

Союзі. Дослідження має на меті з'ясувати взаємозв'язок між цифровізацією та економічними показниками в різних державах-членах, визначити варіації та моделі цифрової інтеграції та оцінити ефективність політики ЄС щодо цифрової економіки. Завданнями дослідження є: порівняння основних моментів трансформації цифрової економіки в країнах ЄС шляхом огляду актуальної літератури та аналізу останніх результатів досліджень; аналіз тенденцій у прийнятті інвокацій ЄС за допомогою кореляційного аналізу; кластеризація країн ЄС на основі їх рівня цифрової інтеграції; забезпечення декомпозиції інструментів адаптації цифрових інновацій для суб'єктів господарювання.

Досягнувши цих цілей, результати дослідження допоможуть отримати цінну інформацію про роль цифрової трансформації у сприянні економічному розвитку. Він підтримуватиме процеси формування політики для зміцнення цифрової економіки ЄС.

**Результати.** Цифрова економіка та цифрова трансформація – це одна з найважливіших тем актуальних наукових досліджень. Кількість наукових праць у відповідних пошукових запитах до міжнародних наукових баз даних наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Кількість публікацій на теми цифрової економіки в Scopus і WoS за останній рік<sup>1</sup>

Теми	Назва наукової бази	Рік публікацій	Кількість статей
Цифрова економіка	Основна колекція WoS	2023 (до грудня 2023)	2118
Цифрова економіка	Основна колекція WoS	2022 рік	2470
Цифрова економіка	Основна колекція WoS	2021 рік	1950 рік

<sup>1</sup> за даними, отриманими від: <https://www.webofscience.com> і <https://www.scopus.com/>

## Продовження таблиці 1

Цифрова економіка	Основна колекція WoS	2020 рік	1364
Цифрова економіка	Scopus	2023 (до грудня 2023)	3080
Цифрова економіка	Scopus	2022 рік	2837
Цифрова економіка	Scopus	2021 рік	1918 рік
Цифрова економіка	Scopus	2020 рік	1520
Цифрова трансформація	Основна колекція WoS	2023 (до грудня 2023)	3284
Цифрова трансформація	Основна колекція WoS	2022 рік	3566
Цифрова трансформація	Основна колекція WoS	2021 рік	2889
Цифрова трансформація	Основна колекція WoS	2020 рік	1961 рік
Цифрова трансформація	Scopus	2023 (до грудня 2023)	4757
Цифрова трансформація	Scopus	2022 рік	4318
Цифрова трансформація	Scopus	2021 рік	3110
Цифрова трансформація	Scopus	2020 рік	2322

Дані в таблиці 1 демонструють тенденцію до зростання кількості публікацій на теми цифрової економіки та цифрової трансформації, причому особливо помітно збільшення кількості статей у 2 рази порівняно з 2020 роком для наукової бази даних Scopus. Ця тенденція до підвищення свідчить про зростаючий академічний інтерес і акцент на цих предметах. Також очевидно, що кількість публікацій у Scopus стабільно вища, ніж у WoS Core Collection для обох тем щороку. Це може означати ширше охоплення цих тем у Scopus або різні критерії індексування між базами даних. Пік публікацій про цифрову економіку в WoS Core Collection припав на 2022 та 2023 роки (2023 рік не закінчився). Крім того, з кожним роком збільшується кількість публікацій про цифрову трансформацію, і ця тема набуває все більшої уваги в академічній спільноті.

Ці тенденції відображають цифрові зміни, прискорені пандемією COVID-19, і стратегічний фокус ЄС на цифрових навичках і трансформації в рамках ініціативи «Шлях до цифрового десятиліття». Збільшення кількості статей свідчить про значну дослідницьку активність та зацікавленість, які можуть сприяти глибшому розумінню ролі цифрової економіки в економічному зростанні та успішній реалізації стратегій цифрової трансформації.

Найактуальніші роботи можна згрупувати за наступними підтемами.

Перша група проблем пов'язана з тенденціями цифрової економіки та ефективністю цифрової трансформації окремих регіонів чи країн. Кожна пов'язана стаття робить внесок у складну картину розвитку цифрового ландшафту в сукупності досліджень, що охоплюють цифрову економіку та її трансформацію в Європейському Союзі. Criveanu [13] досліджує роль цифрової інтенсивності та електронної комерції, ретельно досліджуючи їхній вплив на стале економічне зростання в країнах ЄС. Kovács et al. [24] аналізують розвиток цифрової економіки через призму індексу DESI, тоді як Olczyk and Kuc-Czarnecka [30] зосереджуються на економічному зростанні, стимульованому зусиллями з цифрової трансформації. Подальші внески Tarjani et al. [41], Jordanoski and Nielsen [21], а також Savulescu and Antonovici [37] розширюють кількісний та якісний вплив цифровізації на різні регіони ЄС. Poljanec-Boric [23] та Ogorean and Herciu [28] дають уявлення про специфічні регіональні адаптації та проблеми. Shkurat et al. [40], Voronenko et al. [44] і Zeverte-Rivza et al. [45] пропонують погляди на ширші наслідки цифровізації для промисловості та біоекономіки. Kisel'áková et al. [22] представляють емпіричні дослідження рівнів цифрової економіки в ЄС, тоді як Szeles and Simionescu [42] та Hunady et al. [20] розглядають ширші моделі та чинники цифрової економічної інтеграції. У сукупності ці дослідження інформують дискурс про ефективність і охоплення політики цифрової трансформації та її зв'язок з економічними показниками, розкриваючи складну та нюансовану сферу,

яка дозріла для подальшого дослідження та розробки політики.

Друга група проблем зосереджена на цифровій трансформації суб'єктів господарювання та малих та середніх підприємств (МСП). Дослідження цифрової трансформації в малих і середніх підприємствах та бізнес-структурах демонструє багатогранне дослідження того, як ці організації орієнтуються в епоху цифрових технологій. Holl and Rama [19] обговорюють впровадження цифрових технологій у малому бізнесі, тоді як Sánchez-Bayón аналізує макроекономічні наслідки такої трансформації. Almeida et al. [8], запропонували бібліометричну оцінку ініціатив цифрової трансформації, а Ancillo and Gavrilă [9] дослідили вплив науково-дослідних робіт на цифрові інновації на підприємствах. Chatzistamoulou [11] досліджує перехід до стійкості через цифровізацію в малих і середніх підприємствах, а Roman and Rusu [34] зосередилися на покращенні продуктивності завдяки цифровим технологіям. Roblek et al. [33] заглибилися в руйнівну природу цифрової трансформації, тоді як Rureika-Aroga et al. [35] оцінили механізми громадської підтримки. Ogorean and Herciu [28] надали оцінку потреб у конкретному регіональному контексті, а Savytska et al. [39] може проаналізувати маркетингові інструменти в ландшафті розвитку цифрового бізнесу. Кожна з цих робіт збагачує розуміння ролі цифрової трансформації в еволюції та конкурентоспроможності суб'єктів господарювання та МСП.

Остання, але не менш важлива група проблем, пов'язаних із цифровими навичками, робочою силою, особистими даними та проблемами безпеки. Збірка досліджень, зосереджених на цих проблемах, дає критичне розуміння проблем і можливостей, які представляє цифрова трансформація. Calzati and Van Loenen [10] досліджують наслідки цифрових стратегій для ініціатив, орієнтованих на громадян. Martins et al. [25] досліджують цифровізацію практик безпеки, тоді як робота Mavlutova et al. [26] спрямована на адаптацію фінансового сектора до цифровізації. Nosratabadi et al. [27] вивчає соціальну стійкість цифрової трансформації, а

робота Chen and Miao [12] заглиблюється у те, як міська цифрова трансформація впливає на захист персональних даних. Osiejewicz et al. [31] обговорює нормативне середовище, що оточує обробку даних для наукових досліджень, а Savulescu and Antonovici [37] досліджує роль цифрових талантів у програмі навчання Європейського Союзу. Нарешті, Svarc et al. [41] проаналізував вплив національного інтелектуального капіталу на цифрову трансформацію в ЄС. Ці роботи підкреслюють необхідність надійних цифрових навичок і заходів безпеки для підтримки цифрової робочої сили, що розвивається, і захисту персональних даних у цифровій економіці.

Ці огляди наукової роботи з цифрової трансформації в ЄС і в усьому світі висвітлюють комплексне розуміння того, як цифровізація перетинається з економічним зростанням, бізнес-інноваціями та розвитком робочої сили.

Опишемо основні моменти цифрової трансформації 27 країн ЄС. Кореляційна матриця для деяких цифрових індексів і зростання ВВП (табл. 2) виявляє значний позитивний зв'язок між цифровою інтеграцією осіб і зростанням ВВП з коефіцієнтом кореляції 0,904. Це свідчить про те, що зі збільшенням цифрового охоплення відбувається відповідне зростання ВВП, що вказує на те, що цифрові навички та доступ до Інтернету стимулюють економічне зростання. Дані також демонструють сильну позитивну кореляцію між просуванням електронної комерції для компаній і фізичних осіб і зростанням ВВП з коефіцієнтами 0,854 і 0,864 відповідно. Це підкреслює важливість єдиного цифрового ринку та електронної комерції для стимулювання економічного зростання. Діяльність електронного уряду демонструє дещо нижчу, але позитивну кореляцію зі зростанням ВВП на рівні 0,730, що свідчить про те, що впровадження послуг електронного уряду впливає на економічні показники, але може бути не таким значним, як інші цифрові фактори.

Таблиця 2 – Кореляційна матриця цифрових індексів і зростання ВВП для 27 країн ЄС

	<i>z1</i>	<i>d1</i>	<i>d2</i>	<i>d3</i>	<i>d4</i>	<i>d5</i>
<i>z1</i>	1000					
<i>d1</i>	0,9043	1000				
<i>d2</i>	0,8538	0,9200	1000			
<i>d3</i>	0,8639	0,9911	0,9095	1000		
<i>d4</i>	0,7296	0,9580	0,8355	0,9733	1000	
<i>D5</i>	0,4045	0,5236	0,5829	0,5861	0,2601	1000

В таблиці 2 введено наступні позначки:

*z1* – реальний ВВП (валовий внутрішній продукт) певного року відносно базового 2010 року;

*d1* - цифрове включення - осіб, відсоток осіб;

*d2* – цифровий єдиний ринок – сприяння електронній комерції для бізнесу за класом розміру підприємства, відсоток підприємств;

*d3* – цифровий єдиний ринок – сприяння електронній комерції для фізичних осіб, відсоток фізичних осіб;

*d4* - діяльність фізичних осіб в електронному урядуванні через веб-сайти, відсоток осіб;

*d5* - підприємства, на яких працюють спеціалісти з ІКТ за видами діяльності NACE Rev.2, відсоток підприємств.

Цікаво, що найнижчу кореляцію із зростанням ВВП показує зайнятість спеціалістів з ІКТ – 0,405. Це може відображати складніші відносини, коли просто наявність більшої кількості спеціалістів з ІКТ безпосередньо не призводить до негайного економічного зростання, можливо, через інші посередницькі фактори, такі як потреби галузі, характер економічної діяльності або відставання між найманням спеціалістів та реалізацією економічної вигоди. Загалом, кореляційна матриця підкреслює взаємопов'язаний характер цифрової трансформації та

економічних показників, підтверджуючи необхідність продовження інвестицій у цифрову інфраструктуру, навички та послуги для сприяння економічному зростанню в ЄС.

Таким чином, стає очевидним, що цифрова трансформація є багатогранним явищем із різним впливом на ВВП та економічне зростання в країнах ЄС. Це викликає потребу в подальшому дослідженні кореляції між витратами на НДДКР та економічними показниками. Крім того, існує різноманітність рівнів цифрової економіки (DE) у країнах ЄС, що свідчить про те, що в той час як одні максимізували свій цифровий потенціал, інші все ще мають значні можливості для зростання. Запровадження цифрових інновацій має вирішальне значення, але нерівномірно для суб'єктів господарювання та малого та середнього бізнесу, що вимагає цільової підтримки для покращення їхніх цифрових можливостей. Потрібні подальші дослідження для вивчення практичних стратегій, які могли б сприяти застосуванню цифрових технологій у МСП, що потенційно призведе до посилення економічного зростання та більш справедливого розвитку в ЄС.

Щоб подолати розрив між науковими думками та емпіричними доказами, ми повертаємося до статистичних аналізів, які демонструють цифрові зусилля ЄС. На рисунку 2.1 показано, що складні кореляції між інвестиціями в дослідження та розробки та економічною ефективністю піддаються кількісному вимірюванню. Коли ми ближче поглянемо на рисунку 2.1 на співвідношення ВВП і валових внутрішніх витрат на НДДКР, ми одразу визнаємо визначальну роль, яку інновації та наукові дослідження відіграють в економічному розвитку, факт, який переконливо підтверджується високою кореляцією з ВВП, проілюстрованою на слайд. Аналіз показує сильну позитивну кореляцію між ВВП і GERD майже в усіх секторах, із значеннями  $r$ , близькими до 1,00, що вказує на майже ідеальний лінійний зв'язок. Це свідчить про те, що зі збільшенням витрат на дослідження та розробки ВВП також має тенденцію до зростання. Найсильніші кореляції виявлені в загальному GERD (x1), секторі бізнес-

підприємництва ( $x_2$ ) і секторі вищої освіти ( $x_4$ ), які мають вирішальне значення для інновацій та економічного зростання. Однак державний сектор ( $x_3$ ) і приватний некомерційний сектор ( $x_5$ ) демонструють слабшу кореляцію в деяких випадках, що свідчить про те, що інвестиції в науково-дослідні розробки в цих секторах можуть не впливати прямо або відразу на зростання ВВП порівняно з бізнесом і секторами вищої освіти.

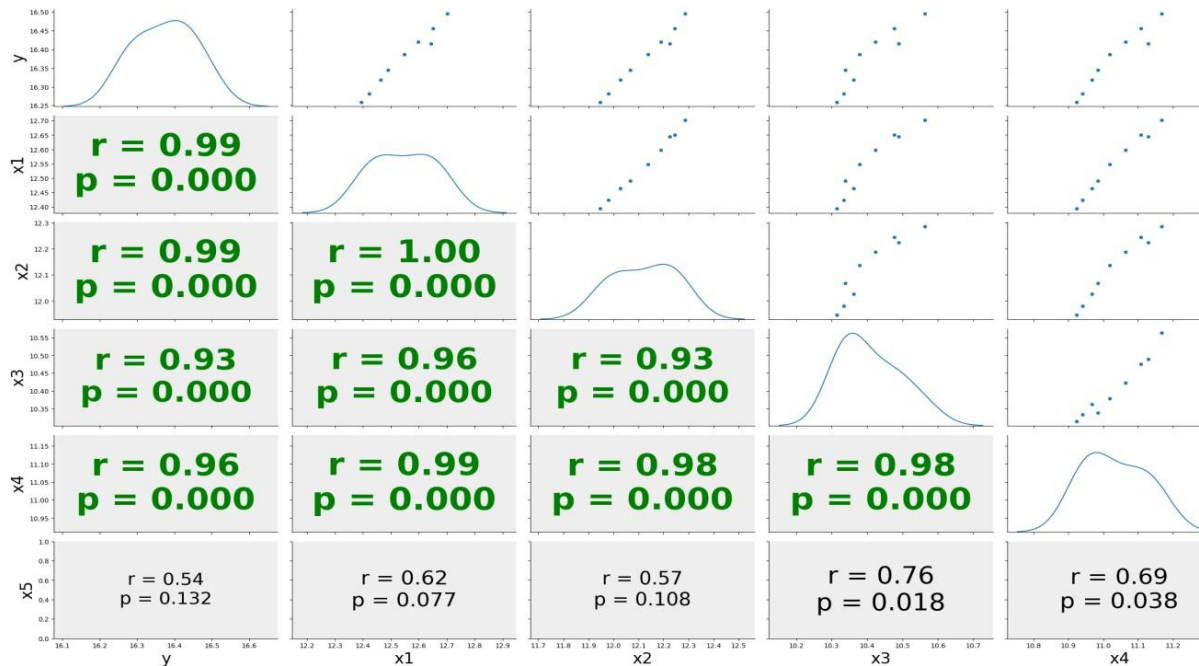


Рисунок 2.1 – Співвідношення ВВП та валових внутрішніх витрат на НДДКР (GERD) для країн ЄС – 27 (оцінки авторів на основі даних Євростату [18]), де  $y$  - валовий внутрішній продукт у поточних ринкових цінах, млн євро;  $x_1$  – GERD для всіх секторів, млн євро;  $x_2$  – GERD для сектору підприємництва, млн євро;  $x_3$  – GERD для державного сектору, млн євро;  $x_4$  – GERD для сектору вищої освіти, млн євро;  $x_5$  – GERD для приватного некомерційного сектору, млн євро

Одним із ключових висновків із цих даних є потужний вплив науково-дослідних ініціатив (результатів досліджень чи інновацій) у приватному секторі, особливо тих, які здійснюються великими корпоративними структурами. Ці ініціативи мають вищу кореляцію з ВВП,

ніж навіть витрати урядів країн ЄС на НДДКР. Приватний сектор формує основні витрати на інновації та демонструє тенденцію гармонізованого зростання та суттєвого впливу на ВВП. Сектор комерційних підприємств має значну частку всіх валових внутрішніх витрат на дослідження та розробки. Друге місце для GERD з ресурсів сектора вищої освіти. Вища освіта та наукові інститути є не просто сховищем знань, але важливим (життєво важливим) майданчиком для досліджень і розробок, наприклад, через механізм наукового підприємництва. Ці інституції залишаються відповідними для стимулювання інноваційного зростання, діючи як інкубатори для піднесення ідей та стимулювання їх застосування, значно впливаючи на економіку, наприклад, на ВВП.

Ми виявили ці кореляції, щоб допомогти сприяти зростанню та сталості в майбутньому. Ми повинні використовувати сильні сторони кожного сектора як конкурента для адаптації інновацій.

Давайте далі досліджувати просування цифрового єдиного ринку для європейських країн, як показано на рисунку 2.2.

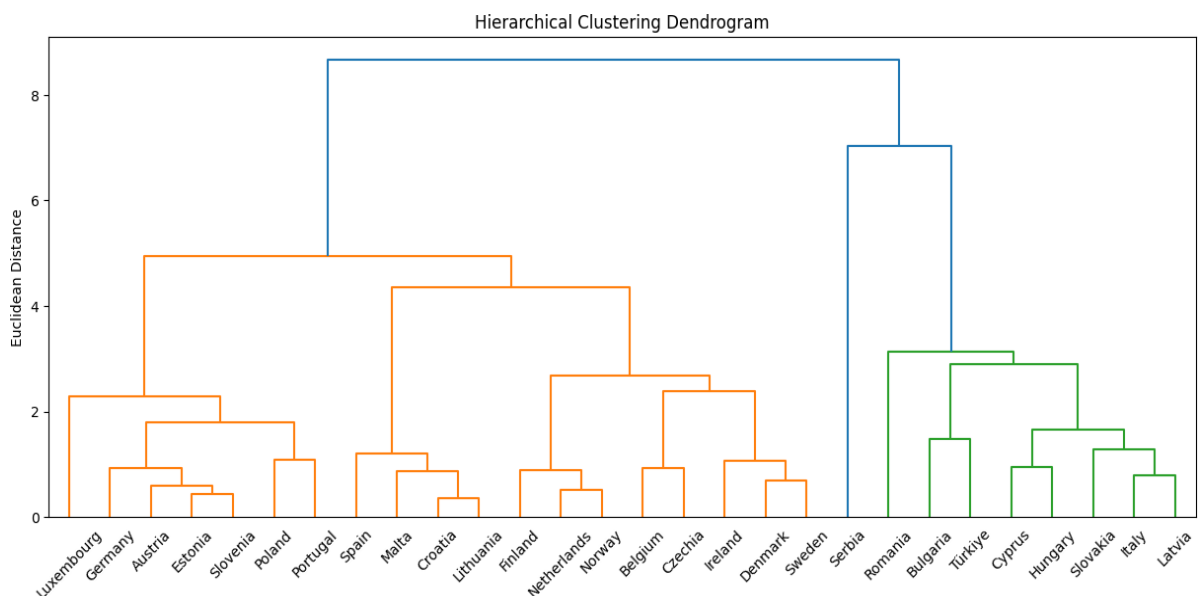


Рисунок 2.2 – Кластеризація: «Єдиний цифровий ринок – сприяння» в окремих країнах Європи після COVID-19 (оцінки авторів на основі даних Євростату [18])

На рисунку 2.2 показано результати ієрархічного кластерного аналізу даних у часовому масштабі з 2013 по 2022 рік, зосереджених на критичних параметрах, включаючи цифрове залучення, єдиний цифровий ринок і тенденції онлайн-продажів. Центральними на цьому слайді є результати «Єдиного цифрового ринку – сприяння» за останні три роки, під час пандемії COVID-19, що вплинуло на зростання впровадження цифрових інновацій.

Кластери демонструють дві помітні тенденції:

Визначним кластером є такий, де «Єдиний цифровий ринок – сприяння» досяг вражаючих 90% до кінця 2022 року. Він демонструє відносно м'яку динаміку зростання (від 2 до 5 % на рік).

Кластер, виділений зеленим кольором, об'єднує країни від Румунії та Болгарії до Італії та Латвії, із середньорічним темпом зростання 10%, навіть незважаючи на те, що показник «Єдиний цифровий ринок – сприяння» нижче 80%. Цей кластер демонструє значний потенціал і здатність задовольнити високий попит на наукове підприємництво.

Таким чином, вибір цих країн зеленого кластера як критичних точок у впровадженні ІТ для суб'єктів господарювання рекомендується як прокладання шляху до розкриття незмінного потенціалу та сприяння науковому підприємництву.

Продовжуючи аналіз цифрової трансформації по регіонах ЄС, ми демонструємо структури підприємств із дуже низьким, низьким, високим та дуже високим показниками цифрової інтенсивності – рисунок 2.3.

Дані на рисунку 2.3 представляють індекс цифрової інтенсивності для підприємств у ЄС. Індекс класифікує підприємства на основі рівня цифрової інтеграції, починаючи від дуже низького до дуже високого. Ключовим спостереженням є переважання підприємств із низькою чи помірною цифровою інтенсивністю, що свідчить про значні можливості для зростання впровадження цифрових технологій. Ці дані ще раз доводять, що такі країни, як Румунія та Болгарія, демонструють низький

рівень підприємств із дуже високим індексом цифрової інтенсивності, але вказують на потенціал швидкого цифрового прогресу. Ці дані підкреслюють важливість цілеспрямованих стратегій цифрового масштабування для підвищення цифрових можливостей бізнесу, що може призвести до неймовірних інновацій і конкурентоспроможності на європейському ринку.

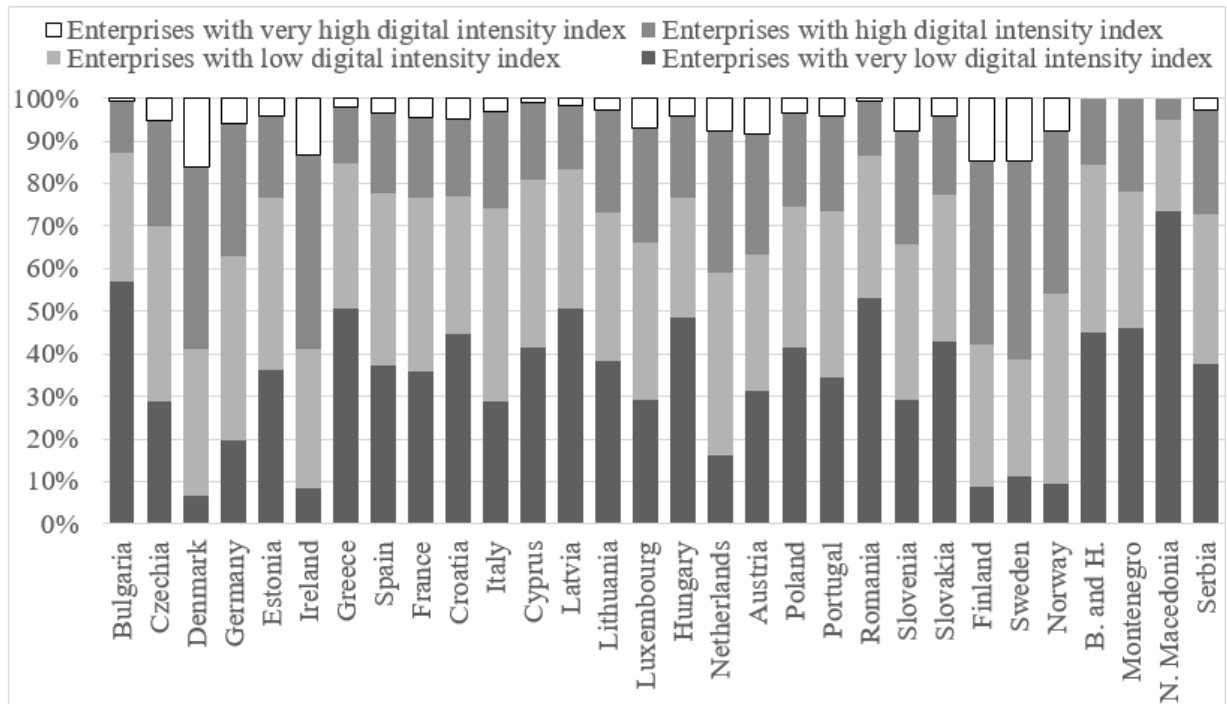


Рисунок 2.3 – Цифрова інтенсивність по країнах ЄС і Індекс цифрової інтенсивності підприємств

Аналізуючи емпіричну цифрову інтенсивність кластеризації за основою, ми поєднуємо стратегічні наслідки цих висновків. Перехід від даних до практичних ідей стає вирішальним, оскільки ми прагнемо використати імпульс цифрового прогресу, який спостерігався протягом останніх років.

Ця послідовність спонукає нас до аналізу складової структури механізмів цифрових інновацій, як показано на рисунку 2.4, яка узгоджує галузеву практику з академічною майстерністю. Синергія між складними бізнес-моделями та науковими дослідженнями є наріжним каменем для

досягнення надійної цифрової економіки, особливо в бізнес-структурах і малих і середніх підприємствах, які застосовують цифрову трансформацію. Як підсумковий результат, рисунок 2.4 загально ілюструє взаємозв'язок різних основних елементів у сучасному цифровому ландшафті.

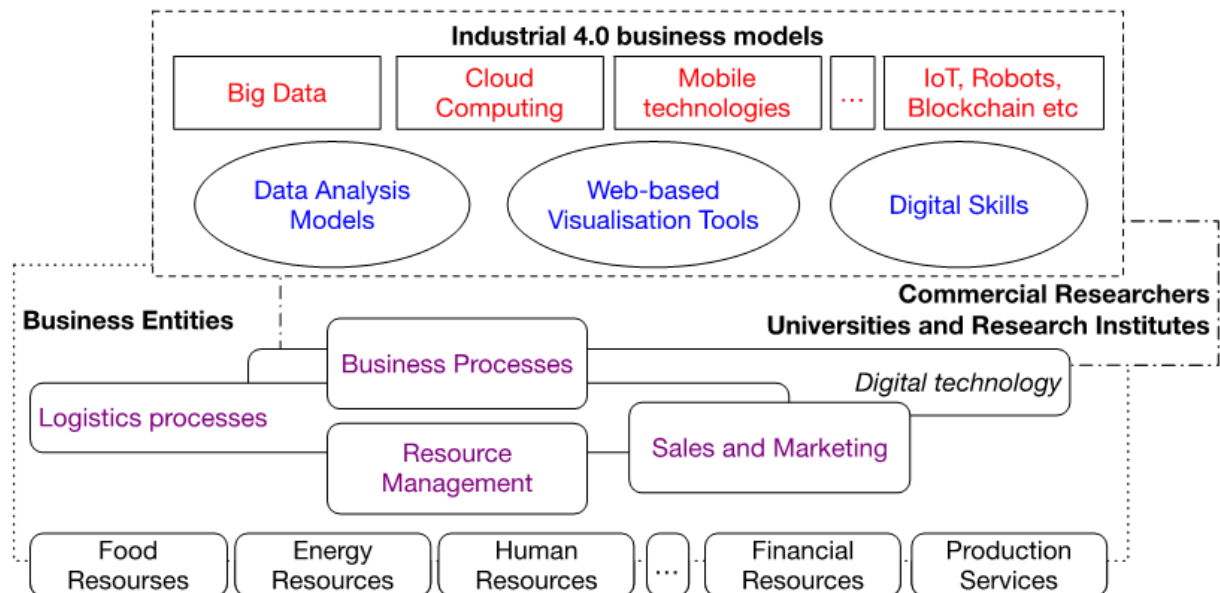


Рисунок 2.4 – Структура механізму адаптації цифрових інновацій для суб'єктів господарювання

Парадигма «Індустрія 4.0» представляє складні бізнес-моделі та інструменти, необхідні для навігації в цифрових областях і великих даних. На рисунку 2.4 концептуалізовано багатогранний зв'язок між бізнес-моделями та операційними сферами діяльності суб'єктів господарювання, підкреслюючи ключову роль університетів і науково-дослідних установ у процесі цифрової трансформації. Він описує, як технологічні стовпи, такі як великі дані, хмарні обчислення та IoT, вживаються в передові аналітичні моделі та інструменти, які інформують і трансформують бізнес-процеси. У цій структурі спеціальні цифрові навички, такі як моделі аналізу даних та веб-інструменти візуалізації, є обов'язковими для ефективної роботи з цими передовими ресурсами. Дослідження визначає ключову роль академічних установ в управлінні

багатьма процесами, включаючи логістику, бізнес-процеси, управління ресурсами, продажі та маркетинг. Враховуючи складність цих компонентів, необхідний досвід виходить за рамки можливостей, які зазвичай є в персоналі бізнес-структур. Отже, прогнозується, що попит на наукове підприємництво посилиться, особливо в управлінських аспектах життєвого циклу впровадження цифрових інновацій.

На рисунку 2.3 показано взаємозалежність між цифровими навичками та різними секторами управління ресурсами, пропонуючи екосистему спільної роботи, де комерційні дослідники та академічні організації керують інтеграцією цифрових технологій у основну бізнес-практику. Ця інтеграція спрямована на підвищення ефективності та інновацій у сфері логістики, управління ресурсами, продажів і маркетингу, сприяючи цілісному підходу до впровадження цифрових технологій у бізнес-структурах.

**Обговорення.** Аналіз результатів досліджень відображає динамічну еволюцію цифровізації, що вимагає подальшого дослідження її кореляції з ВВП та економічним зростанням. Примітно, що неоднорідність рівнів цифрової економіки в ЄС підтверджує передумову про те, що в той час як одні країни повністю використали свій цифровий потенціал, а зростання цифрових інновацій уповільнилося, інші все ще мають мати невикористані перспективи зростання. Вкрай важливо ретельно дослідити, як деякі суб'єкти господарювання можуть більш інклюзивно запроваджувати цифрові інновації, які можуть прискорити економічне зростання та подолати диспропорції в розвитку. Емпіричні висновки, отримані в результаті ієрархічного кластерного аналізу та структурної оцінки впровадження цифрових інновацій, підкреслюють необхідність стратегічного впровадження та поширення знань, особливо в країнах, які характеризуються надійними траєкторіями цифрового зростання. Це підкреслює необхідність використання наукових досліджень і адаптованих управлінських стратегій для зміцнення основ цифрової економіки, забезпечення сталого та справедливого прогресу в ЄС. Подальші

дослідження мають вивчати конкретні практики впровадження цифрових інновацій, визначати потреби в таких практичних розробках та оцінювати їх вартість.

**Висновки** на основі комплексного аналізу цифрової трансформації в ЄС виявляють багатогранний вплив цифровізації на економіку.

Широкий аналіз цифрової трансформації в ЄС розділив дослідження на три основні групи. Перша група досліджує вплив цифровізації на регіональні економічні тенденції та ефективність стратегій цифрової трансформації. Друга група досліджує адаптацію суб'єктів господарювання та МСП до цифрової економіки. Навпаки, третя група займається проблемами цифрових навичок, адаптації робочої сили, персональних даних і безпеки в цифровому середовищі.

Різні рівні розвитку цифрової економіки в державах-членах свідчать про різні траєкторії зростання та заклик до цільової підтримки, особливо для МСП. Тісний зв'язок між витратами на дослідження та розробки та зростанням ВВП у різних секторах підкреслює критичну роль інновацій в економічному розвитку. Висновки свідчать про те, щоб використовувати сильні сторони кожного сектора для сприяння майбутньому сталого зростання, зосереджуючись на значному внеску сектору підприємництва.

Об'єднання країн ЄС у кластери на основі цифрової взаємодії та ринкової інтеграції пропонує стратегічне розуміння для посилення впровадження цифрових технологій; наприклад, Болгарія має значну можливість використовувати свою траєкторію цифрового залучення для економічного розвитку. Майбутні стратегії мають використовувати цей потенціал, зокрема вдосконалення цифрових навичок та інфраструктури, щоб максимізувати перспективи цифрової економіки країни.

Таким чином, інтеграція цифрових технологій у бізнес-практику стає критично важливим рушієм ефективності, визначення тенденцій наукових досліджень і підтримки стратегії впровадження цифрових інновацій в економічній структурі ЄС.

### 3 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА РОЗРОБКИ ТА ІНТЕГРАЦІЇ ПІДСИСТЕМ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ІНЖЕНЕРНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ОСНОВІ КАТЕГОРІАЛЬНО-ОНТОЛОГІЧНОГО ПІДХОДУ

Сучасний рівень виробничих процесів базується на використанні великого спектра можливих інженерних рішень, часто альтернативних, при проектуванні виробів і технологічних процесів їх виготовлення, що вимагає аналізу й обґрунтування їх вибору. Інтегровані САПР є різновидом алгоритмічно-програмних засобів комп'ютерних систем (КС) для інтелектуальної обробки даних (ІОД), у яких обробка даних виконується, в тому числі, із залученням інтелекту користувачів. Важливим і дотепер не вирішеним питанням є інформаційна підтримка інженерів-конструкторів і технологів на концептуальних етапах проектування виробу й техпроцесів його виготовлення.

У даній роботі [46] реалізовано підхід до розробки й реалізації компонентів КС для ІОД з використанням інженерії знань про роботу предметних областей (ПрО) й процеси ІОД. Категоріально-онтологічне (КО) представлення реалізованого підходу наведено на рисунку 3.1. Програмний компонент КС розробляється й реалізується як об'єкт pushout (об'єкт теорії категорій позначений на рисунку 3.1 як РО) на основі алгоритмічного забезпечення розв'язання задачі ІОД і спроектованого сховища даних і знань (СДіЗ), з урахуванням формалізованих правил бізнес-логіки в ПрО.

У сучасних КС для підтримки інженерної діяльності, у тому числі в інтегрованих САПР складних виробів, таких, наприклад, як механічні конструкції зі складною геометрією робочих поверхонь, при проектуванні виробу й технологічних процесів його виготовлення потрібна організація багатомодульного програмного комплексу з різномірною функціональністю використовуваних модулів і бібліотек функцій.

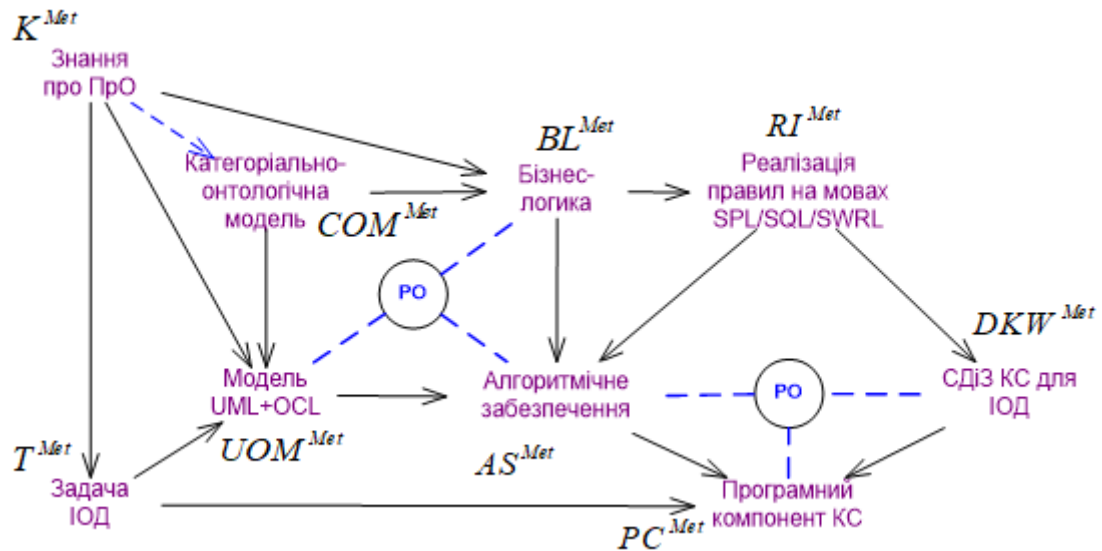


Рисунок 3.1 – Категоріально-онтологічне представлення процесу розробки й реалізації компонентів комп'ютерних систем для інтелектуальної обробки даних

При цьому пред'являються різні вимоги до форматів даних, що обробляються та візуалізуються у рамках застосовуваних інформаційних технологій і алгоритмічного забезпечення. У розглянутих предметно-орієнтованих САПР частина модулів або їх компонентів зазвичай вже реалізовані на досить високому рівні розроблювачами, що є лідерами у відповідних сегментах ринку програмного забезпечення.

У роботі представлено підхід до розробки й реалізації компонентів інтегрованих САПР як різновидів КС для ІОД, з використанням інженерії знань про роботу ПрО й процесу ІОД. Для забезпечення ефективної інтеграції програмних компонентів у єдиний комплекс алгоритмічно-програмних засобів виконано формалізацію й обґрунтування вибору існуючих технологій динамічного обміну даними між потоками й процесами, у рамках яких виконуються відповідні модулі у багатозадачних операційних системах. У якості ефективного засобу інформаційної підтримки інженерної діяльності використано компоненти КС для оперативного аналізу даних (On-line Analysis Processing – OLAP) у вигляді

багатовимірною представлення агрегованих даних (гіперкуба). Спроектовано і реалізовано КС для ІОД, що забезпечує роботу із базою даних САПР технологічних процесів механообробки й забезпечено програмний доступ до гіперкубу, розгорнутого з використанням функціональних можливостей служб Analysis Services СУБД MS SQL Server, із зовнішніх застосувань.

У складі розроблених і впроваджених компонентів КС для ІОД, для апроксимації невідомих функціональних залежностей, або таких, що важко формалізуються, застосовано нейронні мережі, а для організації баз правил і експертних систем з використанням лінгвістичних змінних – системи нечіткої логіки. Гібридні нейронно-нечіткі мережі (ННМ) дозволили формалізувати знання про роботу ПрО за допомогою функцій приналежності термів і правил прийняття рішень на їхній основі, при цьому параметри функцій приналежності і базу правил визначено шляхом навчання мережі на накопичених прецедентах у СДІЗ.

Для інформаційної підтримки інженерної діяльності розроблено й реалізовано, у вигляді компонентів КС для ІОД, методику розробки й інтеграції підсистем підтримки прийняття рішень, у складі інтегрованої САПР складних виробів. Онтологію ПрО, що представляє компоненти розробленої методики, наведено на рисунку 3.2. Реалізація методики включає методи й засоби для інформаційного забезпечення експертного оцінювання альтернатив, моделювання на основі нечіткої когнітивної карти (НКК), категоріально-онтологічного моделювання ПрО й бізнес-процесів, а також моделі представлення й формати зберігання знань у СДІЗ.

**Висновки.** Розвиток методології інформаційної підтримки інженерної діяльності у вигляді розробленої та впровадженої методики розробки та інтеграції алгоритмічних та програмних компонентів на основі категоріально- онтологічного підходу, реалізованої шляхом побудови онтологічних моделей, баз знань і реляційних баз даних, автоматизації

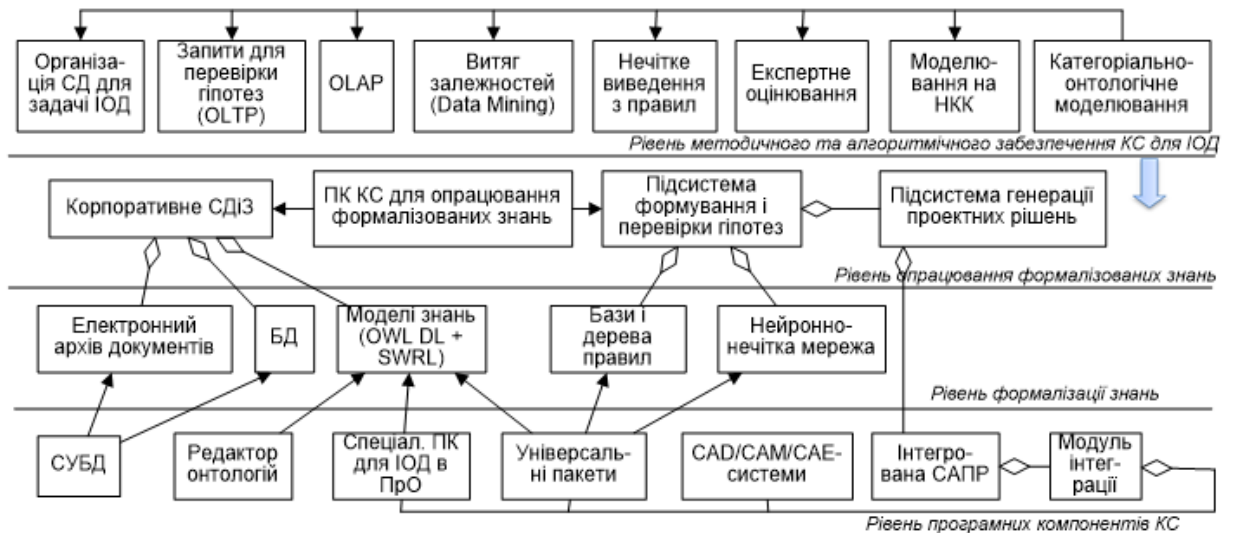


Рисунок 3.2 – Онтологія предметної області «Розробка й інтеграція підсистем інформаційної підтримки інженерної діяльності»

оперативного аналізу агрегованих даних і вибору з багатьох альтернатив, у тому числі на основі методів штучного інтелекту, – дозволив забезпечити інтелектуалізацію комп'ютерних систем, що використовуються на ряді підприємств та отримати системний ефект у вигляді підвищення продуктивності праці спеціалістів, забезпечення якості машинобудівних виробів та зниження матеріальних та енерговитрат.

#### **4 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УДОСКОНАЛЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ, ЯК СКЛАДОВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ДІЯЛЬНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВОГО ІНТЕЛЕКТУ**

Сьогодні рівень кіберзлочинності зростає до тривожного рівня, тому вже включений до порядку денного національної безпеки та оборони практично всіх країн [47], в тому числі, України. Ці злочини є глобальною епідемією, яка вражає кожен 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 [48]. 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 [49, 50], 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 [51], так і на безперервність його послуг [52], 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. Вагомою 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 потенційні атаки.

2. Прогнозування поведінки зловмисників: Застосування методів машинного навчання допомагає вивчати та передбачати 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,

щодо 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 нові, раніше невідомі види атак.

9. Забезпечення автономності захисту: Системи кібербезпеки, засновані на машинному навчанні, можуть функціонувати автономно, адаптуючись до змінних умов та викликів 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 інформаційних систем 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: Цей етап включає впровадження

рішень з кібербезпеки, які базуються на машинному навчанні, в інформаційні системи.

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.

Етап аналізу загроз у процесі удосконалення кібербезпеки інформаційних систем з використанням методів машинного навчання включає кілька ключових етапів:

1. Збір та обробка даних про загрози: Перший крок - це збір великого обсягу даних про потенційні загрози. Ці дані можуть включати журнали подій, інформацію про попередні атаки, вразливості, аналіз безпеки програмного забезпечення тощо.

2. Фільтрація та відбірка даних: Оскільки дані можуть бути об'ємними та різноманітними, важливо застосувати методи фільтрації та обробки для виділення ключової інформації. Це може включати видалення шуму, виявлення патернів, класифікацію загроз тощо.

3. Створення моделей аналізу даних: Моделі машинного навчання використовуються для аналізу цих даних. Алгоритми класифікації, кластеризації, виявлення аномалій та інші методи можуть застосовуватися для ідентифікації потенційних загроз.

4. Навчання моделей на основі даних: Загальна мета - навчити моделі розпізнавати патерни атак та аномальної поведінки. Для цього використовуються навчальні алгоритми, які адаптуються до нових узорів та інформації.

5. Валідація та тестування моделей: Одержані моделі потребують перевірки на достовірність та точність перед їх використанням у реальних умовах. Це важливий етап, щоб упевнитися, що моделі працюють ефективно та надійно.

6. Інтеграція результатів в систему кібербезпеки: Остаточні моделі та результати аналізу загроз інтегруються в систему кібербезпеки для надання рекомендацій, виявлення потенційних загроз та автоматичного реагування на них.

На рисунку 4.1 наведено діаграму активності, яка формалізує логіку діяльності на даному етапі. Цей етап відіграє ключову роль у побудові надійних та ефективних систем кібербезпеки, оскільки аналіз даних про загрози є фундаментом для розробки стратегій захисту та виявлення потенційних атак.

Етап "Розробка захисних стратегій" у процесі удосконалення кібербезпеки є ключовим для визначення та реалізації методів захисту інформаційних систем від потенційних загроз. Ось детальний опис цього етапу:

1. Аналіз виявлених загроз: На початку етапу важливо проаналізувати існуючі загрози, що були ідентифіковані на попередніх етапах. Це включає дослідження їх характеристик, потенційних наслідків та вразливостей системи.

2. Визначення прийнятних ризиків: Команда з кібербезпеки спільно з відповідними стейкхолдерами визначає рівень ризику, який прийнятний для організації. Це визначає обсяг і види заходів, які потрібно прийняти для зменшення ризику до прийнятного рівня.

3. Розробка стратегій захисту: На основі аналізу загроз та встановленого рівня ризику розробляються конкретні захисні стратегії. Це включає обговорення методів захисту, таких як використання шифрування, регулярне оновлення програмного забезпечення, застосування багатофакторної аутентифікації та інші техніки захисту.

4. Планування впровадження стратегій: Після розробки стратегій потрібно розробити план їх впровадження. Це включає призначення відповідальних осіб, визначення термінів та послідовності дій для впровадження заходів безпеки.

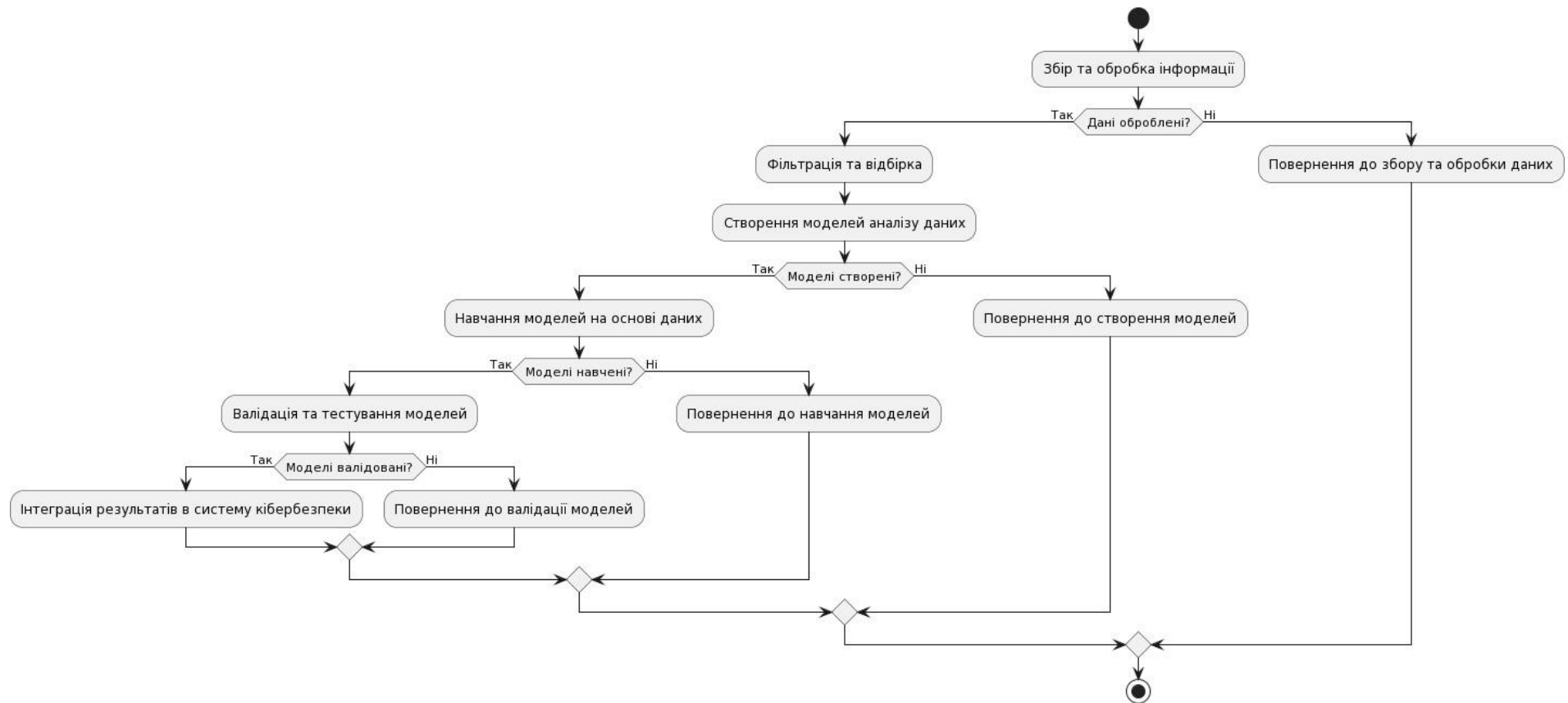


Рисунок 4.1 – Діаграма, яка формалізує логіку діяльності на етапі аналізу загроз у процесі удосконалення кібербезпеки інформаційних систем з використанням методів машинного навчання

5. Тестування та валідація заходів безпеки: Заплановані заходи безпеки проходять процедури тестування та валідації, щоб переконатися у їх ефективності та здатності захищати систему від загроз.

6. Впровадження та моніторинг: Після успішного тестування заходи безпеки впроваджуються в реальну систему. Після впровадження система моніториться для переконання у відповідності заходів до очікувань та реагування на нові загрози.

Оновлення та адаптація: Кібербезпека - це постійний процес. Стратегії безпеки постійно оновлюються та адаптуються відповідно до нових загроз та змінв інформаційному середовищі.

На рисунку 4.2 наведено діаграму активності, яка формалізує логіку діяльності на даному етапі. Цей етап важливий для створення надійної та ефективної системи захисту, що відповідає специфіці і потребам конкретної організації.

Етап "Впровадження систем захисту" є критично важливим у процесі удосконалення кібербезпеки. Це означає виконання плану заходів безпеки, розроблених та визначених на попередніх етапах, для забезпечення захисту інформаційних систем. Ось детальний опис цього етапу:

1. Підготовка до впровадження: Перед впровадженням систем захисту важливо підготувати середовище для їх реалізації. Це може включати проведення необхідних навчань персоналу, створення плану впровадження, а також оцінку існуючих інфраструктурних аспектів.

2. Впровадження технічних заходів безпеки: Цей етап включає в себе фактичне впровадження захисних технічних засобів. Це може охоплювати встановлення та налаштування систем безпеки, застосування шифрування, налаштування систем моніторингу та інші технічні заходи для захисту інформаційних ресурсів.

3. Впровадження організаційних заходів безпеки: Організаційні заходи включають у себе впровадження політик безпеки, проведення навчань з

питань кібербезпеки для персоналу, налагодження процедур управління доступом до даних та інші аспекти, що стосуються організаційного керування безпекою.

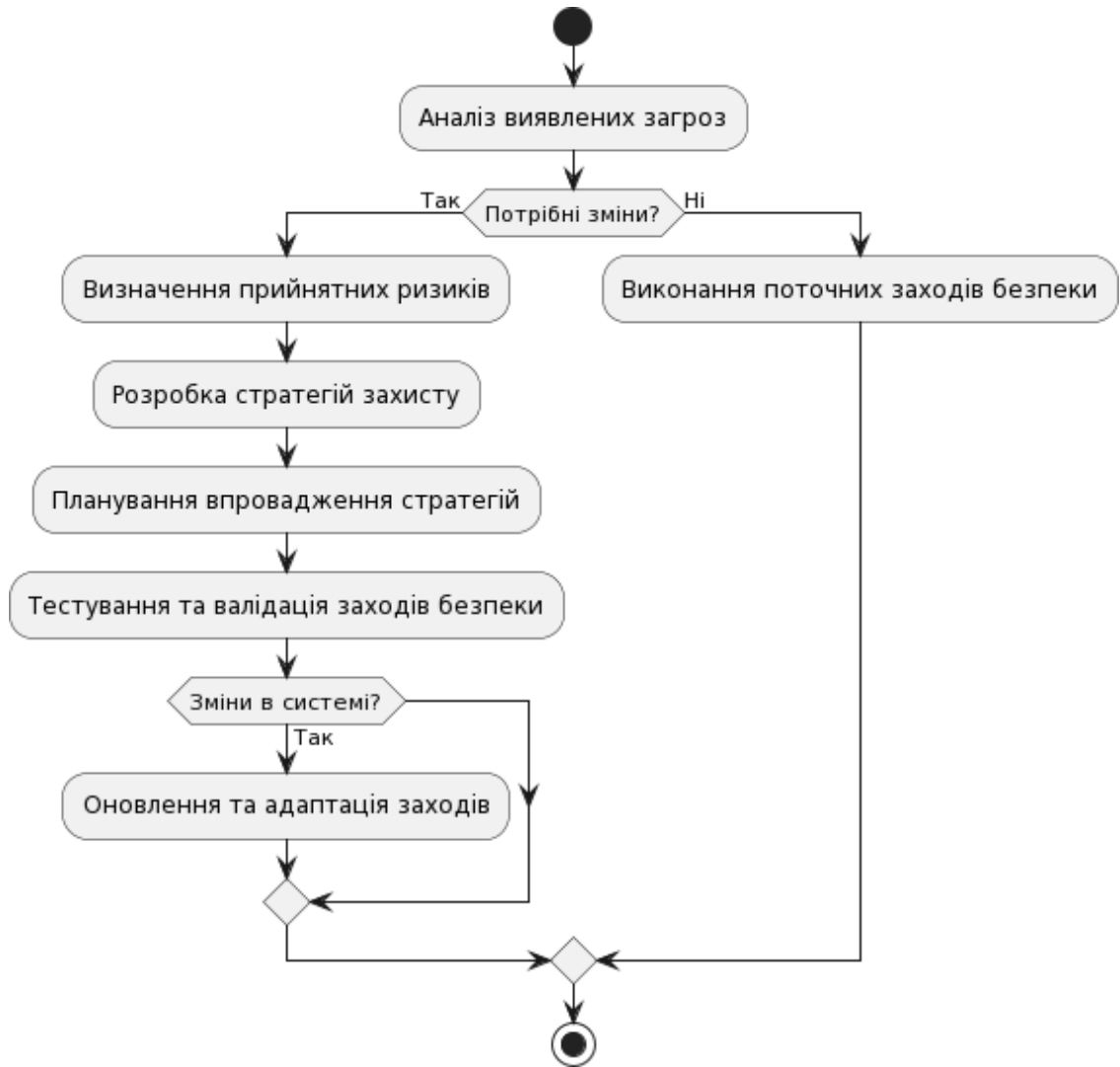


Рисунок 4.2 – Діаграма, яка формалізує логіку діяльності на етапі розробки захисних стратегій у процесі удосконалення кібербезпеки інформаційних систем з використанням методів машинного навчання

4. Впровадження організаційних заходів безпеки: Організаційні заходи включають у себе впровадження політик безпеки, проведення навчань з питань кібербезпеки для персоналу, налагодження процедур управління доступом до даних та інші аспекти, що стосуються організаційного керування безпекою.

5. Тестування та перевірка: Після впровадження систем захисту проводиться тестування для переконання у їхній ефективності та коректному функціонуванні. Це може включати тестування на проникнення, внутрішні аудити безпеки та інші методи перевірки.

6. Налаштування та оптимізація: Після впровадження систем захисту може бути необхідно провести додаткове налаштування та оптимізацію для досягнення найвищого рівня ефективності. Це включає в себе виправлення помилок, удосконалення процесів та аналіз результатів.

7. Моніторинг та підтримка: Після впровадження систем захисту, вони повинні постійно моніторитися, підтримуватися та оновлюватися. Це забезпечить постійний захист системи від нових загроз та збереже її в актуальному стані.

На рисунку 4.3 наведено діаграму активності, яка формалізує логіку діяльності на даному етапі.

Цей етап вимагає точного планування та впровадження, оскільки правильна реалізація захисних стратегій визначає рівень безпеки інформаційних систем організації.

Етап "Моніторинг та апгрейд" у процесі удосконалення кібербезпеки включає в себе постійний контроль, аналіз і покращення заходів безпеки, щоб забезпечити ефективний захист інформаційних систем від змінюючихся загроз. Ось більш детальний опис цього етапу:

1. Моніторинг безпеки: На цьому етапі виконується постійне спостереження за системами безпеки для виявлення аномалій, потенційних загроз та вразливостей. Це може включати моніторинг систем журналювання, систем виявлення вторгнень, моніторинг доступу та інші методи контролю за безпекою.

2. Аналіз подій: Важливо аналізувати зібрані дані про безпеку для виявлення відхилень від звичайної поведінки, виявлення можливих загроз та оцінки їх потенційного впливу на систему.

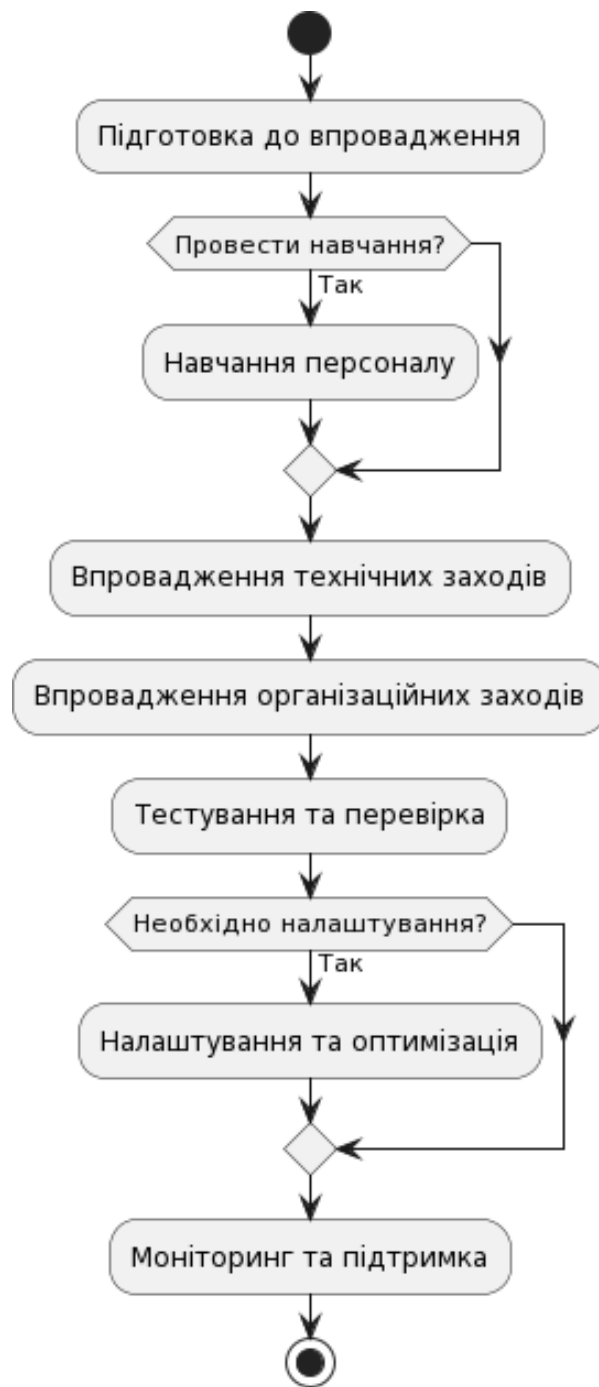


Рисунок 4.3 – Діаграма, яка формалізує логіку діяльності на етапі впровадження систем захисту у процесі удосконалення кібербезпеки інформаційних систем з використанням методів машинного навчання

3. Відповідь на події: Якщо виявляються аномалії чи потенційні загрози, виконується відповідна реакція. Це може включати інцидентний реагування, блокування вразливостей, ізоляцію системи від потенційних атак та інші заходи.

4. Відповідь на події: Якщо виявляються аномалії чи потенційні загрози, виконується відповідна реакція. Це може включати інцидентний реагування, блокування вразливостей, ізоляцію системи від потенційних атак та інші заходи.

5. Апгрейд та оновлення: Заходи безпеки постійно піддаються оновленням та апгрейдам, щоб вони відповідали новим загрозам та вимогам. Це може включати оновлення програмного забезпечення, зміну політик безпеки, удосконалення систем захисту тощо.

6. Аудит та перевірка: Періодично проводяться аудити та перевірки системи безпеки для переконання у відповідності заходів безпеки стандартам, оцінки їх ефективності та виявлення можливих прогалин.

7. Навчання та підтримка персоналу: Частиною цього етапу є постійне навчання та підтримка персоналу щодо найновіших тенденцій та загроз у сфері кібербезпеки.

На рисунку 4.4 наведено діаграму активності, яка формалізує логіку діяльності на даному етапі.

Цей етап є надзвичайно важливим для забезпечення постійного захисту інформаційних систем від загроз, що змінюються, та ефективного реагування на можливі атаки чи аномалії.

Система інформаційної підтримки удосконалення кібербезпеки інформаційних систем з використанням методів машинного навчання повинна базуватися на відповідній базі даних. У випадку її реляційного представлення, на рисунку 4.5 наведені результати її проектування з використанням моделі «entity-relationship» (ER-діаграма).



Рисунок 4.4 – Діаграма, яка формалізує логіку діяльності на етапі моніторингу та апгрейду систем захисту у процесі удосконалення кібербезпеки інформаційних систем з використанням методів машинного навчання

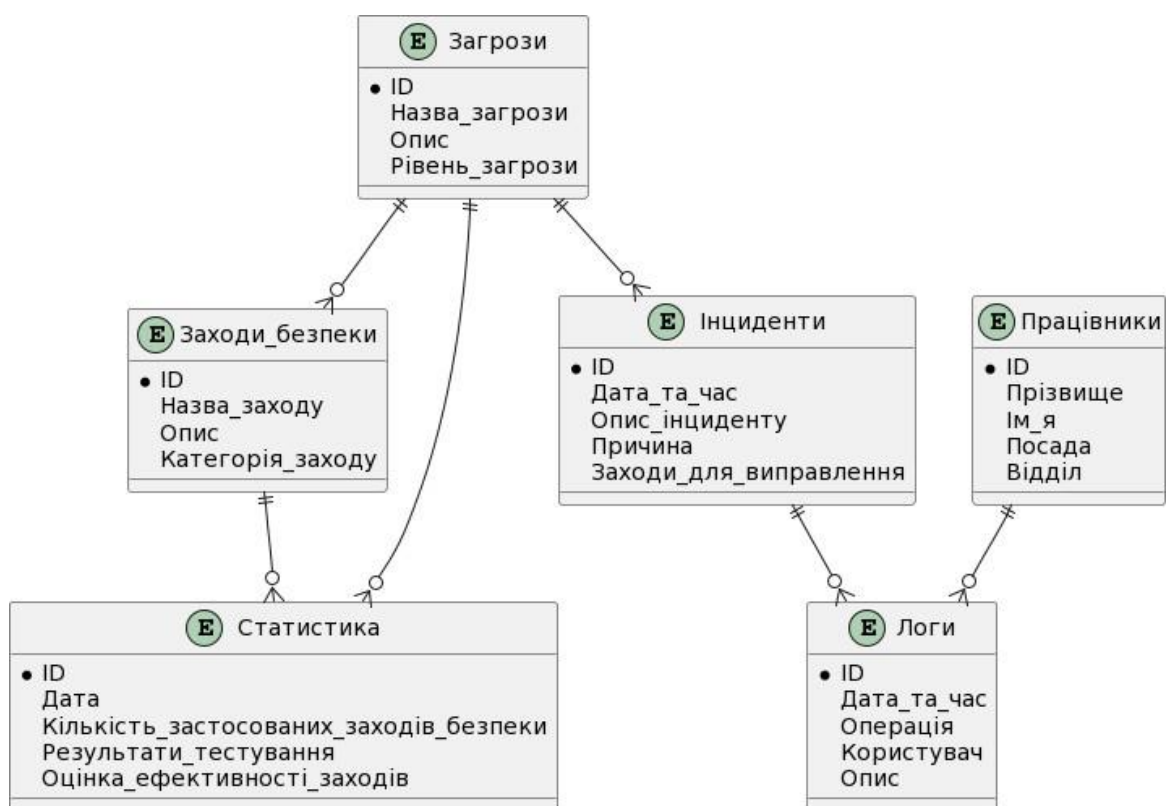


Рисунок 4.5 – ER-діаграма як модель реляційної бази даних системи інформаційної підтримки удосконалення кібербезпеки інформаційних систем

**Висновки.** Застосування системного підходу до аналізу предметної області «Удосконалення кібербезпеки інформаційних систем 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, розробка 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 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНО СКІНЧЕНИХ УЛЬТРАМЕТРИЧНИХ ПРОСТОРІВ ТА МІЧЕНИХ ДЕРЕВ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ГРАФІЧНИХ БАЗ ДАНИХ

В даному розділі наведені теоретичні дослідження щодо зв'язку 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, які грають велику роль у інженерії знань, для формалізації представлення знань спеціалістів в предметних областях та подальшої автоматизації процесів логічного висновку на графах «об'єкт-властивість» (онтологічних моделях функціонування предметних областей).

### 1. Вступ

Позначимо напіввідкритий інтервал символом  $R^+$ .

Метрика на множині  $X$  — це функція  $: X \times X \rightarrow R^+$  така, що для всіх  $x, y, z \in X$  мають місце властивості

1.  $d(x, y) = d(y, x)$ ,
2.  $(d(x, y) = 0) \Leftrightarrow (x = y)$ ,
3.  $d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y)$ .

Метричний простір  $(X, d)$  є *ультраметричним*, якщо нерівність сильного трикутника

$$d(x, y) \leq \max\{d(x, z), d(z, y)\}$$

справедлива для всіх  $x, y, z \in X$ . У цьому випадку функція  $d$  називається *ультраметричною* на  $X$ .

**Визначення 1.1.** Нехай  $(X, d)$  і  $(Y, \rho)$ — метричні простори. Відображення  $\Phi: X \rightarrow Y$  є *ізометричним вкладенням*, якщо

$$d(x, y) = \rho(\Phi(x), \Phi(y))$$

справедлива для всіх  $x, y \in X$ . Бієктивне ізометричне вкладення називається *ізометрією*. Метричні простори є *ізометричними*, якщо існує ізометрія цих просторів.

Нехай  $(X, d)$  — метричний простір. Відкритий  $(X, d)$  м'яч з радіусом  $r > 0$  і центром  $c \in X$  - це набір

$$B_r(c) = \{x \in X: d(c, x) < r\}.$$

**Визначення 1.2.** Метричний простір називається  $(X, d)$  *локально скінченним*, якщо  $\text{card } B$  скінчена для кожної відкритої кулі  $B \subseteq X$ .

Крім відкритих куль, нам також знадобляться деякі інші підмножини, які ми назвемо центрованими сферами.  $(X, d)$

**Визначення 1.3.** Нехай  $(X, d)$  — метричний простір. Множина  $C \subseteq X$  називається *центрованою сферою* в  $(X, d)$  якщо  $c \in C$ , центр  $C$ , і  $r \in R^+$ , радіус  $C$ , такий, що

$$C = \{x \in X: d(x, c) = r\} \cup \{c\}. \quad (1.1)$$

Рівність (1.1) означає, що  $C$  — це сфера  $\{x \in X: d(x, c) = r\}$  з доданим центром  $c$ .

Позначимо через  $B_X = B_{X,d}$  і  $S_X = S_{X,d}$  множини всіх відкритих куль метричного простору  $(X, d)$  і, відповідно, множину всіх центрованих сфер цього простору.

**Визначення 1.4.** Позначене *дерево* - це пара  $(T, l)$ , де  $T$  є деревом і  $l$  є відображенням, визначеним на множині вершин  $V(T)$ .

Далі ми розглянемо лише невід'ємні реальні маркування  $l: V(T) \rightarrow R^+$

Далі, згідно [58] ми визначаємо відображення  $d_l: V(T) \times V(T) \rightarrow R^+$  як

$$d_l(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{якщо } u = v, \\ \max_{w \in V(P)} l(w) & \text{якщо } u \neq v, \end{cases} \quad (1.2)$$

де  $P$  - шлях з'єднання  $u$  і  $v$  в  $T$ .

**Теорема 1.5** ([59]). *Нехай  $T = T(l)$  — позначене дерево. Тоді функція  $d_l$  є ультраметричною на  $V(T)$  тоді і тільки тоді, коли нерівність  $\max\{l(u), l(v)\} > 0$  справедлива для кожного ребра  $\{u, v\}$  дерева  $T$ .*

Введемо клас  $UGVL$  (ультраметричний простір, що породжується позначками вершин) за правилом: ультраметричний простір  $(X, d)$  належить  $UGVL$  тоді і тільки тоді, коли існує розмічене дерево  $T = T(l)$  що задовольняє  $X = V(T)$  і  $d(x, y) = d_l(x, y)$  для всіх  $x, y \in X$ . Якщо  $(X, d) \in UGVL$  то ми говоримо, що  $(X, d)$  породжується маркованим деревом або що  $(X, d) \in UGVL$  - простір.

Наступна гіпотеза була сформульована в роботі [59].

**Теорема 1.6.** *Нехай  $(X, d)$  непорожній абсолютно обмежений ультраметричний простір. Якщо всі точки  $X$  ізольовані, то наступні твердження еквівалентні:*

1.  $X, d \in UGVL$ .
2.  $B_{X, d} \subseteq Cs_{X, d}$ .

Е. Петров [62] довів справедливість цієї теореми для скінченних ультраметричних просторів, використовуючи деякі інші умови та техніку представлення дерев Гурвича-В'ялого. Ми повторюємо цей результат у теоремі 4.4 цього розділу.

У теоремі 4.6 показано, що еквівалентність

$$((X, d) \in UGVL) \Leftrightarrow (B_{X,d} \subseteq Cs_{X,d})$$

справедлива для всіх непорожніх локально скінченних ультраметричних просторів  $(X, d)$ .

Теорема 4.9 показує, що  $B_{X,d} \subseteq Cs_{X,d}$  виконується тоді і тільки тоді, коли  $d$  є дискретною метрикою на  $X$ .

У теоремі 5.9 ми будемо "мінімальні" **UGVL-розширення** довільного скінченного ультраметричного простору і доводимо, що всі такі мінімальні розширення є ізометричними.

## 2. Дерева та повні багатозв'язні графи

*Простий граф* - це пара  $(V, E)$  що складається з непорожньої множини  $V$  та множини  $E$  елементи якої є неупорядкованими парами  $\{u, v\}$  різних точок  $u, v \in V$ . Для графа  $G = (V, E)$  множини  $V = V(G)$  та  $E = E(G)$  називаються множиною *вершин* та *множиною ребер* відповідно. Будемо говорити, що  $G$  *порожній*, якщо  $E(G) = \emptyset$ . Граф  $G$  називається *скінченним*, якщо  $V(G)$  скінченна множина. Граф  $H$  за визначенням є *підграфом* графа  $G$  якщо включення  $V(H) \subseteq V(G)$  та  $E(H) \subseteq E(G)$  допустимі. У цьому випадку ми просто пишемо  $H \subseteq G$ .

*Шлях* - це скінченний непорожній граф  $P$  вершини якого можна пронумерувати так, що

$$\begin{aligned} V(P) &= \{x_0, x_1, \dots, x_k\}, k \geq 1, \\ E(P) &= \{\{x_0, x_1\}, \dots, \{x_{k-1}, x_k\}\}. \end{aligned}$$

У цьому випадку ми говоримо, що  $P$  це шлях, який з'єднує  $x_0$  і  $x_k$ .

Граф  $G$  називається *зв'язним*, якщо для кожних двох різних  $u, v \in V(G)$  існує шлях у  $G$  що з'єднує  $u$  та  $v$ .

Скінченний граф  $C$  з  $\text{card}V(G) \geq 3$  називається *циклом*, якщо існує перерахування його вершин без повторень таке, що

$$\begin{aligned} V(C) & \quad \{v_1, \dots, v_n\}, \\ E(C) & \quad \{\{v_1, v_2\}, \dots, \{v_{n-1}, v_n\}, \{v_n, v_1\}\}. \end{aligned}$$

**Означення 2.1** Зв'язний граф без циклів називається *деревом*.

Дерево  $T$  може мати особливу вершину  $r$  яка у цьому випадку називається *коренем*. Тоді  $T = T(r)$  називається *кореневим деревом*.

**Означення 2.2.** Якщо  $u$  і  $v$  вершини укоріненого дерева  $T = T(r)$  то  $u$  є *наступником*  $v$ , якщо шлях  $P \subseteq T$ , що з'єднує  $u$  і  $r$  містить вершину  $v$ . Спадкоємець  $u$  вузла  $v$  називається *прямим спадкоємцем* вершини  $v$  якщо  $\{u, v\} \in E(T)$  має місце.

Нехай  $T = T(r)$  кореневе дерево і нехай  $v$  вершина дерева  $T$ . Позначимо через  $\delta^{+(v)}$  *зовнішній степінь*  $v$ , тобто  $\delta^{+(v)}$  - кількість прямих спадкоємців вершини  $v$ . Корінь  $r$  є листком дерева  $T$  тоді і тільки тоді, коли  $\delta^{+(r)} \leq 1$ . Більше того, для вершини  $v$  відмінної від кореня  $r$ , рівність  $\delta^{+(v)} = 0$  виконується тоді і тільки тоді, коли  $v$  є листком  $T$ .

Згадаємо означення ізоморфних корневих дерев.

**Означення 2.3.** Нехай  $T_1 = T_1(r_1)$  і  $T_2 = T_2(r_2)$  кореневі дерева. Бієкцією  $f: V(T_1) \rightarrow V(T_2)$  називається *ізоморфізмом* корневих дерев  $T_1$  та  $T_2$  якщо  $f(r_1) = r_2$  і

$$(\{u, v\} \in E(T_1)) \Leftrightarrow (\{f(u), f(v)\} \in E(T_2)).$$

Кореневі дерева  $T_1$  та  $T_2$  ізоморфні, якщо існує ізоморфізм  $f: V(T_1) \rightarrow V(T_2)$ .

**Означення 2.4.** Нехай  $T_i = T_i(r_i, l_i)$  - кореневі дерева з корінням  $r_i$  і позначенням  $l_i: V(T_i) \rightarrow R^+$ ,  $i = 1, 2$ . Ізоморфізм  $f: V(T_1) \rightarrow V(T_2)$  вкорінених дерев  $T_1(r_1)$  та  $T_2(r_2)$  є ізоморфізмом помічених вкорінених дерев  $T_1(r_1, l_1)$  і  $T_2(r_2, l_2)$ , якщо виконується рівність

$$l_2(f(v)) = l_1(v)$$

для кожної  $v \in V(T_1)$ . Позначені вкорінені дерева  $T_1(r_1, l_1)$  та  $T_2(r_2, l_2)$  ізоморфні, якщо існує ізоморфізм цих дерев.

Будемо говорити, що дерево  $T$  називається *зіркою*, якщо існує вершина  $c \in V(T)$  з центром у вершині  $T$  така, що  $c$  і  $v$  є суміжними для кожного  $v \in V(T) \setminus \{c\}$ .

**Пропозиція 2.5.** *Скінченний зв'язний граф  $G$  з  $\text{card}V(G) = n$  є деревом тоді і тільки тоді, коли  $\text{card}E(G) = n - 1$ .*

Для доведення див., наприклад, наслідок 1.5.3 в [55].

Наступне просте твердження безпосередньо випливає з означення [7](#) та означення підграфів графа.

**Пропозиція 2.6.** *Нехай  $T$  дерево і нехай  $G$  зв'язний підграф дерева  $T$ . Тоді  $G$  є піддеревом дерева  $T$ .*

Нехай  $\{G_i; i \in I\}$  - непорожня сім'я графів таких, що

$$\left( \bigcup_{i \in I} V(G_i) \right) \cap \left( \bigcup_{i \in I} E(G_i) \right) = \emptyset.$$

Тоді об'єднання  $\bigcup_{i \in I} G_i$  є графом  $H$  з

$$V(H) = \bigcup_{i \in I} V(G_i), E(H) = \bigcup_{i \in I} E(G_i).$$

Означення зв'язності графів має на увазі наступне.

**Пропозиція 2.7.** Нехай  $\{G_i: i \in I\}$  непушта сім'я зв'язних підграфів графа  $G$ . Якщо множина  $\bigcap_{i \in I} V(G_i)$  непорожня, то  $\bigcup_{i \in I} G_i$  є зв'язним підграфом графа  $G$ .

При доведенні теореми 4.6 ми також використаємо наступний простий факт.

**Пропозиція 2.8.** Нехай  $T_1, T_2, T_3 \dots$  послідовність дерев, яка задовольняє включенню

$$T_i \subseteq T_{i+1} \quad (2.1)$$

для кожного цілого числа  $i \geq 1$ . Тоді граф

$$T := \bigcup_{i=1}^{\infty} T_i \quad (2.2)$$

є деревом.

*Доказ.* Дійсно,  $T$  є зв'язним графом за твердженням 2.7. Припустимо, що можна знайти цикл  $C \subseteq T$ . Оскільки  $C$  скінченний граф, то з включення (2.1) та рівності (2.2) випливає, що існує ціле число  $i_0 \geq 1$  таке, що  $T_{i_0} \supseteq C$ . Останнє включення неможливе, оскільки  $T_{i_0}$  є деревом. Таким чином  $T$  також є деревом.

**Означення 2.9.** Нехай  $G$  граф і нехай  $k \geq 2$  кардинальне число. Граф  $G$  називається повним  $k$ -частинним, якщо множину вершин  $V(G)$  можна розбити на  $k$  непорожніх, непересічних підмножин, або частин, таким чином, що жодне ребро не має обох кінців в одній частині і будь-які дві вершини в різних частинах суміжними.

Будемо говорити, що  $G$  є повним багатозв'язним графом, якщо існує кардинальне число  $k$  таке, що  $G$  є повним  $k$ -частковим графом.

**Лема 2.10.** Нехай  $G$  повний багатодольний граф. Тоді наступні умови еквівалентні:

1. Є така зірка.  $S \subseteq G$  така, що  $V(S) = V(G)$ .
2. Принаймні одна частина  $G$  містить рівно одну точку.

*Доказ.*  $1 \Rightarrow 2$ . Нехай  $S \subseteq G$  зірка з центром у точці  $c$  і нехай  $V(S) = V(G)$ . Тоді існує частина  $A$  від  $G$  така, що  $c \in A$ . Якщо  $u$  точка з множини  $A$  і  $u \neq c$  то, за означенням 2.9, точки  $u$  і  $c$  не є суміжними в  $G$ . Тепер  $S \subseteq G$  означає, що ці точки також не є суміжними у  $S$ , що суперечить означенню зірок. Таким чином, частина  $A$  містить лише точку  $c$ .

$2 \Rightarrow 1$ . Нехай  $A$  є частиною  $G$  і нехай  $card A = 1$  має місто. Позначимо через  $c$  єдину точки  $A$  і розглянемо зірку  $S$  з центром  $c$  і  $V(S) = V(G)$ . Тоді  $S \subseteq G$  випливає з означення 2.9.

### 3. Кулі та центровані сфери в ультраметричних просторах

Нехай  $(X, \rho)$  метричний простір і нехай  $A$  підмножина з множини  $X$ . Нагадаємо, що *діаметром*  $A$  називається величина

$$diam A = \{\rho(x, y) : x, y \in A\}.$$

**Означення 3.1.** Якщо  $(X, \rho)$  - метричний простір з  $card X \geq 2$  то *діаметральним* графом простору  $(X, \rho)$  називається граф  $G = G_{X, \rho}$  такий, що  $V(G) = X$  виконується і твердження

$$(\{u, v\} \in E(G)) \Leftrightarrow (\rho(u, v) = diam X) \quad (3.1)$$

дійсне для всіх  $u, v \in V(G)$ .

Наступна теорема безпосередньо випливає з теореми 3.1 в [56].

**Теорема 3.2.** *Нехай  $(X, \rho)$  ультраметричний простір з  $card X \geq 2$ . Якщо діаметральний граф  $G_{X, \rho}$  непорожній, то він є повним багатодольним графом.*

Наступна лема показує, що радіус будь-якої центрованої ультраметричної сфери дорівнює її діаметру.

**Лема 3.3** Нехай  $C$  центрована сфера в ультраметричному просторі  $(X, d)$  і нехай  $\text{card}C \geq 2$ . Якщо  $c \in C$  і  $r \in R^+$  задовольняють умову

$$C = \{x \in X: d(x, c) = r\} \cup \{c\}, \quad (3.2)$$

то виконується рівність

$$r = \text{diam}C. \quad (3.3)$$

*Доказ.* Нерівність  $\text{card}C \geq 2$  означає, що існує точка  $x \in C$  така, що  $d(x, c) = r$ . Отже,

$$r \leq \text{diam}C \quad (3.4)$$

виконується. Тепер, використовуючи (3.2) сильну нерівність трикутника, отримаємо

$$d(u, v) \leq \max\{d(u, c), d(v, c)\} \leq r \quad (3.5)$$

для всіх  $u, v \in C$ . Рівність (3.3) випливає з (3.4) та (3.5).

Лема 2.10, лема 3.3 і теорема 3.2 дають нам наступне.

**Наслідок 3.4.** Нехай  $(Y, \rho)$  ультраметричний простір з непорожнім діаметральним графом  $G_{Y, \rho}$ . Тоді наступні твердження еквівалентні:

1.  $Y \in Cs_{Y, \rho}$ .
2. Принаймні одна частина повного багатодольного графа  $G_{Y, \rho}$  містить рівно одну точку.
3. Є така зірка  $S \subseteq G_{Y, \rho}$  така, що  $V(S) = V(G_{Y, \rho})$ .

Наступний результат є окремим випадком твердження 3.3 із [53].

**Лема 3.5.** Нехай  $(X, \rho)$  метричний простір з  $\text{card}X \geq 2$ . Якщо діагональний граф  $G_{X, \rho}$  є повним багатокутником, то кожна частина  $G_{X, \rho}$  є відкритою кулею з центром  $c \in X$  і радіусом  $r = \text{diam}X$  і, навпаки, кожна

$B_r(c) \in B_X$  з  $r = \text{diam}X$  є частиною  $G_{X, \rho}$ .

Використовуючи останню лему, отримаємо уточнення теореми 3.2.

**Теорема 3.6.** Нехай  $(X, \rho)$  ультраметричний простір з  $\text{card}X \geq 2$ . Якщо діаметральний граф  $G_{X,\rho}$  непорожній, то  $G_{X,\rho}$  є повним багатокутником і, крім того, множина всіх частин  $G_{X,\rho}$  збігається з множиною всіх відкритих куль радіуса  $r = \text{diam}X$ .

Наступне твердження стверджує, що кожна точка довільної ультраметричної кулі є центром цієї кулі.

**Пропозиція 3.7.** Нехай  $(X, d)$  ультраметричний простір. Тоді для кожної кулі  $B_r(c)$  і для кожної  $a \in B_r(c)$  маємо  $B_r(c) = B_r(a)$ .

Це безпосередньо випливає з твердження 18.4 в [64], тому ми опускаємо його доведення.

**Наслідок 3.8.** Нехай  $(X, d)$  ультраметричний простір. Тоді включення  $B_{B,d_{B \times B}} \subseteq B_{X,d}$  виконується для кожного  $B \in B_X$ .

Як і у випадку з наслідком 3.8, з пропозиції 3.7 випливає наступне.

**Наслідок 3.9.** Нехай  $(X, d)$  - ультраметричний простір і нехай  $B \in B_{X,d}$ . Тоді має місце включення  $Cs_{B,d_{B \times B}} \subseteq Cs_{X,d}$ .

Наступне твердження описує деякі корисні властивості локально скінченних ультраметричних просторів.

**Пропозиція 3.10.** Нехай  $(X, d)$  локально скінченний ультраметричний простір,  $c \in X$  і нехай  $B_{X,d}^c$  множина всіх відкритих куль, які містять точку  $c$ ,  $B_{X,d}^c = \{B \in B_{X,d} : c \in B\}$ . Мають місце наступні твердження:

1. Відображення

$$B_{X,d}^c \ni B \mapsto \text{diam}B \in \mathbb{R}^+ \quad (3.6)$$

є ін'єкційним.

2. Якщо  $X$  нескінченно, то існує послідовність  $(B_1, B_2, \dots, B_n, \dots)$  кульок таких, що

$$B_{X,d}^c = \{B_1, B_2, \dots, B_n, \dots\}, \quad (3.7)$$

з

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \text{diam} B_n = \infty \quad (3.8)$$

та

$$\text{diam} B_n < \text{diam} B_{n+1} \quad (3.9)$$

для кожного натурального числа  $n$ .

*Доказ.* (i). Оскільки  $(X, d)$  локально скінченна, то кожне  $B \in B_{X,d}^c$  можна подати у вигляді

$$B = \{x \in X: d(x, c) \leq \text{diam} B\},$$

що означає ін'єктивність відображення (3.6).

(ii). Нехай  $X$  нескінченно. Оскільки  $(X, d)$  локально скінченна, то множина

$$\{d(c, x): x \in X\} \cap [0, t]$$

скінченна для кожного  $t \in \mathbb{R}^+$ . Більше того, множина

$$D_1^c = \{d(c, x): x \in X\}$$

є необмеженою, оскільки кожен обмежений локально скінченний метричний простір є скінченним. Використовуючи останні два твердження, легко перевірити, що множини  $D_1^c$  та

$$N = \{1, 2, \dots, n, \dots\}$$

ізоморфні порядку як підмножини упорядкованої множини. Нехай  $\Phi: N \rightarrow D^c$  порядковий ізоморфізм множин  $N$  та  $D^c$ . Запишемо

$$t_n := \Phi(n)$$

за кожен  $n \in N$ . Тоді, за означенням порядку-ізоморфізмів, маємо

$$t_n < t_{n+1} \quad (3.10)$$

за кожную  $n \in \mathbb{N}$ . Крім того, граничне співвідношення

$$\lim_{n \rightarrow \infty} t_n = \infty \quad (3.11)$$

виконується, оскільки  $D_1^c$  є необмеженою підмножиною множини  $R^+$ .

Позначимо тепер через  $D_2^c$  множину  $\{\text{diam}B: B \in B_{X,d}^c\}$ . Доведемо, що виконується рівність

$$D_1^c = D_2^c \quad (3.12)$$

Дійсно, оскільки  $(X, d)$  локально скінченна, то в кожному  $B \in B_{X,d}^c$  можна знайти  $p \in B$  які задовольняють рівності

$$d(c, p) = \text{diam}B.$$

Отже, включення

$$D_1^c \subseteq D_2^c \quad (3.13)$$

має місце. Тепер, знову використовуючи локальну скінченність  $(X, d)$  для кожного  $a \in X$  можна знайти  $\varepsilon > 0$  таке, що множина

$$\{x \in X: d(c, a) < d(c, x) < d(c, a) + \varepsilon\}$$

порожня, що означає рівність

$$\text{diam}B_r(c) = d(c, a),$$

для будь якого.  $r \in (d(c, a), d(c, a) + \varepsilon)$ . Таким чином, включення

$$D_2^c \supseteq D_1^c \quad (3.14)$$

виконується. Рівність (3.12) випливає з (3.13) та (3.14).

Твердження (i) означає, що існує бієкція  $F: D_2^c \rightarrow B_{X,d}^c$  що задовольняє рівності

$$\text{diam}F(t) = t$$

за кожну  $t \in D^c$ .

Розглянемо тепер бієктивне відображення

$$N \xrightarrow{\Phi} D_1^c \xrightarrow{Id} D_2^c \xrightarrow{F} B_{X,d}^c$$

де  $Id: D_1^c \rightarrow D_2^c$  тотожне відображення, і визначимо  $B_n \in B_{X,d}^c$  як значення цього відображення в точці  $n \in N$ . Тоді (3.8) та (3.9) випливають з (3.10) та (3.11), відповідно.

#### 4. Характеристика локально скінченних **UGVL** -просторів

Насамперед зазначимо, що клас **UGVL** містить усі непорожні ультраметричні простори, які містять не більше 3 точок.

**Пропозиція 4.1.** *Нехай  $(X, d)$  непорожній ультраметричний простір. Якщо виконується нерівність  $\text{card}X \leq 3$ , то  $(X, d) \in \text{UGVL}$  і кожна  $B \in B_X$  є центрованою сферою в  $(X, d)$ .*

*Доказ.* Якщо  $\text{card}X = 1$  або  $\text{card}X = 2$  то твердження тривіально справедливе. Розглянемо випадок, коли  $\text{card}X = 3$ ,  $X = \{x, y, z\}$ .

Кожен трикутник у будь-якому ультраметричному просторі є рівнобедреним, а його основа має довжину, меншу або рівну довжині катетів. Таким чином, можна припустити, що

$$d(x, y) = d(y, z) = a \text{ та } d(z, x) = b$$

з  $a \geq b > 0$ . Розглянемо тепер розмічений шлях  $P_1 = P_1(l)$  з

$$V(P_1) = \{y, x, z\} \text{ та } E(P_1) = \{\{y, x\}, \{x, z\}\}$$

і маркування  $l: V(P_1) \rightarrow R^+$  таке, що

$$l(y) = a, l(x) = 0 \text{ and } l(z) = b$$

(див. рисунок 5.1). Тоді  $P_1$  є розміченим деревом. Прості обчислення показують, що  $d = d_l$  має місце, де  $d_l$  визначено у (1.2) з  $T = P_1$ . Таким чином, дерево  $(X, d)$  належить класу  $UGVL$  за означенням.

Доведемо, що кожна  $B \in B_X$  є центрованою сферою в  $(X, d)$ . Останнє твердження має місце, якщо  $\text{card}B = 1$ , що випливає з (1.1) при  $S = B$  і  $r = 0$ .

Якщо  $\text{card}B = 2$  або  $\text{card}B = 3$ , то для того, щоб переконатися, що  $B$  є центрованою сферою, можна скористатися наслідком 3.4 з  $(Y, \rho) = (B, d_{B \times B})$ .

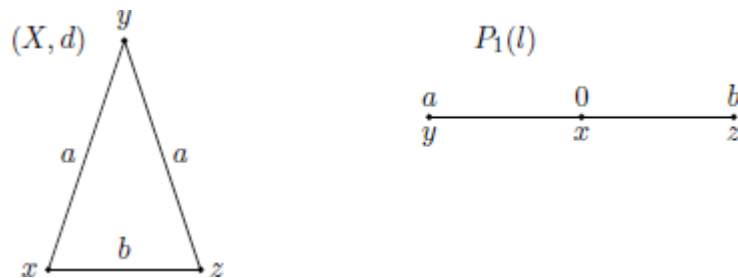


Рисунок 5.1 – Ультраметричний трикутник  $(X, d)$ , згенерований поміченим шляхом  $P_1(l)$

Наступний приклад показує, що 3 є найкращою можливою константою у Пропозиції 4.1.

**Приклад 4.2.** Розглянемо чотириточковий ультраметричний простір  $(X, d)$  зображений на рисунку 5.2. Переконаємось, що у ньому не існує розміченого дерева, для якого

$$d_l = d \tag{4.1}$$

має місце, припустимо, для деякого дерева  $T$  з  $V(T) = \{x, y, z, t\}$  і  $l: V(T) \rightarrow R^+$ , виконується (4.1). Тоді, використовуючи (1.2), отримаємо

$$d_l(x, z) = 1 = \max\{l(x), l(z)\},$$

$$d_l(y, t) = 1 = \max\{l(y), l(t)\}.$$

Це означає, що

$$\text{diam}X = \max\{l(x), l(y), l(z), l(t)\} = 1,$$

всупереч тому, що  $\text{diam}X \geq d(x, y) = 2$ .

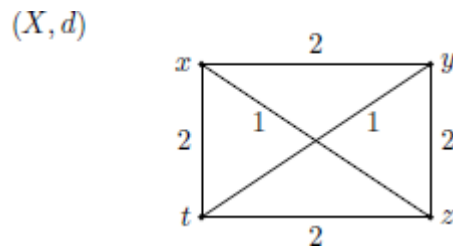


Рисунок 5.2 - Чотирьохточковий ультраметричний простір  $(X, d)$  не належить UGVL

Покажемо, що кожна відкрита куля у UGVL -просторі також є UGVL -простір.

**Лема 4.2.** Нехай  $(X, d) \in UGVL$  і нехай  $T(l)$  розмічене дерево, яке породжує  $(X, d)$ . Тоді для кожного  $B^1 \in B_X$  існує піддерево  $T^1$  з  $T$  таке, що

$$V(T^1) = B^1 \tag{4.2}$$

і

$$d_{B^1 \times B^1} = d_{l^1} \tag{4.3}$$

виконується, де  $l^1$  є обмеженням маркування  $l: V(T) \rightarrow R^+$  на множині  $V(T^1)$ .

*Доказ.* Нехай  $B^1 = B_r(c_1)$  довільна відкрита куля у просторі  $(X, d)$ . Якщо  $card B^1 = 1$  виконується, то порожнє дерево  $T^1$  з  $V(T^1) = \{c_1\}$  також задовольняє (4.3).

Припустимо, що  $card B^1 \geq 2$  і розглянемо сім'ю

$$F_{B^1} = \{P^x: x \in B^1, x \neq c_1\},$$

де  $P^x$  унікальний шлях, що з'єднує  $c_1$  і  $x$  в  $T$ . Тоді, за твердженням 2.7, об'єднання

$$T^1 := \bigcup_{P^x \in F_{B^1}} P^x \quad (4.4)$$

є зв'язним підграфом  $T$  і, відповідно,  $T^1$  є піддеревом  $T$  за твердженням 2.6.3 (4.4) безпосередньо випливає, що включення  $V(T^1) \supseteq B^1$  має місце. Таким чином, для доведення рівності (4.2) достатньо показати, що включення

$$V(P^x) \subseteq B^1 \quad (4.5)$$

діє для кожного  $P^x \in F_{B^1}$

Розглянемо довільну  $P^x \in F_{B^1}$ ,

$$\begin{aligned} V(P^x) &= \{x_0, x_1, \dots, x_k\}, \\ E(P^x) &= \{\{x_0, x_1\}, \{x_1, x_2\}, \dots, \{x_{k-1}, x_k\}\}, k \geq 1, \end{aligned}$$

$x_0 = c_1$  і  $x_k = x$ . Тоді, використовуючи (1.2), отримаємо

$$\begin{aligned} d(x_0, x_j) &= d_l(x_0, x_j) = \max_{1 \leq i \leq j} l(v_i) \\ &\leq \max_{1 \leq i \leq k} l(v_i) \leq d(x_0) < r_1 \end{aligned}$$

для кожного  $j \in \{1, \dots, k\}$ . Таким чином,

$$x_j \in B^1 \quad (4.6)$$

для кожного  $j \in \{1, \dots, k\}$ . Тепер  $x_0 = c_1$ ,  $c_1 \in B$  і з (4.6) випливає (4.5).

Для завершення доведення достатньо зазначити, що (4.3) випливає з (4.2), оскільки маємо  $d = d_l$  і для кожної пари різних  $u, v \in V(T^1)$  існує єдиний шлях  $P$ , що з'єднує  $u$  і  $v$  в  $T$  і що  $P \subseteq T^1$  (оскільки  $T^1$  є піддеревом  $T$ ).

Наступну теорему можна довести, використовуючи техніку представлення дерев Гурвича-В'ялого (див. теорему 4.1 в [62]), але ми наведемо незалежне доведення, яке дозволяє отримати аналогічний результат для локально скінченних просторів.

**Теорема 4.4.** *Висловлювання*

1.  $(X, d) \in UGVL$

*i*

2.  $B_{X,d} \subseteq Cs_{X,d}$

*еквівалентні для кожного скінченного непорожнього ультраметричного простору  $(X, d)$ .*

*Доказ.*  $1 \Rightarrow 2$ . За твердженням 4.1, логічна еквівалентність  $1 \Leftrightarrow 2$  справедлива, якщо  $cardX \leq 3$  виконується. Таким чином, не втрачаючи загальності, можна припустити, що

$$cardX \geq 4. \quad (4.7)$$

Нехай  $(X, d)$  належить класу  $UGVL$ . Тоді існує розмічене дерево  $T = T(l)$  таке, що  $V(T) = X$  і  $d_l = d$  виконується. Потрібно показати, що включення

$$Cs_{X,d} \supseteq B_{X,d} \quad (4.8)$$

має місце, тобто кожна відкрита куля  $B$  у  $(X, d)$  є центрованою сферою в  $(X, d)$ . Переконаємось, що останнє твердження справедливе для випадку  $B = X$ .

Скінченність  $X$  та нерівність (4.7) означають, що діагональний граф  $G_{X,d}$  непорожній. Використовуючи наслідок 3.4, отримуємо, що властивість  $X \in Cs_{X,d}$  виконується тоді і тільки тоді, коли хоча б одна частина повного багатодольного графа  $G_{X,d}$  містить рівно одну точку. Нехай  $\{A_1, \dots, A_k\}$  - множина всіх частин графа  $G_{X,d}$ . Припустимо, навпаки, що нерівність

$$\text{card}A_i \geq 2 \quad (4.9)$$

за кожную  $i \in \{1, \dots, k\}$ . Розглянемо підмножину  $\{c_1, \dots, c_k\}$  множини  $X$  таку, що  $c_i \in A_i$  для кожного  $i \in \{1, \dots, k\}$ . Тоді, за теоремою 3.6 і твердженням 3.7, для кожного  $i \in \{1, \dots, k\}$  маємо

$$A_i = B_r(c_i) \quad (4.10)$$

з  $r = \text{diam}X$ . З леми 4.3 випливає, що всі ультраметричні простори  $(A_1, d_{A_1 \times A_1}), \dots, (A_k, d_{A_k \times A_k})$  належать класу  $UGVL$ . Зокрема, за лемою 4.3, існують мічені піддерева  $T^1(l_1), \dots, T^k(l_k)$  позначеного дерева.  $T(l)$  такі, що

$$V(T^i) = A_i \text{ і } d_{A_i \times A_i} = d_{l_i} \quad (4.11)$$

трьоми з  $l_i = l_{A_i}$  за кожную  $i \in \{1, \dots, k\}$ . Тепер, використовуючи формулу (4.10) з  $r = \text{diam}X$  і (4.11), отримаємо строгу нерівність

$$\max_{u \in A_i} l(u) < \text{diam}X \quad (4.12)$$

за кожную  $i \in \{1, \dots, k\}$ . Оскільки кількість  $k$  частин від  $G_{X,d}$  скінченна і  $\{A_1, \dots, A_k\}$  є розбиттям множини  $X$  то нерівність (4.12) дає нам

$$\max_{u \in X} l(u) = \max_{1 \leq i \leq k} \max_{u \in A_i} l(u) < \text{diam}X. \quad (4.13)$$

Тепер для завершення доведення справедливості  $1 \Rightarrow 2$  достатньо зазначити, що скінченність  $X$  і визначення ультраметричного  $d_l$  приводять до рівності

$$\max_{u \in X} l(u) = \text{diam}X,$$

на відміну від (4.13).

$2 \Rightarrow 1$ . Потрібно показати, що

$$(X, d) \in UGVL \quad (4.14)$$

де  $(X, d)$  скінченний непорожній ультраметричний простір, що задовольняє включенню

$$B_{X,d} \subseteq Cs_{X,d}. \quad (4.15)$$

Для доведення наведеного вище твердження скористаємося індукцією на  $\text{card}X$ .

За твердженням 4.1 отримуємо, що твердження (4.15)  $\Rightarrow$  (4.14) справедливе для кожного ультраметричного простору  $(X, d)$  з  $1 \leq \text{card}X \leq 3$ .

Нехай  $n \geq 3$  задане ціле число. Припустимо, що (4.15)  $\Rightarrow$  (4.14) справедливе, якщо

$$1 \leq \text{card}X \leq n. \quad (4.16)$$

Розглянемо довільний фіксований ультраметричний простір  $(X, d)$  такий, що  $\text{card}X = n + 1$  і (4.15) виконується.

Нехай  $\{A_1, \dots, A_k\}$  - множина всіх частин діаметрального графа  $G_{X,d}$ . За теоремою 3.6, кожна  $A_i, i \in \{1, \dots, k\}$  є відкритою кулею в  $(X, d)$ . Тепер, використовуючи наслідки 3.8 і 3.9, бачимо, що (4.15) означає включення

$$B_{A_i, d_{A_i \times A_i}} \subseteq C S_{A_i, d_{A_i \times A_i}} \quad (4.17)$$

за кожну  $i \in \{1, \dots, k\}$ . Оскільки кожна  $A_i$  є власною підмножиною множини  $X$  то індукційна гіпотеза дає нам приналежність

$$(A_i, d_{A_i \times A_i}) \in UGVL$$

Для кожного  $i \in \{1, \dots, k\}$ . Отже, для кожного  $i \in \{1, \dots, k\}$  можна знайти мічене дерево  $T^i(l_i)$  таке, що

$$V(T^i) = A_i \text{ і } d_{A_i \times A_i} = d_{l_i}. \quad (4.18)$$

Нехай  $\{c_1, \dots, c_k\}$  підмножина множини  $X$  така, що  $c_i \in A_i$  виконується для кожного  $i \in \{1, \dots, k\}$ . За наслідком 3.4 з рівності (4.15) випливає, що існує  $i \in \{1, \dots, k\}$  таке, що  $card A_i = 1$ . Не втрачаючи загальності, можна вважати, що множина  $A_1$  є синглетоном,  $A_1 = \{c_1\}$ .

Розгорнемо розмічене дерево  $T^i = T^i(l_i)$  до розміченого дерева  $T_1^i = T_1^i(l_{i,1})$  за правилом:

$$V(T_1^i) = \{c_1\} \cup V(T^i), E(T_1^i) = \{c_1, c_i\} \cup E(T^i) \text{ і}$$

$$l_{i,1} = \begin{cases} l_i(u) & \text{if } u \in V(T^i) \\ diam X & \text{if } u = c_1 \end{cases} \quad (4.19)$$

Для кожного  $i \in \{2, \dots, k\}$ .

За пропозицією 2.7, граф

$$T = \bigcup_{i=2}^k T_1^i$$

є зв'язним. Тепер, використовуючи твердження 2.5, ми можемо довести, що  $T$  є деревом. Дійсно, за твердженням 2.5,  $T$  є деревом, якщо

$$\text{card}V(T) - \text{card}E(T) = 1. \quad (4.20)$$

Щоб довести останню рівність, зауважимо, що

$$\begin{aligned} \text{card}V(T) &= \sum_{i=1}^k \text{card}(A_i) = 1 + \sum_{i=2}^k \text{card}V(T_1^i) \\ &= 1 + \sum_{i=2}^k (\text{card}V(T_1^i) - 1) = 2 - k + \sum_{i=2}^k \text{card}V(T_1^i) \end{aligned}$$

I

$$\text{card}E(T) = \sum_{i=1}^k \text{card}E(T_1^i)$$

Отже, ми маємо

$$\text{card}V(T) - \text{card}E(T) = 2 - k + \sum_{i=2}^k (\text{card}V(T_1^i) - \text{card}E(T_1^i)). \quad (4.21)$$

Оскільки кожне  $T_1^i$  є деревом,  $\text{card}V(T_1^i) - \text{card}E(T_1^i) = 1$  виконується для кожного  $i \in \{2, \dots, k\}$ . Таким чином, праву частину формули (4.21) можна записати як

$$2 - k + \sum_{i=2}^k (\text{card}V(T_1^i) - \text{card}E(T_1^i)) = 2 - k + (k - 1) = 1,$$

звідки випливає (4.20).

Використовуючи (4.19) , ми можемо знайти маркування  $l: V(T) \rightarrow R^+$  таке, що

$$l_{V(T_1^i)} = l_{i,1}$$

виконується для кожного  $i \in \{2, \dots, k\}$ . Тоді маємо  $V(T) = X$  і, крім того, з рівностей (4.18), (4.19) і (4.22) випливає рівність  $d_i = d$ . Таким чином, (4.14) справедлива.

**Висновки.** В даному розділі показано, що локально скінченний ультраметричний простір  $(X, d)$  породжується поміченим деревом тоді і тільки тоді, коли для кожної відкритої кулі  $(X, d)$  існує точка  $c \in B$  така, що  $d(x, c) = \text{diam}B$  коли  $x \in B$  і  $x \neq c$ . Для кожного скінченного ультраметричного простору  $Y$  побудовано ультраметричний простір  $Z$  з найменшою можливою кількістю точок таких, що  $Z$  породжується міченим деревом і  $Y$  є ізометричним до підпростору  $Z$ . Доведено, що для даного  $Y$ , такий простір  $Z$  є унікальним аж до ізометрії.

Дані дослідження можуть бути використані в комп'ютерних науках при проектуванні графових баз даних, які грають велику роль у інженерії знань, для формалізації представлення знань спеціалістів в предметних областях та подальшої автоматизації процесів логічного висновку на графах «об'єкт-властивість» (онтологічних моделях функціонування предметних областей).

## ВИСНОВКИ

1. За результатами дослідження сучасного стану цифрової трансформації бізнесу та суспільства визначено, що потреби стейкхолдерів вищої освіти визначають розробку та впровадження освітніх бакалаврських та магістерських програм навчання галузі 12 «Інформаційні технології», в тому числі, за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», які повинні спрямовуватися, окрім отримання компетентностей, пов'язаних з отриманням знань та навичок у вирішенні відповідних завдань методами комп'ютерних наук, на використання навичок цифрового інтелекту під час автоматизації обробки та аналізу даних, для інформаційної підтримки діяльності. Запропоновано основний перелік дисциплін, які можуть стати складовою частиною таких програм навчання.

2. Для уточнення сучасного стану цифрової трансформації в світі, виконано дослідження ходу такої трансформації в країнах ЄС. Висновки, зроблені за результатами проведеного комплексного аналізу, виявляють багатогранний вплив цифровізації на економіку. Різні рівні розвитку цифрової економіки в державах-членах свідчать про різні траєкторії зростання та заклик до цільової підтримки, особливо для малих та середніх підприємств. Тісний зв'язок між витратами на дослідження та розробки та зростанням ВВП у різних секторах підкреслює критичну роль інновацій в економічному розвитку. Висновки свідчать про те, щоб використовувати сильні сторони кожного сектора для сприяння майбутньому сталого зростання, зосереджуючись на значному внеску сектору підприємництва.

Об'єднання країн ЄС у кластери на основі цифрової взаємодії та ринкової інтеграції дозволило запропонувати стратегічне розуміння для посилення впровадження цифрових технологій. Доведено, що інтеграція цифрових технологій у бізнес-практику стає критично важливим рушієм ефективності, визначення тенденцій наукових досліджень і підтримки стратегії

впровадження цифрових інновацій в економічній структурі ЄС.

3. Розвиток методології інформаційної підтримки інженерної діяльності у вигляді розробленої та впровадженої методики розробки та інтеграції алгоритмічних та програмних компонентів на основі категоріально-онтологічного підходу, реалізованої шляхом побудови онтологічних моделей, баз знань і реляційних баз даних, автоматизації оперативного аналізу агрегованих даних і вибору з багатьох альтернатив, у тому числі на основі методів штучного інтелекту, – дозволив забезпечити інтелектуалізацію комп'ютерних систем, що використовуються на ряді підприємств та отримати системний ефект у вигляді підвищення продуктивності праці спеціалістів, забезпечення якості машинобудівних виробів та зниження матеріальних та енерговитрат.

4. Застосування системного підходу до аналізу предметної області «Удосконалення кібербезпеки інформаційних систем 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, розробка 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. В ході теоретичних досліджень показано, що локально скінченний ультраметричний простір  $(X, d)$  породжується поміченим деревом тоді і тільки тоді, коли для кожної відкритої кулі  $(X, d)$  існує точка  $c \in B$  така, що  $d(x, c) = diam B$  коли  $x \in B$  і  $x \neq c$ . Для кожного скінченного ультраметричного

простору  $Y$  побудовано ультраметричний простір  $Z$  з найменшою можливою кількістю точок таких, що  $Z$  породжується міченим деревом і  $Y$  є ізометричним до підпростору  $Z$ . Доведено, що для даного  $Y$ , такий простір  $Z$  є унікальним аж до ізометрії.

Дані дослідження можуть бути використані в комп'ютерних науках при проектуванні графових баз даних, які грають велику роль у інженерії знань, для формалізації представлення знань спеціалістів в предметних областях та подальшої автоматизації процесів логічного висновку на графах «об'єкт-властивість» (онтологічних моделях функціонування предметних областей).

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Vogel-Heuser B. Digital Transformation. Core Technologies and Emerging Topics from a Computer Science Perspective. / B. Vogel-Heuser, M. Wimmer. – Springer-Verlag, 2023. – 522 p. – ISBN: 9783662650035,9783662650042.
2. Integration of Mechanical and Manufacturing Engineering with IoT: A Digital Transformation. / R. Rajasekar [et al.]. – Wiley-Scrivener, 2023. – 340 p. – ISBN: 9781119865001.
3. Janssens J. Digital Transformation journeys in a Digitized Reality [Electronic resource] / J. Janssens. // Advanced Methodologies and Technologies in Business Operations and Management. – 2019. – P. 282-294. – Mode of access: <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-7362-3.ch021> (date of access: 22.01.2024).
4. Овчарук О. В. Сучасні підходи до розвитку цифрової компетентності людини та цифрового громадянства в європейських країнах. / О. В. Овчарук. // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2020. – Т. 76, вип. 2 – С. 1 – 13.
5. Kahraman C. Intelligent Systems in Digital Transformation. Theory and Applications. / C. Kahraman, E. Haktanir. – Springer, 2023. – (Series: Lecture Notes in Networks and Systems; Vol. 549). – 626 p. – ISBN: 9783031165979,9783031165986.
6. Xiaodong Ma. Methodology for Digital Transformation: Implementation Path and Data Platform. / Ma. Xiaodong. – Springer, 2023. – (Series: Management for Professionals). – 341 p. – ISBN: 9811991103,9789811991103.
7. Маркевич К. Цифровізація: переваги та шляхи подолання викликів [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://razumkov.org.ua/statti/tsyfrovizatsiia-perevagy-ta-shliakhy-podolannia-vuklykiv> (дата звернення: 22.01.2024). – Назва з екрана.
8. Almeida F. A Bibliometric Analysis of the Scientific Outcomes of

European Projects on the Digital Transformation of SMEs [Electronic resource]. / F. Almeida, J. Morais, J. D. Santos. // Publications. – 2022. – Vol. 10. – 34p.– Mode of access: <https://doi.org/10.3390/publications10040034> (date of access: 22.01.2024).

9. Ancillo A. D. The Impact of Research and Development on Entrepreneurship, Innovation, Digitization and Digital transformation [Electronic resource]. / A. D. Ancillo, S. G. Gavrilă. // Journal of Business Research. – 2023. – Vol. 157. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113566> (date of access: 22.01.2024).

10. Calzati S. Beyond federated data: a data commoning proposition for the EU's citizen-centric digital strategy [Electronic resource]. / S. Calzati, B. Loenen. // Ai & Society. – 2023. – 13 p. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s00146-023-01743-9> (date of access: 22.01.2024).

11. Chatzistamoulou N. Is digital transformation the Deus ex Machina towards sustainability transition of the European SMEs? [Electronic resource]. / N. Chatzistamoulou. // Ecological Economics. – 2023. – Vol. 206. – 13 p. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107739> (date of access: 22.01.2024).

12. Chen W. Y. Urban Digital Transformation and Enterprise Personal Data Protection [Electronic resource]. / W. Y. Chen, L. Q. Miao. // Journal of Circuits Systems and Computers. – 2023. – Vol. 32(11). – Mode of access: <https://doi.org/10.1142/s0218126623501803> (date of access: 22.01.2024).

13. Criveanu M. M. Investigating Digital Intensity and E-Commerce as Drivers for Sustainability and Economic Growth in the EU Countries [Electronic resource]. / M. M. Criveanu. // Electronics. – 2023. – Vol. 12(10). – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/electronics12102318> (date of access: 22.01.2024).

14. DESI. Digital Economy and Society Index 2022. // Thematic chapters [Electronic resource] – Mode of access: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_20\\_1025](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1025) (date of access: 22.01.2024).

15. DESIB. Digital Economy and Society Index 2020. // Bulgaria [Electronic resource]. – Mode of access: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-economy-and-society-index-desi-2020> (date of access: 22.01.2024).

16. DESIB. Digital Economy and Society Index 2021. // Bulgaria [Electronic resource]. – Mode of access: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-economy-and-society-index-desi-2021> (date of access: 22.01.2024).

17. DESIB. Digital Economy and Society Index 2022. // Bulgaria [Electronic resource]. – Mode of access: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digital-economy-and-society-index-desi-2022> (date of access: 22.01.2024).

18. Eurostat (n.d.) Science, technology, and digital society. // Statistical themes [Electronic resource]. – Mode of access: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/statistical-themes#science-technology-digital-society> (date of access: 22.01.2024).

19. Holl A. Spatial Patterns and Drivers of SME Digitalisation [Electronic resource]. / A. Holl, R. Rama. // *Journal of the Knowledge Economy*. – 2023. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s13132-023-01257-1> (date of access: 22.01.2024).

20. Digital Transformation in European Union: North is leading, and South is lagging behind [Electronic resource]. / J. Hunady [et al.]. // *International Journal of Information Systems and Project Management*. – 2022. – Vol. 10(4). – P. 39 – 56. – Mode of access: <https://doi.org/10.12821/ijispm100403> (date of access: 22.01.2024).

21. Jordanoski Z. Measuring the Digital Economy and Society: A Study on the Application of the Digital Economy and Society Index in the Western Balkans [Electronic resource]. / Z. Jordanoski, M. M. Nielsen. // Paper presented at the 14th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance, Athens, Greece, Oct 06-08, 2020. – P. 190 – 197. – Mode of access: <https://doi.org/10.12821/ijispm100403> (date of access: 22.01.2024).

22. Assessment of the digital economy's level among the eu countries - an

empirical study [Electronic resource]. / D. Kisel'áková [et al.]. // Polish Journal of Management Studies. – 2022. – Vol. 26(1). – P. 107 – 124. – Mode of access: <https://doi.org/10.17512/pjms.2022.26.1.07> (date of access: 22.01.2024).

23. Kolarov K. Adaptation of digital innovations for small and medium-sized enterprises: Problems and prospects. / K. Kolarov, D. Zherlitsyn. // In Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Online Conference "Global and Regional Problems of Informatization in Society and Nature Use '2022", [Kyiv] / National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. – Kyiv. – 2022. – P. 7 – 8.

24. Convergence and the Matthew Effect in the European Union Based on the DESI Index. / T. Z. Kovács [et al.]. // Mathematics. – 2022. – Vol. 10(4). – 23 p. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/math10040613> (date of access: 22.01.2024).

25. Martins B. O. Border security and the digitalisation of sovereignty: insights from EU borderwork [Electronic resource]. / B. O. Martins, K. Lidén, M. G. Jumbert. // European Security. – 2022. – Vol. 31(3). – P. 475 – 494. – Mode of access: <https://doi.org/10.1080/09662839.2022.2101884> (date of access: 22.01.2024).

26. Digital Transformation as a Driver of the Financial Sector Sustainable Development: An Impact on Financial Inclusion and Operational Efficiency [Electronic resource]. / I. Mavlutova [et al.]. // Sustainability. – 2023. – Vol. 15(1). – 24 p. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/su15010207> (date of access: 22.01.2024).

27. Nosratabadi S. (2023). Social Sustainability of Digital Transformation: Empirical Evidence from EU-27 Countries [Electronic resource]. / S. Nosratabadi, T. Atobishi, S. Hegedus. // Administrative Sciences. – 2023.– Vol. 13(5). – 20 p. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/admsci13050126> (date of access: 22.01.2024).

28. Ogorean C. Digital Transformation of Centru Region – Romania. Needs Assessment [Electronic resource]. / C. Ogorean, M. Herciu. // Studies in Business and

Economics. – 2020. – Vol. 15(2). – P. 270 – 281. – Mode of access: <https://doi.org/10.2478/sbe-2020-0040> (date of access: 22.01.2024).

29. Ogorean C. Romania's SMEs on the Way to EU's Twin Transition to Digitalization and Sustainability [Electronic resource]. / C. Ogorean, M. Herciu. // Studies in Business and Economics. – 2021. – Vol. 15(2). – P. 282 – 295. – Mode of access: <https://doi.org/10.2478/sbe-2021-0040> (date of access: 22.01.2024).

30. Olczyk M. Digital transformation and economic growth - DESI improvement and implementation [Electronic resource]. / M. Olczyk, M. Kuc-Czarnecka. // Technological and Economic Development of Economy. – 2022. – Vol. 28(3). – P. 775 - 803. – Mode of access: <https://doi.org/10.3846/tede.2022.16766> (date of access: 22.01.2024).

31. National Regulation on Processing Data for Scientific Research Purposes and Biobanking Activities: Reflections on the Experience in Austria [Electronic resource]. / J. Osiejewicz [et al.]. // Asian Bioethics Review. – 2024. – Vol. 16. – P. 47 – 63. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s41649-022-00231-4> (date of access: 22.01.2024).

32. Poljanec-Boric S. Qualitative Insight into the Characteristics of Digital Enterprise, Content and the State of Digital Transformation in Croatia [Electronic resource]. / S. Poljanec-Boric. // Drustvena Istrazivanja. – 2021. – Vol. 30(1). – P. 115- 134. – Mode of access: <https://doi.org/10.5559/di.30.1.06> (date of access: 22.01.2024).

33. The Role and Meaning of the Digital Transformation As a Disruptive Innovation on Small and Medium Manufacturing Enterprises [Electronic resource]. / V. Roblek [et al.]. // Frontiers in Psychology. – 2021.– Vol. 12. – 18 p. – Mode of access: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.592528> (date of access: 22.01.2024).

34. Roman A. Digital Technologies and the Performance of Small and Medium Enterprises [Electronic resource]. / A. Roman, V. D. Rusu. // Studies in Business and Economics. – 2022. – Vol. 17(3). – P. 190 – 203. – Mode of access:

<https://doi.org/10.2478/sbe-2022-0055> (date of access: 22.01.2024).

35. Rupeika-Apoga R. Digital Transformation of Small and Medium Enterprises: Aspects of Public Support [Electronic resource]. / R. Rupeika-Apoga, L. Bule, K. Petrovska. // Journal of Risk and Financial Management. – 2022. – Vol. 15(2). – 21 p. Mode of access: <https://doi.org/10.3390/jrfm15020045> (date of access: 22.01.2024).

36. Sánchez-Bayón A. Digital Transition and Readjustment on EU Tourism Industry [Electronic resource]. / A. Sánchez-Bayón. // Studies in Business and Economics. – 2023. – Vol. 18(1). – P. 275 – 297. – Mode of access: <https://doi.org/10.2478/sbe-2023-0015> (date of access: 22.01.2024).

37. Savulescu C. Boosting the Digital Transformation in a Europe of Challenges [Electronic resource]. / C. Savulescu, C. G. Antonovici. // Paper presented at the 7th Academos International Conference, [Bucharest, Romania], 07 – 10 Oct. 2020. – Bucharest, 2020. – P. 383 – 393. – Mode of access: (date of access: 22.01.2024).

38. Savulescu, C., & Antonovici, C. G. Digital Talent in a Learning European Union [Electronic resource]. / C. Savulescu, C. G. Antonovici // Paper presented at the 8th International Academic Conference on Strategica, [Bucharest, Romania], 05 – 16 Oct. 2020. – Bucharest, 2020. – P. 495 – 506. – Mode of access: <http://strategica-conference.ro/strategica-2020/> (date of access: 22.01.2024).

39. Digitalization of Business Development Marketing Tools in the B2C Market [Electronic resource]. / N. Savytska [et al.]. // Journal of Information Technology Management. – 2023. – Vol. 15 (1). – P. 124 – 134. – Mode of access: <https://doi.org/10.22059/jitm.2023.90740> (date of access: 22.01.2024).

40. Industry 4.0 development in the eu: features and financial support in the conditions of post-pandemic recovery [Electronic resource]. / M. Shkurat [et al.]. // Financial and Credit Activity-Problems of Theory and Practice. – 2022. – Vol. 2(43). – P. 213 – 220. – Mode of access: <https://doi.org/10.55643/fcaptp.2.43.2022.3606>

(date of access: 22.01.2024).

41. Svarc J. The role of national intellectual capital in the digital transformation of EU countries. Another digital divide? [Electronic resource]. / J. Svarc, J. Laznjak, M. Dabic. // Journal of Intellectual Capital. – 2021. – Vol. 22(4). – P. 768 – 791. – Mode of access: <https://doi.org/10.1108/jic-02-2020-0024> (date of access: 22.01.2024).

42. Szeles M. R. Regional Patterns and Drivers of the EU Digital Economy [Electronic resource]. / M. R. Szeles, M. Simionescu. // Social Indicators Research. – 2020. – Vol. 150(1). – P. 95 – 119. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s11205-020-02287-x> (date of access: 22.01.2024).

43. Tarjani J. A. Evaluation of Digital Development Based on the International Digital Economy and Society Index 2020 Data [Electronic resource]. / J. A. Tarjani, N. Kallo, I. Dobos. // Statistika-Statistics and Economy Journal. – 2023. – Vol. 103(3). – P. 355 – 373. – Mode of access: <https://doi.org/10.54694/stat.2023.21> (date of access: 22.01.2024).

44. Voronenko I. Challenges to Ukraine's Innovative Development in a Digital Environment [Electronic resource]. / I. Voronenko, N. Klymenko, O. Nahorna. // Management and Production Engineering Review. – 2021. – Vol. 13(4). – P. 48 – 58. Mode of access: <https://doi.org/10.24425/mper.2022.142394> (date of access: 22.01.2024).

45. Digitalisation in Bioeconomy in the Baltic States and Poland [Electronic resource]. / S. Zeverte-Rivza [et al.]. // Sustainability. – 2023. – Vol. 15(17). – 20 P. – Mode of access: <https://doi.org/10.3390/su151713237> (date of access: 22.01.2024).

46. Sahaida P.I., Vasylieva L.V., Getman I.A. The method of development and integration of engineering activity information support subsystems based on the categorical-ontological approach / P.I. Sahaida, L.V. Vasylieva, I.A. Getman // International scientific conference “MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”: conference

proceedings (November 29–30, 2023. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia: “Baltija Publishing”, 2023. – Vol. 1. – P. 247-250. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-79>

47. Lopez, M.A. Intelligent Detection and Recovery from Cyberattacks for Small and Medium-Sized Enterprises / M.A. Lopez [et al.] // *Int. J. Interact. Multim. Artif. Intell.* – 2020. – vol. 6. – P. 55-62.

48. Wall D. S. Dis-organised Crime: Towards a distributed model of the organization of cybercrime / D. S. Wall // *The European Review of Organised Crime.* – 2015. – vol. 2. – no. 2. – P. 71-90.

49. Council of the European Union, Council Directive 2008/114/EC of 8 December 2008 on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection. 2008.

50. Gordon M. S. Economic and National Security Effects of Cyber Attacks Against Small Business Communities. – ProQuest Dissertations Publishing. – 2018.

51. Kamiya S. What is the impact of successful cyberattacks on target firms? / S. Kamiya [et al.] // *NBER WORKING PAPER SERIES.* – 2018. – no. 24409. [https://www.nber.org/system/files/working\\_papers/w24409/w24409.pdf](https://www.nber.org/system/files/working_papers/w24409/w24409.pdf)

52. Fontanilla M. V. Cybercrime pandemic / M. V. Fontanilla // *Eubios Journal of Asian and International Bioethics.* – 2020. – vol. 30. – no. 4. – P. 161-165.

53. Bilet V. Ultrametrics and complete multipartite graphs [Electronic resource] / V. Bilet, O. Dovgoshey, Y. Kononov. // *Theory and Applications of Graphs.* – 2022. – Vol. 9(1). – Article 8. – Mode of access: <https://doi.org/10.20429/tag.2022.090108> (date of access: 22.01.2024).

54. Minimal universal metric spaces [Electronic resource]. / V. Bilet [et al.]. // *Ann. Acad. Sci. Fenn. Math.* – 2017. – Vol. 42. – P. 1019 – 1064. – Mode of access: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1503.00667> (date of access: 22.01.2024).

55. Diestel R. Graph Theory, fifth ed., Graduate Texts in Mathematics. / R. Diestel // Springer. – 2017. – Vol. 173. – 429 p.

56. Dordovskiy D. Diameter and diametrical pairs of points in ultrametric spaces [Electronic resource]. / D. Dordovskiy, D. Dovgoshey, E. Petrov. // P-adic Numbers, Ultrametric Analysis and Applications. – Vol. 3(4). – P. 253 – 262. – Mode of access: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1110.0781> (date of access: 22.01.2024).

57. Dovgoshey O. Finite ultrametric balls [Electronic resource]. / O. Dovgoshey. // P-adic Numbers, Ultrametric Analysis and Applications. – 2019. – Vol. 11(3). – P. 177 – 191. – Mode of access: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.03128> (date of access: 22.01.2024).

58. Dovgoshey O. Isomorphism of trees and isometry of ultrametric spaces [Electronic resource]. / O. Dovgoshey. // Theory and Applications of Graphs. – 2020. – Vol. 7(2). – Article 3. – Mode of access: <https://doi.org/10.20429/tag.2020.070203> (date of access: 22.01.2024).

59. Dovgoshey O. Labeled trees generating complete, compact, and discrete ultrametric spaces [Electronic resource]. / O. Dovgoshey, M. K̇uċukaslan. // Ann. Comb. – 2022. – 23 p. – Mode of access: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.00626> (date of access: 22.01.2024). – Vol. 26. – P. 613 – 642.

60. O. Dovgoshey. From isomorphic rooted trees to isometric ultrametric spaces [Electronic resource]. / O. Dovgoshey and E. Petrov. // P-adic Numbers, Ultrametric Analysis and Applications. – 2018. – Vol. 10(4). – P. 287 – 298. – Mode of access: <https://doi.org/10.1134/s2070046618040052> (date of access: 22.01.2024).

61. Dovgoshey O. Properties and morphisms of finite ultrametric spaces and their representing trees [Electronic resource]. / O. Dovgoshey and E. Petrov. // P-adic Numbers, Ultrametric Analysis and Applications. – 2019. – Vol. 11(1). – P. 1 – 20. – Mode of access: <https://doi.org/10.1134/s2070046619010011> (date of access: 22.01.2024).

62. Petrov E. Hereditary properties of finite ultrametric spaces [Electronic resource]. / E. Petrov. // Journal of Mathematical Sciences. – 2019. – Vol. 264(4). –

P.423 – 440. – Mode of access: <https://doi.org/10.1007/s10958-022-06009-1> (date of access: 22.01.2024).

63. Dovgoshey O. On the Gomory-Hu inequality [Electronic resource]. / O. Dovgoshey and E. Petrov. // Journal of Mathematical Sciences. – 2012. – Vol. 198(4). – P. 392 – 411. – Mode of access: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1211.2389> (date of access: 22.01.2024).

64. Schikhof W. H. An Introduction to p-Adic Analysis [Electronic resource]. / W. H. Schikhof. // Cambridge University Press. – 1985. – Mode of access: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511623844> (date of access: 22.01.2024). O'Searcoid M. Metric Spaces. / M. O'Searcoid // Springer Science & Business Media. – London. – 2007. – 304 p. – ISBN 1846286271, 9781846286278.