

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Гіперспектральна візуалізація для інформаційно-технологічних
платформ «розумних міст»

Виконав: студент IV курсу, групи СН-41

спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Дуда В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Пасічник В.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Липак Г.І.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Гащин Н.Б.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« 8 » червня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Дуда Вікторія Олексіївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Гіперспектральна візуалізація для інформаційно-технологічних платформ «розумних міст»

Керівник роботи Пасічник Володимир Володимирович, д.т.н., професор кафедри КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 14 » травня 2026 року № 4/9-239

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації щодо розумних міст, інформаційно-технологічних платформ та гіперспектральної візуалізації

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Теоретико-методологічні основи гіперспектральної візуалізації для інформаційно-технологічних платформ «розумних міст». 2. Інфраструктура та аналітичні платформи гіперспектрального моніторингу в системах «розумного міста». 3. Прикладний аналіз, архітектурні рішення та перспективи впровадження гіперспектральних технологій в інфраструктуру «розумних міст». 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки. Перелік джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Титульна сторінка. 2. Тема, Мета, Об'єкт, Предмет дослідження. 3. Завдання дослідження. 4. Актуальність дослідження. 5. Компоненти «розумних міст». 6. Застосування гіперспектральної візуалізації в «розумному місті». 7. 8. Означення та принципи гіперспектральної візуалізації. 9. Робочий процес збору, калібрування та обробки даних. 10. Порівняльний огляд роздільної здатності та зони покриття платформ. 11. Порівняльний огляд характеристик платформ. 12. Ключові характеристики даних. 13. Гіперспектральний моніторинг повітря. 14. Гіперспектральний моніторинг водних ресурсів. 15. Гіперспектральна візуалізація в цифрових підсистемах рециклінгу та екологічного моніторингу. 16. Аналітичне опрацювання гіперспектральних даних. 17. Гіперспектральна візуалізація в інтелектуальних транспортних підсистемах. 18. Інтелектуальні методи та периферійні обчислення в опрацюванні муніципальних гіперспектральних даних. 19. Наукові публікації. 20. Висновки. 21. Завершальний слайд.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Сенчишин В.С., доцент каф. МТ		

7. Дата видачі завдання 26 січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	26.01.2026	
2.	Підбір та опрацювання літературних джерел по темі кваліфікаційної роботи	27.01.2026-16.01.2026	
3.	Виконання дослідження щодо гіперспектральної візуалізація для інформаційно-технологічних платформ «розумних міст»	17.01.2026-10.05.2026	
4.	Оформлення розділу «Теоретико-методологічні основи гіперспектральної візуалізації для інформаційно-технологічних платформ «розумних міст»»	11.05.2026-17.05.2026	
5.	Оформлення розділу «Інфраструктура та аналітичні платформи гіперспектрального моніторингу в системах «розумного міста»»	18.05.2026-24.05.2026	
6.	Оформлення розділу «Прикладний аналіз, архітектурні рішення та перспективи впровадження гіперспектральних технологій в інфраструктуру «розумних міст»»	25.05.2026-31.05.2026	
7.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності»	01.06.2026-08.06.2026	
8.	Виконання завдання до підрозділу «Основи охорони праці»	01.06.2026-08.06.2026	
9.	Оформлення кваліфікаційної роботи	09.06.2026-11.06.2026	
10.	Нормоконтроль	12.06.2026-15.06.2026	
11.	Перевірка на плагіат	16.06.2026	
12.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	18.06.2026	
13.	Захист кваліфікаційної роботи	22.06.2026	

Студент

_____ (підпис)

Дуда В.О.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Пасічник В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гіперспектральна візуалізація для інформаційно-технологічних платформ «розумних міст» // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Дуда Вікторія Олексіївна // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СН-41 // Тернопіль, 2026 // С. 83, рис. – 24, табл. – 4, кресл. – 21, додат. – 6, бібліогр. – 97.

Ключові слова: аналіз даних, гіперспектральна візуалізація, гіперспектральні дані, давачі, інтелектуальні методи, інтернет речей, муніципальний моніторинг, розумне місто.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню гіперспектральної візуалізації для інформаційно-технологічних платформ «розумних міст». В першому розділі кваліфікаційної роботи обґрунтовано актуальність застосування гіперспектральної візуалізації для «розумних міст», подано її означення та принципи. Розглянуто конвеєр даних інформаційних систем гіперспектральної візуалізації та проаналізовано геометрію зображень. Описано процеси збору та калібрування гіперспектральних даних.

В другому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано технології давачів для гіперспектральної візуалізації і розглянуто обробку та аналітичне опрацювання даних. Досліджена інтеграція гіперспектральної візуалізації та Інтернету речей. Подано огляд інформаційно-технологічних платформ гіперспектральної візуалізації та проведено їх порівняння.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи досліджено практичну інтеграцію засобів гіперспектрального моніторингу в інформаційно-технологічні платформи «розумних міст» та проаналізовано розширення їхньої функціональності. Досліджено інтелектуальні методи та периферійні обчислення в опрацюванні муніципальних гіперспектральних даних. Проаналізовано проблеми та перспективи інтеграції гіперспектральних технологій в інформаційні платформи «розумних міст».

ANNOTATION

Hyperspectral Visualization for Smart City Information Technology Platforms // Qualification work of the educational level «Bachelor» // Viktoriia Duda // Ternopil Ivan Pulyu National Technical University, Computer and Information Systems and Software Engineering Faculty, Computer Sciences Department, group SN-41 // Ternopil, 2026 // P. 83, fig. – 24, tabl. – 4, chair. – 21, annexes. – 6, references – 97.

Keywords: data analysis, hyperspectral visualization, hyperspectral data, sensors, intelligent methods, internet of things, municipal monitoring, smart city.

The qualification work is devoted to the study of hyperspectral imaging for information technology platforms of smart cities.

The first chapter substantiates the relevance of applying hyperspectral imaging in smart city environments and presents its definitions and fundamental principles. The data pipeline of hyperspectral imaging information systems is examined, and the geometry of hyperspectral images is analyzed. The processes of hyperspectral data acquisition and calibration are also described.

The second chapter analyzes sensor technologies used for hyperspectral imaging and considers methods for data processing and analytical interpretation. The integration of hyperspectral imaging with the Internet of Things is investigated. An overview of hyperspectral imaging information technology platforms is provided, and a comparative analysis of these platforms is conducted.

The third chapter explores the practical integration of hyperspectral monitoring tools into smart city information technology platforms and analyzes the enhancement of their functionality. Intelligent methods and edge computing approaches for processing municipal hyperspectral data are investigated. The challenges and prospects of integrating hyperspectral technologies into smart city information platforms are also analyzed.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АГК – Аналіз Головних Компонентів.

БПЛА – БезПілотний Літальний Апарат.

ЛДА – Лінійний Дискримінантний Аналіз

ШІ – Штучний Інтелект.

АОТФ (англ. Acousto-Optic Tunable Filter) – Акустооптичний настроюваний фільтр.

BPNN (англ. Back-Propagation Neural Networks) – нейронні мережі зворотного поширення помилки.

CNN (англ. Convolutional Neural Network) – згорткова нейронна мережа.

DL (англ. Deep Learning) – глибинне навчання.

FPGA (англ. Field-Programmable Gate Array) – програмована користувачем вентилярна матриця.

GPU (англ. Graphics Processing Unit) – графічний процесор.

HSI (англ. HyperSpectral imaging) – гіперспектральна візуалізація.

IoT (англ. Internet of Things) – Інтернет речей.

LiDAR (англ. Light Identification, Detection and Ranging) – технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем.

LCTF (англ. Liquid Crystal Tunable Filter) – рідкокристалічний настроюваний фільтр.

LSSVM (англ. Least Squares Support Vector Machines) – машини опорних векторів найменших квадратів.

ML (англ. Machine Learning) – машинне навчання.

MLPR (англ. Multi-Layer Perceptron Regression) – регресія багат шарового перцептрона.

MSI (англ. MultiSpectral Imaging) – мультиспектральна візуалізація.

MSVM (англ. Multiclass Support Vector Machines) – багатокласовий SVM.

SNR (англ. Signal-to-Noise Ratio) – співвідношення сигнал-шум.

SVM (англ. Support Vector Machines) – метод опорних векторів.

SWIR (англ. Short-Wavelength InfraRed) – короткохвильовий інфрачервоний діапазон.

VNIR (англ. Visible and Near-InfraRed) – видимий та ближній інфрачервоний діапазони.

ЗМІСТ

ВСТУП		9
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЛАТФОРМ «РОЗУМНИХ МІСТ»		13
1.1 Актуальність застосування гіперспектральної візуалізації для «розумних міст»		13
1.2 Означення та принципи гіперспектральної візуалізації		17
1.3 Конвеєр даних інформаційних систем гіперспектральної візуалізації		23
1.4 Геометрія зображень гіперспектральної візуалізації		25
1.5 Збір та калібрування гіперспектральних даних		29
1.6 Висновок до першого розділу		31
РОЗДІЛ 2. ІНФРАСТРУКТУРА ТА АНАЛІТИЧНІ ПЛАТФОРМИ ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ В СИСТЕМАХ «РОЗУМНОГО МІСТА»		32
2.1 Технології датчиків для гіперспектральної візуалізації		32
2.2 Обробка та аналітичне опрацювання даних гіперспектральної візуалізації для потреб «розумних міст»		35
2.3 Інтеграція гіперспектральної візуалізації та Інтернету речей		37
2.4 Огляд інформаційно-технологічних платформ гіперспектральної візуалізації		40
2.5 Порівняння інформаційно-технологічних платформ гіперспектральної візуалізації		41
2.6 Висновок до другого розділу		45
РОЗДІЛ 3. ПРИКЛАДНИЙ АНАЛІЗ, АРХІТЕКТУРНІ РІШЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ІНФРАСТРУКТУРУ «РОЗУМНИХ МІСТ»		46
3.1 Практична інтеграція засобів гіперспектрального моніторингу в інформаційно-технологічні платформи муніципального управління		46

3.1.1	Гіперспектральний моніторинг повітря в інформаційно-технологічній інфраструктурі «розумних міст»	46
3.1.2	Гіперспектральний моніторинг водних ресурсів у цифрових платформах «розумних міст»	47
3.1.3	Гіперспектральна візуалізація в цифрових підсистемах рециклінгу та екологічного моніторингу «розумних міст».....	50
3.1.4	Аналітичне опрацювання гіперспектральних даних у задачах моніторингу та планування «розумної» міської інфраструктури	52
3.1.5	Гіперспектральна візуалізація в інтелектуальних транспортних підсистемах «розумних міст»	54
3.1.6	Опрацювання гіперспектральних даних у задачах моніторингу та оптимізації «розумної» міської енергетичної інфраструктури ...	56
3.2	Розширення функціональності інформаційно-технологічних платформ «розумних міст» засобами гіперспектральної візуалізації	57
3.3	Інтелектуальні методи та периферійні обчислення в опрацюванні муніципальних гіперспектральних даних	59
3.4	Проблеми та перспективи інтеграції гіперспектральних технологій в інформаційні платформи «розумних міст»	63
3.5	Висновок до третього розділу	65
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ		66
4.1	Організаційно-правові засади проведення евакуаційних заходів цивільного захисту «розумних міст».....	66
4.2	Особливості пожежної безпеки під час ліквідації займань в електроустановках міських інформаційних мереж.....	68
4.3	Висновок до четвертого розділу	70
ВИСНОВКИ.....		71
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ		73
ДОДАТКИ		

ВСТУП

Актуальність теми. Концепція «розумних міст» ґрунтується на широкому використанні сучасних інформаційних технологій для підвищення ефективності управління міською інфраструктурою, раціонального використання ресурсів та забезпечення сталого розвитку територій [1]. У зв'язку зі зростанням обсягів даних про стан міського середовища особливої актуальності набувають технології, здатні забезпечувати високоточний моніторинг та детальний аналіз різноманітних об'єктів і процесів.

Однією з таких технологій є гіперспектральна візуалізація, яка дає змогу отримувати розширену спектральну інформацію про досліджувані об'єкти та явища, що значно підвищує точність їх виявлення, розпізнавання і класифікації порівняно з традиційними методами спостереження. Використання гіперспектральних даних відкриває нові можливості для контролю стану атмосферного повітря, водних ресурсів, об'єктів міської інфраструктури, транспортних систем та процесів поводження з відходами.

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю впровадження ефективних засобів збору, опрацювання та аналізу даних у складі інформаційно-технологічних платформ «розумних міст». Інтеграція гіперспектральної візуалізації з мережами підключених пристроїв, інтелектуальними методами аналізу даних та сучасними обчислювальними засобами сприяє підвищенню оперативності отримання інформації та обґрунтованості управлінських рішень. Незважаючи на складність опрацювання гіперспектральних даних і високі вимоги до технічного забезпечення, застосування таких технологій має значний потенціал для вдосконалення систем моніторингу, підвищення екологічної безпеки та оптимізації функціонування міської інфраструктури.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є аналіз теоретичних засад, технологічних рішень та практичних аспектів застосування гіперспектральної візуалізації в

інформаційно-технологічних платформах «розумних міст» для підвищення ефективності моніторингу, аналізу даних і управління міською інфраструктурою. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- Проаналізувати теоретичні засади гіперспектральної візуалізації та визначити її основні принципи функціонування в контексті інформаційно-технологічних платформ «розумних міст».

- Дослідити структуру конвеєра оброблення гіперспектральних даних, включаючи етапи їхнього збору, передачі та калібрування.

- Охарактеризувати технології давачів та методи аналітичного опрацювання гіперспектральної інформації для потреб міського моніторингу.

- Проаналізувати можливості інтеграції гіперспектральної візуалізації з інформаційно-технологічними платформами та іншими міськими цифровими системами.

- Визначити перспективи застосування гіперспектральних технологій у завданнях моніторингу, управління та оптимізації інфраструктури «розумних міст».

Об’єкт дослідження: процеси збору, оброблення та використання гіперспектральних даних у складі інформаційно-технологічних платформ «розумних міст».

Предмет дослідження: методи, моделі та технологічні засоби гіперспектральної візуалізації, що застосовуються для моніторингу, аналізу та підтримки прийняття рішень в інформаційно-технологічних платформах «розумних міст».

Наукова новизна одержаних результатів полягає у систематизації та узагальненні підходів до застосування гіперспектральної візуалізації в інформаційно-технологічних платформах «розумних міст», а також у розвитку підходів до інтеграції гіперспектральних даних з міськими інформаційними системами для підвищення точності моніторингу та ефективності аналітичного опрацювання міського середовища.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання розроблених підходів і рекомендацій для підвищення ефективності моніторингу стану міського середовища, оптимізації оброблення гіперспектральних даних та вдосконалення інформаційно-технологічних платформ «розумних міст» з метою підтримки обґрунтованих управлінських рішень.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи. Основні результати проведених досліджень обговорювались на:

– XI Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 2022 р.).

– X науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (м. Тернопіль, 2022 р.).

– VI Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (м. Тернопіль, 2023 р.).

– VII Міжнародної студентської науково - технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (м. Тернопіль, 2024 р.).

– XII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2024 р.).

– XIII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2025 р.).

Публікації. Основні результати кваліфікаційної роботи опубліковано у:

– двох працях XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Див. додаток А).

– двох працях X науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (Див. додаток Б).

– двох працях VI Міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Див. додаток В).

– одній праці VII Міжнародної студентської науково - технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Див. додаток Д).

– одній праці XIII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Див. додаток Е).

– одній праці XIII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Див. додаток Ж).

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 97 найменувань та 6 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає 83 сторінки, з них 52 сторінку основного тексту, який містить 24 рисунки та 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПЛАТФОРМ «РОЗУМНИХ МІСТ»

1.1 Актуальність застосування гіперспектральної візуалізації для «розумних міст»

Урбанізація продовжує зростати і спричиняти проблеми в управлінні містами та розподілі ресурсів. Організація Об'єднаних Націй прогнозує, що частка міського населення у світі зросте з 55% у 2018 році до 68% до 2050 року [2]. Щоб зменшити навантаження на існуючу інфраструктуру та ресурси, спричинене зростанням міського населення, міста можна розвивати як «розумні міста», що є міськими територіями, які підтримують сталий розвиток і покращують рівень життя своїх мешканців [3]. Ці міста використовують найновіші технології, зокрема [2]:

- Інтернет речей (IoT);
- інформаційні та комунікаційні технології;
- великі за обсягом набори та колекції даних.

Елементи «розумних міст»:

- «розумне» середовище;
- «розумна» енергетика;
- «розумний» транспорт;
- «розумна» інфраструктура;
- «розумна» охорона здоров'я;
- «розумна» економіка;
- «розумне» сільське господарство;
- «розумне» життя;
- «розумне» управління;
- «розумні» люди.

На рисунку 1.1 подано перелічені компоненти «розумних міст».

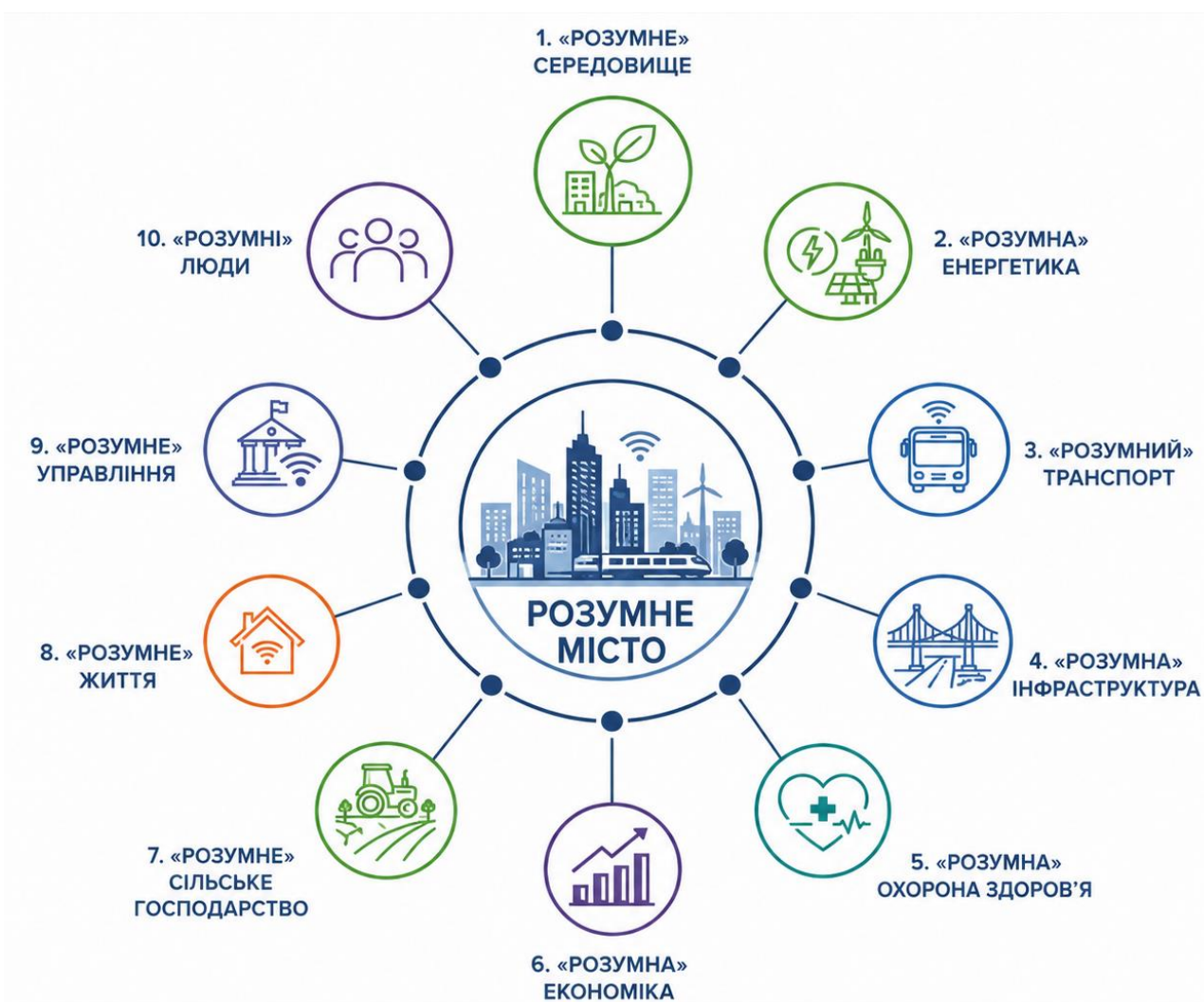


Рисунок 1.1 – Складові компоненти «розумних міст»

Міське середовище стикається з багатьма викликами, зокрема:

- стихійні лиха;
- електронні відходи;
- зміну клімату.

Проте «розумне місто» може ефективно справлятися з такими викликами за допомогою методів екологічного моніторингу та сортування відходів. «Розумна» енергетика використовує «розумні» мережі та «розумні» світлодіодні вуличні ліхтарі [4]. «Розумний» транспорт інтегрує гнучкі та високоефективні транспортні системи [2]. «Розумна» охорона здоров'я використовує швидші та точніші діагностику та лікування, а також більш раннього виявлення ліків [5]. Доведено, що передові технології є корисними в

хірургії та дистанційному моніторингу пацієнтів. «Розумна» економіка є циркулярною, і вона мінімізує відходи, забруднення та використання невідновлюваних ресурсів [6]. З розвитком технологій міста стають «розумнішими», але виникають нові виклики, зокрема занепокоєння щодо конфіденційності та безпеки даних [7].

Зі зростанням населення впроваджуються «розумні» методи, як от гіперспектральна візуалізація, для вирішення задач зростаючої складності для потреб міського життя. Гіперспектральна візуалізація зазвичай є потужнішою за традиційну техніку RGB-візуалізації, оскільки вона може надати більше інформації. RGB-візуалізація може фіксувати інформацію лише в трьох кольорних діапазонах, і, таким чином, вона не може виявляти та аналізувати широкий спектр світла. Гіперспектральна візуалізація може охоплювати ширший діапазон довжин хвиль від ультрафіолетового діапазону – 100–400 нм, до видимого діапазону – 400–700 нм і до ближнього інфрачервоного (NIR) діапазону (700–2500 нм), і вона забезпечує багато спектральних каналів [2]. Гіперкуби, які складаються з одного просторового виміру та двох спектральних вимірів, можуть бути отримані за допомогою гіперспектральної візуалізації. Гіперспектральна візуалізація надає детальну спектральну інформацію, що називається спектральними підписами, для кожного пікселя [8]. Застосування, специфічні для «розумних міст»:

- екологічний моніторинг у режимі реального часу;
- міське планування;
- міське управління;
- управління енергопостачанням;
- транспорт;
- медична візуалізація.

ІоТ-мережі з «розумними» сенсорами та пристроями активно використовуються в «розумних містах», і великі за обсягом набори та колекції даних, що передаються, може бути інтерпретований для покращення міських функцій, зокрема «розумних» транспортних систем (див. рисунок 1.2).

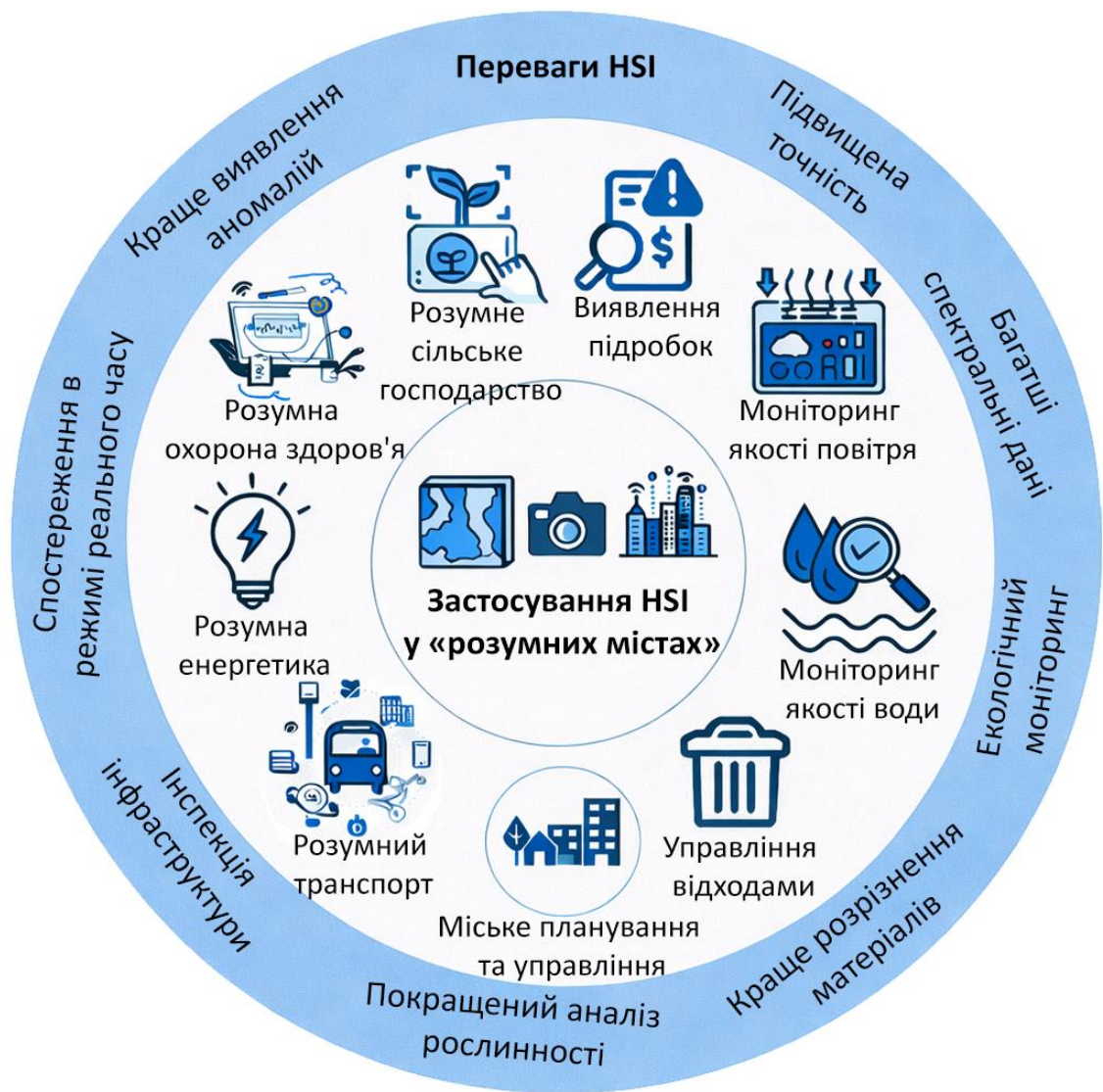


Рисунок 1.2 – Застосування гіперспектральної візуалізації в «розумному місті» [2]

Дані з високою роздільною здатністю, які надають детальну інформацію про ресурси та інфраструктуру міста, можуть бути отримані за допомогою гіперспектральної візуалізації, сприяючи створенню «розумнішого» міста.

Гіперспектральна візуалізація знаходить застосування в численних галузях, наприклад:

- медицина;
- сільське господарство;
- контроль якості продуктів харчування [9];
- дистанційне зондування [2].

Це неінвазивний діагностичний метод, який широко використовується в медицині для візуалізації тканин [10], а також має хірургічне застосування. Його можна використовувати для виявлення та діагностики пухлин [11], раку та захворювань сітківки [12]. Гіперспектральна візуалізація також може використовуватися для інспекції якості продуктів харчування, наприклад, для виявлення зараження комахами, грибкових інфекцій та сторонніх матеріалів [13]. Гіперспектральна візуалізація використовується для виконання складних завдань, як от:

- ідентифікація матеріалів [2];
- виявлення аномалій [14];
- точний екологічний моніторинг [15].

Інші застосування:

- дослідження наноматеріалів [16];
- кримінальні розслідування;
- інспекція творів мистецтва [2];
- видобуток корисних копалин [17].

Гіперспектральна візуалізація може поєднуватися з DL у багатьох сферах, наприклад [18]:

- дистанційне зондування;
- біомедичні застосування;
- аналіз підробок;
- криміналістичний аналіз;
- боротьба з контрафактом.

1.2 Означення та принципи гіперспектральної візуалізації

Гіперспектральна візуалізація – це передова техніка оптичного зондування, яка продумано поєднує спектроскопію та цифрову фотографію в єдину систему [19]. Така інтеграція дає змогу одночасно отримувати просторові та спектральні дані, фіксуючи просторово розділені зображення у численних

суміжних спектральних діапазонах. У результаті кожен піксель зафіксованої сцени має унікальний спектральний підпис, який часто називають «відбитком пальця». Ці спектри на рівні пікселів структуровані у тривимірні набори даних, відомі як гіперспектральні куби даних, які поєднують два просторові виміри з одним спектральним виміром, фактично поєднуючи традиційну візуалізацію та спектроскопію. Гіперспектральна візуалізація зосереджена на оптичному вікні електромагнітного спектру (див. рисунок 1.3), зазвичай охоплюючи довжини хвиль від 380 до 2500 нм [20].

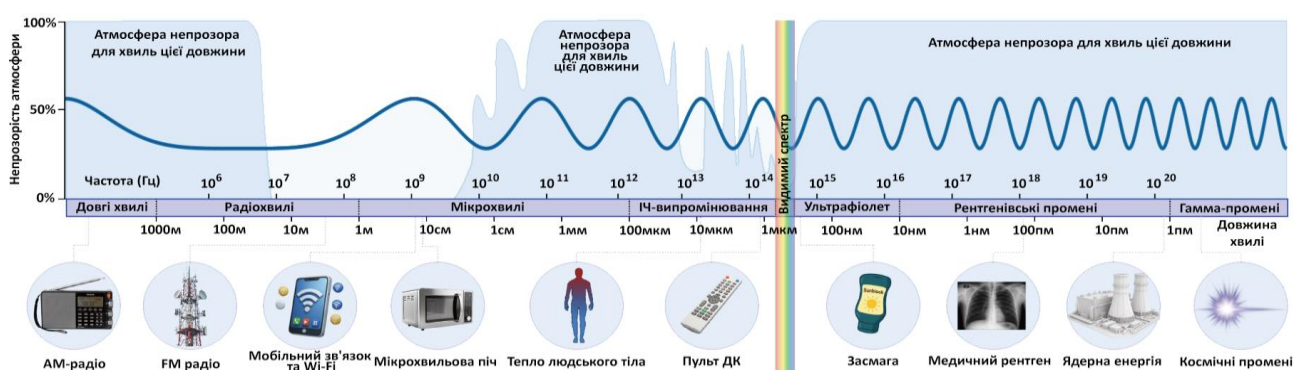


Рисунок 1.3 –Електромагнітний спектр гіперспектральної візуалізації [19]

Це вікно зазвичай охоплює видиме світло – 400-700 нм), NIR – 750-1400 нм) та SWIR – 1400-2500 нм діапазони (див. рисунок 1.4).

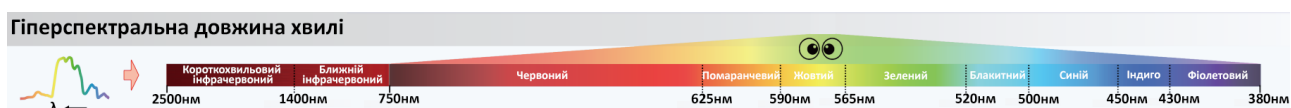


Рисунок 1.4 – Типові області довжин хвиль, отриманих при гіперспектральній візуалізації [19]

Гіперспектральний куб містить багату спектральну інформацію, отриману шляхом вимірювання відбивної здатності або яскравості випромінювання у вузьких спектральних інтервалах. Такий детальний спектральний зміст дає можливість здійснювати точну ідентифікацію та ретельну характеристику матеріалів, біологічних тканин та поверхонь навколишнього середовища.

Зокрема, інтеграція області 380-400 нм підвищує чутливість до поглинання пігментів і тонких варіацій відбивної здатності поверхні, особливо у фіолетовому та ближньому ультрафіолетовому діапазонах [19]. Приклад типових гіперспектральних даних, подано на рисунку 1.5, де підкреслено, що гіперспектральна візуалізація зазвичай фіксує понад сотні спектральних каналів з високою спектральною роздільною здатністю (зазвичай 5-10 нм).



Рисунок 1.5 – Приклад гіперспектральних даних, що ілюструє інтегровану просторову та спектральну інформацію [19]

Це розширене спектральне охоплення суттєво відрізняє гіперспектральну візуалізацію від панхроматичної візуалізації, звичайної кольорової фотографії та мультиспектральної візуалізації. Розглянемо спектральні характеристики різних модальностей візуалізації та проведемо якісне горизонтальне порівняння [19].

Панхроматичні системи візуалізації реєструють одну широку спектральну смугу, що охоплює видимий спектр, забезпечуючи високу просторову роздільну здатність, але мінімальну спектральну деталізацію (див. рисунок 1.6).

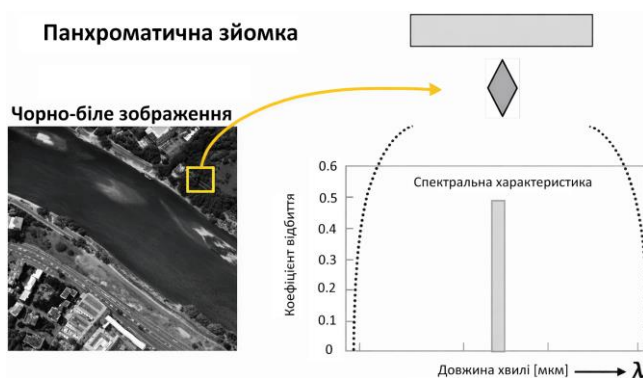


Рисунок 1.6 – Панхроматична (односмугова) модальність візуалізації [19]

Стандартні RGB-камери зазвичай фіксують лише три широкі спектральні смуги (див. рисунок 1.7).

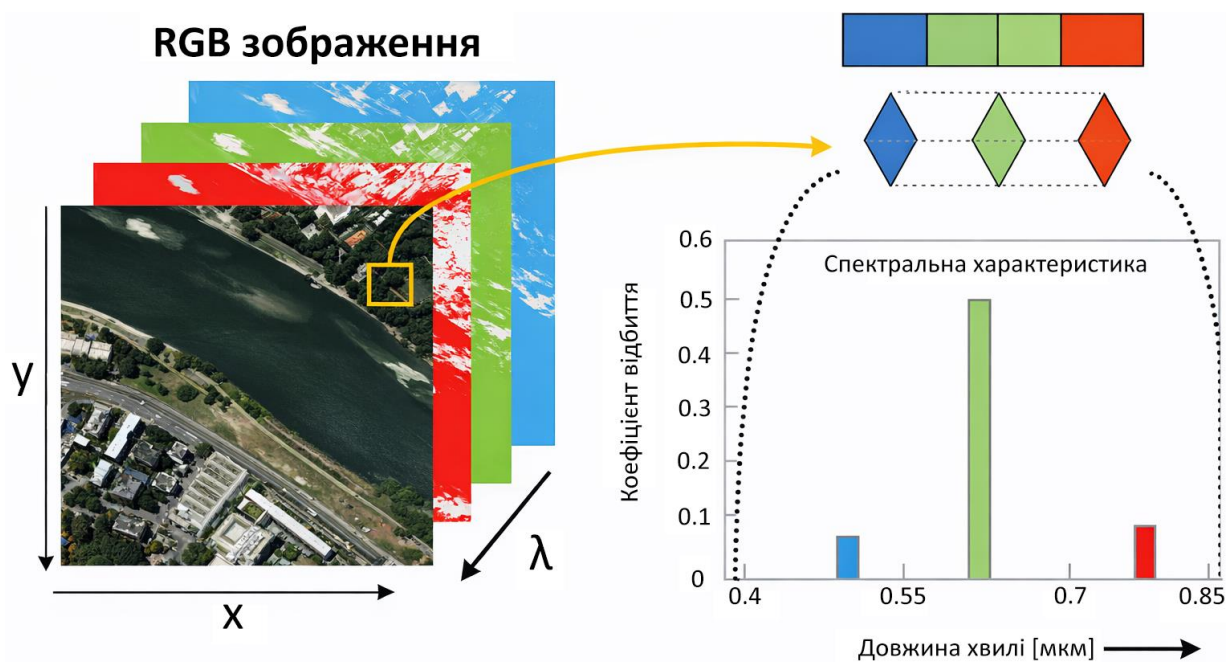


Рисунок 1.7 – RGB-спектр модальностей візуалізації [19]

Мультиспектральні системи зазвичай охоплюють менше 20 дискретних смуг (див. рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Мультиспектральна модальність візуалізації [19]

Навпаки, багата спектральна деталізація (див. рисунок 1.9), яку забезпечує гіперспектральна візуалізація, надає дослідникам можливість ідентифікувати тонкі, але діагностично значущі ознаки, зокрема смуги поглинання молекул і переходи, пов'язані з пігментами.

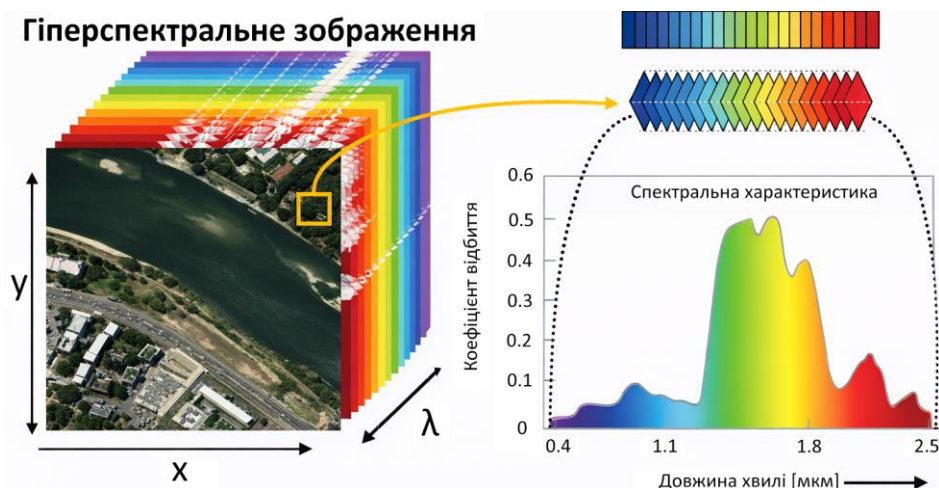


Рисунок 1.9 – Гіперспектральна модальність візуалізації – понад 100 суміжних вузьких смуг [19]

Ці особливості, часто невидимі або нечіткі при звичайній візуалізації, дають змогу точно розрізнити об'єкти, які можуть здаватися ідентичними у видимих діапазонах, проте суттєво відрізняються за своїм хімічним складом або фізіологічним станом [19]. Багатовимірна природа гіперспектральних даних впливає з фундаментальних фізичних взаємодій між падаючим випромінюванням і матеріалами об'єкта, а саме електронні переходи, коливання молекул, розсіювання та флуоресценцію. Ці взаємодії, які змінюються залежно від модальності візуалізації та спектральної області, лежать в основі унікальної здатності гіперспектральної візуалізації забезпечувати неруйнівний аналіз без використання міток. Отже, гіперспектральна візуалізація має унікальні можливості для дослідження не лише поверхневих характеристик, а й підповерхневих властивостей, пропонуючи цінну інформацію в різних наукових і практичних сферах «розумних міст».

Особливу цінність гіперспектральної візуалізації надає її притаманна неруйнівна природа та відсутність необхідності у мітках. На відміну від інвазивних біохімічних аналізів або мікроскопії на основі фарбування, гіперспектральна візуалізація не потребує фізичного контакту або хімічного маркування зразка. Таким чином, вона підходить для застосувань «in situ та in vivo», що робить її надзвичайно привабливою для безперервного моніторингу, діагностики в режимі реального часу та автоматизації процесів в «розумних містах» [19]. Оскільки гіперспектральна візуалізація фіксує як просторові структури, так і спектральні «відбитки пальців», її можна застосовувати для завдань, що варіюються від ідентифікації хвороб сільськогосподарських культур і супроводу хірургічних операцій до виявлення підробок і геологічного картування [21]. Ці властивості позиціонують гіперспектральну візуалізацію як універсальну, багату на інформацію платформу для високопродуктивного та високоточного зондування середовища «розумних міст».

Попри свої переваги, внутрішньо притаманна багатовимірність даних гіперспектральної візуалізації створює суттєві виклики для обробки та інтерпретації. Класичні статистичні методи, як от АГК [22] та ЛДА [19], залишаються широко використовуваними для зниження розмірності та виділення ознак. Для вирішення проблеми спектрального змішування, що виникає через обмежену просторову роздільну здатність та складну гетерогенність поверхні, спектральне розкладання «spectral unmixing» [23] розкладає змішані пікселі на складові спектри чистих компонентів «endmembers» та їхні часткові вмісти, даючи можливість проводити точну ідентифікацію матеріалів та підпиксельну характеристику.

Все частіше досягнення в галузі ML та ШІ [24] трансформують цю сферу, пропонуючи потужні інструменти для моделювання складності та мінливості, властивих гіперспектральним даним [19]. Зовсім нещодавно фундаментальні моделі [25], навчені на різноманітних масштабних гіперспектральних наборах даних, продемонстрували значний потенціал до узагальнення для різних завдань, доменів та типів сенсорів. ШІ-орієнтовані підходи стимулюють зміну

парадигми у використанні гіперспектральних даних, уможливлуючи масштабовані, автоматизовані та надійні аналітичні процеси.

1.3 Конвеєр даних інформаційних систем гіперспектральної візуалізації

На рисунку 1.10 зображено конвеєр даних інформаційних систем гіперспектральної візуалізації. При цьому виділено інструмент візуалізації та його основний компонент – візуалізуючий спектрометр.

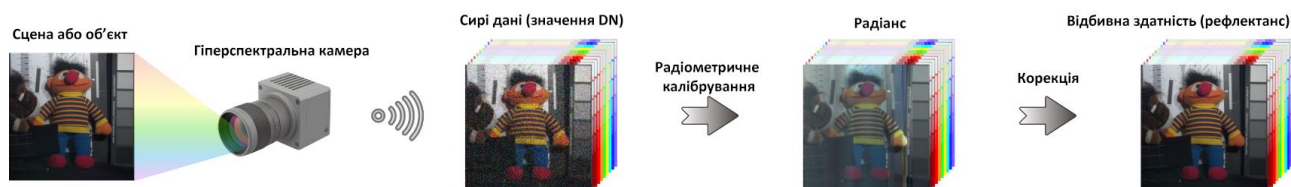


Рисунок 1.10 – Конвеєр даних інформаційних систем гіперспектральної візуалізації [19]

Водночас доцільно окреслити робочий процес, що охоплює збір даних, калібрування та попередню обробку, а також відзначити основні геометрії візуалізації.

Гіперспектральна камера (див. рисунок 1.11) інформаційної системи збирає, спрямовує та фокусує падаюче випромінювання, відбите або випромінюване досліджуваною сценою чи об'єктом.

Цей вузол, що зазвичай складається з лінз, дзеркал або гібридних дзеркально-лінзових комбінацій, встановлює критичні параметри гіперспектральної візуалізації, зокрема:

- поле зору (FOV);
- функція розсіювання точки (PSF);
- просторова роздільна здатність;
- спектральний діапазон.

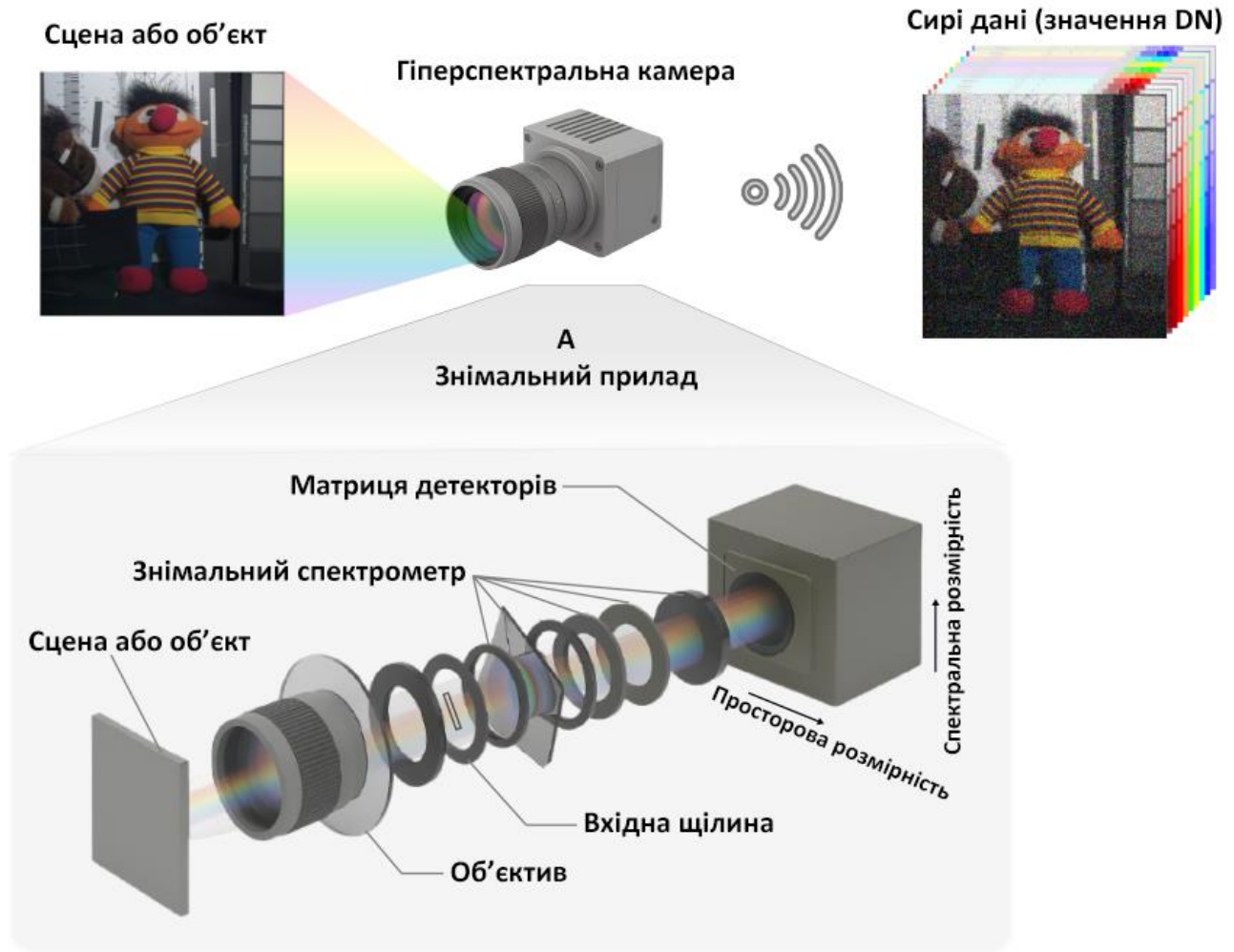


Рисунок 1.11 – Схема приладу обробки гіперспектральних зображень [19]

Високоякісна оптична конструкція має вирішальне значення, оскільки вона зменшує хроматичні та геометричні аберації, забезпечуючи точне та надійне збереження просторових деталей і спектральну достовірність під час збору даних.

Знімальний спектрометр є основним компонентом, який відрізняє системи гіперспектральної візуалізації від традиційних методів оптичної візуалізації. Його головна функція полягає у спектральному розкладанні падаючого випромінювання на численні вузькі, суміжні діапазони довжин хвиль, створюючи детальні спектральні підписи для кожної просторової точки або пікселя зображення [19]. Критично важливим елементом у знімальному спектрометрі, що відповідає за це спектральне розкладання, є модуль дисперсійної оптики, у якому зазвичай використовуються дифракційні решітки,

призми або електронно керовані фільтри. Спектральна роздільна здатність спектрометра, що визначається як здатність розрізняти довжини хвиль, розташовані близько одна до одної, є вирішальною для точної ідентифікації, розпізнавання та характеристики матеріалів і об'єктів.

Матриця сенсорів або детекторів вловлює спектрально розкладене оптичне випромінювання та перетворює його на вимірювані електронні сигнали. Поширені технології детекторів у HIS:

- прилади із зарядним зв'язком (CCD);
- сенсори на основі комплементарних метало-оксидних напівпровідників (CMOS).

Кожен з типів приладів має певні переваги щодо:

- чутливості;
- квантової ефективності;
- динамічного діапазону;
- характеристик шуму.

Вибір технології детектора безпосередньо впливає на критичні показники продуктивності цифрової системи, зокрема на:

- SNR;
- радіометричну точність;
- загальну якість даних.

Після детектування електричні сигнали оцифровуються та піддаються етапам попередньої обробки, наприклад, радіометричному калібруванню, геометричній корекції та зниженню шуму, щоб отримати високоякісні, надійні та стандартизовані гіперспектральні дані для подальшого аналітичного опрацювання [19].

1.4 Геометрія зображень гіперспектральної візуалізації

У цифровій візуалізації концепція геометрії зображень зазвичай відноситься до взаємозв'язку між об'єктом спостереження та його поданням у

площині зображення, тоді як у системах гіперспектральної візуалізації цей термін конкретно позначає різні модальності сканування, що використовуються для збору даних [19]. У практичних застосуваннях зазвичай використовуються чотири основні геометрії:

- pushbroom – лінійне сканування;
- whiskbroom – точкове сканування;
- snapshot – миттєвий знімок;
- staring – стаціонарне сканування.

Кожна модальність забезпечує певні переваги, адаптовані до конкретних вимог спостереження та сценаріїв використання.

Методи сканування:

- pushbroom-сканер;
- whiskbroom-сканер;
- snapshot-сканери;
- staring-сканери.

Pushbroom-сканер – це лінійне сканування, одночасно фіксує спектральну інформацію вздовж усієї просторової лінії (див. рисунок 1.12).

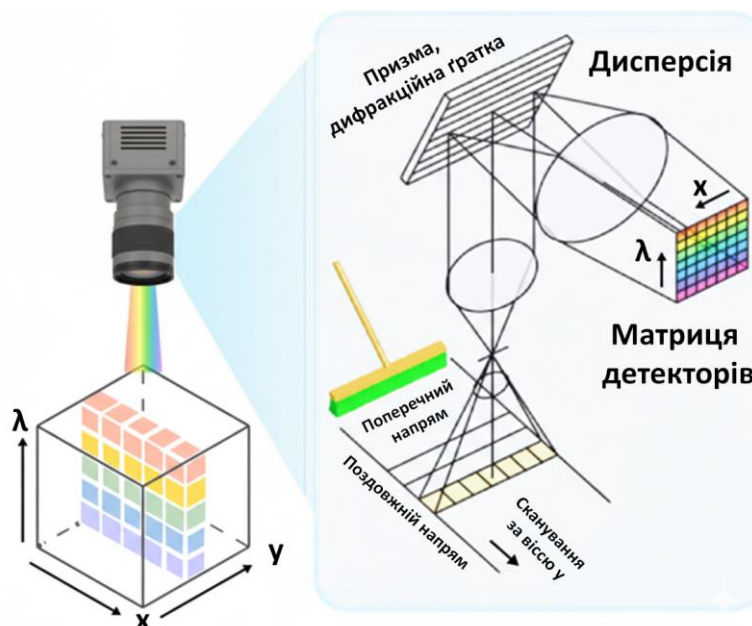


Рисунок 1.12 – Сканування методом віброма (лінійне) [19]

Оскільки платформа, наприклад, супутник, літак або дрон, рухається вперед, послідовні просторові лінії об'єднуються у двовимірне зображення [19]. Системи pushbroom ефективно забезпечують високу просторову та спектральну роздільну здатність, що робить їх особливо придатними для супутникових та авіаційних застосувань.

Whiskbroom-сканер, або точкове сканування, використовує механічні скануючі дзеркала або обертові призми для послідовного захоплення окремих пікселів (див. рисунок 1.13).

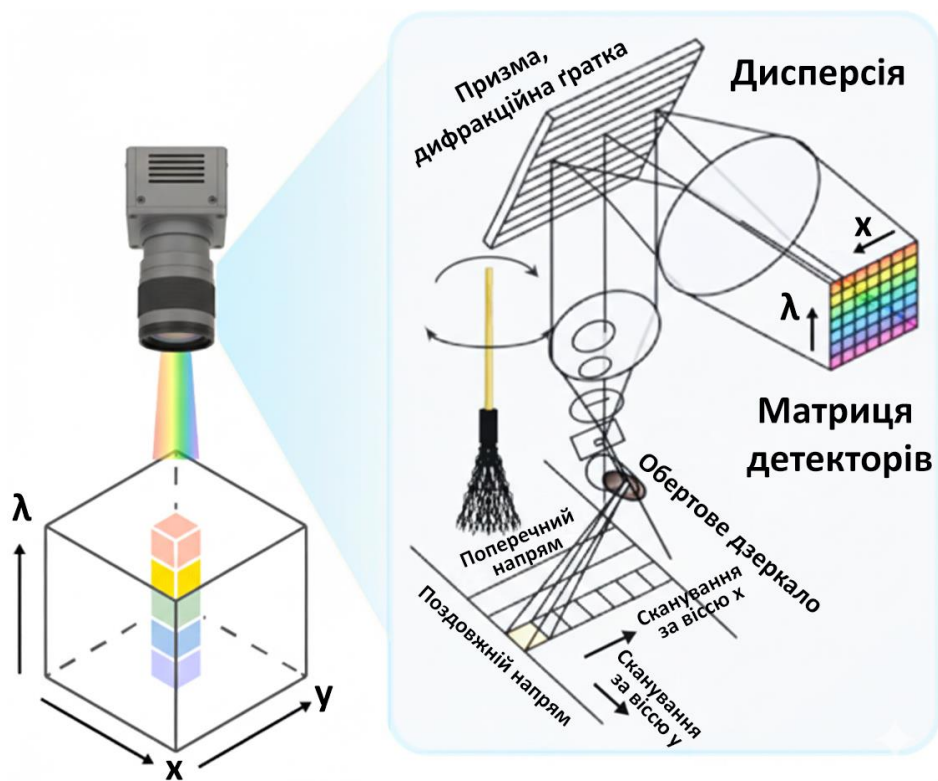


Рисунок 1.13 – Сканування методом віброма (точкове) [19]

Ця модальність забезпечує високу радіометричну точність і оперативну гнучкість, але є механічно складнішою та відносно повільнішою, що обмежує її широке застосування порівняно з системами pushbroom. Проте підходи whiskbroom залишаються цінними для спеціалізованих авіаційних та певних наукових задач [19].

Snapshot-сканери одночасно отримують просторові та спектральні дані за одну експозицію без механічного сканування (див. рисунок 1.14).

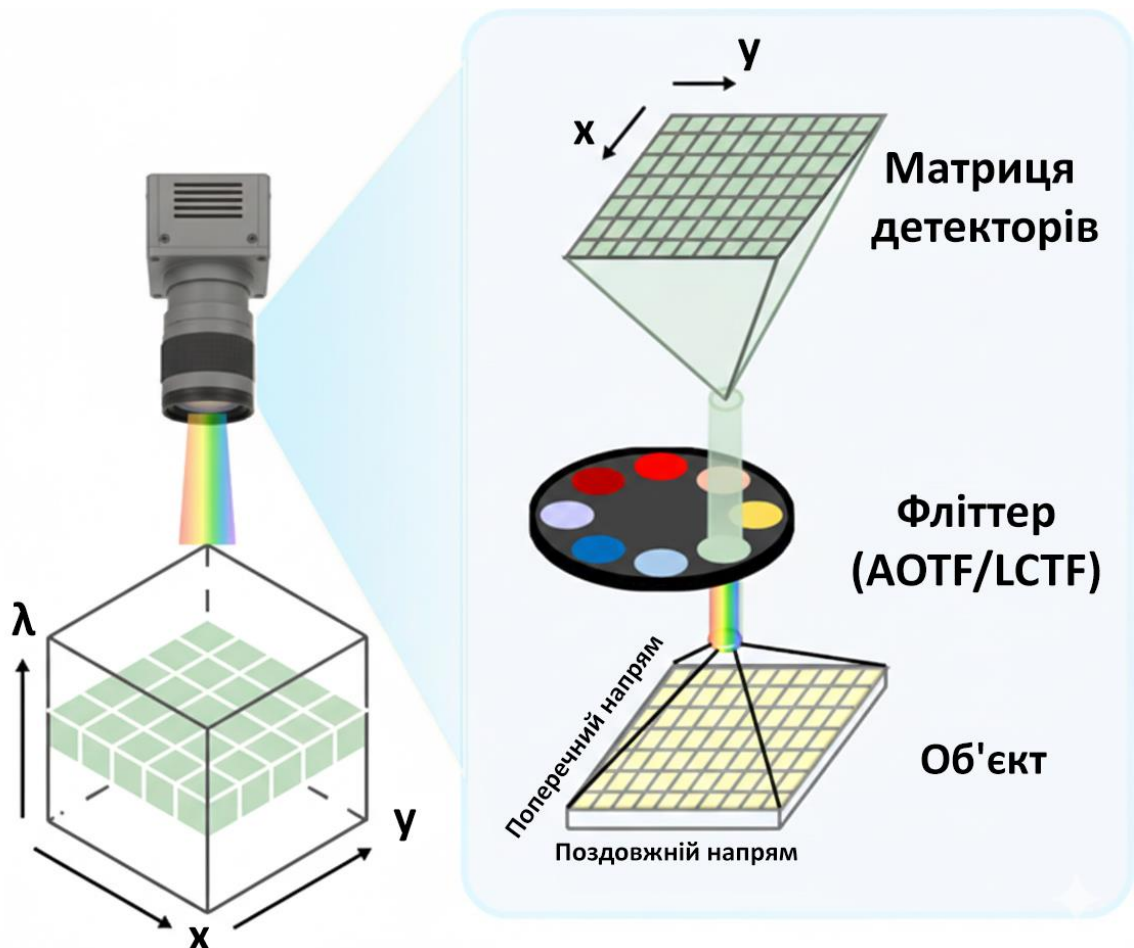


Рисунок 1.14 – Сканування методом зорового сканування – спектральне [19]

Завдяки вдосконаленим обчислювальним оптичним конструкціям, зокрема кодована апертура або масиви мікролінз у поєднанні з дисперсійними елементами, snapshot-візуалізація ідеально підходить для фіксації сцен, що швидко змінюються, або перехідних подій. Незважаючи на ці переваги, методи snapshot зазвичай передбачають компроміси у спектральній роздільній здатності та SNR [19].

Staring-сканери отримують спектральні діапазони послідовно, використовуючи електронно керовані фільтри, як от LCTF або AOTF. Ці сканери, які зазвичай використовуються в лабораторних умовах, портативних інструментах або стаціонарних системах моніторингу, пропонують високу спектральну гнучкість і точність (див. рисунок 1.15).

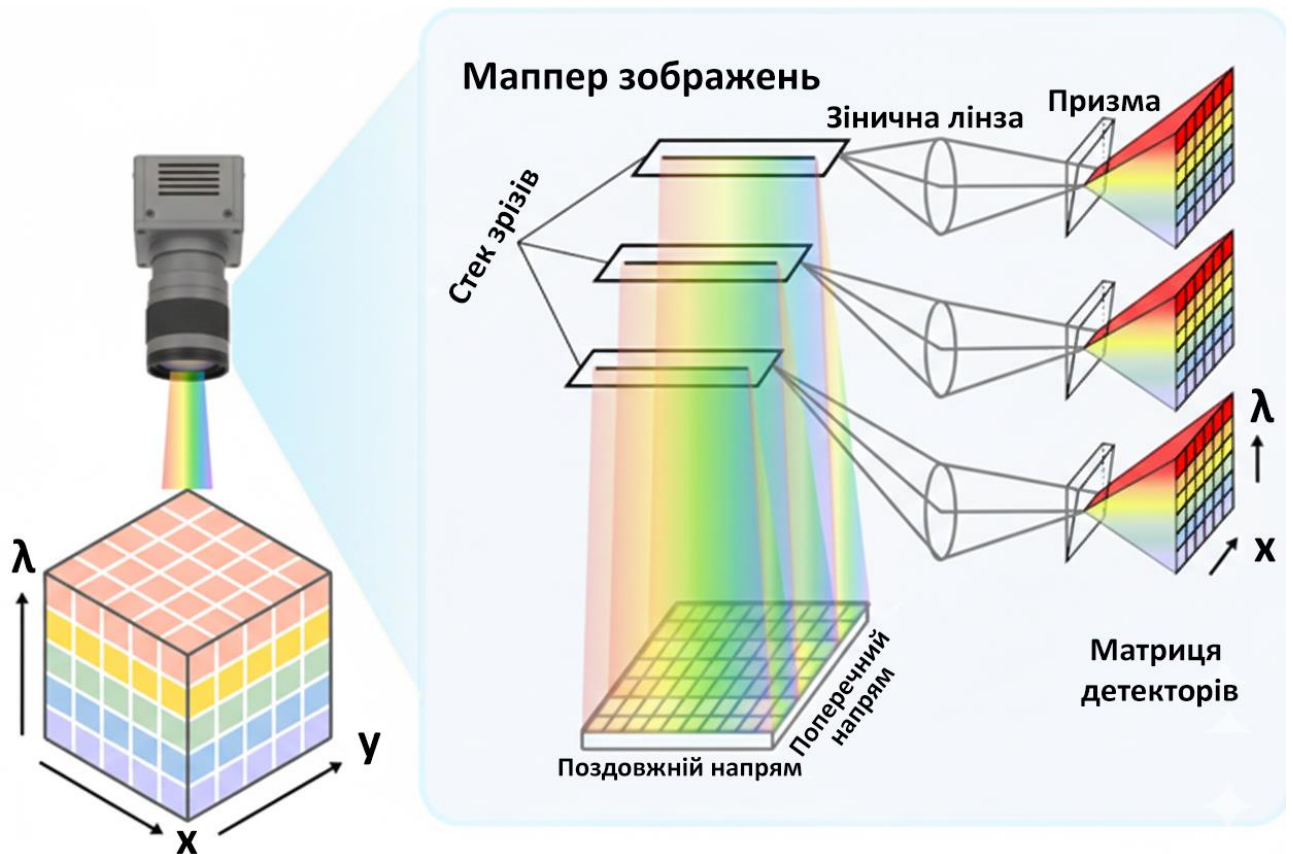


Рисунок 1.15 – Знімкове зображення, що отримує всі спектральні смуги одночасно за одну експозицію без сканування [19]

Однак тривалий час збору даних і необхідність стабільних умов візуалізації загалом обмежують їх застосування для динамічних сцен або тих, що швидко змінюються.

1.5 Збір та калібрування гіперспектральних даних

Після вибору відповідної геометрії візуалізації та методу спектральної дисперсії, точний збір гіперспектральних даних потребує систематичних процедур обробки та калібрування для забезпечення якості, порівнюваності та узгодженості даних перед подальшим аналітичним опрацюванням (див. рисунок 1.16).

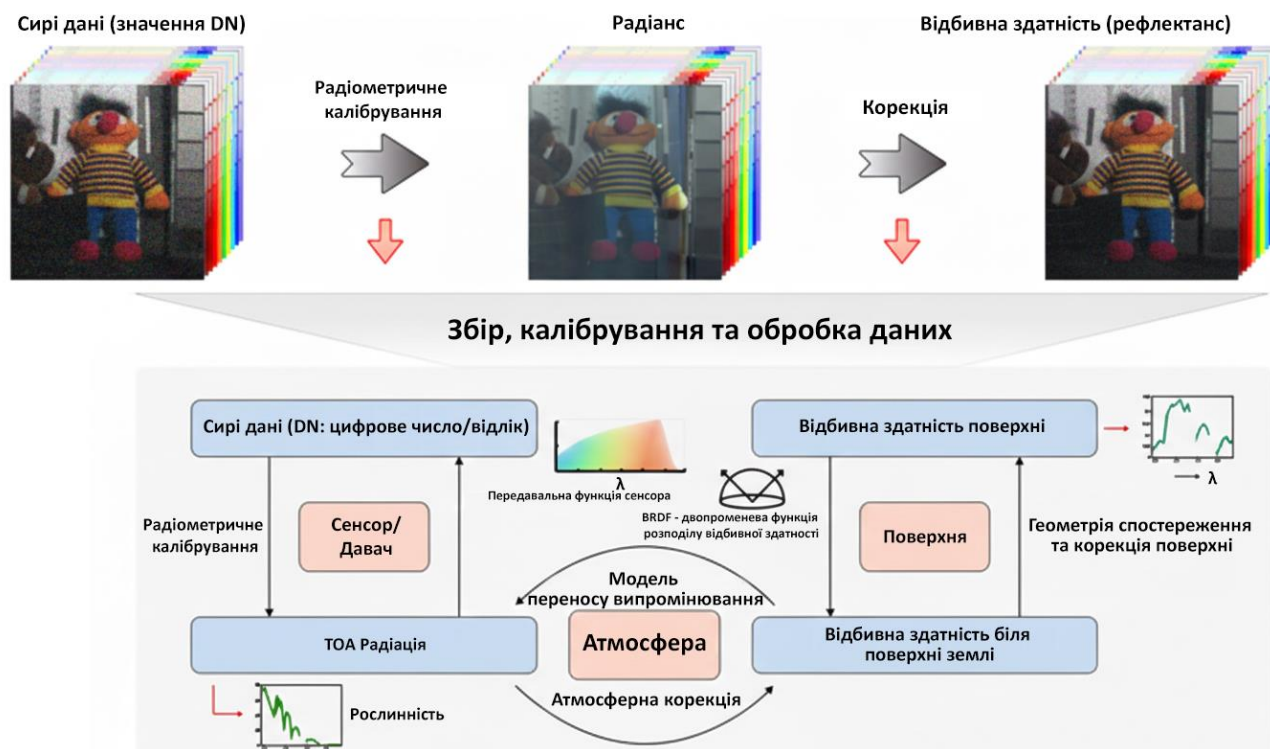


Рисунок 1.16 – Робочий процес збору даних, калібрування та обробки для уточнення перетворення необроблених цифрових чисельних значень у дані яскравості та кінцевого відбиття [19]

Основні етапи попередньої обробки зазвичай:

- радіометричне калібрування;
- геометричну корекцію;
- атмосферну корекцію;
- калібрування довжини хвилі.

Кожен з етапів є критичним для отримання надійних і відтворюваних гіперспектральних наборів даних.

Радіометричне калібрування перетворює необроблені вимірювання сенсора у фізично значущі значення відбивної здатності або яскравості випромінювання шляхом корекції мінливості відгуку сенсора та чутливості детектора. Геометрична корекція вирівнює отримані спектральні дані в просторі, виправляючи спотворення, спричинені рухом платформи, оптикою приладу та геометрією візуалізації [19]. Калібрування довжини хвилі гарантує, що спектральні діапазони, записані візуалізуючим спектрометром, точно

відповідають відомим стандартам довжин хвиль. На спектральну якість безпосередньо впливають додаткові експлуатаційні міркування, зокрема:

- підтримка високого SNR;
- забезпечення стабільної температури навколишнього середовища;
- мінімізація механічних вібрацій.

Лабораторні дослідження суттєво виграють від стабільного, контрольованого штучного освітлення та регульованих параметрів навколишнього середовища, наприклад, температури та вологості, для покращення повторюваності та надійності вимірювань.

1.6 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи обґрунтовано актуальність застосування гіперспектральної візуалізації для «розумних міст». Подано означення та принципи гіперспектральної візуалізації. Розглянуто конвеєр даних інформаційних систем гіперспектральної візуалізації. Проаналізовано геометрію зображень гіперспектральної візуалізації. Описано процеси збору та калібрування гіперспектральних даних.

РОЗДІЛ 2. ІНФРАСТРУКТУРА ТА АНАЛІТИЧНІ ПЛАТФОРМИ ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ В СИСТЕМАХ «РОЗУМНОГО МІСТА»

2.1 Технології давачів для гіперспектральної візуалізації

В різних «розумних» сферах широко використовуються традиційні методи гіперспектральної візуалізації:

- MSI;
- термальна візуалізація;
- LiDAR.

Мультиспектральні сенсори можуть бути обмежені своєю спектральною роздільною здатністю, але вони все одно здатні фіксувати дані в широких спектральних діапазонах для класифікації наземного покриття [19] та моніторингу рослинності [26]. Термальні сенсори відстежують вимірювання міського теплового випромінювання та допомагають ідентифікувати острови тепла [27], проте вони мають труднощі з розрізненням матеріалів із подібним тепловим випромінюванням. LiDAR пропонує 3D-картографування високої роздільної здатності, що є важливим для міського планування [19] та аналізу міської інфраструктури [28]. LiDAR ефективний для просторового картографування, але йому бракує спектральної деталізації, тому він іноді потребує інтеграції з іншими сенсорами. Традиційні сенсори підготували ґрунт для досконаліших пристроїв, і термін «гіперспектральна візуалізація» позначає значну інновацію в цій сфері.

На відміну від мультиспектральних сенсорів, гіперспектральна візуалізація фіксує дані в сотнях безперервних спектральних каналів, що надає можливість точно ідентифікувати матеріали. Гіперспектральна візуалізація корисна в задачах:

- виявлення забруднювачів [29];
- ідентифікації рослинності [30];

– моніторингу процесів деградації будівельних матеріалів [19].

Її здатність вловлювати тонкі спектральні відмінності перевершує обмеження попередніх поколінь сенсорів. Гіперспектральні сенсори поділяються на три основні типи:

- push-broom – скануючі;
- whisk-broom – панорамні;
- snapshot – миттєвої зйомки.

Скануючі сенсори фіксують зображення рядок за рядком і можуть отримувати просторові та гіперспектральні дані [31]. Панорамні сенсори сканують піксель за пікселем і забезпечують рівномірне охоплення, але на них можуть впливати часові варіації освітлення [19]. Сенсори миттєвої зйомки фіксують цілі зображення одночасно і є портативними, проте вони мають тенденцію до обмежень гіперспектральних даних [32]. Вибір сенсора залежить від конкретної сфери його застосування.

Комерційно доступні сенсори гіперспектральної візуалізації мають різноманітне застосування в «розумних містах». До популярних спектрометрів належить «ASD FieldSpec 3» від «ASD Inc» – це портативний польовий спектрометр, придатний для моніторингу довкілля. Цей сенсор надає дані високої роздільної здатності:

- 1 нм у діапазоні VNIR – від «350 нм» до «1000 нм»;
- 8 нм у діапазоні SWIR – від «1000 нм» до «2500 нм».

«Avantes AvaSpec-ULS2048L» має широкий спектральний діапазон «200–1100 нм», тоді як його роздільна здатність варіюється від «0,06 нм» до «20 нм». Він чудово підходить для моніторингу якості повітря та інших екологічних досліджень. Спектрометр «Telops FIRST-MW Hypercam» на основі інфрачервоної спектроскопії фур'є працює в середньому інфрачервоному діапазоні від «1850 cm^{-1} » до «6667 cm^{-1} » із спектральною роздільною здатністю «1 cm^{-1} » для задач виявлення забруднення в «розумних містах» [19].

Гіперспектральна камера «Specim» зі спектрографом «ImSpector N17E», що працює в межах NIR діапазону «1000–1700 нм», може використовуватися

для класифікації відходів і сортування матеріалів. «Specim» постачає робочу станцію «SISUChem XL», яка працює в діапазоні SWIR від 1000 нм до 2500 нм зі спектральною роздільною здатністю «6,3 нм» і зазвичай використовується в промисловому управлінні відходами. Спектрометр «Texas Instruments TIDA 00554» використовує технологію цифрових мікродзеркальних пристроїв для вибору точних довжин хвиль, що забезпечує чудову продуктивність у високошвидкісних динамічних застосуваннях, наприклад, аналіз відходів та моніторинг довкілля [19]. Він працює в діапазоні NIR від «900 нм» до «1700 нм». Сенсор «HySpex SWIR-384», розроблений компанією «Norsk Elektro Optik», охоплює діапазон «SWIR 930–2500 нм» і працює за принципом сканування push-broom нового покоління з високою роздільною здатністю. Таким чином, він чудово підходить для «розумного» транспорту та моніторингу міської інфраструктури.

PRISMA – це супутниковий сенсор, розроблений Італійським космічним агентством. Він має високу спектральну роздільну здатність у діапазоні «400–2500 нм» [19]. VNIR має шістдесят шість каналів, а SWIR має сто сімдесят один канал, обидва зі спектральною роздільною здатністю « ± 9 нм». Дані супутникового сенсора PRISMA мають вирішальне значення для масштабного міського планування та екологічних досліджень. Камера «Headwall VNIR Niperspec» довела свою корисність у системах «розумного» транспорту, оскільки вона працює в діапазоні VNIR від «400 нм» до «1000 нм» і має приблизно чотириста каналів. Таким чином, вона добре підходить для «розумного» спостереження за трафіком та міською інфраструктурою. Гіперспектральна камера «SOC710» від «Surface Optics» охоплює спектральний діапазон від «400 нм» до «1000 нм» зі спектральною роздільною здатністю «5 нм» та ста двадцяти восьма спектральними каналами. Вона може бути корисною для «розумного» екологічного оцінювання та «розумної» енергетики.

«Gaiasky mini2-VN» – це гіперспектральна камера для встановлення на БПЛА зі спектральним діапазоном «393–1012 нм» у триста шістдесятьох каналах [19]. Вона була розроблена для кількох застосувань, пов'язаних з

екологічним моніторингом та класифікацією наземного покриву. Вона пропонує дані високої роздільної здатності для точної ідентифікації об'єктів на землі. Останні досягнення зосереджені на мініатюризації гіперспектральних сенсорів для розгортання на БПЛА [33] та наземних транспортних засобах. Ці сенсори будуть економічно вигідними, простішими в інтеграції, матимуть кращу довговічність і радіус дії, що дасть змогу використовувати їх у суворих умовах для всебічного міського моніторингу. Водночас вони все одно матимуть високу спектральну роздільну здатність. Злиття даних мультисенсорів гіперспектральної візуалізації з технологіями MSI, LiDAR та термальної візуалізації, може забезпечити цілісніший погляд на місто [19]. Подібним чином мультиспектральні дані, гіперспектральна візуалізація, LiDAR та дані радара з синтезованою апертурою містять детальну та доповнену інформацію, а злиття даних може допомогти отримати зображення з ще кращою роздільною здатністю, підвищуючи загальну ефективність та дієвість моніторингу в «розумних містах» [34].

2.2 Обробка та аналітичне опрацювання даних гіперспектральної візуалізації для потреб «розумних міст»

Гіперспектральна візуалізація має критичне значення для застосунків «розумного міста». Однак через великі за обсягом набори та колекції доступних гіперспектральних даних потрібні значні обчислювальні ресурси. Ефективні методи стиснення даних, наприклад, алгоритми на основі розділення сумішей, використовуються для керування обмеженнями пропускнуої здатності під час передачі даних, особливо в малих супутниках з обмеженою потужністю та пам'яттю. Проте ці обчислювально затратні процеси стиснення часто мають покладатися на апаратні прискорювачі, як от FPGA та GPU [19]. Вони можуть використовуватися для моніторингу та аналізу міських ландшафтів у режимі реального часу, забезпечуючи своєчасну та точну доставку даних для управління «розумним містом». Платформи, що підтримують методи

паралельних і розподілених обчислень, наприклад, хмарні платформи [35] FPGA та GPU, покращують виявлення аномалій на гіперспектральних зображеннях, що є важливим для ідентифікації незвичайних подій у динамічних міських середовищах [36].

Бортова обробка інформації для виявлення аномалій досягла значного прогресу, зокрема завдяки адаптованим до апаратного забезпечення алгоритмам, інтегрованим у реконфігуровані пристрої, наприклад, детектор «HW-LbL-FAD», а також завдяки використанню менш дорогих та енергоощадних FPGA. Цей розвиток є критично важливим для застосунків «розумного міста», де продуктивність у режимі реального часу необхідна для оперативного реагування на міські виклики в міру їх виникнення [19]. Швидке прототипування в системах на базі FPGA дало можливість використовувати алгоритми MSVM для гіперспектральних застосунків у режимі реального часу, які важливі для «розумних міст» [37]. Програмне забезпечення для обробки гіперспектральних зображень із відкритим кодом, як от HSI-PP, поєднує обробку зображень, видобування ознак і моделювання в належний механізм даних із високою пропускнуою здатністю, що надає можливість точно та швидко обробляти масштабні екологічні дані [19].

Методи зниження розмірності та зменшення шуму, як от АГК та MNF, є вирішальними для того, щоб зробити гіперспектральні дані керованими, зберігаючи при цьому суттєву спектральну інформацію [38]. Ця умова є критичною в «розумних містах», оскільки планувальникам та екологічним менеджерам потрібні точні дані, щоб мати змогу приймати відповідні рішення щодо розвитку міської інфраструктури та збереження довкілля. Алгоритми ML та DL, як от CNN [39], SVM та випадкові ліси, підвищують точність класифікації типів наземного покриття та матеріалів, необхідних для ефективного міського управління [40].

Інтеграція гіперспектральної візуалізації з аналітичним опрацюванням великих за обсягом наборів та колекцій даних, ШІ [41] та методами ML допоможе в обробці та інтерпретації великих за обсягом наборів та колекцій

даних, прийнятті рішень на основі даних і підвищенні ефективності використання ресурсів у «розумних містах» [42]. Гіперспектральну візуалізацію можна використовувати з автокодувальниками для кодування та декодування, що потенційно виявляє раніше приховані закономірності у великих за обсягом наборах та колекціях даних для забезпечення правильності прогнозних моделей і прийняття рішень у «розумних містах» [19]. Хоча хмарне аналітичне опрацювання корисне для будь-якого типу застосування, воно виявилось надзвичайно цінним у масштабних завданнях «розумного» міського моніторингу [43].

Велика за обсягом сукупність даних, що генеруються гіперспектральними сенсорами, вимагає потужних структур для зберігання та обробки. Передові методи роботи з великими за обсягом наборами та колекціями даних [44], як от алгоритм локальної дискримінантної моделі, глобальної інтеграції та визначення гілок великих за обсягом наборів та колекцій даних, можуть ієрархічно видобувати та класифікувати спектральні ознаки та покращувати точність запитів у базах даних «розумного міста» [45]. Крім того, нові обчислювальні структури для аналітичного опрацювання великих за обсягом наборів та колекцій гіперспектральних даних [46] вирішують проблеми багатовимірних і багатоджерельних даних, підвищуючи масштабованість та ефективність у спосіб, що є критично важливим для складних і багатогранних середовищ даних «розумних міст» [19].

2.3 Інтеграція гіперспектральної візуалізації та Інтернету речей

Гіперспектральну візуалізацію можна інтегрувати в IoT-мережі та використовувати разом із III для оптимізованої передачі даних і хмарної обробки, що робить збирання та аналітичне опрацювання даних у режимі реального часу простішим і ефективнішим, а також покращує прийняття рішень у «розумних містах» [47]. Системи IoT-HSI необхідні для контролю екологічних факторів якості повітря та води, оскільки вони тісно пов'язані з

громадським здоров'ям. У моніторингу якості повітря БПЛА, оснащені сенсорами гіперспектральної візуалізації, можуть фіксувати надзвичайно точні дані про забруднювачі повітря. Системи IoT-HSI можна використовувати для моніторингу водойм на наявність забруднювачів, каламутності та інших параметрів якості води. IoT-мережі забезпечують швидку передачу даних до центральних баз даних для аналітичного опрацювання, що дає органам влади змогу оперативно вирішувати проблеми забруднення. Такі системи можуть автоматизувати сортування та переробку відходів завдяки класифікації матеріалів відповідно до їхніх спектральних ознак, а дані, зібрані з різних пунктів збору відходів, надсилаються до центрального вузла для аналітичного опрацювання, що дає містам можливість оптимізувати маршрути збору та, зрештою, знизити витрати.

Ці системи на базі IoT також використовуються в супутникових технологіях для виконання масштабних завдань, як от класифікація наземного покриття [19]. «Розумні міста» можуть використовувати периферійні обчислення з гіперспектральною візуалізацією для міського планування в режимі реального часу. Для підвищення точності можна використовувати передові методи, наприклад [48]:

- вкладення на основі максимально-мінімальної відстані;
- структури некерованої класифікації.

Моделі напівкерovanого навчання «semi-supervised learning», як от адаптивне навчання ознак на основі псевдоміток «APFL», ще більше покращують класифікацію шляхом створення псевдоміток та зменшення міжкласової дисперсії [49]. Коли моделі DL, зокрема побудовані на пакетних структурах, інтегруються в системи IoT-HSI «розумних міст», вони можуть ефективніше обробляти менші набори даних [19]. Завдяки інтеграції гіперспектральної візуалізації та IoT, технологія гіперспектральної візуалізації зможе краще ідентифікувати та класифікувати специфічні матеріали, наприклад, через застосування розділення спектральних сумішей «unmixing» для ідентифікації конкретного матеріалу, присутнього в середовищі «розумного

міста», наприклад, рослинності [50]. Ці передові методи, зокрема нелінійне розділення сумішей за допомогою мереж автокодувальників, знайшли застосування в «розумному» сільському господарстві, особливо при використанні дронів [19].

Системи IoT-HSI можуть відстежувати та отримувати дані в режимі реального часу від міської інфраструктури, як от дороги, залізничні колії та сонячні панелі, на випадок дефектів, щоб за необхідності запланувати сеанси технічного обслуговування. В «розумній» охороні здоров'я лікарні можуть отримати вигоду від технології IoT-HSI, оскільки вона надає можливість здійснювати моніторинг пацієнтів у режимі реального часу. Системи IoT-HSI допомагають контролювати зберігання зерна для забезпечення харчової безпеки та боротьби зі шкідниками [51]. Вони також виявляють залишки пестицидів в овочах та фруктах для дотримання правил безпеки [52]. ШІ та IoT можуть використовуватися разом із гіперспектральною візуалізацією для розпізнавання хвороб рослин у «розумному» сільському господарстві [53].

Системи IoT-HSI можуть допомогти фермерам приймати кращі рішення щодо зрошення, удобрення та боротьби зі шкідниками, підвищуючи врожайність та зменшуючи використання хімікатів [19]. Системи IoT-HSI можуть використовуватися для «розумного» виявлення підрбок, що необхідно для забезпечення автентичності продукції та захисту прав споживачів. Безпечне розпізнавання об'єктів у гіперспектральному дистанційному зондуванні за допомогою хмарних технологій [54] дає змогу пристроям із обмеженими ресурсами в «розумних містах» ефективно виконувати складні завдання [55]. Поєднання технологій IoT та гіперспектральної візуалізації забезпечує ефективний моніторинг у режимі реального часу, управління ресурсами та прийняття рішень в обширному спектрі сфер застосування. У міру збільшення масштабів IoT-мереж та підвищення доступності систем гіперспектральної візуалізації, такі типи систем розвиватимуться в напрямку «розумніших» та сталіших моделей міського розвитку.

2.4 Огляд інформаційно-технологічних платформ гіперспектральної візуалізації

Технології гіперспектральної візуалізації розгортаються на обширному наборі інформаційно-технологічних платформ, адаптованих до різноманітних наукових, промислових та екологічних потреб. Загалом ці платформи поділяються на чотири основні типи залежно від операційного середовища та масштабів розгортання: космічні, авіаційні, наземні, а також портативні або лабораторні системи [19]:

- Космічні платформи, зокрема гіперспектральні супутники, сприяють великомасштабним спостереженням земної поверхні. Спочатку розроблені для завдань моніторингу Землі, як от аналіз рослинності, картографування мінералів і дослідження клімату, вони також є цінними для дослідження планет, надаючи детальну спектральну інформацію про позаземні поверхні.

- Авіаційні платформи, що застосовують встановлені на літаках системи та БПЛА, пропонують високу просторову роздільну здатність та оперативну гнучкість. Такі платформи широко використовуються в «розумному» екологічному моніторингу, точному «розумному» землеробстві, інспекції «розумної» міської інфраструктури, археологічному картографуванні та «розумних» цифрових застосунках для реагування на катастрофи.

- Наземні станції складаються зі стаціонарних гіперспектральних інструментів, зазвичай встановлених на вежах, штативах або фіксованих платформах. Вони використовуються для довгострокового «розумного» екологічного спостереження, завдань калібрування/валідації та контрольованих експериментальних досліджень, де потрібні повторювані та високоточні спектральні вимірювання.

- Портативні та лабораторні прилади, зокрема ручні та настільні спектрометри, забезпечують високу спектральну та радіометричну роздільну здатність. Вони особливо підходять для характеристики матеріалів, аналізу якості харчових продуктів, «розумної» медичної діагностики, наприклад,

виявлення раку, та досліджень культурної спадщини, де критично важливою є точна спектральна точність на точковому рівні.

Разом цей різноманітний масив інформаційно-технологічних платформ дає можливість гіперспектральній візуалізації обслуговувати широкий спектр «розумних» застосувань – від наук про Землю та «розумного» сільського господарства до «розумної» медицини та «розумної» промисловості. У сукупності ці інформаційні системи забезпечують універсальну та масштабовану структуру, підтримуючи всебічний спектральний аналіз на різних просторових рівнях: від локалізованих вимірювань «in situ» до масштабних «розумних» застосувань дистанційного зондування.

2.5 Порівняння інформаційно-технологічних платформ гіперспектральної візуалізації

Інформаційно-технологічні платформи гіперспектральної візуалізації помітно відрізняються за просторовою роздільною здатністю, спектральною достовірністю, масштабом охоплення та оперативною гнучкістю. Космічні сенсори надають можливості здійснювати широке географічне охоплення та сприяють довгостроковому моніторингу, хоча й з помірною просторовою роздільною здатністю [19]. Авіаційні інформаційно-технологічні платформи забезпечують вищу просторову деталізацію з гнучкими можливостями зйомки, але з порівняно обмеженою просторовою протяжністю. Наземні системи дають змогу проводити безперервні або цілеспрямовані спостереження на фіксованих ділянках, що робить їх особливо цінними для калібрування, валідації та досліджень часових рядів. Портативні пристрої та лабораторні інструменти забезпечують найвищу спектральну якість і контроль, що більше підходить для аналізу на рівні зразків та характеристики матеріалів [19].

У Таблиці 2.1 подано порівняльний огляд роздільної здатності та зони покриття ключових атрибутів інформаційно-технологічних платформ спектральної візуалізації.

Таблиця 2.1 – Порівняльний огляд роздільної здатності та зони покриття інформаційно-технологічних платформ гіперспектральної візуалізації [19]

Атрибути	Інформаційно-технологічна платформа			
	Космічний (супутник)	Літак, БПЛА	Наземна (стаціонарна)	Портативна, лабораторна
Зображення платформи				
Спектральна роздільна здатність	Середня ~5-10 нм	Висока ~1-5 морських миль	Висока ~1-3 нм	Дуже висока ±1 нм
Просторова роздільна здатність	Низька ~30 м	Середня, ближче до високої ~1-5 м	Висока від см до м	Дуже висока мкм
Часова роздільна здатність	Низька від днів до тижнів	Помірна на вимогу	Висока безперервно	Керування в режимі реального часу
Зона покриття	Глобальна, безперервна	Регіональна, гнучка	Локальна, невелика площа	Точковий масштаб, лабораторний масштаб

Загалом космічні платформи забезпечують розширене, навіть глобальне охоплення знімання зображень, хоча і з відносно нижчою просторовою, спектральною та часовою роздільною здатністю та обмеженою оперативною гнучкістю. Отже, супутникова гіперспектральна візуалізація особливо підходить для великомасштабних завдань «розумного» моніторингу, але вона пов'язана зі значними проблемами, що стосуються передачі, зберігання, стиснення та обробки даних, враховуючи надзвичайно великі за обсягом набори та колекції генерованих даних [19]. У Таблиці 2.2 подано порівняльний огляд ключових атрибутів інформаційно-технологічних платформ спектральної візуалізації, що підкреслює їхні переваги в гіперспектральних «розумних» цифрових застосунках.

Таблиця 2.2 – Порівняльний огляд характеристик інформаційно-технологічних платформ гіперспектральної візуалізації [19]

Атрибути	Інформаційно-технологічна платформа			
	Космічний (супутник)	Літак, БПЛА	Наземна (стаціонарна)	Портативна, лабораторна
Операційна гнучкість	Низький	Помірний, наблизений до високого	Високий	Повністю керований
Режим візуалізації	Щітка, віброщітка	Рушійний, рамковий, лінійне сканування	Точковий з оптоволоконним зв'язком	Сканування або знімок
Типові давачі	EO-1, PRISMA, EnMAP, Gaofen-5	AVIRIS, HyMap, AISA	ASD FieldSpec, ImSpector	Resonon, Specim IQ, Headwall Nano
Обсяг даних	Дуже великий (стиснутий)	Великий (бортове сховище)	Помірний (можливий у режимі реального часу)	Малий (ефективний для лабораторії)
Використання	Глобальний моніторинг, «розумне» сільське господарство, «розумне» лісництво	Точне «розумне» землеробство, геологія, «розумне» реагування на стихійні лиха	«Розумний» екологічний моніторинг	Валідація, діагностика, лабораторний аналіз

Авіаційні інформаційно-технологічні платформи, зокрема літаки та БПЛА, є гнучкішими порівняно з космічними, забезпечуючи вищі показники роздільної здатності. Ця перевага дає змогу використовувати їх у сферах:

- точного «розумного» землеробства;
- «розумного» лісового господарства;
- «розумної» оцінки наслідків стихійних лих.

Наземні станції, як правило, створюють продукти з вищою роздільною здатністю, зокрема в часовій безперервності, що зазвичай використовується для локального «розумного» екологічного та природного моніторингу [19]. Лабораторні прилади забезпечують чудову спектральну достовірність і точні вимірювання в контрольованих умовах і широко використовуються в біомедичних дослідженнях, інспекції якості харчових продуктів і аналізі матеріалів, тоді як ручні або портативні системи гіперспектральної візуалізації, завдяки досягненням у мініатюрній оптиці та вбудованих обчисленнях, на даний час розгортаються в польових дослідженнях для фенотипування рослин, виявлення забруднень та діагностики «розумної» міської інфраструктури.

Для кращої ілюстрації практичних характеристик та потенційного застосування гіперспектральної візуалізації на різних платформах, репрезентативні набори даних з відкритим доступом подано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Ключові характеристики наборів та колекцій даних гіперспектральної візуалізації [19]

Платформа	Набір даних	Спектральні смуги	Просторова роздільна здатність	Типові застосування
1	2	3	4	5
Космічна	EnMAP PRISMA	242 (420-2450 нм) 239 (420-2450 нм)	30 м 30 м	Рослинність, «розумне» сільське господарство, «розумне» лісівництво Геологія, картографування корисних копалин
Повітряна	AVIRIS-NG NEON AOP	425 (380-2450 нм) 426 (380-2450 нм)	1-5 м ~1 м	Точне «розумне» землеробство, екологічне картографування Здоров'я лісів, дослідження біорізноманіття
Наземна станція	Бібліотека USGS ASD Бібліотека EcoSIS	~2151 (350-2500 нм) Змінна (350-2500 нм)	Точкова шкала	Калібрування супутників, моделювання рослинності Фенотипування рослин, аналіз ґрунту та води

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
Портативна, лабораторна	База даних SPECCHIO ASD FieldSpec Data	Variable (typ. ≈ 1000 bands) ~2151 (350-2500 nm)	Лабораторного масштабу	Біомедична діагностика, аналіз матеріалів Точна спектральна характеристика

Наприклад, космічні набори даних, зібрані за допомогою «Програми екологічного картографування та аналізу, EnMAP» або «PRecursore IperSpettrale della Missione Applicativa, PRISMA» пропонують помірну просторову роздільну здатність, що підходить для широкомасштабного «розумного» моніторингу, тоді як авіаційні набори даних, зібрані «AVIRIS Next Generation» або авіаційною платформою спостереження «NEON AOP», забезпечують високу просторову роздільну здатність для детального регіонального картографування [19].

2.6 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи проаналізовано технології давачів для гіперспектральної візуалізації. Розглянуто обробку та аналітичне опрацювання даних гіперспектральної візуалізації для потреб «розумних міст». Досліджена інтеграція гіперспектральної візуалізації та Інтернету речей. Подано огляд інформаційно-технологічних платформ гіперспектральної візуалізації. Проведено порівняння інформаційно-технологічних платформ гіперспектральної візуалізації.

РОЗДІЛ 3. ПРИКЛАДНИЙ АНАЛІЗ, АРХІТЕКТУРНІ РІШЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ІНФРАСТРУКТУРУ «РОЗУМНИХ МІСТ»

3.1 Практична інтеграція засобів гіперспектрального моніторингу в інформаційно-технологічні платформи муніципального управління

3.1.1 Гіперспектральний моніторинг повітря в інформаційно-технологічній інфраструктурі «розумних міст»

Гіперспектральна візуалізація може точно виявляти забруднювачі, фіксуючи спектральні дані на різних довжинах хвиль і точно моніторити забруднювачі повітря, сприяючи міському плануванню та сталому розвитку, як показано на рисунку 3.1.

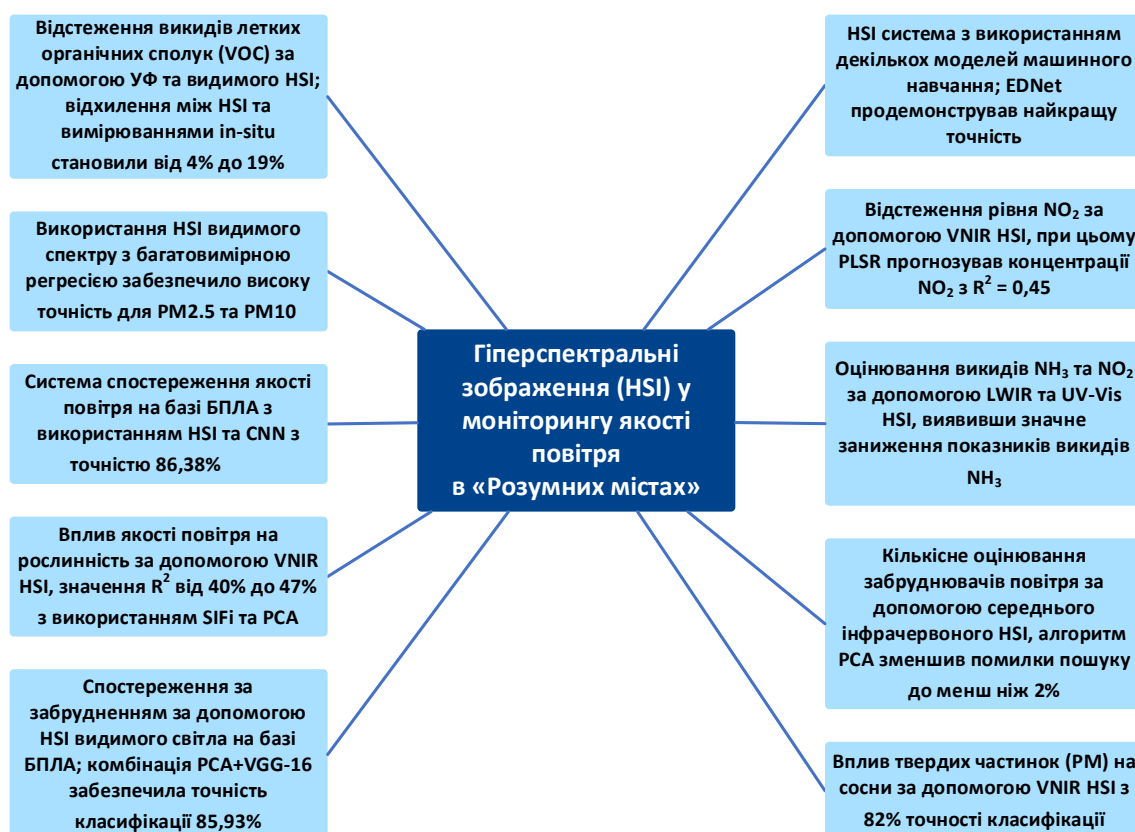


Рисунок 3.1 – Зведений огляд досліджень щодо використання гіперспектральної візуалізації для «розумного» спостереження якості повітря [2]

Критичні ризики для здоров'я населення від міських забруднювачів, зокрема, діоксиду азоту, твердих часток, аміаку, летких органічних сполук, зумовлюють необхідність інтеграції методів гіперспектральної візуалізації в муніципальні платформи для точного просторово-спектрального контролю середовища [56]. У видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах (550–680 нм) поєднання аналізу головних компонентів, дерев рішень та моделей часткових найменших квадратів забезпечує предикцію концентрацій діоксиду азоту із середньоквадратичною помилкою $14,22 \text{ мкг/м}^3$ [2]. Для промислових зон ефективним є використання ультрафіолетових та видимих сенсорів (300–560 нм) із моделями вітрового перенесення-дифузії, що фіксують вміст формальдегіду з похибкою 4–19%.

Оцінка викидів аміаку та інших домішок реалізується за допомогою довгохвильової інфрачервоної зйомки ($800\text{--}1350 \text{ см}^{-1}$) методами поперечного потоку й посилення маси [57], а також середнього інфрачервоного діапазону ($1850\text{--}6667 \text{ см}^{-1}$) на основі радіометричного моделювання, що знижує похибку аналізу нижче 2% [[v]]. Оперативний збір даних у режимі реального часу здійснюють знімальні комплекси безпілотних літальних апаратів (380–780 нм), де тривимірні згорткові нейронні мережі класифікують забруднювачі з точністю понад 85% [2]. Додатково стан міського середовища оцінюють опосередковано через деградацію рослинності за допомогою алгоритмів кластеризації за методом к-середніх та аналізу індукованої сонцем флуоресценції [58].

3.1.2 Гіперспектральний моніторинг водних ресурсів у цифрових платформах «розумних міст»

Глобальні екологічні ризики та висока смертність через незадовільний стан водних джерел зумовлюють необхідність розгортання автоматизованого моніторингу акваторій [2]. Інтеграція наземної гіперспектральної візуалізації (400–1000 нм) із нейронними мережами зворотного поширення помилки

забезпечує точність понад 80% при визначенні загального азоту та понад 90% – для хімічного споживання кисню й фосфору [59]. Використання гіперспектральної візуалізації для миттєвого моніторингу якості води в «розумних містах» надає цінні дані, які можуть допомогти забезпечити безпеку та сталість водних ресурсів, як показано на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Короткий зміст досліджень щодо використання гіперспектральної візуалізації для моніторингу якості води [2]

Поєднання авіазйомки з глибинними неймережами дає змогу прогнозувати оптично неактивні домішки з коефіцієнтом детермінації понад 0,6 [60], а залучення спектральних індексів, біооптичного моделювання та хмарних обчислень (350–2500 нм) оптимізує оцінку рівнів розчиненого кисню, фікоціаніну та хлорофілу-а [2].

Дистанційне наповнення муніципальних баз даних здійснюється через супутникові системи високої роздільної здатності, де інверсія моделей переносу випромінювання гарантує високу кореляцію ($R > 0,83$) при картографуванні

завислих речовин [61]. Для локального детектування забруднень міських водойм використовують камери на безпілотних літальних апаратах. Застосування регресії на основі градієнтного бустингу дерев рішень та випадкових лісів забезпечує точність інверсії даних із коефіцієнтом детермінації до 0,978 [2]. Ансамблеві моделі (зокрема категоріальний бустинг) за точністю перевершують традиційну регресію, досягаючи коефіцієнта детермінації 0,94 для завислих речовин та 0,96 – для хлорофілу-а [62].

Використані методи машинного навчання:

- регресія Adaboost (ABR);
- регресія catboost (CBR);
- градієнтне бустингове дерево регресії (GBRT);
- екстремальна градієнтна бустингова регресія (XGBR);
- випадковий ліс;
- екстремально рандомізовані дерева (ERT);
- MLPR;
- SVM;
- еластична сітка (EN).

Модернізація апаратного контуру через інтеграцію акустооптичних перестроюваних фільтрів на безпілотних носіях у поєднанні з алгоритмами оптимізації роєм часток за методом найменших квадратів та випадковими лісами знижує похибку прогнозування пігментів до 5,46% [2]. Було використано методи машинного навчання, зокрема:

- оптимізація роєм часток (PSO) – LSSVM на основі найменших квадратів;
- BPNN;
- випадковий ліс.

Підвищення стійкості інформаційних платформ досягається впровадженням гібридних байєсівських нейромереж, які забезпечують коефіцієнт детермінації понад 0,9 та знижують похибку визначення азоту до 4% [2]. Системи із самоадаптивним вибором кількості штучних нейромереж

гарантують відповідність моделей на рівні понад 0,98 [63]. Навіть при роздільній здатності 30 м алгоритми екстремального градієнтного бустингу, методів найближчих сусідів та регресії на опорні вектори дають можливість здійснювати автоматизований експрес-моніторинг розчиненого кисню, створюючи основу для превентивного менеджменту [2].

3.1.3 Гіперспектральна візуалізація в цифрових підсистемах рециклінгу та екологічного моніторингу «розумних міст»

Світовий банк прогнозує, що темпи утворення глобальних твердих побутових відходів (ТПВ) зростуть з двох мільярдів тонн на рік до понад трьох мільярдів тонн на рік до 2050 року [2]. Інтеграція оптико-цифрових комплексів в інформаційну інфраструктуру розумних міст забезпечує автоматизацію процесів сортування відходів та раціональне природокористування. Застосування аналізу головних компонентів та дискримінантного аналізу за методом часткових найменших квадратів у ближньому та короткохвильовому інфрачерговому діапазонах надає можливість ідентифікувати полімерні ламінати з чутливістю до 100% [64]. Сепарація будівельних відходів здійснюється за допомогою інфрачервоних систем та алгоритмів випадкового лісу й екстремального машинного навчання [65]. Контроль небезпечних домішок хлору в паливі з відходів реалізується муніципальними системами раннього попередження на основі моделей глибокого навчання з точністю 88,9% [2].

Кількість утворених відходів стрімко зростає, спричиняючи забруднення довкілля та ризики для здоров'я. «Розумним містам» необхідна гіперспектральна візуалізація для допомоги у сортуванні та переробці відходів, що робить гіперспектральну візуалізацію потужним інструментом для зменшення забруднення, збереження цінних ресурсів та розвитку економіки замкненого циклу, як показано на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Зведений огляд досліджень щодо використання гіперспектральної візуалізації в управлінні відходами [2].

Поєднання скануючої гіперспектральної візуалізації короткохвильового інфрачервоного діапазону (1000–2500 нм) з ієрархічним моделюванням забезпечує розпізнавання типів пластику з точністю понад 94% [66] та виявлення токсичного азбесту з показниками понад 90% [2]. Класифікація змішаних побутових відходів штучними нейромережами та методами опорних векторів досягає ефективності, близької до 100% [67], а комбінація інфрачервоного аналізу з рентгенівською флуоресценцією оптимізує ідентифікацію гіпсокартону на рівні понад 98% [68].

У міському агросекторі системи видимого та ближнього інфрачервоного діапазону (400–1000 нм) у поєднанні з методами опорних векторів забезпечують кількісну оцінку залишків їжі в добривах з коефіцієнтом детермінації 0,83 [2]. Навіть за умов невідомого потоку вторинних термопластів нейромережі прямого поширення гарантують точність сортування 89,5% [69]. Крім того, комплексування лазерно-індукованої флуоресценції та

гіперспектральних сенсорів дає змогу миттєво виявляти пластикове сміття у прибережних зонах міських акваторій за характерними спектральними сигналами [2].

3.1.4 Аналітичне опрацювання гіперспектральних даних у задачах моніторингу та планування «розумної» міської інфраструктури

Гіперспектральна візуалізація корисна для міського планування та управління в «розумних містах», оскільки вона може надавати вичерпні дані про різні території в різних діапазонах довжин хвиль, даючи можливість точно класифікувати міські матеріали, що є критично важливими для моніторингу міської інфраструктури, як показано на рисунку 3.4.

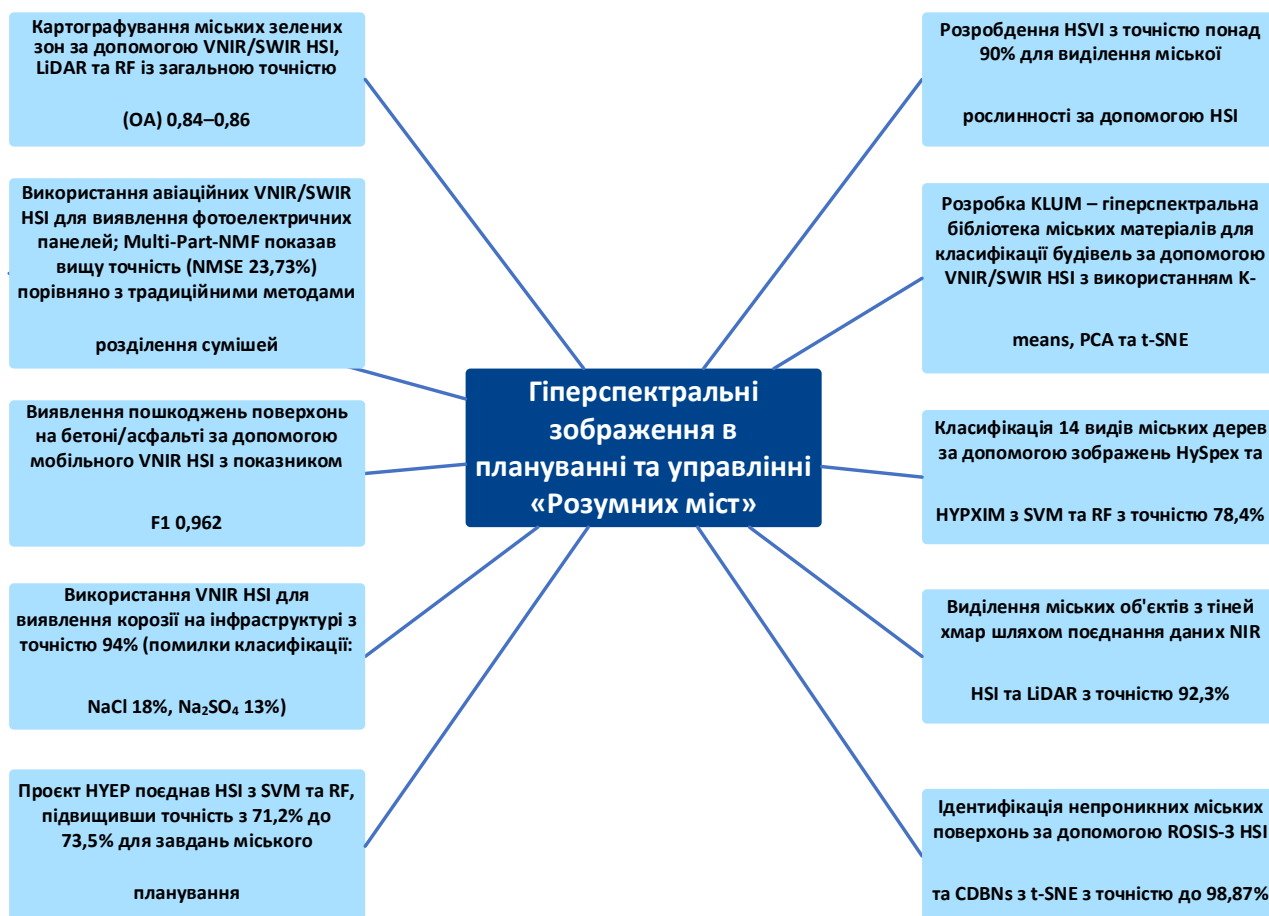


Рисунок 3.4 – Зведений огляд досліджень щодо використання гіперспектральної візуалізації у міському плануванні та управлінні [2]

Ефективна розбудова цифрових платформ «розумних міст» передбачає автоматизацію моніторингу об'єктів відновлюваної енергетики та паспортизації елементів штучного середовища. Інтеграція авіаційних просторово-спектральних даних видимого та інфрачервоного діапазонів (400–2500 нм) на основі алгоритмів розділення сумішей із частково лінійною невід'ємною матричною факторизацією дає можливість локалізувати фотоелектричні панелі з мінімальною нормованою середньоквадратичною помилкою до 23,73% та високим коефіцієнтом кореляції [2]. Для цифровізації урбанізованих територій критичне значення має формування спеціалізованих спектральних бібліотек міських будівельних матеріалів (покрівель, фасадів), що реалізується за допомогою методів кластеризації за середніми, аналізу головних компонентів і стохастичного вкладення сусідів із розподілом.

Опрацювання даних дистанційного зондування методом мінімальної шумової фракції разом із машинами опорних векторів забезпечує точність класифікації видового різноманіття міських порід дерев на рівні 78,4% [70].

З метою підвищення повноти геопросторових даних муніципальних платформ здійснюється комплексування різнорідних потоків інформації. Поєднання авіаційного лазерного сканування та оптико-спектрального знімання надає можливість надійно виділяти елементи міської інфраструктури з хмарних тіней, збільшуючи точність розпізнавання об'єктів до 92,30% [2]. Детектування штучних непроникних поверхонь у центральних районах міст досягає загальної точності 96–98% завдяки моделям видобування мультиознак на основі згорткових мереж глибокої довіри [71]. Своєю чергою, картографування функціональних типів міських зелених насаджень реалізується через комбінацію активного лазерного зондування, мультиспектральних знімків високої роздільної здатності та алгоритмів випадкового лісу [2]. Впровадження інноваційних вузькосмугових вегетаційних індексів гарантує точність виділення рослинних зон понад 90%, перевершуючи традиційні методи моніторингу екологічного стану міст [72].

Важливим контуром інформаційно-технологічних платформ управління «розумними містами» є технічний нагляд за безпекою та зносом інфраструктурних об'єктів. Мобільна гіперспектральна зйомка (450–950 нм) у поєднанні з багатокласовими машинами опорних векторів дає змогу автономно виявляти приховані дефекти та тріщини поверхонь бетону й асфальту з показником точності 0,962, що унеможливорює візуальну неоднозначність [73]. Використання інтелектуальних класифікаторів дає змогу не лише розпізнавати осередки корозії на металевих конструкціях із точністю 94%, а й ідентифікувати хімічні причини її виникнення [74]. Кінцева системна інтеграція наземних, авіаційних та космічних спектральних даних у межах комплексних проєктів екологічного планування через алгоритми злиття даних та ансамблеві методи машинного навчання підвищує результуючу точність аналізу міського середовища, створюючи надійну основу для проактивного муніципального менеджменту [2].

3.1.5 Гіперспектральна візуалізація в інтелектуальних транспортних підсистемах «розумних міст»

Розширення урбанізованих територій зумовлює необхідність інтеграції методів гіперспектральної візуалізації в інформаційно-технологічні платформи «розумного» транспорту [2]. Застосування керованого навчання, модифікованого методу найближчого сусіда та ядерної оцінки щільності дає можливість мобільним роботам точно розпізнавати типи підстильних поверхонь та оптимізувати маршрути за складних умов [75].

Сенсорика безпілотної техніки суттєво покращується за рахунок використання інфрачервоного однофотонного лазерного локатора (920–1620 нм), а збільшення кількості спектральних каналів до 30 разом із моделями випадкового лісу підвищує точність класифікації засніженого та сухого покриття з 50% до 94% [76].

Гіперспектральна візуалізація здатна вдосконалити роботу транспорту в «розумних містах». Завдяки збору детальної інформації в широкому діапазоні довжин хвиль, гіперспектральна візуалізація використовується в усіх аспектах – від допомоги в навігації самокерованим автомобілям до оцінки стану доріг та виявлення об'єктів – роблячи міста безпечнішими та ефективнішими, як показано на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Дослідження застосування гіперспектральної візуалізації в «розумному» транспорті [2]

Паспортизація ж дорожньої мережі у видимому й інфрачервоному спектрах (400–900 нм) реалізується через поєднання штучних нейронних мереж, автокодувальників та алгоритму спектрального кутового мапера [77]. Для автоматизованого експлуатаційного контролю в діапазоні 450–550 нм застосовують цифрові індекси тріщин асфальту, які підвищують точність виявлення дефектів покриття на 21,37% за критерієм збалансованої оцінки [2]. Оперативний моніторинг і детектування автомобілів у режимі реального часу забезпечують полегшені семплери каналів на базі згорткових нейромереж, навчених за допомогою самокерованих змагальних методів [78]. З метою мінімізації часових затримок та енергоспоживання бортових систем

автономного водіння (535–975 нм) сегментацію зображень повністю згортковими мережами переносять безпосередньо на рівень програмованих логічних інтегральних схем та систем на кристалі [2].

3.1.6 Опрацювання гіперспектральних даних у задачах моніторингу та оптимізації «розумної» міської енергетичної інфраструктури

Гіперспектральна візуалізація може допомогти в обслуговуванні та супроводі інфраструктури для сонячної та вітрової енергетики, підтримуючи інтеграцію відновлюваної енергії в міських районах, як показано на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 – Короткий перелік досліджень щодо використання гіперспектральної візуалізації в «розумній» енергетиці [2]

Перехід до відновлюваних джерел енергії та стрімке зростання обсягів сонячної і вітрової генерації зумовлюють необхідність інтеграції інтелектуальних оптико-цифрових методів у контур управління міським середовищем [79]. Автономне опрацювання гіперспектральних масивів раманівської спектроскопії літій-іонних акумуляторів на основі поєднання

аналізу головних компонентів, невід'ємної матричної факторизації та нейромережових класифікаторів забезпечує точність понад 94% при ідентифікації хімічних компонентів електродів у режимі реального часу [80]. Інтеграція вузькосмугових спектральних індексів видимого та інфрачервоного діапазонів (400–2505 нм) надає можливість успішно картографувати міські фотоелектричні електростанції за даними авіакосмічного зондування [2].

Оптимізація продуктивності генерації реалізується також методами фотолюмінесцентної гіперспектральної візуалізації, яка забезпечує неінвазивне розрізнення критичних електричних параметрів перовськітних елементів [81]. Для швидкої експрес-діагностики деградації монокремнієвих сонячних комірок застосовують алгоритми некерованої кластеризації за методом к-середніх у видимому спектрі [2]. У секторі вітроенергетики високоточні знімальні системи (340–1700 нм) здатні реєструвати початкові фази зледеніння лопатей турбін товщиною від 0,1 мм [82], а багатокритеріальна класифікація й алгоритми аналізу чистих сигналів забезпечують виявлення структурних дефектів та мікротріщин лопатей зі стовідсотковою точністю [83].

3.2 Розширення функціональності інформаційно-технологічних платформ «розумних міст» засобами гіперспектральної візуалізації

Впровадження методів гіперспектральної візуалізації в інформаційно-технологічні платформи «розумних міст» дає змогу суттєво розширити аналітичний контур муніципальних систем, охоплюючи критично важливі сфери соціального забезпечення, екологічного моніторингу та безпеки. У секторі охорони здоров'я інтеграція просторово-спектральних даних короткохвильового інфрачервоного діапазону (900–2500 нм) з багатошаровими персептронами та машинами опорних векторів забезпечує неінвазивне визначення метаболітів для моніторингу хронічних станів у режимі реального часу [2]. Гіперспектральна візуалізація робить внесок у розвиток «розумних

міст» в інших сферах, як от інтелектуальна охорона здоров'я, «розумне» сільське господарство та виявлення підробок, як показано на рисунку 3.7.

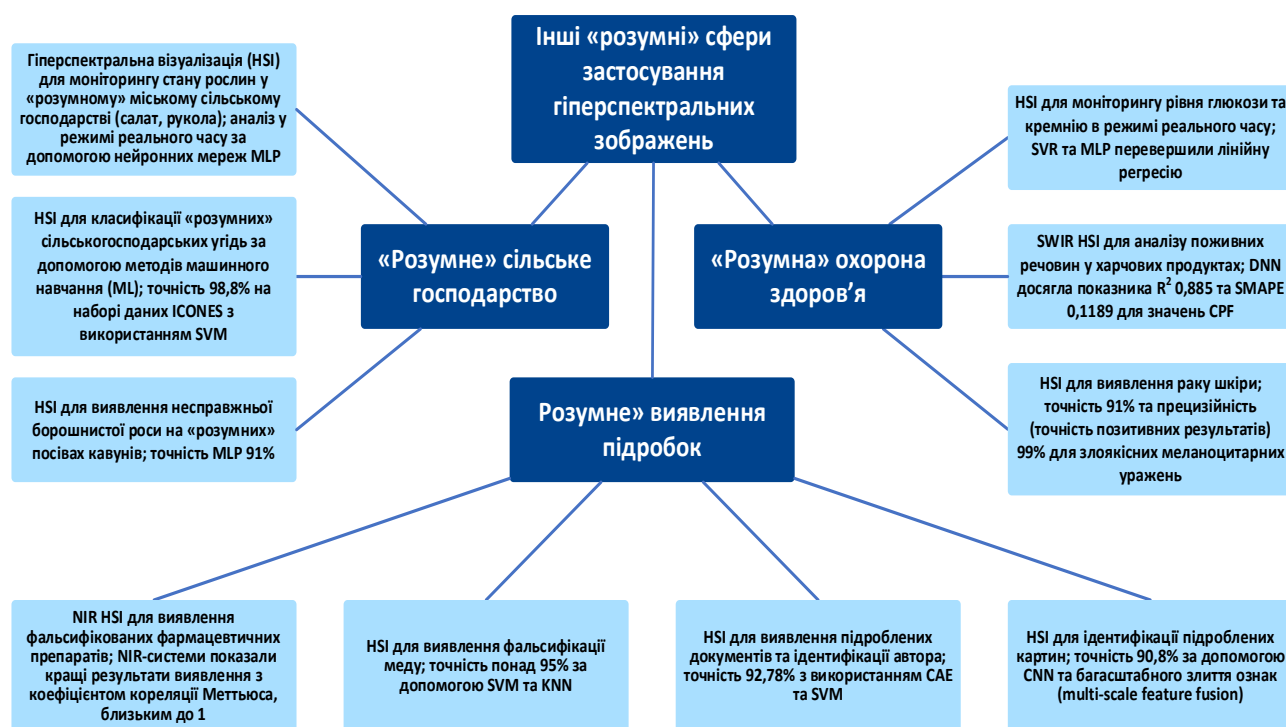


Рисунок 3.7 – Зведений огляд досліджень щодо використання гіперспектральної візуалізації в інших галузях [2]

Своєю чергою, застосування глибинних нейронних мереж до аналізу даних інфрачервоного спектра (887–1722 нм) дає можливість з високою точністю оцінювати поживний склад харчових продуктів з середнім коефіцієнтом детермінації 0,885 [84]. Для підвищення ефективності ранньої медичної діагностики в муніципальних закладах охорони здоров'я використовують оптико-спектральні системи (450–950 нм) на основі архітектури трансформерів візуального розпізнавання, що гарантує точність 91% та прецизійність 99% при детектуванні злоякісних меланоцитарних уражень [2].

3.3 Інтелектуальні методи та периферійні обчислення в опрацюванні муніципальних гіперспектральних даних

Нові тенденції гіперспектральної візуалізації для «розумних міст» – це інтеграція передових технологій, як от:

- ШІ;
- ML;
- хмарні обчислення;
- периферійні обчислення (edge computing);
- IoT.

Вони забезпечують ефективніше аналітичне опрацювання даних і кращі рішення в режимі реального часу. ШІ та ML можуть використовуватися для обробки великих за обсягом складних наборів та колекцій даних, що генеруються гіперспектральними сенсорами [2]. Оскільки міста розширюються і для управління різноманітними потоками даних потрібні складніші інструменти, то моделі ШІ та ML є необхідними для автоматизації аналітичного опрацювання гіперспектральних даних та прогнозування екологічних змін, оптимізації міського планування та вдосконалення заходів громадської безпеки. ML та DL все частіше використовуються в застосунках гіперспектральної візуалізації, наприклад, у медичній діагностиці [85]. Хмарні обчислення необхідні для зберігання та обробки великих за обсягом наборів та колекцій даних, вироблених системами гіперспектральної візуалізації, забезпечуючи доступ до даних у режимі реального часу та уможливаючи розгортання масштабних моделей ШІ [2].

Системи IoT-HSI використовують зростаючий тренд завдяки їхньому використанню в екологічному моніторингу в режимі реального часу. IoT-пристрої із гіперспектральними сенсорами збирають безперервні дані про фактори, що надають містам можливість вносити швидкі корективи [86]. Інтеграція IoT може допомогти покращити інтелектуальний транспорт, діагностику захворювань та енергоефективність [87]. На рисунку 3.8 зображено

інтелектуальні методи та периферійні обчислення в опрацюванні муніципальних гіперспектральних даних.

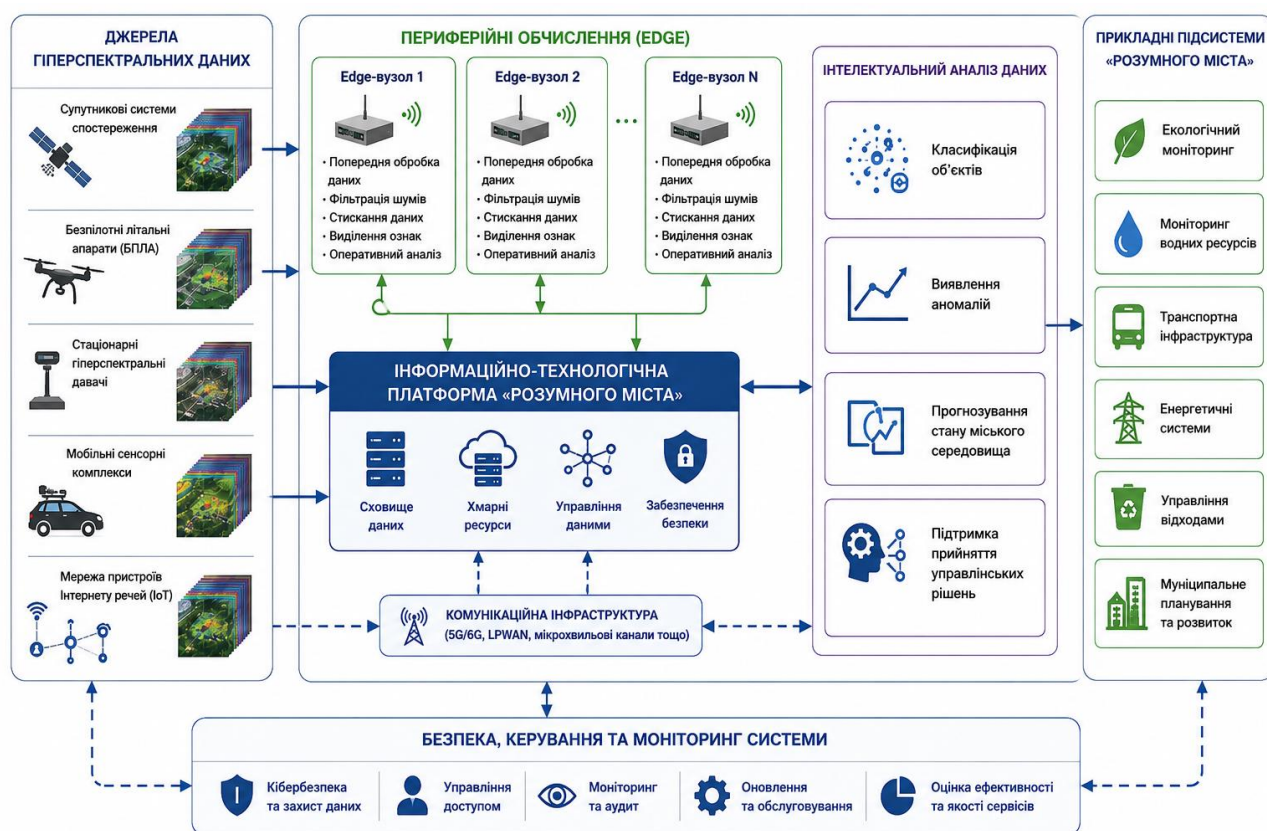


Рисунок 3.8 – Інтелектуальні методи та периферійні обчислення в опрацюванні муніципальних гіперспектральних даних

Технології дистанційного зондування, наприклад, дрони та супутники, все частіше використовуються з гіперспектральною візуалізацією для оцінки міських ландшафтів та стану міської інфраструктури. Моделі DL широко використовуються в обробці високодеталізованих даних дистанційного зондування гіперспектральної візуалізації та вирішенні міських проблем, як от забруднення [2]. Периферійні обчислення – це децентралізований підхід, який дасть змогу обробляти гіперспектральні дані локально, забезпечуючи коригування в режимі реального часу для зменшення затримок та гарантуючи, що основні служби, як от громадська безпека та транспорт, можуть працювати автономно без жодних затримок. Ці нові тенденції сприяють створенню

ефективнішого та сталішого «розумного міста». Хоча на даний момент часу гіперспектральна візуалізація використовується в традиційніших сферах, вона починає з'являтися в галузях:

- наноматеріали;
- мікроматеріали;
- біовізуалізація;
- біосенсорика.

Її цінність полягає в здатності виявляти специфічні для навколишнього середовища оптичні властивості, покращуючи інтерпретацію взаємозв'язків структура-властивість та нано-біо взаємодій. Висока спектральна роздільна здатність гіперспектральної візуалізації також підтримує оптичне мультиплексування, що є важливим для високопродуктивної біологічної візуалізації [88].

ML та DL значно вдосконалили застосування HSI гіперспектральної візуалізації, розширивши можливості класифікації, видобування ознак та виявлення аномалій у контексті «розумних міст». Традиційні методи ML, зокрема SVM та k-NN, широко застосовуються для категоризації гіперспектральних даних завдяки їхній здатності керувати багатовимірними спектральними даними за дефіциту маркованих зразків. Менше з тим, вони часто стикаються з труднощами при вилученні ознак та масштабуванні під час роботи з великими за обсягом наборами та колекціями даних [2]. Навпаки, методи DL, наприклад, CNN, трансформували аналітичне опрацювання гіперспектральної візуалізації на основі автономного засвоєння просторових і спектральних характеристик, що призвело до підвищення точності та кращої узагальнювальної здатності. Впродовж останнього періоду часу досліджуються генеративно-змагальні мережі (GAN) для доповнення спектральних даних, що вирішує проблеми обмеженості маркованих наборів даних, тоді як архітектури на основі трансформерів забезпечують покращене контекстне навчання, сприяючи вищій продуктивності у складних міських умовах [2]. Попри свої переваги, моделі DL потребують значних обчислювальних ресурсів і великих за

обсягом навчальних наборів даних, що не завжди практично для застосунків «розумного міста» в режимі реального часу. Майбутні дослідження мають зосередитися на вдосконаленні алгоритмів ШІ для досягнення балансу між точністю та ефективністю обчислень, що сприятиме ширшому впровадженню гіперспектральної візуалізації на основі ШІ в міські системи.

Поєднання гіперспектральної візуалізації з периферійними обчисленнями та IoT відкриває значні можливості для застосунків «розумного міста» в режимі реального часу, наприклад, моніторинг забруднення, контроль трафіку та оцінку міської інфраструктури [89]. Проте обчислювальні вимоги гіперспектральної візуалізації створюють значні перешкоди для обробки в режимі реального часу в середовищах периферійних обчислень та IoT. На відміну від традиційної візуалізації, дані гіперспектральної візуалізації охоплюють сотні спектральних каналів на піксель, що призводить до збільшення витрат на зберігання, передачу та обробку[2]. Традиційні хмарні моделі обробки можуть спричиняти затримки, що робить їх невідповідними для чутливих до часу застосунків. Дослідники створюють полегшені моделі DL, орієнтовані на периферійне розгортання, зокрема архітектура відсікання-прунінгу CNN та підходи дистиляції знань, які зменшують складність моделі при збереженні точності. Крім того, прогрес у нейроморфних обчисленнях та акселераторах на базі FPGA сприяє енергоефективнішій обробці гіперспектральних даних безпосередньо на периферійних пристроях. Використовуючи обчислення на кристалі за допомогою ШІ, системи «розумного» міського моніторингу можуть виконувати виявлення аномалій у режимі реального часу та прогнозу аналітику незалежно від централізованих серверів [2]. Майбутні зусилля повинні зосередитися на покращенні спільної оптимізації апаратного та програмного забезпечення для забезпечення прискорених і масштабованіших застосунків гіперспектральної візуалізації в «розумних містах».

Хоча гіперспектральна візуалізація на базі ШІ пропонує трансформаційний потенціал для міського планування, моніторингу довкілля та

безпеки, її впровадження ставить значні етичні та політичні виклики. Ключовою проблемою є конфіденційність даних, оскільки гіперспектральні сенсори можуть отримувати детальні спектральні сигнатури матеріалів, людської діяльності та міського середовища [2], що потенційно може призвести до ненавмисного спостереження та порушення приватності. Водночас алгоритмічна упередженість в аналітичному опрацюванні гіперспектральної візуалізації на основі ШІ може негативно вплинути на малозабезпечені спільноти, якщо не керувати цим ретельно, особливо в сферах:

- моніторингу здоров'я;
- оцінки забруднення;
- планування міської інфраструктури.

Необхідно розробити регуляторні структури для гарантування прозорого прийняття рішень ШІ, анонімізації даних та етичного управління ШІ при інтеграції гіперспектральної візуалізації в інформаційно-технологічну інфраструктуру «розумних міст». Крім того, екологічна політика має спрямовувати розважливе впровадження авіаційних та космічних сенсорів гіперспектральної візуалізації для мінімізації екологічних порушень при одночасному підвищенні їхньої ефективності для ініціатив сталого розвитку. Залучення політиків, інженерів та міських планувальників до міждисциплінарних діалогів буде важливим для створення застосунків гіперспектральної візуалізації на основі ШІ, які акцентують на інноваціях та етичній відповідальності [2].

3.4 Проблеми та перспективи інтеграції гіперспектральних технологій в інформаційні платформи «розумних міст»

Розгортання систем гіперспектральної візуалізації в межах міських IoT-мереж та штучного інтелекту стримується високою розмірністю масивів даних, що потребує значних обчислювальних ресурсів і місткої пам'яті [2]. Для зниження розмірності застосовують аналіз головних компонентів, а для

мінімізації шумів – мінімальну частку шуму [90]. Інтеграція технології у звичайні муніципальні платформи ускладнена через проблеми взаємосумісності програмного забезпечення та малу тривалість роботи батарей безпілотних літальних апаратів [91]. Метеорологічні фактори (хмарність, туман), тіні й мінливе освітлення знижують спектральну роздільну здатність, а просторові обмеження сенсорів призводять до появи змішаних пікселів. Цю проблему вирішують субпіксельним картографуванням за допомогою глибинних мереж із модуляцією семантичної інформації, що надає можливість створювати високоточні карти міського землекористування на основі знімків низької роздільної здатності [2].

Майбутній розвиток технології орієнтований на створення портативних, мініатюрних та недорогих пристроїв для гнучкого екологічного моніторингу [92]. Удосконалення мікропроцесорів та спеціалізованих ядер машинного навчання прискорить опрацювання даних безпосередньо на борту мобільних платформ [2], а залучення методів навчання з перенесенням знань та графових згорткових мереж оптимізує аналіз багатовимірних структур [93].

Стосовно апаратного забезпечення, традиційні скануючі сенсори мають високе співвідношення сигналу до шуму, але потребують механічного сканування. Найсучасніші сенсори забезпечують бортову обробку в режимі реального часу, зменшуючи залежність від зовнішніх обчислювальних ресурсів і покращуючи їх використання в «розумних містах», наприклад:

- моніторинг забруднення в режимі реального часу;
- контроль трафіку;
- оцінка міської інфраструктури.

Натомість сенсори миттєвої зйомки фіксують середовище за одну експозицію і є оптимальними для безпілотників, а сенсори на основі метаматеріалів забезпечують високу точність при значному зменшенні габаритів. Портативні пристрої миттєвої зйомки є значно економнішими за дорогі супутникові системи, що дає змогу впроваджувати їх для контролю трафіку та оцінки інфраструктури в режимі реального часу. Порівняно з

мультиспектральним зніманням, гіперспектральне забезпечує сотні безперервних каналів для детальної ідентифікації матеріалів. У зіставленні з лазерними локаторами, які є лідерами у тривимірному структурному моделюванні, гіперспектральні камери надають кращу спектральну глибину, а їх мультимодальне злиття дає можливість створювати високоефективні та сталі міські системи.

3.5 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи досліджено практичну інтеграцію засобів гіперспектрального моніторингу в інформаційно-технологічні платформи муніципального управління. Проаналізовано розширення функціональності інформаційно-технологічних платформ «розумних міст» засобами гіперспектральної візуалізації. Досліджено інтелектуальні методи та периферійні обчислення в опрацюванні муніципальних гіперспектральних даних. Проаналізовано проблеми та перспективи інтеграції гіперспектральних технологій в інформаційні платформи «розумних міст».

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Організаційно-правові засади проведення евакуаційних заходів цивільного захисту «розумних міст»

Впровадження автоматизованих муніципальних систем, орієнтованих на моніторинг екологічного стану середовища та контроль критичної інфраструктури, потребує створення надійних алгоритмів реагування на надзвичайні ситуації. Попри оптимізацію ресурсів, цифрові інфраструктурні комплекси не здатні повністю нівелювати загрози масштабних аварій, транскордонного забруднення джерел життєзабезпечення, руйнувань унаслідок стихійних лих або навмисних пошкоджень. Виникнення подібних чинників, що роблять міське середовище непридатним для безпечного перебування, актуалізує завдання оперативного планування та координації дій під час переміщення населення у безпечні райони.

Роль просторово-спектрального моніторингу в системі евакуаційного планування. Сучасні методи аналізу даних, зокрема безперервна ідентифікація аномалій екологічних показників, виявлення витоків або різких коливань параметрів мереж, виступають важливими предикативними індикаторами техногенних катастроф. Інтеграція технологій дистанційного та контактного зондування у загальну структуру цивільного захисту дає змогу:

- оперативно оцінювати межі та динаміку поширення небезпечних речовин чи затоплень;
- формувати точні інформаційні масиви для розрахунку безпечних евакуаційних маршрутів;
- визначати оптимальні зони для тимчасового розміщення громадян з урахуванням мінімізації вторинних ризиків.

Завдяки цьому інженерні інструменти збору просторово-спектральних даних трансформуються у функціональний елемент муніципальної системи безпеки, що підвищує загальну стійкість міської екосистеми.

Нормативно-правове регулювання та класифікація евакуаційних заходів. Організація вивезення та виведення населення з небезпечних зон в Україні чітко регламентується відповідним Порядком, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 30 жовтня 2013 року № 841. Цей документ визначає етапи евакуації громадян, а також порядок переміщення матеріальних і культурних цінностей у разі виникнення прямої загрози їхнього знищення чи пошкодження. Залежно від масштабів, термінів та специфіки надзвичайної ситуації, заходи цивільного захисту поділяють на подані в таблиці 4.1 категорії.

Таблиця 4.1 – Категорії заходів цивільного захисту

Тип заходів	Умови та особливості реалізації
Загальна евакуація	Проводиться у разі виникнення радіоактивного або хімічного забруднення, масштабних затоплень території чи загрози руйнування гідротехнічних споруд (якщо розрахунковий час доходу хвилі прориву становить менше чотирьох годин).
Часткова евакуація	Організовується за рішенням місцевих органів виконавчої влади для окремих категорій населення або конкретних міських районів.

Механізми управління та забезпечення евакуації. Прийняття рішень щодо проведення евакуації здійснюється за вертикальним принципом на державному (Кабінет Міністрів України), регіональному (обласні державні адміністрації) та місцевому рівнях. У невідкладних випадках, за умов стрімкого розвитку загрози, першочергові розпорядження має право видавати керівник аварійно-рятувальної служби, який першим прибув на місце події.

Для забезпечення мобільності залучають транспортні засоби адміністративної території, суб'єктів господарювання всіх форм власності, а за необхідності – приватний транспорт громадян. Фінансування видатків на

пально-мастильні та інші витратні матеріали здійснюється за рахунок коштів відповідного бюджету [94].

Переміщення матеріальних та культурних надбань виконується за наявності достатнього часового ресурсу, тривалість якого визначається за результатами постійного прогнозування, моніторингу та лабораторного контролю. Цей процес підпорядковується спеціальній методиці, затвердженій Міністерством оборони України [95].

Ефективність ліквідації наслідків кризових ситуацій безпосередньо залежить від координації між аналітичним потенціалом інформаційних платформ міста та практичною реалізацією планів цивільного захисту. Технологічні інновації досягають своєї мети лише у поєднанні з системним навчанням населення, чітким відпрацюванням евакуаційних маршрутів та злагодженою взаємодією аварійних і муніципальних служб, що є основою довгострокової стабільності суспільства.

4.2 Особливості пожежної безпеки під час ліквідації займань в електроустановках міських інформаційних мереж

Дослідження присвячене гіперспектральній візуалізації для інформаційно-технологічних платформ «розумних міст», що відбувається з використанням розподілених мереж обміну даними, які функціонують у межах муніципальних платформ та інтегрують значні масиви сенсорного обладнання. Розгортання розгалуженої периферійної апаратури, пристроїв збору просторово-спектральних даних та вузлів збереження інформації суттєво підвищує техногенне навантаження на міську інфраструктуру.

Електронні компоненти, комунікаційні модулі, сервери та контролери є потенційними джерелами загоряння внаслідок струмових перевантажень, коротких замикань або технічних несправностей. Захист цих складних технічних комплексів потребує суворого дотримання нормативних регламентів

пожежної безпеки, оскільки помилки під час аварійних робіт загрожують життю персоналу та повним руйнуванням цифрової інфраструктури.

Регламент застосування засобів пожежогасіння та безпечні відстані. У разі виникнення пожежі в електронних та електричних вузлах пріоритетним кроком є повне припинення подачі живлення з подальшим використанням вуглекислотних вогнегасучих засобів.

Застосування води (як суцільних, так і розпилених струменів) без попереднього вимкнення струму обмежене лише відкритими майданчиками з робочою напругою до 10 кВ [96]. У таких випадках обов'язково заземлюють пожежні стволи, а персонал забезпечують діелектричним захисним одягом (рукавичками та взуттям). При використанні водяних струменів критично важливо витримувати такі просторові інтервали до струмопровідних ліній:

- не менше 4 метрів – для електричних мереж із напругою до 1000 В;
- не менше 8 метрів – для ліній та обладнання з напругою від 6 до 10 кВ.

У таблиці 4.2 подано мінімальні безпечні радіуси наближення рятувальників до елементів, що залишаються під робочою напругою, для запобігання виникненню електричної дуги:

Таблиця 4.2 – Мінімальні безпечні радіуси наближення рятувальників до елементів, що залишаються під робочою напругою

Робоча напруга на об'єкті	Мінімальна допустима відстань до струмоведучих частин
6–10 кВ	0,7 м
35 кВ	1,0 м
110 кВ	1,5 м

Важливе застереження: Залучення сильно забрудненої або морської води категорично заборонено через її високу електропровідність. З цієї ж причини ручні вогнегасники пінного типу не допускаються до використання на об'єктах під напругою до 10 кВ [97]. Повітряно-механічну піну дозволено застосовувати лише як виняток для об'єктів під напругою до 10 кВ за умови обов'язкового

попереднього заземлення піногенераторів та насосних систем пожежних автомобілів.

Взаємодія технічного персоналу та аварійно-рятувальних підрозділів. До початку активних дій із ліквідації вогню особовий склад рятувальних бригад повинен пройти цільовий інструктаж у відповідальних осіб енергетичної служби об'єкта (головного енергетика чи чергового інженера) та отримати офіційний допуск до робіт, враховуючи можливі ризики повторних замикань [97]. Усі маневри пожежних підрозділів узгоджуються з інженерною службою, яка консультує керівника операції щодо специфіки розміщення кабельних ліній, загрози займання суміжної апаратури та алгоритмів безпечного переміщення засобів гасіння. Рятувальникам суворо заборонено перетинати захисні бар'єри та огороження зон під напругою. До моменту отримання офіційного підтвердження про повне знеструмлення від оперативного персоналу, всі елементи інфраструктури вважаються такими, що перебувають під робочою напругою [97].

Спеціальна підготовка фахівців, комплектація серверних та апаратних кімнат належними типами вогнегасників (вуглекислотними, аерозольними чи порошковими) та точне дотримання просторових інтервалів є базовими елементами цивільного захисту. Впровадження цих заходів у практику обслуговування розподілених муніципальних інформаційних мереж мінімізує матеріальні втрати, попереджає ураження струмом і гарантує загальну стійкість «розумної» міської інфраструктури.

4.3 Висновок до четвертого розділу

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи описано організаційно-правові засади проведення евакуаційних заходів цивільного захисту «розумних міст». Розглянуто особливості пожежної безпеки під час ліквідації займань в електроустановках міських інформаційних мереж.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження підтвердило, що інтеграція гіперспектральної візуалізації в інформаційно-технологічні платформи «розумних міст» забезпечує підвищення ефективності моніторингу міського середовища, розширює можливості аналітичного опрацювання даних та сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень у сфері сталого розвитку міської інфраструктури.

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр»:

- Обґрунтовано актуальність застосування гіперспектральної візуалізації для «розумних міст».

- Подано означення та принципи гіперспектральної візуалізації.

- Розглянуто конвеєр даних інформаційних систем гіперспектральної візуалізації.

- Проаналізовано геометрію зображень гіперспектральної візуалізації.

- Описано процеси збору та калібрування гіперспектральних даних.

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- Проаналізовано технології давачів для гіперспектральної візуалізації.

- Розглянуто обробку та аналітичне опрацювання даних гіперспектральної візуалізації для потреб «розумних міст».

- Досліджена інтеграція гіперспектральної візуалізації та Інтернету речей.

- Подано огляд інформаційно-технологічних платформ гіперспектральної візуалізації.

- Проведено порівняння інформаційно-технологічних платформ гіперспектральної візуалізації.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

- Досліджено практичну інтеграцію засобів гіперспектрального моніторингу в інформаційно-технологічні платформи муніципального управління.

– Проаналізовано розширення функціональності інформаційно-технологічних платформ «розумних міст» засобами гіперспектральної візуалізації.

– Досліджено інтелектуальні методи та периферійні обчислення в опрацюванні муніципальних гіперспектральних даних.

– Проаналізовано проблеми та перспективи інтеграції гіперспектральних технологій в інформаційні платформи «розумних міст».

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» описано організаційно-правові засади проведення евакуаційних заходів цивільного захисту «розумних міст». Розглянуто особливості пожежної безпеки під час ліквідації займань в електроустановках міських інформаційних мереж.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1 Скалецький П., Ставицька А., Дуда В., Інноваційні інформаційні технології «розумних» міст. Матеріали VI Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 27-28 квітня 2023 р.), 2023.-С.176. https://tntu.edu.ua/storage/pages/00000941/Zbirnyk_2023.pdf.

2 Mukundan, Arvind, et al. "Advancing urban development: applications of hyperspectral imaging in smart City innovations and sustainable solutions." *Smart Cities* 8.2 (2025): 51.

3 Гарматюк Н., Лісовий Н., Дуда В. Роль інноваційних інформаційних технологій при формуванні «розумних» міст. Матеріали VI Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 27-28 квітня 2023 р.), 2023.-С.131. https://tntu.edu.ua/storage/pages/00000941/Zbirnyk_2023.pdf.

4 Vaskiv R. I., Hrybovskyi O. M., Kunanets N. E., Duda O. M. Information system of street lighting control in smart city // *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2024. No. 3(70). P. 212–223. DOI: 10.15588/1607-3274-2024-3-18.

5 Minopoulos, G.M.; Memos, V.A.; Stergiou, C.L.; Stergiou, K.D.; Plageras, A.P.; Koidou, M.P.; Psannis, K.E. Exploitation of emerging technologies and advanced networks for a smart healthcare system. *Appl. Sci.* 2022, 12, 5859.

6 Van Fan, Y.; Lee, C.T.; Lim, J.S.; Klemeš, J.J.; Le, P.T.K. Cross-disciplinary approaches towards smart, resilient and sustainable circular economy. *J. Clean. Prod.* 2019, 232, 1482–1491.

7 Zhovnir Y., Kunanets N., Burov Y., Duda O., Pasichnyk V. Situation-aware security systems design // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 1/9(133). P. 6–23. DOI: 10.15587/1729-4061.2025.315248.

- 8 Halicek, M.; Fabelo, H.; Ortega, S.; Callico, G.M.; Fei, B. In-vivo and ex-vivo tissue analysis through hyperspectral imaging techniques: Revealing the invisible features of cancer. *Cancers* 2019, 11, 756.
- 9 Xu, H.; Ren, J.; Lin, J.; Mao, S.; Xu, Z.; Chen, Z.; Zhao, J.; Wu, Y.; Xu, N.; Wang, P. The impact of high-quality data on the assessment results of visible/near-infrared hyperspectral imaging and development direction in the food fields: A review. *J. Food Meas. Charact.* 2023, 17, 2988–3004.
- 10 Yoon, J. Hyperspectral imaging for clinical applications. *BioChip J.* 2022, 16, 1–12.
- 11 Zhang, Y.; Wu, X.; He, L.; Meng, C.; Du, S.; Bao, J.; Zheng, Y. Applications of hyperspectral imaging in the detection and diagnosis of solid tumors. *Transl. Cancer Res.* 2020, 9, 1265.
- 12 Fei, B. Hyperspectral imaging in medical applications. *Data Handl. Sci. Technol.* 2019, 32, 523–565.
- 13 Aviara, N.A.; Liberty, J.T.; Olatunbosun, O.S.; Shoyombo, H.A.; Oyeniya, S.K. Potential application of hyperspectral imaging in food grain quality inspection, evaluation and control during bulk storage. *J. Agric. Food Res.* 2022, 8, 100288.
- 14 Hu, X.; Xie, C.; Fan, Z.; Duan, Q.; Zhang, D.; Jiang, L.; Wei, X.; Hong, D.; Li, G.; Zeng, X.; et al. Hyperspectral anomaly detection using deep learning: A review. *Remote Sens.* 2022, 14, 1973.
- 15 Stuart, M.B.; Davies, M.; Hobbs, M.J.; Perring, T.D.; McGonigle, A.J.S.; Willmott, J.R. High-resolution hyperspectral imaging using low-cost components: Application within environmental monitoring scenarios. *Sensors* 2022, 22, 4652.
- 16 Dong, X.; Jakobi, M.; Wang, S.; Köhler, M.H.; Zhang, X.; Koch, A.W. A review of hyperspectral imaging for nanoscale materials research. *Appl. Spectrosc. Rev.* 2019, 54, 285–305.
- 17 Krupnik, D.; Khan, S. Close-range, ground-based hyperspectral imaging for mining applications at various scales: Review and case studies. *Earth-Sci. Rev.* 2019, 198, 102952.

- 18 Signoroni, A.; Savardi, M.; Baronio, A.; Benini, S. Deep learning meets hyperspectral image analysis: A multidisciplinary review. *J. Imaging* 2019, 5, 52.
- 19 Hong, Danfeng, et al. "Hyperspectral imaging." arXiv preprint arXiv:2508.08107 (2025).
- 20 Rybicki, G. B. & Lightman, A. P. Radiative processes in astrophysics (John Wiley & Sons, 2024).
- 21 Chang, C.-I. Hyperspectral imaging: techniques for spectral detection and classification, vol. 1 (Springer Science & Business Media, 2003).
- 22 Greenacre, M. et al. Principal component analysis. *Nat. Rev. Methods Primers* 2, 100 (2022).
- 23 Bioucas-Dias, J. M. et al. Hyperspectral unmixing overview: Geometrical, statistical, and sparse regression-based approaches. *IEEE journal selected topics applied earth observations remote sensing* 5, 354–379 (2012).
- 24 М. Боднар; Г. Вовнянка; В. Дуда. Передові технології обробки даних у розумних містах. Матеріали XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 17–18 грудня 2025 р.). – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025. –162 с.
- 25 Hong, D. et al. Multimodal artificial intelligence foundation models: Unleashing the power of remote sensing big data in earth observation. *The Innov. Geosci.* 2, 100055 (2024).
- 26 De Castro, A.I.; Shi, Y.; Maja, J.M.; Peña, J.M. UAVs for vegetation monitoring: Overview and recent scientific contributions. *Remote Sens.* 2021, 13, 2139.
- 27 Almeida, C.R.d.; Teodoro, A.C.; Gonçalves, A. Study of the urban heat island (UHI) using remote sensing data/techniques: A systematic review. *Environments* 2021, 8, 105.
- 28 Kaartinen, E.; Dunphy, K.; Sadhu, A. LiDAR-based structural health monitoring: Applications in civil infrastructure systems. *Sensors* 2022, 22, 4610.

29 Cai, X.; Wu, L.; Li, Y.; Lei, S.; Xu, J.; Lyu, H.; Li, J.; Wang, H.; Dong, X.; Zhu, Y.; et al. Remote sensing identification of urban water pollution source types using hyperspectral data. *J. Hazard. Mater.* 2023, 459, 132080.

30 Fei, S.; Li, L.; Han, Z.; Chen, Z.; Xiao, Y. Combining novel feature selection strategy and hyperspectral vegetation indices to predict crop yield. *Plant Methods* 2022, 18, 119.

31 Sousa, J.J.; Toscano, P.; Matese, A.; Di Gennaro, S.F.; Berton, A.; Gatti, M.; Poni, S.; Pádua, L.; Hruška, J.; Morais, R.; et al. UAV-based hyperspectral monitoring using push-broom and snapshot sensors: A multisite assessment for precision viticulture applications. *Sensors* 2022, 22, 6574.

32 Al-Sarayreh, M.; Reis, M.M.; Yan, W.Q.; Klette, R. Potential of deep learning and snapshot hyperspectral imaging for classification of species in meat. *Food Control* 2020, 117, 107332.

33 Zhang, H.; Zhang, B.; Wei, Z.; Wang, C.; Huang, Q. Lightweight integrated solution for a UAV-borne hyperspectral imaging system. *Remote Sens.* 2020, 12, 657.

34 Kahraman, S.; Bacher, R. A comprehensive review of hyperspectral data fusion with lidar and sar data. *Annu. Rev. Control* 2021, 51, 236–253.

35 Н.А. Гарматюк, П.О. Скалецький, В.О. Дуда. Хмарні обчислювальні платформи та Microsoft azure. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7-8 грудня 2022) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С167. <https://tntu.edu.ua/storage/pages/00000923/%D0%A1ПМТ-2022.pdf>.

36 Duda O., Stanko A. Architecture of monitoring platform in smart cities // *Вісник ХНУ*. 2023. No. 4. P. 10–19. DOI: 10.31891/2307-5732.

37 Gyaneshwar, D.; Nidamanuri, R.R. A real-time FPGA accelerated stream processing for hyperspectral image classification. *Geocarto Int.* 2022, 37, 52–69.

38 Dash, S.; Chakravarty, S.; Giri, N.C.; Agyekum, E.B.; AboRas, K.M. Minimum Noise Fraction and Long Short-Term Memory Model for Hyperspectral Imaging. *Int. J. Comput. Intell. Syst.* 2024, 17, 16.

39 Fan, R.; Feng, R.; Wang, L.; Yan, J.; Zhang, X. Semi-MCNN: A semisupervised multi-CNN ensemble learning method for urban land cover classification using submeter HRRS images. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 2020, 13, 4973–4987.

40 Kuras, A.; Brell, M.; Rizzi, J.; Burud, I. Hyperspectral and lidar data applied to the urban land cover machine learning and neural-network-based classification: A review. *Remote Sens.* 2021, 13, 3393.

41 П. Прийма, А. Зав'ялова, В. Дуда. Інструменти аналітичного опрацювання «великих даних». Матеріали X науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 7–8 грудня 2022 р.). – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. – С40. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40078>.

42 Borol, Y.D.; Thilagham, K.T.; Nagpal, A.; Narika, A.; Aravinda, K.; Shnawa, A.H. Hyperspectral Information with Big Data and Machine Learning for Agriculture. In *Proceedings of the 2024 4th International Conference on Innovative Practices in Technology and Management (ICIPTM)*, Noida, India, 21–23 February 2024.

43 П.О. Скалецький, Н.А. Гарматюк, В.О. Дуда. Перенесення даних установ та організацій з локальних систем до хмарних обчислювальних платформ. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7-8 грудня 2022) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С169-170. <https://tntu.edu.ua/storage/pages/00000923/%D0%A1ПМТ-2022.pdf>.

44 П. Прийма, А. Зав'ялова, В. Дуда. Інтернет речей, «великі дані» та аналітика. Стан та перспективи досліджень. Матеріали X науково-технічної

конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 7–8 грудня 2022 р.). – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. – С39. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/40078>.

45 Qi, B. Hyperspectral image database query based on big data analysis technology. *E3S Web Conf.* 2021, 275, 03018.

46 Волинець Л.В., Дуда В.О., Гарматюк Н.А., «Аналітика великих даних» в галузі «розумної» охорони здоров'я, Матеріали VII Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 25-26 квітня 2024 р.), 2024. -С.242, <https://tntu.edu.ua/storage/pages/00000977/Zbirnyk2024.pdf?v=20240425>.

47 Duda O., Matsiuk O., Kunanets N., Pasichnyk V., Rzhеuskyi A., Bilak Y. Formation of hypercubes based on data obtained from IoT devices // *International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control.* 2021. Vol. 11(5). P. 498–504. DOI: 10.2174/2210327910999201210145151.

48 Guo, Y.; Yu, Q.; Gao, Y.; Liu, X.; Li, C. Max–min distance embedding for unsupervised hyperspectral image classification in the satellite Internet of Things system. *Internet Things* 2023, 22, 100775.

49 Chen, H.; Ru, J.; Long, H.; He, J.; Chen, T.; Deng, W. Semi-Supervised Adaptive Pseudo-Label Feature Learning for Hyperspectral Image Classification in Internet of Things. *IEEE Internet Things J.* 2024, 11, 30754–30768.

50 Elkholy, M.M.; Mostafa, M.; Ebeid, H.M.; Tolba, M.F. Application of hyperspectral image unmixing for internet of things. In *Internet of Things – Applications and Future, Proceedings of the ITAF 2019, Cairo, Egypt, 14–15 October 2019*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2020; pp. 249–260.

51 Crépon, K.; Cabacos, M.; Bonduelle, F.; Ammari, F.; Faure, M.; Maudemain, S. Using Internet of Things (IoT), Near-Infrared Spectroscopy (NIRS),

and Hyperspectral Imaging (HSI) to Enhance Monitoring and Detection of Grain Pests in Storage and Handling Operators. *Agriculture* 2023, 13, 1355.

52 Augustin, A.; Kiliroor, C.C. IoT-based pesticide detection in fruits and vegetables using hyperspectral imaging and deep learning. In *Proceedings of the International Conference on Cognitive Computing and Cyber Physical Systems 2023*, Bhimavaram, India, 4–6 August 2023; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2023.

53 Orchi, H.; Sadik, M.; Khaldoun, M. On using artificial intelligence and the internet of things for crop disease detection: A contemporary survey. *Agriculture* 2021, 12, 9.

54 О. Ловчук; Р. Катрич; В. Дуда. Актуальність хмарного масштабування та kubernetes. Матеріали XII науково-технічної конфіції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 18–19 грудня 2024 р.). – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2024. – 52 с.

55 Gao, P.; Zhang, H.; Yu, J.; Lin, J.; Wang, X.; Yang, M.; Kong, F. Secure cloud-aided object recognition on hyperspectral remote sensing images. *IEEE Internet Things J.* 2020, 8, 3287–3299.

56 Song, J.; Wang, Y.; Zhang, Q.; Qin, W.; Pan, R.; Yi, W.; Xu, Z.; Cheng, J.; Su, H. Premature mortality attributable to NO₂ exposure in cities and the role of built environment: A global analysis. *Sci. Total Environ.* 2023, 866, 161395.

57 Noppen, L.; Clarisse, L.; Tack, F.; Ruhtz, T.; Merlaud, A.; Van Damme, M.; Van Roozendael, M.; Schuetttemeyer, D.; Coheur, P. Constraining industrial ammonia emissions using hyperspectral infrared imaging. *Remote Sens. Environ.* 2023, 291, 113559.

58 Qamar, F.; Sharma, M.S.; Dobler, G. The impacts of air quality on vegetation health in dense urban environments: A ground-based hyperspectral imaging approach. *Remote Sens.* 2022, 14, 3854.

- 59 Sun, X.; Zhang, Y.; Shi, K.; Zhang, Y.; Li, N.; Wang, W.; Huang, X.; Qin, B. Monitoring water quality using proximal remote sensing technology. *Sci. Total Environ.* 2022, 803, 149805.
- 60 Niu, C.; Tan, K.; Jia, X.; Wang, X. Deep learning based regression for optically inactive inland water quality parameter estimation using airborne hyperspectral imagery. *Environ. Pollut.* 2021, 286, 117534.
- 61 Niroumand-Jadidi, M.; Bovolo, F.; Bruzzone, L. Water quality retrieval from PRISMA hyperspectral images: First experience in a turbid lake and comparison with sentinel-2. *Remote Sens.* 2020, 12, 3984.
- 62 Lu, Q.; Si, W.; Wei, L.; Li, Z.; Xia, Z.; Ye, S.; Xia, Y. Retrieval of water quality from UAV-borne hyperspectral imagery: A comparative study of machine learning algorithms. *Remote Sens.* 2021, 13, 3928.
- 63 Zhang, Y.; Wu, L.; Ren, H.; Liu, Y.; Zheng, Y.; Liu, Y.; Dong, J. Mapping water quality parameters in urban rivers from hyperspectral images using a new self-adapting selection of multiple artificial neural networks. *Remote Sens.* 2020, 12, 336.
- 64 Aversano, N.; Bonifazi, G.; D'Adamo, I.; Palmieri, R.; Serranti, S.; Simone, A. Circular and sustainable space: Findings from hyperspectral imaging. *J. Clean. Prod.* 2024, 471, 143386.
- 65 Xiao, W.; Yang, J.; Fang, H.; Zhuang, J.; Ku, Y. A robust classification algorithm for separation of construction waste using NIR hyperspectral system. *Waste Manag.* 2019, 90, 1–9.
- 66 Bonifazi, G.; Capobianco, G.; Serranti, S. Fast and effective classification of plastic waste by pushbroom hyperspectral sensor coupled with hierarchical modelling and variable selection. *Resour. Conserv. Recycl.* 2023, 197, 107068.
- 67 Tao, J.; Gu, Y.; Hao, X.; Liang, R.; Wang, B.; Cheng, Z.; Yan, B.; Chen, G. Combination of hyperspectral imaging and machine learning models for fast characterization and classification of municipal solid waste. *Resour. Conserv. Recycl.* 2023, 188, 106731.

- 68 Castro-Díaz, M.; Osmani, M.; Cavalaro, S.; Cacho, Í.; Uria, I.; Needham, P.; Thompson, J.; Parker, B.; Lovato, T. Hyperspectral Imaging Sorting of Refurbishment Plasterboard Waste. *Appl. Sci.* 2023, 13, 2413.
- 69 Singh, M.K.; Hait, S.; Thakur, A. Hyperspectral imaging-based classification of post-consumer thermoplastics for plastics recycling using artificial neural network. *Process Saf. Environ. Prot.* 2023, 179, 593–602.
- 70 Brabant, C.; Alvarez-Vanhard, E.; Laribi, A.; Morin, G.; Nguyen, K.T.; Thomas, A.; Houet, T. Comparison of hyperspectral techniques for urban tree diversity classification. *Remote Sens.* 2019, 11, 1269.
- 71 Wang, Y.; Su, H.; Li, M. An improved model based detection of urban impervious surfaces using multiple features extracted from ROSIS-3 hyperspectral images. *Remote Sens.* 2019, 11, 136.
- 72 Sun, G.; Jiao, Z.; Zhang, A.; Li, F.; Fu, H.; Li, Z. Hyperspectral image-based vegetation index (HSVI): A new vegetation index for urban ecological research. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 2021, 103, 102529.
- 73 Aryal, S.; Chen, Z.; Tang, S. Mobile hyperspectral imaging for material surface damage detection. *J. Comput. Civ. Eng.* 2021, 35, 04020057.
- 74 Lavadiya, D.N.; Sajid, H.U.; Yellavajjala, R.K.; Sun, X. Hyperspectral imaging for the elimination of visual ambiguity in corrosion detection and identification of corrosion sources. *Struct. Health Monit.* 2022, 21, 1678–1693.
- 75 Jakubczyk, K.; Siemiałkowska, B.; Wiećkowski, R.; Rapcewicz, J. Hyperspectral imaging for mobile robot navigation. *Sensors* 2022, 23, 383.
- 76 Taher, J.; Hakala, T.; Jaakkola, A.; Hyyti, H.; Kukko, A.; Manninen, P.; Maanpää, J.; Hyypä, J. Feasibility of hyperspectral single photon lidar for robust autonomous vehicle perception. *Sensors* 2022, 22, 5759.
- 77 Özdemir, O.B.; Soydan, H.; Yardımcı Çetin, Y.; Düzgün, H.S.,. Neural network based pavement condition assessment with hyperspectral images. *Remote Sens.* 2020, 12, 3931.

78 Lee, G.; Lee, J.; Baek, J.; Kim, H.; Cho, D. Channel sampler in hyperspectral images for vehicle detection. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* 2021, 19, 5509405.

79 Ahmad, T.; Madonski, R.; Zhang, D.; Huang, C.; Mujeeb, A. Data-driven probabilistic machine learning in sustainable smart energy/smart energy systems: Key developments, challenges, and future research opportunities in the context of smart grid paradigm. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2022, 160, 112128.

80 Baliyan, A.; Imai, H. Machine learning based analytical framework for automatic hyperspectral Raman analysis of lithium-ion battery electrodes. *Sci. Rep.* 2019, 9, 18241.

81 Schultz, C.; Fenske, M.; Dion-Bertrand, L.I.; Gélinas, G.; Marcet, S.; Dagar, J.; Bartelt, A.; Schlatmann, R.; Unger, E.; Stegemann, B. Hyperspectral Photoluminescence Imaging for Spatially Resolved Determination of Electrical Parameters of Laser-Patterned Perovskite Solar Cells. *Sol. RRL* 2023, 7, 2300538.

82 Rizk, P.; Younes, R.; Ilinca, A.; Khoder, J. Wind turbine ice detection using hyperspectral imaging. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* 2022, 26, 100711.

83 Rizk, P.; Younes, R.; Ilinca, A.; Khoder, J. Wind turbine blade defect detection using hyperspectral imaging. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* 2021, 22, 100522.

84 Ahn, D.; Choi, J.-Y.; Kim, H.-C.; Cho, J.-S.; Moon, K.-D.; Park, T. Estimating the composition of food nutrients from hyperspectral signals based on deep neural networks. *Sensors* 2019, 19, 1560.

85 Jaiswal, G.; Sharma, A.; Yadav, S.K. Critical insights into modern hyperspectral image applications through deep learning. *Wiley Interdiscip. Rev. Data Min. Knowl. Discov.* 2021, 11, e1426.

86 Zhovnir Y. I., Hrybovskyi O. M., Orlov M. V., Duda O. M., Kunanets N. E. IoT information systems methodology // Управління розвитком складних систем. 2024. Vol. 60. P. 56–71. DOI: 10.32347/2412-9933.2024.60.56-70.

- 87 Orlov M. V., Hrybovskiy O. M., Zhovnir Y. I., Duda O. M. DevOps methodology in IoT ecosystems // *Вчені записки ТНУ*. 2024. Vol. 35(6). P. 163–170. DOI: 10.32782/2663-5941/2024.6.2/22.
- 88 Rodrigues, E.M.; Hemmer, E. Trends in hyperspectral imaging: From environmental and health sensing to structure-property and nano-bio interaction studies. *Anal. Bioanal. Chem.* 2022, 414, 4269–4279.
- 89 Orlov M. V., Duda O. M., Zhovnir Y. I., Hrybovskiy O. M. DevOps tools in IoT systems // *Комп'ютерно-інтегровані технології*. 2024. Vol. 57. P. 128–138. DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2024-57-15.
- 90 Ali, U.M.E.; Hossain, M.A.; Islam, M.R. Analysis of PCA based feature extraction methods for classification of hyperspectral image. In *Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Innovation in Engineering and Technology (ICIET)*, Dhaka, Bangladesh, 23–24 December 2019.
- 91 Lu, B.; Dao, P.D.; Liu, J.; He, Y.; Shang, J. Recent advances of hyperspectral imaging technology and applications in agriculture. *Remote Sens.* 2020, 12, 2659.
- 92 Botero-Valencia, J.; Valencia-Aguirre, J. Portable low-cost IoT hyperspectral acquisition device for indoor/outdoor applications. *HardwareX* 2021, 10, e00216.
- 93 Mangalraj, P.; Cho, B.-K. Recent trends and advances in hyperspectral imaging techniques to estimate solar induced fluorescence for plant phenotyping. *Ecol. Indic.* 2022, 137, 108721.
- 94 Методика планування заходів з евакуації: затверджена наказом Міністерства внутрішніх справ України від 10 липня 2017 року № 579. – Київ: Міністерство внутрішніх справ України, 2017. – 50 с.
- 95 Постанова Кабінету Міністрів України від 30.10.2013 № 841.
- 96 Ткачук, К. Н., Зацарний, В. В., Зеркалов, Д. В., Полукаров, О. І., Коз'яков, В. С., Мітюк, Л. О., ... & Луц, Т. Є. (2014). *Основи охорони праці*.
- 97 Стручок В.С. *Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»*. Навчальний посібник. 2022.

ДОДАТКИ

Тези конференції

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет у Кошице (Словаччина)
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
Наукове товариство ім. Т.Шевченка

**АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ
СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Збірник
тез доповідей

**XI Міжнародної науково-практичної
конференції молодих учених та студентів**
7-8 грудня 2022 року



**УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2022**

*Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів
«АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» – Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року*

УДК 001

A43

Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7-8 грудня 2022) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – 202.

ISBN 978-617-7875-49-8

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Митник Микола Мирославович – к.т.н., доцент, Ректор ТНТУ ім. І. Пулюя. (Україна)

Заступник голови: Марущак Павло Орестович – д.т.н., проф. ТНТУ ім. І. Пулюя. (Україна)

Вчений секретар: Дозорський Василь Григорович – к.т.н., доц. ТНТУ ім. І. Пулюя. (Україна)

Члени: Вухерер Т. – професор факультету інженерної механіки Маріборського університету (Словенія); Вінаш Я. – професор кафедри технології металів Технічного університету у Кошице (Словаччина); Прентковскіс О. – декан факультету Вільнюського технічного університету ім. Гедімінаса (Литва); Стахович Ф. – завідувач кафедри обробки матеріалів тиском Жешувського політехнічного університету ім. Лукасевича (Польща); Мену А. – д.т.н., професор Міжнародного університету цивільної авіації (Марокко); Андрейків О. – д.т.н., професор кафедри механіки Львівського національного університету ім. І. Франка, член-корр. НАН України.

Адреса оргкомітету:

ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001,

тел. **0506689327**, факс (0352) 255798

E-mail: confmolstud@gmail.com

Редагування, оформлення, верстка: Дозорський В.Г.

СЕКЦІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, ЯКІ ПРЕДСТВЛЕНІ В ЗБІРНИКУ

- фізико-технічні основи розвитку нових технологій;
- нові матеріали, міцність і довговічність елементів конструкцій;
- сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні;
- сучасні технології на транспорті;
- електротехніка та енергозбереження;
- фундаментальні проблеми харчових, біо- та нанотехнологій;
- економічні та соціальні аспекти нових технологій;
- комп'ютерно-інформаційні технології та системи зв'язку.

Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів
 «АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ» – Тернопіль, 7-8 грудня 2022 року

23.	А.М. Паламар, Ю.А. Гук КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ	147
24.	Д.Р. Колісник, Д.В. Мидлик, І.Ю. Дедів, Л.Є. Дедів ЗАДАЧА ОЦІНЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ У ВІДКРИТОМУ ПРОСТОРИ	148
25.	С.Р. Пискальний, Б.В. Сарняк, І.Ю. Дедів ЗАДАЧА УЩІЛЬНЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ	149
26.	М.П. Мотелюк, С.Т. Боїло, І.Ю. Дедів, В.Г. Дозорський МЕТОДИ ОБРОБКИ МОВНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ БЕЗПЕКОВИХ СИСТЕМ	150
27.	Б.Є Томс, Г.П. Химич ЕФЕКТИВНІСТЬ ОПТОВОЛОКОННИХ ЛІНІЙ У МІСЬКИХ УМОВАХ	151
28.	А.О. Naida, L.V. Moroz DATAFICATION: THE PROBLEM BENEATH THE SURFACE	153
29.	О.В. Палка МІКРОСЕРВІСНА АРХІТЕКТУРА РОЗУМНОГО МІСТА	155
30.	О.В. Палка ІНТЕГРОВАНА АРХІТЕКТУРА РОЗУМНОГО МІСТА З БЛОКЧЕЙНОМ ТА ІОТ	157
31.	І. Гунчак, Г. Химич ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ З СУПУТНИКОВИМИ СИСТЕМАМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ДРОНІВ	158
32.	А.В. Атаманчук, І.Ю. Дедів МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ БПЛА З ЗАСТОСУВАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	160
33.	В.Л. Дунець, Н.І. Шилівський, О.Ю. Щирба, Д.О. Гуменюк, Т.В. Чирський АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ	162
34.	В.В. Никитюк, к.т.н., О.Ф. Дозорська, к.т.н., А.К. Карнаухов МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МОВНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧ АВТЕНТИФІКОВАНОГО ВХОДУ КОРИСТУВАЧІВ	163
35.	С.В. Уніят, М.О. Хвостівський АКТУАЛЬНІСТЬ ОБРОБКИ ПУЛЬСОВИХ СИГНАЛІВ ПРИ ФІЗИЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ У КАРДІОДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМАХ	164
36.	Ю.Б. Капаціла, С.Р. Дідур ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ	165
37.	Н.А. Гарматюк, П.О. Скалецький, В.О. Дуда ХМАРНІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ ПЛАТФОРМИ ТА MICROSOFT AZURE	167
38.	Н.В. Лісовий, А.Р. Ставицька, А.В. Гіжовський ХМАРНІ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЛАТФОРМИ АНАЛІТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ	168
39.	П.О. Скалецький, Н.А. Гарматюк, В.О. Дуда ПЕРЕНЕСЕННЯ ДАНИХ УСТАНОВ ТА ОРГАНІЗАЦІЙ З ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМ ДО ХМАРНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПЛАТФОРМ	169
40.	Р. Новчук, Р. Трач, Р. Трембач АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЗБОРУ РОЗПОДІЛЕНОЇ ІНФОРМАЦІЇ	171

УДК 004.9

Н.А. Гарматюк, П.О. Скалецький, В.О. Дуда

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ХМАРНІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ ПЛАТФОРМИ ТА MICROSOFT AZURE

N.A. Harmatiuk, P.O. Skaletskyi, V.O. Duda

CLOUD COMPUTING PLATFORMS AND MICROSOFT AZURE

На даний час Amazon Web Services займає провідні позиції на ринку хмарних інформаційно-технологічних платформ. Водночас Microsoft Azure пропонує ряд нових рішень щодо програмування резервного копіювання даних, підтримки IoT-пристроїв для установ та організацій різних розмірів. Платформа надає різноманітні функціональні набори, які перевершують інші хмарні інформаційно-технологічні платформи, для налаштування, контролю та створення різнотипових давачів, можливості PaaS, сумісність мереж, безпека і гібридні рішення для безперебійного підключення до хмари.

Azure спочатку був призначений як платформа SaaS для формування служб продуктів Microsoft, але швидко перетворився на постачальника послуг. Він надає іноваційні функціональні можливості для постійної перевірки інформації та видобування знань на основі методів штучного інтелекту. Хмара за зразком Amazon [1] дозволяє розгортання, швидке створення, легку та ефективну підтримку застосунків та масштабування будь-яких інструментів для розробки застосунків, фреймворків чи обраної мови програмування. Вона керує застосунками в глобальній мережі центрів обробки даних Microsoft [2] та пропонується як хмарна інформаційно-технологічна платформа, яка дозволяє розробляти та запускати застосунки, зберігати дані на серверах, розміщених у центрах обробки даних корпорації.

Усі ці центри взаємопов'язані та формують всевітню інфраструктуру Azure. Azure функціонує на основі розгортання віддаленої віртуальної машини для кожного екземпляра служби чи програми. Користувач може контролювати обчислювальні потужності та затребувані засоби зберігання даних. В процесі завершення виконання поставлених завдань початкова кількість спожитих ресурсів може бути зменшена. Це дозволяє користувачам заощаджувати фінансові витрати завдяки динамічному зменшенню використаних хмарних обчислювальних ресурсів та засобів. Хмарна інформаційно-технологічна платформа надає всі можливі типи хмарних послуг, зокрема інфраструктури як послуги (IaaS), платформи як послуги (PaaS) та програмного забезпечення як послуги (SaaS). При цьому користувачам пропонується перелік з понад шестисот послуг [3]. Також підтримується обширний перелік інструментів, які допомагають розробникам програмного забезпечення, базам даних і операційним системам. Впродовж останнього періоду часу попит на послуги Azure зростає експоненційно [4]

Література

1. Hassan, Mehedi, et al. "Cloud Computing Services and Microsoft Azure. Why Microsoft Azure?." Available at SSRN 4103377.
2. Di Martino, Beniamino, et al. "Semantic representation of cloud services: a case study for microsoft windows azure." 2014 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems. IEEE, 2014.
3. Hassan, Mehedi, et al. "Microsoft Azure's Leading Edge in Cloud Computing Services." IUP Journal of Computer Sciences 16.2 (2022).
4. Hassan, Mehedi, et al. "Microsoft Azure's Leading Edge in Cloud Computing Services." IUP Journal of Computer Sciences 16.2 (2022).

УДК 004.9

П.О. Скалецький, Н.А. Гарматюк, В.О. Дуда

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ПЕРЕНОСЕННЯ ДАНИХ УСТАНОВ ТА ОРГАНІЗАЦІЙ З ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМ ДО ХМАРНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПЛАТФОРМ

P.O. Skaletskyi, N.A. Harmatiuk, V.O. Duda

INSTITUTIONS AND ORGANIZATIONS DATA TRANSFER FROM LOCAL SYSTEMS TO CLOUD COMPUTING PLATFORMS

Розвиток інформаційних та комунікаційних технологій супроводжується експоненційним зростанням обсягів накопичуваних даних. Зростаючі потреби до обчислювальних ресурсів і сховищ даних інноваційних інформаційно-технологічних середовищ досить швидко можуть перевищувати наявні потужності локальних обчислювальних систем. На даний час сховища даних зберігають персональні дані громадян, електронні медичні записи, різноманітні зображення та сигнали, відео, геномні панелі, відомості створені громадянами з використанням мобільних застосунків, інформацію зібрану з використанням домашніх та носимих пристроїв, інтернету речей (IoT) [1]. Сховища даних інтегрують дані з соціальних мереж та загальнодоступні набори даних, зокрема різноманітну інформацію про населення, навколишнє середовище, транспортний трафік тощо. Зростаючі вимоги до обчислювальних потужностей для виконання прогресивних аналітичних засобів доволі легко переважують доступні локальні обчислювальні ресурси малих та великих установ та організацій. Значна частина установ та організацій аналізують та вивчають можливості перенесення обчислювальних систем із локальних, локально керованих середовищ у публічні хмари. Тому проблемна область перенесення накопичених колекцій даних з локальних сховищ до хмарної інфраструктури є актуальним напрямком сучасних досліджень.

Автори наукових публікацій [2],[3] підкреслюють переваги хмарних інфраструктур, але на даний час важче знайти опубліковані узагальнені вказівки щодо переходу від локальної до хмарної обчислювальної інфраструктури. Постачальники публічних хмарних послуг пропонують обширний перелік інноваційних інформаційних технологій, що швидко розвиваються. Для системного застосування в умовах установ чи організацій, питання перенесення сховищ даних доцільно розглядати в контексті переходу до будь-якого постачальника загальнодоступних хмарних послуг, водночас зосереджуючись на забезпеченні обчислювальної масштабованості.

Переміщення складних наборів та колекцій даних, обчислювальних алгоритмів та методів, програмних засобів, які підтримують широкий спектр послуг установ та організацій, у будь-яке інноваційне хмарне обчислювальне середовище є складною багатофакторною задачею. Відмінності в функціональних можливостях та структурі між локальною та хмарною інфраструктурами створюють унікальні набори можливостей та формують несподівані виклики. Найпростіша модель «підйому та зміни», передбачає копіювання локального апаратного та програмного забезпечення безпосередньо на доступні хмарні віртуальні машини. Вона може бути зручною для невеликих установ чи організацій. При цьому не варто нехтувати здатністю хмарної інфраструктури миттєво надавати, змінювати або звільняти ресурси для зберігання даних, виконання обчислень та формування мережевої інфраструктури або надавати інноваційні інформаційно-технологічні послуги за допомогою простих змін програмних інтерфейсів застосунків (API). Це розширює можливості для економії коштів та формування нових послуг що надаються громадянам. Недостатнє опрацювання особливостей інтеграції нових хмарних продуктів в існуючу хмарну інфраструктуру або недостатнє вивчення питань нарахування оплати за користування, може призвести

Тези конференції

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

МАТЕРІАЛИ

X НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



7–8 грудня 2022 року

ТЕРНОПІЛЬ
2022

УДК 001
М34

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Сергій Лупенко– докт. техн. наук, професор.

Співголови: Павло Марущак– докт. техн. наук, професор, проректор з наукової роботи.
Ігор Баран– канд. техн. наук, доцент, декан факультету ФІС.

Науковий секретар: Галина Семенишин– старший викладач.

Члени: докт. фіз.-мат. наук, професор Василь Кривень; докт. техн. наук, професор Ярослав Литвиненко; докт. техн. наук, професор Микола Карпінський; докт. фіз.-мат. наук, професор Михайло Петрик; канд. техн. наук, доцент Галина Осухівська; канд. пед. наук, доцент Жанна Баб'як; канд. техн. наук, доцент Наталія Загородна.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Юрій Скоренький– канд. фіз.-мат. наук, доцент, завідувач кафедри фізики

Члени: канд. техн. наук, доцент Вячеслав Никитюк; канд. техн. наук, доцент Дмитро Михалик; канд. техн. наук, асистент Марія Стадник; асистент Наталія Шаблій; ст. викладач Ліліана Джиджора.

Матеріали X науково-технічної конфіції «Інформаційні моделі, системи та технології»
М34 Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя,
(Тернопіль, 7–8 грудня 2022 р.) – Тернопіль : Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя, 2022. –162 с.

Адреса оргкомітету: ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001,
тел. (0352) 52-41-33, факс (0352) 254983.

E-mail: confis2022@gmail.com

Редагування, оформлення та верстка: Галина Семенишин

СЕКЦІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, ЯКІ ПРЕДСТВЛЕНІ В ЗБІРНИКУ

- Математичне моделювання;
- Інформаційні системи та технології;
- Комп'ютерні системи та мережі;
- Програмна інженерія та моделювання складних розподілених систем;
- Новітні фізико-технічні та освітні технології.

В збірнику надруковано тези доповідейIX науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (Тернопіль, 7–8 грудня 2022 р.) за такими науковими напрямками: математичне моделювання; інформаційні системи та технології; комп'ютерні системи та мережі; програмна інженерія та моделювання складних розподілених систем; новітні фізико-технічні та освітні технології.

Розрахований на науковців, викладачів та студентів вузів.

За зміст тез та дотримання норм академічної доброчесності відповідальність несе автор.

© Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя, 2022

О. Кравчук РОЗРОБКА ТЕЛЕГРАМ БОТІВ НА PYTHON	
O. Kravchuk DEVELOPMENT OF TELEGRAM BOTS IN PYTHON	29
Н. Лісовий, А. Ставицька, А. Гіжовський АНАЛІТИЧНЕ ОПРАЦЮВАННЯ ВЕЛИКИХ ЗА ОБСЯГОМ ДАНИХ	
N. Lisovyi, A. Stavyt'ska, A. Hizhovskiy LARGE DATA VOLUMES ANALYTICAL PROCESSING	30
Н. Шаблій, П. Марценюк СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ	
N. Shablii, P. Martseniuk ENVIRONMENTAL STATE MONITORING SYSTEMS	31
Р. Маслій СИСТЕМА БЕЗПЕКИ ДЛЯ ІОТ З ВИКОРИСТАННЯМ SIEM ТЕХНОЛОГІЙ	
R. Maslii SECURITY SYSTEM FOR IOT USING SIEM TECHNOLOGIES	32
А. Блавіцький, С. Мацюк, С. Криськова ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ ПЛАТЕЖУ	
A. Blavitskiy, S. Matsiuk, S. Kryskova PAYMENT LIFE CYCLE	33
М. Мокрицький, Ю. Скоренький ДОСЛІДЖЕННЯ ВРАЗЛИВОСТЕЙ НЕЙРОІНТЕРФЕЙСІВ	
M. Mokrytskiy, Yu. Skorenkiy STUDY OF BRAIN-COMPUTER INTERFACES VULNERABILITY	34
Г. Мушинська, Л. Дмитроца АНАЛІТИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ЧАТ-БОТА	
H. Mushynska, L. Dmytrotsa CHAT BOT OPTIMIZATION ANALYTICS	35
К. Николін РОЗВІДКА ВІДКРИТИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЗАГРОЗ БЕЗПЕКИ БІЗНЕСУ	
K. Nikolyn OPEN SOURCE INTELLIGENCE FOR IDENTIFYING BUSINESS SECURITY THREATS	36
Т. Патральський ТРАНСФОРМАЦІЯ ДАНИХ У НАСТРОЮВАНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ЗВІТИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ПАНЕЛІ LOOKER STUDIO	
T. Patralskiy DATA TRANSFORMATION INTO CUSTOMIZABLE INFORMATION REPORTS AND INFORMATION PANELS LOOKER STUDIO	37
Ю. Петришин СИСТЕМИ МЕНЕДЖМЕНТУ, МОДЕЛЬ ISO 27001	
Yu. Petryshyn MANAGEMENT SYSTEMS, ISO 27001 MODEL	38
П. Прийма, А. Зав'ялова, В. Дуда ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, «ВЕЛИКІ ДАНІ» ТА АНАЛІТИКА. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ	
P. Pryima, A. Zavalova, V. Duda THE INTERNET OF THINGS, BIG DATA AND ANALYTICS. RESEARCH STATUS AND PROSPECTS	39
П. Прийма, А. Зав'ялова, В. Дуда ІНСТРУМЕНТИ АНАЛІТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ «ВЕЛИКИХ ДАНИХ»	
P. Pryima, A. Zavalova, V. Duda TOOLS FOR BIG DATA ANALYTICAL PROCESSING	40

УДК 004.9

П. Прийма, А. Зав'ялова, В. Дуда

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, «ВЕЛИКІ ДАНІ» ТА АНАЛІТИКА. СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

UDC 004.9

P. Pryima, A. Zavalova, V. Duda

THE INTERNET OF THINGS, BIG DATA AND ANALYTICS. RESEARCH STATUS AND PROSPECTS

Розвиток, доступність та запровадження інноваційних цифрових технологій практично у всіх сферах людської діяльності призводить до генерації безпрецедентно великих наборів та колекцій даних. Цифрові дані, сформовані з використанням різних цифрових платформ і пристроїв, у всьому світі зростають неймовірними темпами [1]. Експоненційне зростання кількості інтегрованих в фізичне середовище пристроїв з датчиками та виконавчими механізмами, підключеними через мережу Інтернет, спричиняє відповідне зростання обсягів даних, отриманих завдяки інформаційним технологіям на основі інтернету речей (IoT, англ. Internet of Things). Сумісна робота людей та машин на основі IoT підвищує їх операційну ефективність та загальну продуктивність людинно-машинних систем.

Аналітичне опрацювання даних з використанням IoT-пристроїв спрощує процеси прийняття рішень, підвищує їх ефективність та, як наслідок, підвищує якість життя [2]. Це призвело до чергового етапу інформаційно-технологічної еволюції та формування засад «розумного» світу. Інтернет речей дозволяє поєднати фізичний світ з Інтернетом, який дозволяє передавати критично-важливу інформацію швидше, ніж інформаційні системи, яка залежить від втручання людей. Дані, зібрані IoT-пристроями, характеризуються великими обсягами, мінливістю, швидкоплинністю. Інформаційні технології «Великих даних» (англ. Big Data) забезпечують їх швидке та ефективніше зберігання і аналітичне опрацювання. Аналітика великих даних (BDA, англ. Big Data Analytics) застосовує інструменти аналітичного опрацювання до великих за обсягом потоків та наборів даних, створених IoT-пристроями, щоб допомогти в прийнятті ефективних та оперативних рішень. Конвергенція IoT, BDA і хмарних інформаційно-технологічних платформ відкриває обширний перелік напрямків наукових досліджень.

На даний час доступні хмарні програмно алгоритмічні засоби, які надають можливості для ефективного аналітичного опрацювання «Великих даних» в режимі реального часу. Зокрема, це інструменти для аналізу великих за обсягом даних. Почастки вони сформовані з використанням алгоритмів машинного навчання (ML, англ. Machine Learning). Однак обширний перелік загальнодоступних та безкоштовних інструментів BDA, хмарних інформаційно-технологічних платформ та інструментів інтелектуального аналізу даних зазвичай ускладнює вибір засобів для достатньо ефективного виконання поставлених завдань. Тому потребують детальнішого та системного дослідження концепція IoT, особливості застосування IoT-пристроїв, характеристики «Великих даних», зв'язок між IoT та BDA, хмарні інструменти, що використовуються для BDA та прикладні задачі аналітичного опрацювання «великих даних» для потреб IoT-систем.

Література

1. Volume of data/information created, captured, copied, and consumed worldwide from 2010 to 2020, with forecasts from 2021 to 2025 (in zettabytes). URL: <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>.
3. Nti, Isaac Kofi, et al. «A mini-review of machine learning in big data analytics: Applications, challenges, and prospects.» Big Data Mining and Analytics 5.2 (2022): 81–97.

УДК 004.9

П. Прийма, А. Зав'ялова, В. Дуда

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ІНСТРУМЕНТИ АНАЛІТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ «ВЕЛИКИХ ДАНИХ»

UDC 004.9

P. Pryima, A. Zavalova, V. Duda

TOOLS FOR BIG DATA ANALYTICAL PROCESSING

На даний час щодня генеруються великі за обсягом набори та колекції даних практично у всіх сферах людської діяльності. Зокрема дані надходять від соціальних мереж, інженерії, виробництва, транспорту, комерції, галузі охорони здоров'я, біомолекулярних досліджень, фізіології тощо. «Великі дані» (BD, англ. Big Data) та інноваційні методи та підходи їх аналітичного опрацювання, зокрема Big Data Analytics (BDA), змінили спосіб функціонування установ, підприємств та організацій, сформувавши при цьому обширний перелік нових перспективних напрямків досліджень для фахівців та наукової спільноти [1]. Окрім виробничих підприємств і дослідницьких установ, урядові та неурядові організації на даний час регулярно генерують великі за обсягом унікальні набори та колекції даних. Тому видобування та отримання значущої інформації із доступних «Великих даних» стало життєво важливим для підприємств, установ та організацій стало критично актуальним у всьому світі.

Інструменти аналітичного опрацювання «Великих даних» (англ. Big Data) використовуються для обробки великих за обсягом, структурованих, неструктурованих і напівструктурованих даних з метою видобування знань, бізнес-прогнозування, підвищення ефективності процесів прийняття рішень, візуалізації шаблонів тощо.

Apache Hadoop є одним із найпопулярніших інструментів аналізу даних. Він поширюється з відкритим кодом. HDFS (розподілена файлова система Hadoop) – це високоєфективний компонент зберігання даних, який використовується для зберігання різноманітних та різноманітних даних, зокрема тексту, xml або json файлів, аудіофайлів, зображень та відео. Зберігання відбувається завдяки поділу даних на частини та збереження в кластерах товарних серверів [2]. Заснований на Java, Apache Hadoop характеризується високою швидкістю, оскільки окремі завдання розділяються та виконуються одночасно на розподілених серверах. Оскільки дані зберігаються на множині розподілених серверів то резервне копіювання даних доступне, навіть при виході з ладу одного окремого сервера.

Apache Spark – це розподілена інформаційна система з відкритим кодом, яка обробляє дані з використанням апаратної оперативної пам'яті. Водночас швидкість обробки даних засобами Spark відчутно перевищує швидкість Hadoop [3]. Spark зручний для системних архітекторів та розробників програмного забезпечення, оскільки для створення програм можна використовувати різні мови програмування, зокрема java, python, R, scala тощо. На даний час обширний перелік організацій, зокрема Finra, Yelp, Zillow, gumgum, використовували Spark. Тому він став практично одним із найпопулярніших фреймворків розподіленої обробки «Великих даних».

Література

1. Islam, AYM Atiquil, et al. «Performance-based evaluation of academic libraries in the big data era.» *Journal of Information Science* 47.4 (2021): 458–471.
2. Akhtar, Nikhat, Firoj Parwej, and Yusuf Perwej. «A perusal of big data classification and hadoop technology.» *International Transaction of Electrical and Computer Engineers System (ITECES), USA* 4.1 (2017): 26–38.
4. Cao, Jian, et al. «Personalized flight recommendations via paired choice modeling.» *2017 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*. IEEE, 2017.

Тези конференції

Міністерство освіти і науки України,
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет в Кошице (Словаччина)
Каунаський технологічний університет (Литва)
Львівський національний університет
імені Івана Франка,
Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця (Польща)
Луцький національний технічний університет,
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича,
Вроцлавський економічний університет (Польща)
Університет технологій та економіки
імені Хелени Ходковської (Польща)
Донбаська державна машинобудівна академія



*Студентське наукове
товариство*

**VI МІЖНАРОДНА**

студентська науково - технічна конференція

**"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ
НАУКИ.****АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"**

27-28 квітня 2023 р.

(збірник тез конференції)

Тернопіль 2023

ББК 72+34 (Укр)
М34

Матеріали VI Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя (м. Тернопіль, 27-28 квітня 2023 р.), 2023.- 348 с.

В збірнику друкуються матеріали VI Міжнародної студентської науково-технічної конференції. Тернопіль. – ТНТУ ім. І. Пулюя (27-28 квітня 2023 р.) за наступними науковими напрямками:

культура і мистецтво; гуманітарні науки; соціальні та поведінкові науки; управління та адміністрування; природничі науки; математика та статистика; інформаційні технології; механічна інженерія; електрична інженерія; автоматизація та приладобудування; хімічна та біоінженерія; електроніка та телекомунікації; виробництво та технології; архітектура та будівництво; аграрні науки та продовольство; сфера обслуговування; транспорт.

Редакційна колегія:

д.е.н. Богдан Андрушків, д.т.н. Олег Ляшук, д.т.н. Ігор Стадник, д.ф.н. Анатолій Довгань, д.ф.н. Андрій Криськов, д.т.н. Володимир Андрійчук, д.т.н. Анатолій Лупенко, д.т.н. Сергій Лупенко, д.т.н. Ігор Луців, к.ф.-м.н. Михайло Михайлишин, д.т.н. Михайло Пилипець, к.ф.н. Василь Ніконенко, д.т.н. Роман Рогатинський, д.т.н. Петро Стухляк, д.т.н. Михайло Паламар, д.е.н. Наталія Кирич, д.т.н. Микола Підгурський, д.т.н., Микола Приймак, д.т.н. Василь Васильків, д.б.н. Володимир Юкало, д.б.н. Олег Покотило, д.т.н. Богдан Яворський, к.ф.-м.н. Борис Шелестовський, д.ф.-м.н. Василь Кривень, д.т.н. Павло Маруцак, д.е.н. Олена Панухник, д.е.н. Володимир Фалович, д.т.н. Тетяна Вітенько, д.т.н. Чеслав Пулька, д.т.н. Віктор Барановський, д.ф.-м.н. Михайло Петрик, д.е.н. Роман Шерстюк.

Комп'ютерний набір, верстка та редагування:
науковий секретар Ігор Окіпний

Адреса конференції:
46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя
e-mail: snt@tntu.edu.ua
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

*VI Міжнародна студентська науково - технічна конференція
"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"*

Галайчук В. ВПРОВАДЖЕННЯ ЧАТ-БОТІВ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ У СУЧАСНОМУ СВІТІ	126
Галюк М., Тененський М. ВПЛИВ VRM ЗАСТОСУНКІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПІДПРИЄМСТВА	128
Гарматюк Н., Ставицька А., Гіжовський А. РОЗВИТОК ІНТЕРНЕТ ТА WEB 3.0	130
Гарматюк Н., Лісовий Н., Дуда В. РОЛЬ ІННОВАЦІЙНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ФОРМУВАННІ «РОЗУМНИХ» МІСТ	131
Гнатишин М АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ ВЕБ-РОЗРОБКИ	132
Гнатишин М. ДОСЛІДЖЕННЯ РИЗИКІВ БЕЗПЕКИ ТЕХНОЛОГІЙ ВЕБ-РОЗРОБКИ	134
Грабас С. ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ: ПЕРСПЕКТИВИ ТА ПРОБЛЕМИ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ	136
Грибанов І. СТВОРЕННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО ЦЕНТРУ ЗА ДОПОМОГОЮ МІКРОКОНТРОЛЕРУ ORANGE PI PLUS 2E	139
Jhelizniak D. THE FUTURE OF WORK: HOW AUTOMATION AND AI ARE CHANGING THE WORKFORCE	141
Іващенко Є. ВИКОРИСТАННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	143
Каплун М. РОЛЬ ІНТЕРНЕТ-КОМЕРЦІЇ В ЖИТТІ СУЧАСНОЇ ЛЮДИНИ	145
Каплун М. ПЕРЕВАГИ НАПИСАННЯ ВЛАСНОГО ЯДРА НА PHP8 НАД ВИКОРИСТАННЯМ ІСНУЮЧОГО РІШЕННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ	147
Коваль М. КОНСЕНСУСНІ АЛГОРИТМИ В БЛОКЧЕЙНІ. ОПИС POW ТА POS	149
Ковальчук І. ВАЖЛИВІСТЬ БІЗНЕС-МОДЕЛЮВАННЯ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	151

УДК 004.9

Гарматюк Н. – асп., Лісовий Н. – ст. гр. СНс-32, Дуда В. – ст. гр. СН-11
 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

РОЛЬ ІННОВАЦІЙНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ФОРМУВАННІ «РОЗУМНИХ» МІСТ

Науковий керівник: к.т.н., доц. Дуда О.М.

Harmatiuk N., Lisovyi N., Duda V.
 Ternopil Ivan Puluj National Technical University

INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES ROLE IN THE SMART CITIES FORMATION

Supervisor: Ph.D., Dr. Duda O.M.

Ключові слова: інновації, інформаційні технології, розумне місто.
 Key words: innovations, information technologies, smart city.

Очікується, що до 2050 року населення світу зросте приблизно до 9,8 мільярда людей. При цьому прогнозується, що приблизно 6,7 мільярда громадян будуть жити в містах [1]. За прогнозами ООН, очікується, що до 2030 року буде понад сорок мегаполісів з населенням понад десять мільйонів жителів і вони споживатимуть понад 81% усіх світових ресурсів [2].

Тенденція розвитку сучасних міст – це перехід до більшого рівня «розумності». Вона проявляється розширенні процесів впровадження та інтеграції обширної множини інформаційних та комунікаційних технологій. Зокрема, хмарні обчислення, Інтернет речей (IoT) та інші інформаційно-технологічні інструменти, призводять до підвищення рівня «розумності» сучасних міст. Хоча опубліковано обширний перелік результатів досліджень, на даний час немає усталеного підходу до формування інформаційно-технологічного та соціо-комунікаційного концепту «розумного» міста. Тому наукові розвідки в царині «розумних» міст є актуальним напрямком сучасних досліджень.

Інновації в сучасних містах можна умовно розділити на три основні категорії: «розумні» цифрові технології, покращення умов життя та підвищення екологічних характеристик довкілля. Найпопулярніша серед цих категорій – «розумні» цифрових технологій. Водночас «екологічні» характеристики довкілля досліджуються відносно рідше. Згідно досліджень [3] лише близько половини критеріїв «розумності» міст, які використовуються в емпіричних дослідженнях, стосуються потреб міських жителів, а решта є загальними технологічними характеристиками. Автори наголошують, що «Розумне місто – це місто, в якому збалансовано економічні, екологічні та суспільні досягнення для покращення добробуту мешканців шляхом широкого впровадження інформаційних, комунікаційних та інших технологічних інструментів» [3]. Згідно з цим визначенням, певна міська інноваційна сутність наприклад, інтелектуальні давачі або покращений моніторинг процесів, сприяє підвищенню «розумності» міста, лише якщо вона покращує якість життя (англ. Quality of Life, QoL) громадян. Концепція сталого розвитку потребує збалансованості соціальних, економічних та екологічних цілей розвитку.

Література

- [1] Ritchie, H.; Roser, M. Urbanization. Our World in Data. 2018. URL: <https://ourworldindata.org/urbanization>.
 [2] Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations. 2018 United Nations Report. URL: <https://www.un.org/en/desa/around-25-billion-more-people-will-be-living-cities-2050-projects-new-un-report>.
 [3] Dashkevych, Oleg, and Boris A. Portnov. Criteria for Smart City Identification: A Systematic Literature Review. Sustainability 14.8 (2022): 4448.

*VI Міжнародна студентська науково - технічна конференція
"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ НАУКИ. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"*

Скалецький П., Ставицька А., Дуда В. ІННОВАЦІЙНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ «РОЗУМНИХ» МІСТ	176
Стебельський М., Букатка С. ЗАГАЛЬНОСИСТЕМНІ КРИПТОГРАФІЧНІ ПОЛІТИКИ ОС LINUX. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ	177
Стефанюк О. АНАЛІЗ КОНЦЕПЦІЇ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ	179
Тененський М., Галюк М. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ VRM ЗАСТОСУНКІВ	181
Тимощук В., Стебельський М. ШИФРУВАННЯ ДАНИХ В ОПЕРАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	183
Федорович І. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РОЗРОБЛЕНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБРОБКИ ПРИРОДНОЇ МОВИ ДЛЯ ПОТОКІВ ТЕКСТОВИХ ДАНИХ	185
Федорович І. ПРОЦЕС ОНОВЛЕННЯ СЛОВНИКА УКРАЇНСЬКОЇ МОВИ ДЛЯ МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗАТОРА РУМОРPHY2	187
Хараджян М. ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СТВОРЕННІ ДИСТАНЦІЙНИХ ПІДРИВНИКІВ	189
Хома С.-З. СМАРТ-КОНТРАКТИ НА ОСНОВІ RUST ДЛЯ РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ	191
Хом'як А. КЛАСИФІКАЦІЯ ПІДХОДІВ ДО ІНТЕРФЕЙСІВ МОЗОК-КОМП'ЮТЕР	193
Шаповалов В. РОЗРОБКА WEB СЕРВЕРІВ В СЕРЕДОВИЩІ ОС LINUX	195
Шишкіна В. ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЧАТ-БОТІВ	197
Юзьків О. ЗАСТОСУВАННЯ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ (PON) В УМОВАХ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	199
Дерев'янку В. ПОБУДОВА ЧИСЕЛЬНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ПЕРШОЇ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ ДЛЯ РІННЯ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ	200
Мимрик У. МЕТОДИКА НАБЛИЖЕНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ РІВНЯНЬ ПАРАБОЛІЧНОГО ТИПУ	202
Островський О. РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ДЛЯ ПРЯМОКУТНОГО БРУСА	204

УДК 004.9

Скалецький П. – аспірант, Ставицька А., Дуда В. – ст. гр. СН-11

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ІННОВАЦІЙНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ «РОЗУМНИХ» МІСТ

Науковий керівник: к.т.н., доц. Дуда О.М.

Skaletskyi P., Stavytska A., Duda V.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

INNOVATIVE INFORMATION TECHNOLOGIES OF SMART CITIES

Supervisor: Ph.D., Dr. Duda O.M.

Ключові слова: інформаційні технології, розумне місто, web 3.0.

Key words: information technologies, smart city, web 3.0.

«Розумні» міста формують на основі інноваційних інформаційних технологій, зокрема, давачів, інтегрованих до масштабованих обчислювальних системи та послуг. Ці системи з'єднані за допомогою численних різнотипових міських мереж, що безперервно забезпечують процеси передавання даних щодо діяльності людей та фізичних об'єктів. Зокрема пристрої, будівлі та сутності, що використовуються при формуванні потоків рішень щодо фізичної, експлуатаційної та соціальної структури сучасних міст [1]. Водночас, інноваційні інформаційно-технологічні концепції «розумних» міст еволюціонують в напрямку Web 3.0 з формуванням децентралізованих семантичних мереж [2]. В перспективі «розумні» міста майбутнього будуть активно використовувати децентралізований Web 3.0 як базовий елемент інформаційних систем. Прообраз «розумного» міста потребує використання та інтеграції обширної множини інноваційних інформаційних технологій, зокрема:

- Web 3.0.
- Блокчейн.
- Штучний інтелект (англ. Artificial Intelligence, AI).
- Хмарні обчислення (англ. Cloud computing, CC).
- Периферійні (туманні) обчислення (англ. Fog Computing, FC) тощо.

Вони покликані для передавання інформації, оптимізації ефективності міських операцій, покращення якості послуг, що надаються громадянам [3]. Ключові цілі інформаційних потоків у «розумних» містах охоплюють обширну множину видів діяльності, наприклад: управління дорожнім рухом та транспортними системами; управління електростанціями; управління комунальними послугами; управління мережами постачання ресурсів та послуг; збирання, сортування та утилізація відходів; забезпечення безпеки громадян та інформаційних систем; функціонування шкіл, бібліотек, лікарень та різноманітних громадських служб.

Література

- [1] Dey, Somdip, et al. SmartNoshWaste: Using blockchain, machine learning, cloud computing and QR code to reduce food waste in decentralized web 3.0 enabled smart cities. *Smart Cities* 5.1. 2022; pp. 162-176.
- [2] Alabdulwahhab, F.A. Web 3.0: The decentralized web blockchain networks and protocol innovation. In *Proceedings of the 2018 1st International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)*, Riyadh, Saudi Arabia, 4–6 April 2018; pp. 1–4.
- [3] Peris-Ortiz, M.; Bennett, D.R.; Yábar, D.P.B. *Sustainable Smart Cities*. In *Innovation, Technology, and Knowledge Management*; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2017.

Тези конференції

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя
Маріборський університет (Словенія)
Технічний університет в Кошице (Словаччина)
Каунаський технологічний університет (Литва)
Львівський національний університет
імені Івана Франка,
Гірничо-металургійна академія ім. Станіслава Сташиця (Польща)
Луцький національний технічний університет,
Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича,
Вроцлавський економічний університет (Польща)
Університет технологій та економіки
імені Хелени Ходковської (Польща)
Донбаська державна машинобудівна академія



*Студентське наукове
товариство*



VII МІЖНАРОДНА
студентська науково - технічна конференція
"ПРИРОДНИЧІ ТА ГУМАНІТАРНІ
НАУКИ.

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ"

25-26 квітня 2024 р.

(збірник тез конференції)

Тернопіль 2024

ББК 72+34 (Укр)
М34

Матеріали VII Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя (м. Тернопіль, 25-26 квітня 2024 р.), 2024.- 308 с.

В збірнику друкуються матеріали VII Міжнародної студентської науково-технічної конференції. Тернопіль. – ТНТУ ім. І. Пулюя (25-26 квітня 2024 р.) за наступними науковими напрямками:

культура і мистецтво; гуманітарні науки; соціальні та поведінкові науки; управління та адміністрування; природничі науки; математика та статистика; інформаційні технології; механічна інженерія; електрична інженерія; автоматизація та приладобудування; хімічна та біоінженерія; електроніка та телекомунікації; виробництво та технології; архітектура та будівництво; аграрні науки та продовольство; сфера обслуговування; транспорт.

Редакційна колегія:

д.е.н. Богдан Андрушків, д.т.н. Олег Ляшук, д.т.н. Ігор Стадник, д.ф.н. Анатолій Довгань, д.ф.н. Андрій Криськов, д.т.н. Володимир Андрійчук, д.т.н. Анатолій Лупенко, к.ф.-м.н. Михайло Михайлишин, д.т.н. Михайло Пилипець, д.т.н. Роман Рогатинський, д.т.н. Петро Стухляк, д.т.н. Михайло Паламар, д.е.н. Наталія Кирич, д.т.н. Микола Підгурський, д.т.н., Микола Приймак, д.т.н. Василь Васильків, д.б.н. Володимир Юкало, д.в.н. Микола Кухтин, д.т.н. Богдан Яворський, к.ф.-м.н. Борис Шелестовський, д.ф.-м.н. Василь Кривень, д.т.н. Павло Маруцак, д.е.н. Олена Панухник, д.е.н. Володимир Фалович, д.т.н. Тетяна Вітенько, д.т.н. Володимир Дзюра, д.т.н. Віктор Барановський, д.ф.-м.н. Михайло Петрик, д.е.н. Роман Шерстюк.

Комп'ютерний набір, верстка та редагування:
науковий секретар Ігор Окіпний

Адреса конференції:
46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя
e-mail: snt@tntu.edu.ua
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

Яцюк М. УПРАВЛІННЯ МАРКЕТИНГОВИМ ПОТЕНЦІАЛОМ	227
Якуб'як О. ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ КОСТ-КЛІНГУ ЯК ОДНОГО З МЕТОДІВ ОБЛІКУ ВИТРАТ	229
Якуб'як О. РОЗУМІННЯ МОВИ ТІЛА ЯК ОДНА З КОМУНІКАТИВНИХ НАВИЧОК КЕРІВНИКА	231
Рожко С. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ГРОШОВИМИ ПОТОКАМИ	233
Кравець С. ВИКОРИСТАННЯ ЗАКОНУ ГЕССА У ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	235
Ніколаєнко В. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАТИВНОГО ЕЛЕКТРОФОРЕЗУ БІЛКІВ, МОДИФІКОВАНИХ ОРГАНІЧНИМИ МОЛЕКУЛАМИ	236
Кульчицький С. ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ 3D ДРУКУ В АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА	238
Гавдера С., Андрійв Х. ЗЕЛЕНА ПОКРІВЛЯ	240
Волинець Л.В., Дуда В.О., Гарматюк Н.А. «АНАЛІТИКА ВЕЛИКИХ ДАНИХ» В ГАЛУЗІ «РОЗУМНОЇ» ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я	242
Panasenko S.M. , Palaniza Y.B. MEDIAN FILTRATION FOR TESTER PROBE SIGNALS NOISE REDUCING	244
Rii I.I., Palaniza Y.B. SIMPLE EXPONENTIAL SMOOTHING FOR DENOISING BODY TEMPERATURE DATA	246
Сташків В. СУЧАСНІ МЕТОДИ УСУНЕННЯ ПРОБЛЕМИ "SCREEN DOOR EFFECT" В ГАРНІТУРАХ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ	248
Козловський С., Борис І., Булаєнко Р., Антонюк В. МОДЕЛЮВАННЯ ЗВАРНОГО З'ЄДНАННЯ	249
Сороківський О. ТРЕНДИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ	251
Гач Ю. ЛОГІСТИЧНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ У ВОЄННИЙ ЧАС	253

УДК 004.03

Волинець Л.В., Дуда В.О., Гарматюк Н.А.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

«АНАЛІТИКА ВЕЛИКИХ ДАНИХ» В ГАЛУЗІ «РОЗУМНОЇ» ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Науковий керівник: к.т.н., доцент Готович В.А.

Volynets L.V., Duda V.O., Harmatiuk N.A.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

"BIG DATA ANALYTICS" IN THE FIELD OF "SMART" HEALTHCARE

Supervisor: Ph.D., associate professor Hotovych Ph.D.

Ключові слова: великі дані, аналітика великих даних, «розумна» охорона здоров'я.

Keywords: big data, big data analytics, "smart" healthcare.

Впровадження програмно-алгоритмічних комплексів та інформаційно-технологічних платформ з інтегрованими засобами аналітичного опрацювання великих за обсягом наборів та колекцій даних в галузі «розумної» охорони здоров'я надають змогу використовувати інноваційні цифрові послуги для лікування пацієнтів та управління процесами оздоровлення. В [1] опубліковано результати досліджень, щодо використання засобів аналітичного опрацювання великих даних в медичних закладах, що розвиваються в галузі «розумної» охорони здоров'я на основі даних. При цьому для аналітичного опрацювання активно використовуються набори та колекції структурованих та неструктурованих даних щодо адміністрування, супроводу операційних та клінічних локацій [2]. Можна виділити типи та джерела структурних та неструктурних медичних даних:

- бази медичних даних;
- дані щодо транзакцій в медичних закладах та установах;
- неструктурований вміст електронних повідомлень при листуванні з пацієнтами та медичних документів;
- дані IoT-пристроїв та «розумних» датчиків.

Проте на даний час використання медичних даних з соціальних джерел доволі обмежене. Спостерігається розвиток аналітики в галузі «розумної» охорони здоров'я не лише в адміністративно-бізнесовому напрямі, а й у клінічній сфері. Це підкреслює, що значна частина рішень в медичних установах керується даними.

На практиці в медичних установах активно використовуються структуровані та неструктуровані набори та колекції даних. Структуровані дані в медичній галузі мають заздалегідь визначені схеми, вони обширні за обсягом, довільної форми та подаються у різних форматах [3]. Неструктуровані набори та колекції медичних даних називаються «великими даними» (англ. Big Data), які не можливо описати за допомогою типових форматів та опрацювати за допомогою традиційних засобів обробки даних. «Великі дані» характеризуються великою кількістю та обсягами наборів та колекцій даних, які неможливо зберегти, обробити чи проаналізувати за допомогою традиційних

Тези конференції

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ
НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ім. ШЕВЧЕНКА**

МАТЕРІАЛИ**ХІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ****«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»****18–19 грудня 2024 року****ТЕРНОПІЛЬ
2024**

УДК 001
МЗ4

ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Приймак Микола – професор кафедри комп'ютерних систем та мереж, д.т.н., професор.

Співголови: Марущак Павло – проректор з наукової роботи, докт. техн. наук, професор.

Баран Ігор – канд. техн. наук, доцент, декан факультету ФІС.

Науковий секретар: Надія Крива – старший викладач.

Члени: Василь Кривень – завідувач кафедри математичних методів в інженерії д.ф.-м.н., професор; Галина Осухівська – завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж, к.т.н., доцент; Микола Карпінський - професор кафедри кібербезпеки, д.т.н., професор; Жанна Баб'як - завідувач кафедри української та іноземних мов, к.пед. н., доцент; Ярослав Литвиненко – професор кафедри комп'ютерних наук, д.т.н., професор; Михайло Петрик - завідувач кафедри програмної інженерії, д.ф.-м.н., професор; Наталія Загородна – завідувач кафедри кібербезпеки, к.т.н., доцент.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Голова: Скоренький Юрій Любомирович – канд. техн. наук, доцент кафедри фізики.

Члени: доцент кафедри комп'ютерних наук, к.т.н. В. Никитюк; доцент кафедри програмної інженерії, к.т.н. Д. Михалик; доцент кафедри кібербезпеки, к.т.н. М. Стадник; доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж, к.т.н. Є. Тиш; ст. викладач Л. Джиджора.

Матеріали XII науково-технічної конфіції «Інформаційні моделі, системи та технології»
МЗ4 Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя,
(Тернопіль, 18–19 грудня 2024 р.). – Тернопіль : Тернопільський національний
технічний університет імені Івана Пулюя, 2024. – 238 с.

Адреса оргкомітету: ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001,
тел. (0352) 52-41-33, факс (0352) 25-49-83.

E-mail: confis2024@gmail.com

Редагування, оформлення та верстка: Надія Крива

СЕКЦІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, ЯКІ ПРЕДСТВЛЕНІ В ЗБІРНИКУ

- Математичне моделювання
- Інформаційні системи та технології, кібербезпека
- Комп'ютерні системи та мережі
- Програмна інженерія та моделювання складних розподілених систем
- Новітні фізико-технічні та освітні технології

В збірнику надруковано тези доповідей XII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (Тернопіль, 18–19 грудня 2024 р.) за такими науковими напрямками: математичне моделювання; інформаційні системи та технології, кібербезпека; комп'ютерні системи та мережі; програмна інженерія та моделювання складних розподілених систем; новітні фізико-технічні та освітні технології.

Розрахований на науковців, викладачів та студентів вузів.

За зміст тез та дотримання норм академічної доброчесності відповідальність несе автор.

К. Костюк РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ДЛЯ АГРОХОЛДИНГУ K. Kostiuk DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR INFORMATION SECURITY RISK ASSESSMENT FOR AN AGRICULTURAL HOLDING	46
Ю. Р. Курчак МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ РЕКОМЕНДАЦІЙ НА ВЕБ-САЙТІ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ГРАФІВ І СТАТИСТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ Y. R. Kurchak MODELING AND ANALYSIS OF A WEBSITE RECOMMENDATION SYSTEM BASED ON GRAPH THEORY AND STATISTICAL ALGORITHMS	47
В. А. Лабчук ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ MICROSOFT LINQ ДЛЯ ЗАДАЧ КОНСОЛІДАЦІЇ ДАНИХ V. A. Labchuk RESEARCHMENT OF THE DATA CONSOLIDATION TASKS' OPPORTUNITIES WITH THE HELP OF USING MICROSOFT LINQ TECHNOLOGY	48
В. А. Лабчук ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ LINQ В ПОРІВНЯННІ З SQL-КОДОМ V. A. Labchuk PROS AND CONS OF USING LINQ INSTEAD OF RAW-SQL	49
С. В. Литвиненко, М. Є. Фриз МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТАРГЕТОВАНОЇ РЕКЛАМИ S. V. Lytvunenko, M. E. Friz MATHEMATICAL SUPPORT OF TARGETED ADVERTISING	50
О. Ловчук, В. Дубельт, А. Лисий KUBERNETES В ОБЧИСЛЮВАЛЬНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ РОЗУМНИХ МІСТ O. Lovchuk, V. Dubelt, A. LYSYI KUBERNETES IN THE SMART CITIES COMPUTING INFRASTRUCTURE	51
О. Ловчук, Р. Катрич, В. ДУДА АКТУАЛЬНІСТЬ ХМАРНОГО МАСШТАБУВАННЯ ТА KUBERNETES O. Lovchuk, R. Katrych, V. Duda THE RELEVANCE OF CLOUD SCALATION AND KUBERNETES	52
П. Луговський, І. Фалендиш ВИБІР ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК ДЛЯ ЗАДАЧІ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ANDROID P. Lugovskiy, I. Falendysh SELECTION OF INFORMATIVE FEATURES FOR THE TASK OF ANDROID MALWARE DETECTION	53
В. Мазур МЕТОДИ ЗАХИСТУ ВІД КІБЕРАТАК НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ V. Mazur AI-BASED METHODS FOR PROTECTION AGAINST CYBERATTACKS	54
М. Маланчук, Г. Козбур ОГЛЯД ВІТЧИЗНЯНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ ДЛЯ НАДАННЯ ПЕРШОЇ МЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЧАТ-БОТІВ M. Malanchuk, H. Kozbur REVIEW OF DOMESTIC AUTOMATED SYSTEMS FOR FIRST AID USING CHATBOTS	55

УДК 004.032

О. Ловчук; Р. Катрич; В. Дуда

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

АКТУАЛЬНІСТЬ ХМАРНОГО МАСШТАБУВАННЯ ТА KUBERNETES

UDC 004.032

O. Lovchuk; R. Katrych; V. Duda

THE RELEVANCE OF CLOUD SCALATION AND KUBERNETES

На даний час в процесі розширення хмарних платформ та послуг зростає потреба в підвищенні продуктивності інфраструктур центрів обробки даних. Високопродуктивні обчислення, передові мережеві рішення та стратегії динамічної оптимізації обчислювальних ресурсів зможуть допомогти персоналу центрів хмарного опрацювання даних забезпечувати високу швидкість та ефективність, що необхідні для надання високоякісних послуг [1]. При цьому однією з ефективних стратегій оптимізації хмарних обчислювальних процесів є запуск контейнерних програм. Він забезпечує покращення портативності програмно-алгоритмічних засобів, підвищення безпеки, прискорення перебігу процесів використання ресурсів, пришвидшення процедур розгортання та масштабування, а також покращення процесів інтеграції та взаємодії. Зазначені переваги зможуть допомогти установам та організаціям покращити протікання процесів розгортання застосунків, їх супроводу, обслуговування та керування, даючи змогу оперативніше та ефективніше реагувати на динамічні потреби бізнес-процесів.

Kubernetes – це система оркестровки контейнерів. Вона призначена для автоматизації процесів розгортання, масштабування та управління контейнерними програмно-алгоритмічними засобами. Однією з ключових її особливостей є функціональні можливості планувати процедуру розгортання та виконання контейнерів у кластерах обчислювальних вузлів за допомогою алгоритмів планування [2]. Ці алгоритми визначають найкраще розміщення контейнерів на доступних обчислювальних вузлах у кластері. Система оркестрації контейнерів Kubernetes, пропонує можливість автоматизованого керування та масштабування цих розумних служб, забезпечуючи високі показники надійності та стійкості роботи за допомогою динамічного планування обчислювального навантаження. Тому алгоритми планування в Kubernetes для розумних міст є ключовими компонентами ефективного управління та розподілу ресурсів в міській обчислювальній інфраструктурі.

Тому актуальним напрямком сучасних досліджень є вичерпний аналітичний огляд різнотипових алгоритмів планування Kubernetes [1]. При дослідженні характеристик алгоритмів планування Kubernetes їх можна згрупувати у чотири підкатегорії:

- загальне планування;
- планування з підтримкою автоматичного масштабування;
- планування на основі багатоцільової оптимізації;
- орієнтоване на штучний інтелект планування.

Алгоритми планування Kubernetes функціонують на основі різнотипових параметрів, як от обчислювальні ресурси, мережеві вимоги, характеристики зв'язку та інші критерії.

Література

1. Senjab, Khaldoun, et al. «A survey of Kubernetes scheduling algorithms». *Journal of Cloud Computing* 12.1 (2023): 87.
3. Wen, Shilin, et al. «K8sSim: A Simulation Tool for Kubernetes Schedulers and Its Applications in Scheduling Algorithm Optimization». *Micromachines* 14.3 (2023): 651.

Тези конференції

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

МАТЕРІАЛИ

ХІІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



17-18 грудня 2025 року

**ТЕРНОПІЛЬ
2025**

УДК 001
М34

ПРОГРАМНИЙ КОМПІТЕТ

Голова: Микола Приймак – професор кафедри комп'ютерних систем та мереж, д.т.н., професор;

Співголови: Павло Марущак – докт. техн. наук, професор, проректор з наукової роботи.
Ігор Баран – канд. техн. наук, доцент, декан факультету ФІС.

Науковий секретар: Галина Семенишин – старший викладач.

Члени: докт. фіз.-мат. наук, професор Василь Кривень; докт. техн. наук, професор Ярослав Литвиненко; докт. техн. наук, професор Микола Карпінський; докт. фіз.-мат. наук, професор Михайло Петрик; канд. техн. наук, доцент Галина Осухівська; канд. пед. наук, доцент Жанна Баб'як; канд. техн. наук, доцент Наталія Загородна.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМПІТЕТ

Голова: Юрій Скоренький – канд. фіз.-мат. наук, доцент, завідувач кафедри фізики

Члени: канд. техн. наук, доцент Вячеслав Никитюк; канд. техн. наук, доцент Дмитро Михалик; канд. техн. наук, доцент Марія Стадник; канд. техн. наук, доцент Євгенія Тиш; ст. викладач Ліліана Джиджора.

Матеріали XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та М34 технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 17–18 грудня 2025 р.). – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025. –162 с.

Адреса оргкомітету: ТНТУ ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001,
тел. (0352) 52-41-33, факс (0352) 254983.

E-mail: confis2025@gmail.com

Редагування, оформлення та верстка: Галина Семенишин

СЕКЦІЇ КОНФЕРЕНЦІЇ, ЯКІ ПРЕДСТВЛЕНІ В ЗБІРНИКУ

- Математичне моделювання;
- Інформаційні системи та технології;
- Комп'ютерні системи та мережі;
- Програмна інженерія та моделювання складних розподілених систем;
- Новітні фізико-технічні та освітні технології.

В збірнику надруковано тези доповідей XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (Тернопіль, 17–18 грудня 2025 р.) за такими науковими напрямками: математичне моделювання; інформаційні системи та технології; комп'ютерні системи та мережі; програмна інженерія та моделювання складних розподілених систем; новітні фізико-технічні та освітні технології.

Розрахований на науковців, викладачів та студентів вузів.

За зміст тез та дотримання норм академічної доброчесності відповідальність несе автор.

© Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025

В. Кокайло АНАЛІЗ МЕТААСАМБЛЕВИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МЕДИЧНИХ ДІАГНОЗІВ	
V. Kokailo ANALYSIS OF META-ENSEMBLE ALGORITHMS FOR MEDICAL DIAGNOSIS CLASSIFICATION	202
Е. Приймачук ЦИФРОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ (SMART GRID) ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ (SCADA, ADMS)	
E. Prymachuk DIGITAL ELECTRICITY GRIDS (SMART GRID) AND INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS (SCADA, ADMS)	203
Н. Луцик, В. Антонюк, А. Паламар СТРУКТУРА ІОТ-СИСТЕМИ ДЛЯ МОНИТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ	
N. Lutsyk, V. Antoniuk, A. Palamar STRUCTURE OF AN IOT SYSTEM FOR MONITORING THE PARAMETERS OF ELECTRICAL NETWORKS IN RESIDENTIAL PREMISES	204
М. Боднар, Г. Вовнянка, В. Дуда ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДАНИХ У РОЗУМНИХ МІСТАХ	
M. Bodnar, H. Vovnianka, V. Duda ADVANCED DATA PROCESSING TECHNOLOGIES IN SMART CITIES	205
І. Вітів, А. Кривецький, М. Боднар БАГАТОВИМІРНЕ АНАЛІТИЧНЕ ОПРАЦЮВАННЯ ВЕЛИКИХ ДАНИХ	
I. Vitiv, A. Kryvetskyi, M. Bodnar BIG DATA MULTIDIMENSIONAL ANALYTICAL PROCESSING	206
Г. Вовнянка, Д. Ониськів, А. Кривецький ПЕРСПЕКТИВИ АНАЛІТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ РОЗУМНИХ МІСТ	
H. Vovnianka, D. Onyskiv, A. Kryvetskyi PROSPECTS OF ANALYTICAL PROCESSING OF SMART CITIES DATA	207
О. Котлінський, І. Вітів, С. Довгалюк РОЗУМНІ МІСТА – КОНЦЕПТИ ТА НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ	
O. Kotlinskyi, I. Vitiv, S. Dovhaliuk SMART CITIES – CONCEPTS AND RESEARCH DIRECTIONS	208
В. Лабчук, Р. Захарченко ДЕЗИНФОРМАЦІЯ ВОРОЖИХ СИЛ ЗАСОБАМИ SMALL DATA	
V. Labchuk, R. Zakharchenko DISINFORMATION OF ENEMY FORCES WITH THE HELP OF SMALL DATA	209
А. Микитишин, С. Гавриць, О. Колеснік РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ	
A. Mikitishin, S. Havryus, O. Kolesnik DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM FOR CNC MACHINES	211
Р. Михайлишин, М. Приймак КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА ІОТ-СИСТЕМА КОНТРОЛЮ КІЛЬКОСТІ ЛЮДЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	
R. Mykhailyshyn, M. Pryimak COMPUTERIZED IOT SYSTEM FOR MONITORING THE NUMBER OF PEOPLE USING CLOUD TECHNOLOGIES	212
Д. Ониськів, С. Довгалюк, О. Котлінський СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДОВКІЛЛЯ	
D. Onyskiv, S. Dovhaliuk, O. Kotlinskyi ENVIRONMENTAL INDICATORS MONITORING SYSTEMS	213

УДК 004.03

М. Боднар; Г. Вовнянка; В. Дуда

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДАНИХ У РОЗУМНИХ МІСТАХ

UDC 004.03

M. Bodnar; H. Vovnianka; V. Duda

ADVANCED DATA PROCESSING TECHNOLOGIES IN SMART CITIES

Швидкий прогрес інформаційних та комунікаційних технологій забезпечив нові методи обробки та аналізу джерел даних у «розумних містах». Для цього застосовуються різноманітні технології для дистрибуції міст, щоб зробити їх більш придатними для життя, ефективними, інтелектуальними, сталими та стійкими. Інтелектуальні та ефективні моделі обробки даних для застосунків машинного зору в «розумних містах» впроваджують в інтелектуальні системи виявлення для моніторингу швидкості та потоку транспортних засобів, а також руху пішоходів на дорогах та тротуарах [1]. Застосування моделей машинного навчання в «розумних містах»:

– Моделі зберігання та пошуку для обробки масивних відеоданих у хмарі для моніторингу транспортних засобів та дотримання правил дорожнього руху в системах відеоспостереження та транспорту.

– Моделі на основі зображень та розпізнавання для аналізу поширених даних зображень у містах, зокрема системи розпізнавання пожеж на основі глибокого навчання для розумної профілактики пожеж та системи виявлення кришок люків у моніторингу проїжджої частини та вулиць.

– Моделі прогнозування поточних даних у «розумних містах» для завчасного визначення заторів на дорогах та тенденцій руху пішоходів.

– Моделі оптимізації в «розумних містах», зокрема моделі інтелектуальної маршрутизації та планування шляху для навігації транспортних засобів у логістичних, дистрибуційних та постачальних системах [1].

Вищезазначена родина моделей в основному адаптована до сфер застосування «розумної» мобільності та «розумного» пішохідного руху. Однак, також є багато дослідників, які працюють над моделями обробки даних в інших міських доменах, або незалежно, або в інтегрованому режимі з транспортом. В [1] зроблено огляд численних платформ «розумного міста» на ринках для управління даними та інтеграції з різноманітними застосунками. Перспективним є надання відносно комплексного огляду моделей обробки міських даних з різними методами для різних прикладних доменів.

«Розумні міста» зазнали швидкого зростання і тому стали головною тенденцією у розвитку «розумних» середовищ. «Розумні міста» прагнуть покращити придатність міських поселень для життя, підвищити сталість та зменшити експлуатаційні витрати. Очікується, що концепція «розумного міста» принесе значну користь, і вона була прийнята великими містами по всьому світу. Однак цінність бачення «розумних міст» може бути повністю реалізована лише через успішну інтеграцію передових технологій та перспективних моделей міського управління.

Література

1. khaleel Khlewee, Ismael, Kassem Hamze, and Tirus Muya. "AI in smart cities: A review of urban data processing, prediction, and optimization techniques." ESTIDAMAA 2025 (2025): 29-38.