

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження процесів інтеграції IoT та штучного інтелекту в розумних містах

Виконав: студент VI курсу, групи СНм-61
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
(шифр і назва спеціальності)

Дубельт В.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник Кунанець Н.Е.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Дуда О.М.
(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Боднарчук І.О.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Гащин Н.Б.
(прізвище та ініціали)

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)

« 25 » грудня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

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

Студенту Дубельту Василю Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесів інтеграції IoT та штучного інтелекту в розумних містах

Керівник роботи Кунанець Наталія Едуардівна, д.н.с.к, професор кафедри КН
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » листопада 2023 року № 4/7-1100

2. Термін подання студентом завершеної роботи 17 грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації про IoT пристрої, штучний інтелект та розумні міста

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

Вступ. 1 Стан та перспективи досліджень в галузі Інтернету речей та штучного інтелекту для «розумного міста». 2. Технології штучного інтелекту для IoT-систем «розумного міста» та їх перспективи. 3. Прототипування інформаційно-технологічної архітектури та Перспективні тенденції «розумного міста» на базі IoT та ШІ. 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Додатки.

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 Було проведено пошук англійською мовою за ключовими словами. 6 ШІ оптимізує та керує різними міськими системами. 7 Проаналізовано для IoT-

систем «Розумних міст». 8 Впровадження застосунків у «розумному місті» шляхом інтеграції IoT та ШІ. 9 Комунікаційні технології в різних сферах «розумних міст». 10 Перспективні характеристики мереж. 11 Висновки. 17 Завершальний слайд.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Сенчишин В.С., доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання 29 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	29.11.2024	Виконано
2.	Підбір наукових джерел про IoT пристрої, штучний інтелект та розумні міста	29.11.2024-04.12.2024	Виконано
3.	Опрацювання наукових публікацій та збір даних по темі роботи	29.11.2024-04.12.2024	Виконано
4.	Виконання дослідження згідно мети кваліфікаційної роботи	05.12.2024-09.12.2024	Виконано
5.	Оформлення розділу «Стан та перспективи досліджень в галузі Інтернету речей та штучного інтелекту для «розумного міста»»	05.12.2024-09.12.2024	Виконано
6.	Оформлення розділу «Технології штучного інтелекту для IoT-систем «розумного міста» та їх перспективи»	05.12.2024-09.12.2024	Виконано
7.	Оформлення розділу «Прототипування інформаційно-технологічної архітектури та Перспективні тенденції «розумного міста» на базі IoT та ШІ»	05.12.2024-09.12.2024	Виконано
8.	Виконання завдання до підрозділу «Охорона праці»	02.12.2024-09.12.2024	Виконано
9.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека в надзвичайних ситуаціях»	02.12.2024-09.12.2024	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	10.12.2024-11.12.2024	Виконано
11.	Нормоконтроль	12.12.2024-13.12.2024	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	16.12.2024	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	17.12.2024	Виконано
14.	Захист кваліфікаційної роботи	26.12.2024	

Студент _____
(підпис)

Дубельт В.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Куланець Н.Е.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дослідження процесів інтеграції IoT та штучного інтелекту в розумних містах // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Магістр» // Дубельт Василь Сергійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СНм-61 // Тернопіль, 2024 // С. 73, рис. – 7, табл. – 3, кресл. – 12, додат. – 1, бібліогр. – 50.

Ключові слова: розумне місто, комунікаційні технології, IoT, 5G, штучний інтелект.

Кваліфікаційна робота присв'ячена дослідженню процесів інтеграції IoT та штучного інтелекту в розумних містах.

Об'єкт дослідження процеси інтеграції Інтернету речей та штучного інтелекту в системи «розумного міста».

Предмет дослідження. методи штучного інтелекту для опрацювання даних, що отримані на основі Інтернету речей в «розумних містах».

В першому розділі кваліфікаційної роботи описано парадигму «розумного міста». Проаналізовано інформаційні та комунікаційні технології «розумних міст». Подано опис процесу наукометричного мошуку магістерського дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи досліджено технології штучного інтелекту для IoT-систем розумного міста. Подано розлогий аналіз перспектив розвитку ШІ для IoT-систем «розумного міста». В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано прототип інформаційно-технологічної архітектури «розумного міста» на базі IoT та ШІ. Описано перспективні тенденції розвитку «розумних міст» на базі IoT та ШІ. У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто психологічні чинники небезпеки. Описано контроль за станом охорони праці.

ANNOTATION

Research on IoT and Artificial Intelligence Integration Processes in Smart Cities // The educational level "Master" qualification work // Dubelt Vasyl Serhiiovych // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Faculty of Computer Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Science, SNnm-61 group // Ternopil, 2024 // P. 73, fig. - 7, tables - 3, posters - 12, annexes - 1, ref. - 103.

Key words: smart city, communication technologies, IoT, 5G, artificial intelligence.

The qualification work is devoted to the study of the processes of integration of IoT and artificial intelligence in smart cities.

The object of the study is the processes of integration of the Internet of Things and artificial intelligence into the systems of a "smart city".

The subject of the study. artificial intelligence methods for processing data obtained on the basis of the Internet of Things in "smart cities".

The first section of the qualification work describes the paradigm of a "smart city". Information and communication technologies of "smart cities" are analyzed. A description of the process of scientometric analysis of the master's research is given. The second section of the qualification work investigates artificial intelligence technologies for IoT-systems of a smart city. An extensive analysis of the prospects for the development of AI for IoT-systems of a "smart city" is given. The third section of the qualification work describes the prototype of the information and technological architecture of a "smart city" based on IoT and AI. Promising trends in the development of "smart cities" based on IoT and AI are described. The section "Occupational health and safety in emergencies" discusses psychological risk factors. Control over the state of occupational health and safety is described.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

CNN (англ. Computer Vision) – Згорткова нейронна мережа.

CV (англ. Computer Vision) – Комп'ютерний зір

DL (англ. Deep Learning) – Глибоке навчання

DBN (англ. Deep Belief Network) – Мережа глибоких переконань.

GA (англ. Genetic Algorithm) – Генетичний алгоритм

IoT (англ. Internet of Things) – Інтернет речей

ML (англ. Machine Learning) – Машинне навчання

M2M (англ. Machine-to-Machine) – Машинно-машинна взаємодія

NLM (англ. National Library of Medicine) – Національна медична бібліотека

США

NLP (англ. Natural Language Processing) – Обробка природної мови

RL (англ. Natural Language Processing) – Підкріплене навчання

RNN (англ. Recurrent Neural Network) – Рекурентна нейронна мережа

ШІ – Штучний інтелект

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ В ГАЛУЗІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ «РОЗУМНОГО МІСТА»	10
1.1 Парадигма «розумного міста».....	10
1.2 Інформаційні та комунікаційні технології «розумних міст»	12
1.3 Опис процесу наукометричного мошуку магістерського дослідження.....	21
1.4 Висновок до першого розділу	23
2 ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ІОТ-СИСТЕМ «РОЗУМНОГО МІСТА» ТА ЇХ ПЕРСПЕКТИВИ	24
2.1 Технології штучного інтелекту для IoT-систем розумного міста	24
2.1.1 Машинне навчання для IoT-систем «розумних міст»	25
2.1.2 Глибоке навчання для IoT-пристроїв «розумних міст»	26
2.1.3 Обробка природної мови для IoT-систем «розумних міст»	27
2.1.4 Комп'ютерний зір для IoT-платформ «розумних міст»	28
2.1.5 Навчання з підкріпленням для IoT-систем «розумних міст»	29
2.1.6 Генетичні алгоритми (GA) для IoT «розумних міст».....	30
2.2 Перспективи розвитку ШІ для IoT-систем «розумного міста»	31
2.2.1 «Розумна» мобільність	31
2.2.2 «Розумне» управління	32
2.2.3 «Розумна» освіта	33
2.2.4 «Розумна» економіка	34
2.2.5 «Розумна» охорона здоров'я	35
2.2.6 «Розумне» середовище	36
2.2.7 «Розумне» життя	37
2.3 Висновок до другого розділу	39
3 ПОТЕНЦІЙНИЙ ВПЛИВ ШІ НА «РОЗУМНІ МІСТА».....	40
3.1 Прототип інформаційно-технологічної архітектури «розумного міста» на базі IoT та ШІ	40

3.1.1 Компоненти сенсорних шарів «розумного міста»	42
3.1.2 Комунікації в багаторівневих архітектурах «розумного міста» для потреб IoT-систем та ШІ	42
3.2 Перспективні тенденції розвитку «розумних міст» на базі IoT та ШІ	47
3.3 Висновок до третього розділу	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	55
4.1 Питання щодо охорони праці.....	Помилка! Закладку не визначено.
4.2 Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях	Помилка! Закладку не визначено.
4.3 Висновок до четвертого розділу ..	Помилка! Закладку не визначено.
ВИСНОВКИ.....	63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. У міру того, як населення планети зростає, а урбанізація стає все більш поширеною, містам часто важко забезпечити зручний, безпечний і стійкий спосіб життя через брак необхідних «розумних» технологій. Інтернет речей (IoT) з'явився як вирішення цієї проблеми шляхом з'єднання фізичних об'єктів за допомогою електроніки, датчиків, програмного забезпечення та комунікаційних мереж. Це змінило інфраструктуру «розумних міст», запровадивши різні технології, які підвищують стійкість, продуктивність і комфорт для міських жителів. Використовуючи ШІ для аналізу великої за обсягом кількості доступних даних IoT, з'являються нові можливості для проектування футуристичних «розумних міст» і керування ними. Інтеграція Інтернету речей та штучного інтелекту формує інноваційні можливості розвитку «розумних міст», які значно покращують якість життя міських жителів, одночасно сприяючи стійкості та продуктивності. Інноваційні дослідження потенціалу IoT, ШІ та їх інтеграції покликані розкрити цінну інформацію про майбутнє «розумних міст», демонструючи, як ці технології можуть позитивно впливати на міське середовище та добробут їхніх мешканців. Тому процеси інтеграції IoT та штучного інтелекту в розумних містах є актуальним напрямком сучасних досліджень.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» є розробка комплексної моделі інтеграції Інтернету речей та штучного інтелекту в концепті розумного міста. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- Провести аналіз сучасного стану та перспектив розвитку IoT і ШІ в контексті реалізації концепції «розумного міста».
- Дослідити ключові технології штучного інтелекту для IoT-систем «розумних міст».
- Розробити прототип інформаційно-технологічної архітектури «розумного міста» на базі інтеграції IoT і ШІ.

– Оцінити вплив інтеграції IoT і ШІ на підвищення стійкості, безпеки та ефективності «розумних міст».

Об’єкт дослідження процеси інтеграції Інтернету речей та штучного інтелекту в системи «розумного міста».

Предмет дослідження. методи штучного інтелекту для опрацювання даних, що отримані на основі Інтернету речей в «розумних містах».

Наукова новизна одержаних результатів кваліфікаційної роботи полягає у розробці та обґрунтуванні підходів до інтеграції IoT та штучного інтелекту в архітектуру «розумних міст» для підвищення ефективності управління міськими процесами..

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні основ для розробки ефективних моделей інтеграції IoT та штучного інтелекту, що сприятимуть оптимізації управління міськими системами та підвищенню якості життя у «розумних містах».

Апробація результатів магістерської роботи. Основні результати проведених досліджень обговорювались на XII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 18–19 грудня 2024 р.).

Публікації. Основні результати кваліфікаційної роботи опубліковано у двох працях конференції (Див. додатки А).

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 103 найменувань та одного додатка. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає 73 сторінки, з них 46 сторінки основного тексту, який містить 7 рисунків та 3 таблиці.

1 СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ В ГАЛУЗІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ТА ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ «РОЗУМНОГО МІСТА»

1.1 Парадигма «розумного міста»

На даний час сформовано ряд визначень «розумного міста» [1]. Термін «розумне місто» часто використовується як взаємозамінний з іншими термінами, зокрема «електронне місто», «обізнане місто» та «цифрове місто». Це призвело до різноманітних теоретичних напрямків формування концепції «розумного міста» [2]. Термін «розумне місто» є неоднозначним поняттям, яке використовується різними способами. Немає жодного конкретного шаблону для визначення «розумного міста», а також немає єдиного загальновизнаного визначення [3]. Концепції «розумного міста» виникли як відповідь на виклики, пов'язані з урбанізацією та необхідністю сталого розвитку міст. Інтеграція різних технологій, зокрема IoT, ШІ та аналітики великих даних, спрямована на підвищення ефективності міських послуг, зменшення споживання ресурсів і підвищення рівня життя, що може призвести до покращення якості життя громадян. Технологічний розвиток настільки просунувся вперед, що сучасне «розумне місто» може збирати дані з різних застосунків, наприклад:

- розумне сільське господарство;
- розумна промисловість;
- розумне землеробство;
- розумна охорона здоров'я;
- розумний дорожній рух;
- розумні пішоходи тощо.

Потім відбувається аналіз та інтеграція важливих дані для надання рішення з метою підвищення рівня життя [4]. Швидкий розвиток Інтернету речей [5], технологій хмарних обчислень [6] та штучного інтелекту [7] може стати життєво важливим фактором у покращенні продуктивності, якості та інтерактивності міських об'єктів, що зменшить рівень управління витрати та підвищення кваліфікації.

Хоча визначення «розумного міста» може відрізнятися, загалом існують два різні підходи, які базуються на ключових областях, на яких «розумне місто» має зосередитися [8]. У першій тенденції визначення «розумного міста» підкреслює одну міську особливість, таку як технологія чи екологія, залишаючи решту особливостей міста. У визначеннях не розглядається головна мета «розумного міста», яка полягає в запровадженні інноваційної основи для управління міськими територіями та оцінки взаємозв'язків різних компонентів у межах міської екосистеми.

Зосередження лише на розвитку одного аспекту міської системи не обов'язково означає, що проблеми всієї системи можна подолати. Важливо враховувати комплексний взаємозв'язок міських характеристик, щоб подолати виклики сучасних міст і забезпечити ґрунтовний та ефективний підхід [9].

Згідно з іншим набором визначень, увага зосереджена на тому, як концепція «розумного міста» представляє комплексний підхід, який розглядає всі міські особливості як невід'ємні частини системи. Цей підхід підкреслює, що «розумне місто» – це нова методологія організації та розвитку міста, яка враховує економічні, технологічні та соціальні фактори для забезпечення стабільності та сталості міської системи в цілому.

Характеристики «розумного міста» можна охарактеризувати так:

- Інтеграція передових технологій IoT, ШІ та аналітика великих даних, для підвищення стійкості, ефективності та загального добробуту громадян.

- Впровадження відновлюваних джерел енергії, екологічно чистих будівель, інтелектуальних транспортних систем, електромобілів та ефективного управління дорожнім рухом. Крім того, інформаційно-технологічна платформа надає розуміння різних аспектів «розумного міста», зокрема енергоменеджмент, «розумні» будинки, оптимізований транспорт, системи розумних електромереж, моніторинг води, управління відходами та спрощене адміністрування. Ці ініціативи спрямовані на моніторинг існуючої інфраструктури та підвищення якості життя міських жителів.

– Акцент на залученні та активній участі громадян через ініціативи з відкритими даними та цифрові платформи, сприяння прозорості та співпраці між громадянами та урядом.

Описи пропонують комплексний підхід до міських проблем, який використовує нові технології, даючи можливість переглянути модель «розумного міста» та відносини між його зацікавленими сторонами [10].

1.2 Інформаційні та комунікаційні технології «розумних міст»

Міста вважаються складними системами з великою кількістю громадян, соціальних груп та спільнот, транспорту, комунікаційних мереж, різноманітних установ та підприємств, а також комунальних послугам для покращення способу життя містян. Величезна кількість людей приїжджає до міст, і міська влада змушена надавати мінімальні послуги, необхідні для повсякденного життя. Надлишок населення та швидка урбанізація створюють багато проблем в містах:

- Соціально-економічні проблеми: нерівність, бідність, безробіття, соціальна напруженість.
- Технічні проблеми: зношеність інфраструктури, затори, проблеми з водопостачанням та каналізацією.
- Організаційні проблеми: неефективне управління містом, бюрократія, корупція.
- Ризики для екологічної стійкості: забруднення повітря, води та ґрунту, знищення природних ресурсів, зміна клімату.
- Ризики для економічної стійкості: зростання витрат на інфраструктуру, зниження продуктивності праці, загроза для бізнесу.
- Проблеми зі здоров'ям: поширення інфекційних захворювань, зростання кількості хронічних захворювань, психологічні проблеми.
- Проблеми з житлом: дефіцит житла, високі ціни на нерухомість, погані житлові умови.
- Проблеми з освітою: перевантаженість шкіл, нестача кваліфікованих вчителів, низька якість освіти.

- Проблеми з безпекою: зростання злочинності, тероризм, соціальні конфлікти.
- Проблеми з транспортом: затори, високі витрати на транспорт, недостатня кількість громадського транспорту.
- Проблеми з енергетикою: дефіцит енергії, високі ціни на енергоносії, залежність від імпорту.
- Проблеми з управлінням відходами: накопичення сміття, забруднення навколишнього середовища.

За останні декілька років багато людей мігрували до міст, і прогнози показують, що до 2030 року понад шістдесят процентів населення планети житимуть у містах [11]. Зі збільшенням кількості людей впроваджуються різні інтелектуальні застосунки, які полегшують життя, сприяючи розвитку «розумних міст» [12]. Концепція «розумного міста» передбачає «розумне» управління цінними компонентами [13] зокрема це:

- «розумна» освіта – це онлайн-платформи для навчання, індивідуальні навчальні плани, віртуальна реальність в освіті.
- «розумна» безпека – це системи відеоспостереження з розпізнаванням облич, розумні сигналізації, мобільні додатки для виклику екстрених служб.
- «розумний» туризм – це інтерактивні карти, персоналізовані маршрути, мобільні додатки для бронювання та оплати послуг.
- «розумні» громадські простори – це парки з розумним освітленням, інтерактивні ігрові майданчики, розумні урни для сортування сміття.
- «розумне» управління відходами – це системи сортування сміття, оптимізація маршрутів збору сміття, переробка відходів.
- «розумне» міське планування – це системи моделювання міського розвитку, оптимізація використання міського простору, прогнозування міграційних процесів.
- «розумна» логістика – це оптимізація маршрутів доставки, управління складами, прогнозування попиту.
- «розумна» енергетика – це енергоефективні будівлі, розумні мережі, відновлювані джерела енергії.

– «розумне» виробництво – це «Індустрія 4.0», автоматизація виробничих процесів, аналіз великих даних.

– «розумна» фінанси – це онлайн-банкінг, персоналізовані фінансові продукти, блокчейн-технології.

– «розумний рітейл» – це персоналізовані пропозиції, розумні торгівельні полиці, онлайн-магазини з доповненою реальністю.

– «розумне» урядування – це електронне урядування, відкриті дані, участь громадян у прийнятті рішень.

– «розумна» юстиція – це електронне правосуддя, аналіз великих даних для прийняття судових рішень.

– «розумна» безпека – це системи моніторингу кордонів, протидія кіберзагрозам, розпізнавання облич для пошуку злочинців.

В «розумних містах» для ефективного надання послуг відбувається з'єднання мільйонів пристроїв з численними технологіями [14]:

- зв'язок між машинами (M2M);
- мережева віртуалізація;
- бездротові сенсорні мережі та шлюзи.

Для цього потрібні різні телекомунікаційні або бездротові інфраструктури. Для доступних на даний час комунікаційних технологій на рисунку 1.1 проілюстровано:

- швидкість передачі даних;
- енергоспоживання;
- вартість встановлення;
- діапазон покриття.

IoT відіграє динамічну роль у новій комунікаційній парадигмі в повсякденних об'єктах [15], які оснащені:

- мікроконтролерами;
- радіомодулями;
- протоколами зв'язку.

IoT дає змогу IoT-пристроєм обмінюватися даними та стає важливим для «розумних міст». Національні уряди і приватні організації використовують

концепцію IoT в комплексах інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ) для управління.

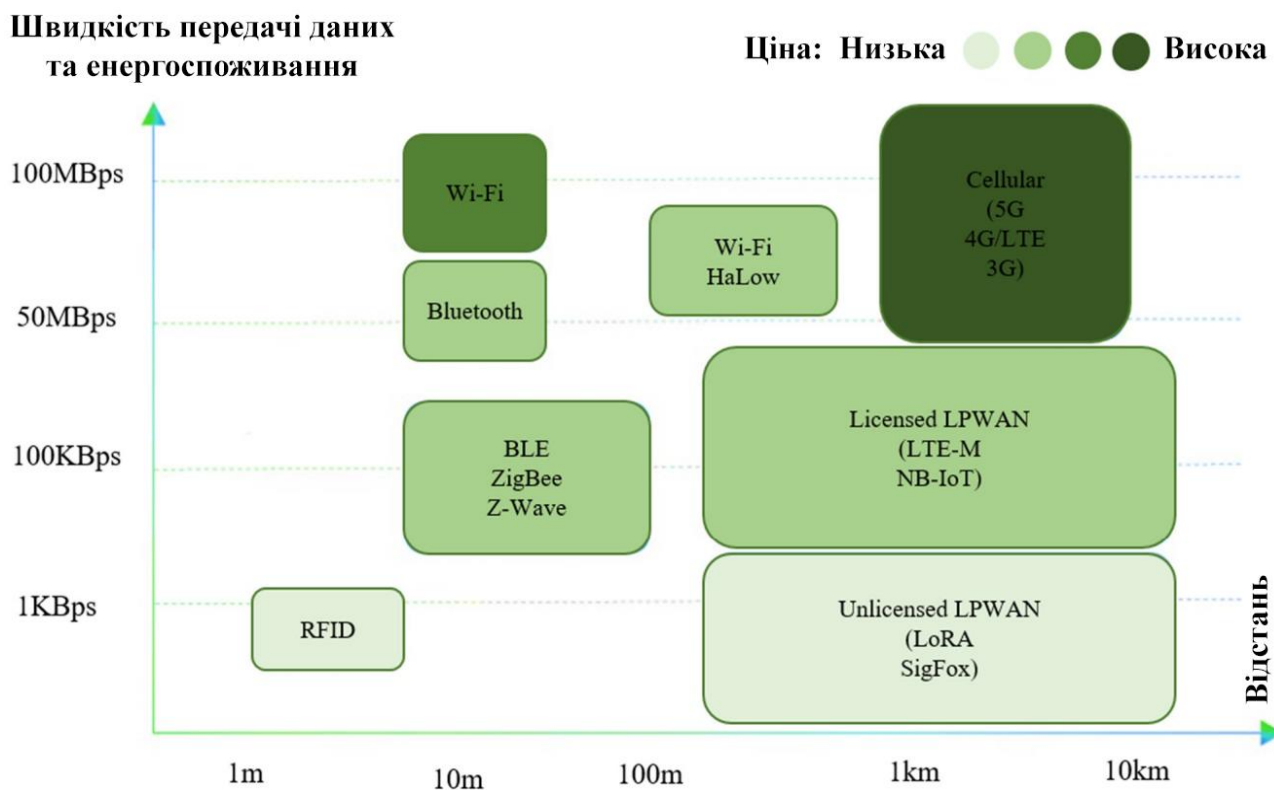


Рисунок 1.1 – Порівняння швидкості передачі даних, енергоспоживання, вартості та діапазону покриття доступних комунікаційних технологій в «розумних містах» [8]

Концепція «розумного міста» [16] спрямована на:

- краще використання ресурсів спільноти;
- покращення якості послуг (QoS);
- зниження операційних витрат;
- зниження витрат на управління;
- оптимізацію транспортних потоків;
- зменшення енергоспоживання;
- забезпечення екологічної сталості;
- підвищення безпеки в місті;
- розвиток цифрової інфраструктури;
- підтримку інноваційного підприємництва;
- підвищення доступності громадських послуг;

- інтеграцію розумних технологій у міське середовище;
- стимулювання соціальної інтеграції;
- автоматизацію управління інфраструктурою;
- моніторинг та аналіз міських даних у режимі реального масштабу часу.

IoT-технології мають важливе значення для розвитку середовища сучасних «розумних міст» і спрямування стандартів «розумного міста» до великого за обсягами масштабу даних [17]. За даними [18], до 2030 року очікується, що глобальна кількість пристроїв із підтримкою Інтернету речей перевищить двадцять дев'ять мільярдів, що майже втричі перевищує показник у 9,7 мільярдів у 2020 році. Ці цифри демонструють, що Інтернет речей вважається одним із найцінніших нових технологій, відкриваючи нові можливості для послуг, можливостей і викликів у впровадженні інтелектуальних програм і пропозицій. Значення IoT нерозривно пов'язане з розвитком різноманітних програм «розумного міста», де він виконує ключові функції в стимулюванні сталого розвитку та стимулюванні унікальних інновацій. Було запропоновано численні стратегії, контексти, технологічні засоби захисту та області застосування, щоб пом'якшити складність і адміністрування «розумних міст».

Інтеграція штучного інтелекту з Інтернетом речей у «розумних містах» – це зростаюча тенденція, яка змінює способи управління та розвитку міст. Ця інтеграція передбачає використання алгоритмів штучного інтелекту для аналізу великої кількості даних, які IoT-давачі генерують у «розумних містах». Ця інтеграція також сприяє просуванню процесів розробки, пропонуючи нові можливості та функції, при цьому значно зменшуючи взаємодію людей [19]. IoT-давачі – це пристрої, вбудовані в різні частини міської інфраструктури:

- будівлі міста;
- дороги;
- громадські місця;
- транспортні засоби, зокрема громадський транспорт, таксі;
- мости та тунелі;
- вуличне освітлення;
- парковки;

- системи водопостачання та водовідведення;
- сміттєві контейнери та пункти утилізації;
- мережі енергопостачання та розподільні щити;
- рекреаційні зони, парки, стадіони;
- зони моніторингу якості повітря та кліматичних умов.

Ці датчики збирають і передають дані про різні параметри:

- температура;
- вологість;
- транспортний потік;
- споживання енергії;
- якість повітря.

Загалом, використання пристроїв IoT генерує великі за обсягом набори та колекції даних [20]. Ці дані згодом покращують управління містом і підвищують рівень життя мешканців. Проте великий обсяг даних, створених датчиками Інтернету речей, може бути занадто великим для аналізу та інтерпретації операторами. Штучний інтелект відіграє значну роль у цьому аспекті, використовуючи алгоритми машинного навчання (ML) для аналізу великих обсягів даних і виявлення закономірностей і тенденцій, які людям може бути важко розпізнати. Аналіз великих обсягів складних даних може бути складним для найточнішого та найефективнішого курсу дій [21].

Однією з ключових сфер, де ІІІ може покращити IoT у «розумних містах», є прогнозне обслуговування. Аналізуючи дані з IoT-датчиків, алгоритми штучного інтелекту можуть передбачити, коли потрібно технічне обслуговування міської інфраструктури, мостів та будівель, до того, як станеться збій. Це може допомогти запобігти дорогим і небезпечним збоям і гарантувати, що інфраструктура міста завжди буде в хорошому стані. ІІІ інтегрується до різних міських програм та систем, зокрема:

- «розумне» водопостачання;
- «розумне» управління енергією;
- «розумне» управління відходами;
- пом'якшення пішохідних і транспортних заторів;

– пом'якшення шуму та забруднення навколишнього середовища.

Більшість програм і технологій «розумного міста» зосереджено на зборі великих обсягів даних і створенні інформаційно-технологічних рішень, які вирішують конкретні складні і динамічні завдання в міському середовищі [22]. Програми на основі ШІ дають можливість використовувати великі обсяги даних і знань для полегшення прийняття рішень. Близько тридцяти відсотків застосунків «розумних міст» зараз значною мірою інтегрують ШІ для:

- стійкості;
- соціального добробуту;
- життєздатності;
- програмно-алгоритмічних комплексів для міського транспорту;
- оптимізації енергоспоживання;
- управління міськими даними в реальному часі;
- прогнозування надзвичайних ситуацій та управління ризиками;
- автоматизації процесів в управлінні міською інфраструктурою;
- покращення безпеки через системи розпізнавання загроз;
- моніторингу якості повітря та інших екологічних показників.

Очікується, що ця тенденція збережеться, і до 2025 року збільшення ініціатив щодо «розумних міст» на базі ШІ [23]. Швидке поширення концепцій «розумних міст» на основі штучного інтелекту можна пояснити невпинним прагненням дослідників, урядовців і міських жителів використовувати нову інформацію та методи побудови «розумних міст».

Поширення автоматизації та штучного інтелекту стає все більш поширеним, із зростаючим попитом на їх впровадження в розвиток «розумного міста» [24]. Інтелектуальні сенсорні вузли [25] генерують великі обсяги даних, пов'язані з різними програмами «розумного міста» і на даний момент часу мають значний потенціал використання.

Існуюча інфраструктура інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ) [26] може генерувати різноманітну інформацію, яка є важливою для консолідації. ШІ може покращити громадську безпеку, аналізуючи дані з камер відеоспостереження, мікрофонів та інших давачів, щоб виявляти та запобігати

злочинам та іншим загрозам безпеці. Хоча інтеграція штучного інтелекту з Інтернетом речей у «розумних містах» може революціонізувати міський розвиток і управління, це також викликає занепокоєння щодо:

- конфіденційності;
- безпеки даних;
- потенційних упереджень в алгоритмах ШІ.

Таким чином, «розумні міста» повинні запроваджувати міцні етичні та нормативні рамки, щоб забезпечити відповідальне та прозоре використання цих технологій. Рисунок 1.2 ілюструє комунікаційні технології, які на даний момент часу доступні на ринку та можуть використовуватися в різних IoT-системах у «розумному місті».

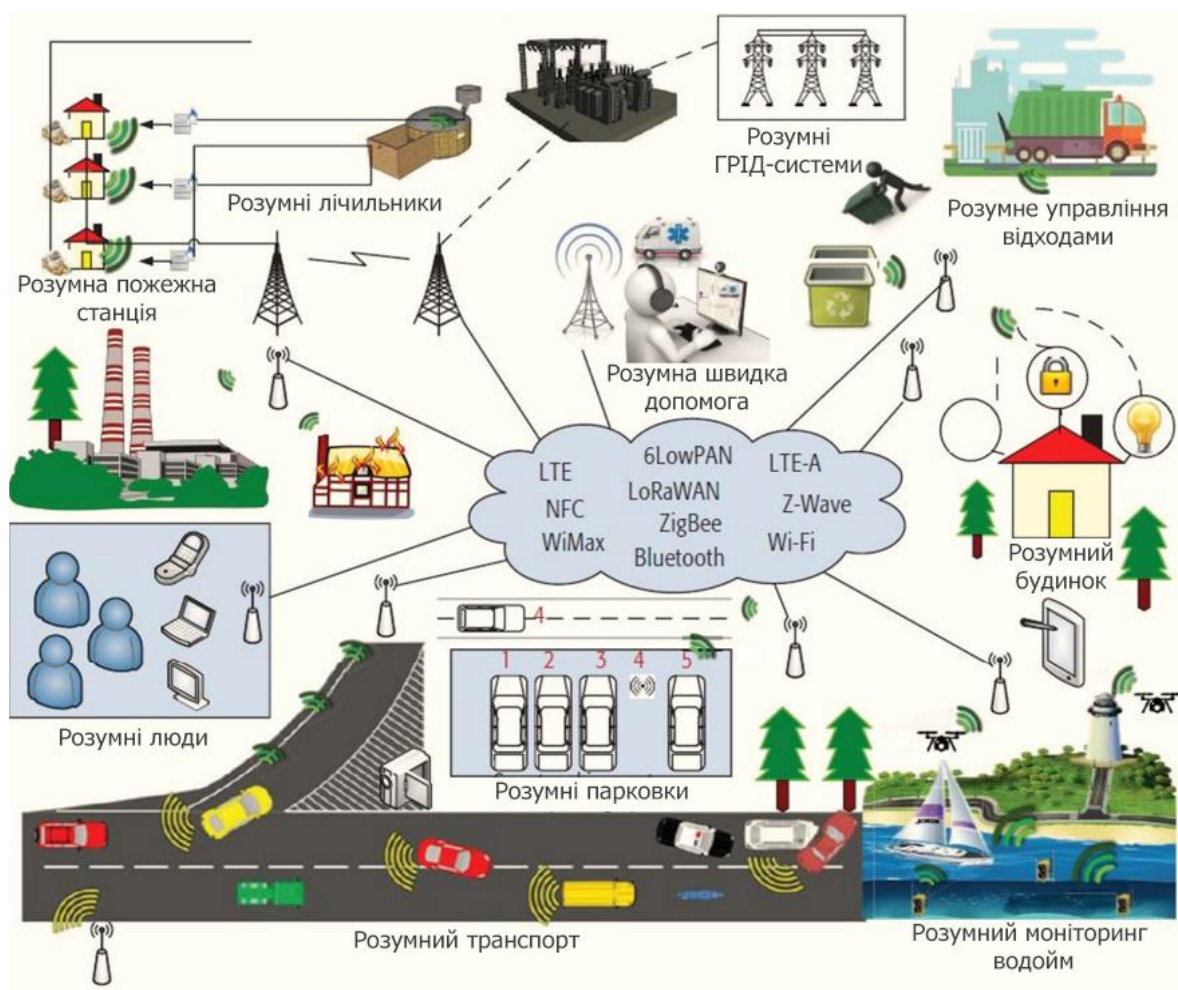


Рисунок 1.2 – Комунікаційні технології в різних сферах «розумних міст» [8]

В таблиці 1.3 подано порівняння стандартів ближнього зв'язку IoT-пристроїв та систем «розумних міст».

Таблиця 1.3 – Порівняння стандартів ближнього зв'язку IoT-пристроїв та систем «розумних міст» [8]

		Спектр	Шири- на каналу	Швид-кість Tx Uplink	Швидкість передачі в низхідному каналі	Розмір пакета	Макс. даль- ність (км)
Sigfox		868–902 МГц	100 Гц	≤100 біт/с	256 bps	≤12 байтів	10–50
LoRa WAN	EU	863–870 МГц & 433 МГц	125–250 кГц	250–50 біт/с	250 біт/с – 50 кбіт/с	≤222 байтів	2–15
	US	902–928 МГц	125–500 кГц	980 біт/с – 21.9 кбіт/с	980 біт/с – 21.9 кбіт/с	≤222 байтів	
Weight less	W	470–790 МГц Білі простори телевізора	6–8 МГц	250 біт/с – 50 кбіт/с	2.5 кбіт/с – 16 Мбіт/с	≥10 байтів	5
	N	Суб ГГц (ISM)	200 Гц	250 біт/с	Жодного	≤20 байтів	3
	P	Суб ГГц (ISM)	12.5 кГц	200 біт/с – 100 кбіт/с	200 байтів – 100 кбіт/с	≥10 байтів	2
Ingenu		2450 МГц	1 МГц	624 кбіт/с	156 кбіт/с	6 байтів – 10 k байтів	100

Технології на основі Інтернету речей у поєднанні зі ШІ в «розумному місті» можна розглядати з різних точок зору, зокрема це:

- «розумні» давачі;
- комунікаційними технології;
- програмно-алгоритмічні засоби.

Серед різних технологій найважливіші технології IoT передбачають розгортання надійних і надійних мережевих і комунікаційних інфраструктур для сприяння ефективного обміну даними та інформацією між різноманітними компонентами послуг «розумного міста». IoT-сервіси «розумного міста» розробляються в різних масштабах залежно від типу програми. Вони можуть вимагати різноманітних мережевих і комунікаційних технологій для їх реалізації та роботи. Автори [27] розглянули питання, що пов'язані з:

- великими даними;
- мережевою безпекою;
- потенціалом IoT у «розумних містах».

Однак існує дефіцит ресурсів, які всебічно висвітлюють поєднання технологій Інтернету речей і штучного інтелекту в концепцію «розумного міста». Тому доцільно розглянути концепцію «розумних міст» і роль IoT у їх розвитку. Автор [28] підкреслює, як інтеграція штучного інтелекту та Інтернету речей у «розумних містах» може сприяти просуванню процесів розвитку, пропонуючи нові можливості та функції, зменшуючи взаємодію людей. Водночас потрібно дослідити потенціал штучного інтелекту в аналізі великої кількості даних, створених давачами IoT у «розумних містах» та така технологія може покращити управління містом і, зрештою, призвести до покращення рівня життя його мешканців.

1.3 Опис процесу наукометричного мошуку магістерського дослідження

Сфера «розумних міст» постійно змінюється, що призводить до зростання обсягів знань, необхідних для комплексного огляду літератури. В процесі магістерських досліджень було відібрано та перевірено відповідні наукові статті. Дві бази даних, Google Scholar і PubMed, були використані для збору рецензованих статей, опублікованих авторитетними видавцями. Додаткові ресурси були отримані з використанням посилань, перелічених у збірці документів, щоб розширити сферу аналізу.

Для наукометричного пошуку було використано PubMed – це безкоштовна пошукова система, розроблена Національною медичною бібліотекою США. Було проведено пошук англійською мовою за ключовими словами:

- «розумне місто»;
- «розумне місто та IoT»;
- «розумне місто, IoT та AI».

На рисунку 1.3 показано, що ШІ, IoT та «розумні міста» почали приділяти значну увагу після 2015 року, виявивши проблеми та створивши більше можливостей у контексті «розумних міст».

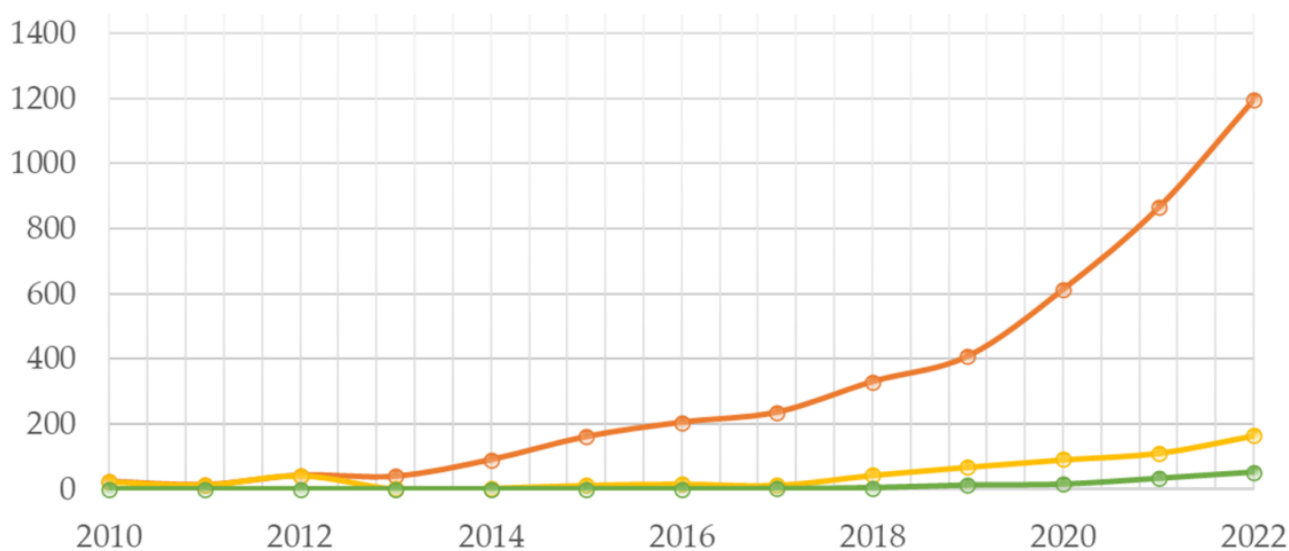


Рисунок 1.3 – Кількість опублікованих статей, зібраних за результатами пошуку в PubMed [8]

На рисунку позначено результати пошуку за фразами:

- «розумне місто» – оранжовим кольором;
- «розумне місто та IoT» – жовтим кольором;
- «розумне місто, IoT та AI» – салатовим кольором.

Наукові статті були відібрані на основі їх відповідності досліджуваним питанням, забезпечуючи комплексний аналіз, що включає емпіричні та якісні дослідження. Щоб включити їх до аналізу, дослідження мали продемонструвати послідовну схему висновків, які підтримують розвиток ініціатив «розумного міста». Ті, які представили різні або непереконливі результати, були виключені.

1.4 Висновок до першого розділу

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» описано парадигму «розумного міста». Проаналізовано інформаційні та комунікаційні технології «розумних міст». Подано опис процесу наукометричного пошуку магістерського дослідження. Проведений аналіз наукової літератури та результати наукометричного дослідження засвідчили високий рівень інтересу наукової спільноти до теми інтеграції Інтернету речей та ШІ у концепції «розумного міста». Парадигма «розумного міста» розглядається як перспективний напрямок розвитку міст, що дає змогу підвищити якість життя мешканців, оптимізувати міські процеси та забезпечити сталий розвиток. Інформаційні та комунікаційні технології на базі IoT та ШІ, відіграють ключову роль у реалізації цієї концепції, забезпечуючи збір, обробку та аналіз великих за обсягом наборів та колекцій даних для прийняття обґрунтованих рішень.

2 ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ІОТ-СИСТЕМ «РОЗУМНОГО МІСТА» ТА ЇХ ПЕРСПЕКТИВИ

2.1 Технології штучного інтелекту для IoT-систем розумного міста

Штучний інтелект (ШІ) може революціонізувати технології, які використовуються в «розумних містах», сприяючи оперативному аналізу великих обсягів даних, отриманих із різних джерел, датчиків, відеокамер та IoT-пристроїв. ШІ оптимізує та керує різними міськими системами та процесами, зокрема [28]:

- транспортом;
- енергетикою;
- громадською безпекою;
- охороною здоров'я;
- освітою;
- управлінням міськими даними в реальному часі;
- екологічним моніторингом (якість повітря, води, ґрунту);
- системами утилізації та переробки відходів;
- управлінням житловими будинками та комунальними послугами;
- інфраструктурою розумного освітлення;
- прогнозуванням та управлінням надзвичайними ситуаціями;
- розвитком цифрової економіки та інновацій.

На даний момент часу неможливо сформулювати повний перелік алгоритмів штучного інтелекту, що використані в «розумному місті». Вибір алгоритмів залежить від конкретних випадків використання та вимог «розумного міста». У «розумних містах» існує декілька широко використовуваних алгоритмів ШІ [29]. Алгоритми штучного інтелекту можна використовувати в «розумних містах» для підвищення ефективності, стійкості та якості життя. Деякі з найважливіші з них описано в наступних параграфах кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр».

2.1.1 Машинне навчання для IoT-систем «розумних міст»

Використання алгоритмів ML [30] передбачає використання математичних інструкцій, які допомагають машинам навчатися на основі даних і покращують їх продуктивність у певному завданні без явного програмування. Цей тип ШІ дає машинам змогу ідентифікувати закономірності та робити прогнози, використовуючи вхідні дані IoT-пристроїв та систем. Алгоритми ML це:

- контрольоване навчання;
- неконтрольоване навчання;
- навчання з підкріпленням;
- глибоке навчання тощо.

Кожен з цих підходів має переваги та недоліки, і може бути застосований до різних областей використання IoT-пристроїв та систем [31], наприклад:

- розпізнавання зображень;
- розпізнавання мови;
- прогнозна аналітика.

Алгоритми ML можна використовувати в «розумних містах» для аналізу даних IoT-пристроїв та систем і створення прогнозів на основі шаблонів і тенденцій, які люди не можуть розрізнити [32].

Ці алгоритми можуть оптимізувати:

- розподіл ресурсів;
- покращити міське планування;
- підвищити громадську безпеку;
- передбачення заторів на дорогах та оптимізацію трафіку;
- управління енергоспоживанням у реальному часі;
- прогнозування надзвичайних ситуацій та координацію відповідних служб;
- планування розташування громадських закладів, лікарень, шкіл, парків;
- моніторинг та контроль екологічного стану міста;
- вдосконалення управління системами утилізації та переробки відходів;
- аналіз поведінки мешканців для адаптації послуг під їхні потреби;

- виявлення аномалій у міських інфраструктурах, наприклад, витoki води чи електрики;
- оптимізацію роботи громадського транспорту;
- управління житловими будинками та системами «розумного дому»;
- забезпечення точного прогнозування міського бюджету;
- вдосконалення систем кібербезпеки в міській інфраструктурі.

Ці алгоритми також можуть прогнозувати транспортні потоки, аналізувати моделі споживання енергії та прогнозувати точки злочинності. ML можна використовувати для різних застосунків у «розумних містах», наприклад, управління трафіком, оптимізації енергоспоживання та управління відходами.

2.1.2 Глибоке навчання для IoT-пристроїв «розумних міст»

DL відноситься до категорії ML, яка використовує штучні нейронні мережі для вирішення складних проблем шляхом отримання знань із даних. Моделі DL мають декілька рівнів взаємопов'язаних вузлів, які обробляють певні аспекти вхідних даних, що отримані від IoT-пристроїв та систем, і передають їх на наступний рівень [33]. Це дає їм можливість набути ієрархічного розуміння даних, виявляючи складні закономірності та характеристики. На даний час широко використовуються структури DL:

- згорткові нейронні мережі (CNN);
- мережі глибоких переконань (DBN);
- рекурентні нейронні мережі (RNN).

DL можна застосувати в сценаріях «розумного міста» для оптимізації транспортного потоку шляхом прогнозування схем руху та відстеження транспортних засобів і пішоходів за допомогою аналізу в реальному часі каналів відеокамер дорожнього руху. Він також може прогнозувати попит на енергію, визначати параметри енергоефективної будівель, оптимізувати збір відходів і зменшувати кількість відходів на звалищах, використовуючи дані з IoT-давачів і камер [34].

DL може виявляти загрози безпеці та реагувати на них, використовуючи дані з камер відеоспостереження, і покращувати здатність автономних транспортних засобів виявляти об'єкти та перешкоди та реагувати на них [35]. Хоча DL-моделі потребують значних обсягів даних і обчислювальних ресурсів, їх впровадження в IoT-пристроях та системах може підвищити ефективність, стійкість і безпеку «розумних міст» для мешканців.

2.1.3 Обробка природної мови для IoT-систем «розумних міст»

Підгалузь штучного інтелекту NLP, фокусується на використанні природної мови для полегшення спілкування та взаємодії між людьми та комп'ютерами [36]. Це галузь інформатики, яка спрямована на те, щоб комп'ютери могли сприймати та продукувати людську мову, як в усній, так і в письмовій формах.

Алгоритми NLP спеціально розроблені для обробки та аналізу великих обсягів даних, отриманих від IoT-пристроїв, природної мови, зокрема текстів, мови та навіть емоцій, з можливістю виконання різноманітних завдань [37]:

- зокрема аналізу настроїв;
- перекладу мови;
- розпізнавання мови та опрацювання тексту.

NLP має обширний перелік застосувань для IoT-пристроїв та систем у «розумних містах», наприклад, його можна використовувати з метою [38]:

- роботи чат-ботів і віртуальних помічників для обслуговування клієнтів;
- аналізу даних соціальних медіа та інших текстових джерел;
- виявлення потенційних загроз безпеці;
- аналізу громадської думки щодо різних ініціатив міського планування;
- надання багатомовної підтримки;
- аналізу соціальних медіа-даних;
- виявлення проблем дорожнього руху;
- надання оперативної інформації у режимі реального масштабу часу.

NLP має потенціал зробити «розумні» міста ефективнішими, результативнішими та відповіднішими потребам мешканців завдяки [39]:

- зменшенню робочого навантаження на представників служби обслуговування клієнтів;
- покращення загального досвіду клієнтів;
- покращення транспортного потоку;
- допомоги міським планувальникам у прийнятті більш обґрунтованих рішень.

2.1.4 Комп'ютерний зір для IoT-платформ «розумних міст»

В III алгоритми CV охоплюють низку математичних і обчислювальних методів, які дають змогу машинам аналізувати та розуміти візуальні дані, отримані за допомогою IoT-пристроїв та систем [40]. Ці алгоритми можуть розпізнавати шаблони та особливості в зображеннях, відео та інших візуальних даних IoT-пристроїв і використовувати цю інформацію для прийняття рішень і прогнозів. CV є важливою сферою досліджень штучного інтелекту та використовується в широкому спектрі програм, зокрема:

- розпізнавання облич;
- виявлення об'єктів;
- сегментації зображень;
- автономні транспортні засоби тощо.

Найчастіше використовуються алгоритми CV:

- згорткові нейронні мережі – CNN;
- алгоритми виявлення ознак;

CNN широко використовуються для розпізнавання зображень і відео, і алгоритми виявлення об'єктів, які можуть виявляти та ідентифікувати об'єкти на зображеннях і відео отримані за допомогою IoT-пристроїв. Алгоритми виявлення ознак, які можуть ідентифікувати конкретні візуальні особливості в зображенні, і алгоритми сегментації, які можуть розділяти зображення на різні області або об'єкти.

Алгоритми CV мають багато застосунків для IoT-пристроїв та систем «розумного міста», які:

- можуть допомогти покращити управління дорожнім рухом, аналізуючи канали камер і надаючи оновлення в режимі реального часу водіям;
- виявляти загрози громадській безпеці через аналіз каналів камер спостереження;
- оптимізувати маршрути збирання сміття;
- зменшувати витрати ресурсів;
- контролювати споживання енергії в будівлях;
- визначати області для сприяння енергоефективності;
- покращувати розуміння моделей розвитку та землекористування в ініціативах міського планування за допомогою аналізу супутникових зображень.

Автоматизуючи візуальний аналіз даних з різних IoT-джерел, алгоритми CV можуть зробити «розумні міста» більш ефективними, безпечними та стійкими [41].

2.1.5 Навчання з підкріпленням для IoT-систем «розумних міст»

RL – це тип ML, який передбачає навчання агента за допомогою взаємодії зі своїм середовищем методом проб і помилок, щоб максимізувати кумулятивний сигнал винагороди [42]. Агент виконує дії у фоновому режимі, а середовище відповідає позитивним або негативним сигналом винагороди, і агент вчиться на цьому зворотному зв'язку. Алгоритм RL містить три компоненти:

- середовище;
- агент;
- функцію винагороди.

Методи RL класифікуються як:

- засновані на цінностях;
- на основі політики;
- на основі акторської критики.

В «розумних містах» RL застосовуються в різних областях, зокрема:

- робототехніка;
- автономні системи.
- ігри;

Усі ці класи застосунків активно використовують різнотипові IoT-пристрої та системи. У «розумних містах» RL може оптимізувати системи керування трафіком та енергією [43]. Однак RL може бути інтенсивним обчислювальним процесом і вимагає багато даних для навчання.

2.1.6 Генетичні алгоритми для IoT «розумних міст»

GA – це алгоритми оптимізації, які формуються на основі принципів природного відбору. Ці алгоритми часто використовуються в ІІ та ML для вирішення складних завдань оптимізації, які традиційні методи не можуть вирішити [44]. У IoT-системах «розумних міст» GA може оптимізувати обширний перелік систем і процесів:

- трафік;
- енергія;
- відходи;
- міське планування.

Наприклад, GA може оптимізувати транспортний потік, знаходячи найкращий час для світлофорів або найефективніші маршрути для громадського транспорту. Їх також можна використовувати для оптимізації енергоспоживання в будівлях шляхом пошуку найбільш ефективних налаштувань систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, що функціонують з використанням IoT-пристроїв.

Однією з потенційних проблем використання GA в програмах «розумного міста» є обчислювальна складність задач оптимізації [45]. Розмір задачі та складність відповідної функції можуть ускладнити пошук оптимального рішення за розумний проміжок часу. Тому важливо ретельно розробити формулювання проблеми та вибрати відповідні параметри GA, щоб збалансувати дослідження та використання простору рішення.

2.2 Перспективи розвитку ІІІ для ІоТ-систем «розумного міста»

Вплив ІІІ на технології «розумного міста» трансформує практично всі галузі господарської діяльності. Впровадження ІІІ у містах може значно покращити якість життя людей і революціонізувати важливі аспекти «розумного міста». Згідно з різними [46], ІІІ може позитивно впливати на:

- «розумну» мобільність;
- «розумне» управління;
- «розумну» освіту;
- «розумну» економіку;
- «розумну» охорону здоров'я;
- «розумне» навколишнє середовище;
- «розумне» життя.

Розглянемо потенційний вплив штучного інтелекту в кожній із цих областей міського життя.

2.2.1 «Розумна» мобільність

«Розумна» мобільність передбачає використання передових технологій та інноваційних транспортних рішень для вдосконалення транспортних систем, що робить їх ефективнішими, стійкішими та доступнішими. Це потребує:

- інтеграції цифрових технологій ІІІ;
- ІоТ;
- аналітики даних;
- автоматизації для оптимізації транспортних мереж;
- підвищення мобільності людей і товарів.

Використовуючи ці технології, транспортні системи можуть стати ефективнішими, безпечнішими та стійкішими. ІІІ та «розумна» мобільність мають симбіотичний зв'язок, де штучний інтелект дає змогу інтелектуальним програмно-алгоритмічним рішенням мобільності працювати ефективніше та результативніше, зокрема для:

- керування дорожнім рухом;
- автономних транспортних засобів;
- прогнозного технічного обслуговування.

Інтеграція штучного інтелекту та «розумної» мобільності має вирішальне значення для вдосконалення транспортних систем і мобільності людей і товарів.

Автори [47] запропонували модель DL для прогнозування швидкості трафіку з високою роздільною здатністю шляхом поєднання динаміки потоку трафіку з топологічною взаємозалежністю. У [48] описано метод управління сигналами світлофора, який використовує глибокий RL і дані високої роздільної здатності на основі подій. В [49] запропоновано підхід до управління трафіком без заторів для «розумних міст», який використовує багаторівневу машину екстремального навчання (ELM) у рамках DL. Автори [50] провели ґрунтовний огляд методів штучного інтелекту для багатопланових систем стеження за декількома транспортними засобами. Було оцінено різні методи та алгоритми, що використовуються для виявлення, відстеження та розпізнавання транспортних засобів, охоплюючи підходи на основі DL.

2.2.2 «Розумне» управління

«Розумне» управління – це фундаментальний аспект «розумних міст», який спрямований на трансформацію традиційних моделей управління шляхом використання передових технологій для надання кращих послуг і процесів прийняття рішень. За допомогою цифрових технологій, зокрема штучного інтелекту, блокчейн, Інтернет речей і аналітики даних, уряди можуть оптимізувати свою діяльність, спростити процес прийняття рішень і надавати кращі послуги своїм громадянам. Наприклад, чат-боти та віртуальних помічників на основі штучного інтелекту, які можуть автоматизувати повсякденні завдання та швидко й точно відповідати на запити громадян. Блокчейн може підвищити безпеку, прозорість і відстежуваність державних операцій, наприклад системи голосування, управління ідентифікацією та керування ланцюгом поставок.

IoT-давачі у «розумних містах» надають можливість отримувати інформацію в режимі реального часу про важливі міські фактори, зокрема моделі руху, якість повітря та управління відходами. Ця велика за обсягом множина даних може допомогти урядам приймати обґрунтовані рішення та покращувати їхні послуги, щоб краще задовольняти вимоги громадян. Загалом, розумне управління має вирішальне значення для сприяння участі громадян, підвищення прозорості та підзвітності та підвищення якості життя в міських районах.

2.2.3 «Розумна» освіта

«Розумна» освіта потребує інтеграції передових технологій і нових підходів до навчання для підвищення ефективності навчання та підвищення рівня освіти. Його головна мета полягає в тому, щоб використовувати технології для підвищення якості освіти, сприяти кращій успішності студентів і створювати інтерактивний та захоплюючий високоефективний досвід навчання. У «розумній освітній» системі учні мають доступ до налаштованого навчального контенту, адаптованого до їхніх індивідуальних потреб і здібностей, а вчителі мають доступ до інформації на основі даних, яка допомагає їм зрозуміти, як навчаються їхні учні та де їм може знадобитися додаткова підтримка. «Розумна» освіта також потребує інтеграції різних технологій і пристроїв, інтерактивних дошок, планшетів та навчальних програм, для створення динамічнішого навчального середовища для співпраці.

За даними [51], використання персоналізованого навчання як важливого елемента може стимулювати освітні інновації та розвиток. Вони вважають, що інтеграція штучного інтелекту в освіту може призвести до нової моделі освіти, що призведе до кращих результатів навчання. Навчання III розвивається різними темпами в різних країнах, але зростає попит на навчання III та створення інформаційно-технологічних платформ для його підтримки. Автор [52] провів огляд літератури щодо застосування III в персоналізованій освіті та визначив ключові теми, які пропонують структурні модифікації поточної системи освіти. У системному огляді літератури [8] було отримано понад дві

тисячі результатів пошуку та відфільтровано до трьохсот п'ятидесяти відповідних статей за допомогою моделі NLP.

2.2.4 «Розумна» економіка

У «розумному місті» концепція «розумної» економіки потребує інтеграції передових технологій і керованих IoT-даними програмно-алгоритмічних рішень для створення сталої та інноваційної економіки. Це використання ШІ та аналітику великих даних для оптимізації бізнес-процесів, а також впровадження інтелектуальних платіжних систем і технології блокчейн для покращення фінансових транзакцій. Більше того, розумна економіка в «розумному місті» також потребує розвитку нових галузей промисловості та бізнес-моделей, зосереджених на інноваціях та стійкості, як от «розумна» зелена енергетика, економіка замкнутого циклу та економіка спільного використання.

Використовуючи передові технології та керовані IoT-даними підходи, компанії можуть створювати нові продукти та послуги, які є ефективнішими, стійкішими та орієнтованими на клієнта, тим самим сприяючи економічному зростанню та конкурентоспроможності. Крім того, «розумна» економіка також може сприяти розвитку підприємництва та створенню робочих місць, надаючи доступ до програм навчання та фінансування, а також підтримуючи розвиток інноваційних екосистем, які сприяють співпраці та обміну знаннями між підприємствами та підприємцями. Загалом, інноваційна економіка є критично важливим компонентом «розумного міста», оскільки вона забезпечує стійке економічне зростання, сприяє інноваціям і підприємництву, а також покращує загальну якість життя громадян.

В [53] описано поняття та функціонування «розумних» фабрик і порівняли їх зі звичайними фабриками. У статті наголошено на економічних і соціальних передумовах і наслідках функціонування «розумних» фабрик.

2.2.5 «Розумна» охорона здоров'я

«Розумна» охорона здоров'я в «розумному місті» охоплює низку інноваційних технологій і рішень, спрямованих на покращення доступу до медичних послуг, покращення результатів лікування пацієнтів та підвищення ефективності надання медичних послуг. Ці технології інтегрують IoT, ШІ, ML, носимі пристрої та телемедицину. «Розумна» охорона здоров'я дає пацієнтам змогу отримувати персоналізовану допомогу в режимі реального часу, незалежно від місця розташування. Пацієнти можуть дистанційно отримувати доступ до медичних послуг за допомогою телемедицини та переносних пристроїв, що надає медичним працівникам можливість постійно контролювати стан їх здоров'я. «Розумна» охорона здоров'я полегшує збір і аналіз великих обсягів даних про пацієнтів, надаючи цінну інформацію про тенденції здоров'я пацієнтів та ефективність лікування. «Розумна» охорона здоров'я в «розумному місті» потребує використання чат-ботів на базі ШІ та віртуальних помічників, які можуть:

- сортувати пацієнтів;
- надавати медичні консультації;
- записуватися на прийом;

Що призводить до зменшення навантаження на медичних працівників і підвищуючи ефективність медичних послуг. «Розумні» застосунки для охорони здоров'я пропонують значний потенціал для революції в наданні медичної допомоги в «розумному місті», від покращення результатів лікування пацієнтів до зниження витрат на медичне обслуговування та розширення доступу до медичних послуг.

Автори [54] досліджували потенціал Інтернету медичних речей (IoMT) і пристроїв на місці надання медичної допомоги (РОС) для покращення охорони здоров'я в передових сферах, зокрема вимірюванні серця, діагностиці раку та лікуванні діабету. Огляд також оцінив значення штучного інтелекту для покращення функціональності, точності виявлення та можливостей прийняття рішень на IoMT-пристроях з одночасним визначенням потенційних ризиків.

В [55] запропоновано структуру на основі АІоМТ для моніторингу та діагностики пацієнтів та оцінки точності моделі. Інтеграція ШІ та ІоМТ у галузь охорони здоров'я може полегшити навантаження на медичні процеси та значно покращити діагностику захворювань, прогнозування, скринінг та лікування.

Стаття [56] обговорює потенційні напрямки досліджень у медичних дослідженнях і пропонує цінну модель «розумного» управління охороною здоров'я для осіб, які приймають рішення, та медичних працівників у лікарнях.

2.2.6 «Розумне» середовище

Вплив ШІ на «розумне» середовище в сценарії «розумного міста» є значним. ШІ може допомогти оптимізувати використання енергії, зменшити відходи та підвищити стійкість. Наприклад, алгоритми ШІ можуть відстежувати та керувати споживанням енергії в будівлях, автоматично регулюючи освітлення та температуру на основі моделей заселеності, що може призвести до значного скорочення витрат енергії та підвищення енергоефективності. ШІ також може допомогти в управлінні відходами, прогнозуючи накопичення відходів, визначаючи оптимальний час для збору відходів і зменшуючи витрати на транспортування. ШІ також можна використовувати для моніторингу та збереження навколишнього середовища. Він може допомогти відстежувати якість повітря та води, стежити за змінами рослинності та прогнозувати стихійні лиха. Інтеграція ІоТ-пристроїв та ШІ дає змогу створювати повнішу картину навколишнього середовища в режимі реального часу, що може допомогти в управлінні навколишнім середовищем і зусиллях щодо збереження. ШІ може трансформувати програмно-алгоритмічні комплекси для розумного середовища в сценарій «розумного міста». Використовуючи ШІ, «розумні міста» можуть стати стійкішими, ефективнішими та стійкішими, одночасно покращуючи якість життя громадян. «Розумне» середовище означає використання передових технологій і керованих даними програмно-алгоритмічних рішень для покращення стійкості, ефективності природного та штучного міського середовища.

Автори [57] всебічно вивчили методи використання ШІ для розробки систем керування. Зменшити споживання енергії при збереженні комфортних умов у приміщенні. У [58] обговорено перешкоди, які виникають під час застосування ШІ для підвищення енергоефективності та комфорту, а також запропоновані шляхи перспективних досліджень у цій галузі. Опубліковані матеріали описують розробку та застосування універсального алгоритму ШІ з декількома цілями, який можна використати в реальному контролі навколишнього середовища для швидкого й точного покращення якості повітря в приміщенні (IAQ), теплового комфорту та енергоефективності будівель. Результати показали високий рівень точності прогнозування результатів з точністю понад дев'яносто процентів. Крім того, спостерігалось зменшення забруднення повітря, підвищення теплового комфорту та середня економія енергії. Автор [59] досліджував можливість використання штучного інтелекту як засобу проектування систем автоматизації будівель і з наголосом на важливості оптимізації використання енергії, забезпечення комфорту, зміцнення здоров'я та підвищення продуктивності в житлових приміщеннях.

2.2.7 «Розумне» життя

«Розумне» життя означає використання передових технологій IoT та ШІ і керованих даними рішень для підвищення рівня життя, простоти використання та довгострокової життєздатності повсякденного життя. В [60] описано розвиток досліджень «розумного» дому за останні двадцять років, що спонукали технологічний прогрес, ІКТ, ШІ та Інтернет речей. Інтернет речей поширений у створенні діючих розумних будинків, але недостатньо досліджено його вплив на міське середовище та проблеми суспільства. «Розумні» будинки мають потенціал стати значним внеском у реалізацію «розумних міст». У [61] проведено огляд з метою розуміння напрямків розвитку «розумного» дому та товарів, а також взаємозв'язок між літературою та продуктами з підтримкою ШІ в розумних будинках. Автори [62] обговорювали труднощі логічного мислення в середовищах, які підтримували технологію допоміжного проживання, і

наголошували на важливості використання гібридних методів міркування для управління пересічними, одночасними та суперечливими прагненнями та цілями багатьох мешканців. В таблиці 1

Таблиця 1.5 – Підсумок впливу ІІІ на технології «розумного міста» [8]

Основні домени	Вплив ІІІ	Довідка
Розумна мобільність	Покращене керування дорожнім рухом	[63]
	Автономні транспортні засоби	
	Прогнозне обслуговування	[64]
Розумне управління	Удосконалення процесу прийняття рішень	[65]
	Удосконалення державних послуг	
	Підвищення прозорості та підзвітності	[66]
Розумна освіта	Індивідуальне навчання Інтелектуальне навчання	[67]
	Розробка навчальної програми:	[61]
Розумна економіка	Підвищення продуктивності	[68]
	Покращене прийняття рішень	
	Покращений досвід роботи з клієнтами	[69]
Розумна охорона здоров'я	Медична діагностика Прогностична аналітика	[70]
	Відкриття ліків	[70]
Розумне середовище	Енергоефективність	[71]
	Поводження з відходами	
	Моніторинг оточення	
	Сталий транспорт	[72]
Розумне життя	Домашня автоматизація	[73]
	Персоналізовані рекомендації	
	Безпека та безпека	[74]
	Здоров'я і благополуччя	[75]

В [76] резюмують, що автоматизація Smart Living Home – це технологія, яка забезпечує віддалений доступ і керування різними пристроями та приладами в домогосподарстві. Можна використовувати технології IoT, ІІІ і хмарних

обчислень. Ця технологія пропонує комфортніший і зручніший спосіб життя для людей з фізичними вадами або людей похилого віку.

2.3 Висновок до другого розділу

В другому розділі кваліфікаційної роботи досліджено технології штучного інтелекту для IoT-систем розумного міста. Також подано розлогий аналіз перспектив розвитку ШІ для IoT-систем «розумного міста». Глибокий аналіз технологій штучного інтелекту, інтегрованих в IoT-системи розумних міст, дозволив визначити широкий спектр їх застосування. Машинне навчання, глибоке навчання, обробка природної мови, комп'ютерний зір, навчання з підкріплення та генетичні алгоритми демонструють значний потенціал для оптимізації міських процесів. Зокрема, машинне навчання дозволяє виявляти закономірності в великих обсягах даних, глибоке навчання – розпізнавати складні патерни, обробка природної мови – забезпечувати взаємодію людини з розумними системами, комп'ютерний зір – аналізувати візуальну інформацію, навчання з підкріплення – розробляти оптимальні стратегії поведінки, а генетичні алгоритми – оптимізувати складні системи.

З ПРОТОТИПУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ АРХІТЕКТУРИ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕНДЕНЦІЇ «РОЗУМНОГО МІСТА» НА БАЗІ ІОТ ТА ШІ

3.1 Прототип інформаційно-технологічної архітектури «розумного міста» на базі IoT та ШІ

В ближчому періоду часу розвиток ІКТ принесе мільйони інтелектуальних датчиків для вимірювання характеристик інфраструктури «розумних» міст, працюючи з швидкісними та слабоструктурованими мережами, еквівалентними тисячам IoT-пристроїв. Ефективне керування даними, зібраними з IoT-датчиків, є важливим аспектом. Доступність цих даних та інтелектуальне управління відіграють життєво важливу роль у роботі складних екосистем «розумного міста», забезпечуючи точне функціонування міських служб. При цьому важливою для створення міцної основи для «розумних міст» є класифікація на основі типу програми. Як зазначалося раніше, ступінь інтелектуальності в різних сферах, зокрема управлінні, економіці, охороні здоров'я та інших, необхідно оцінювати в контексті програмно-алгоритмічних засобів «розумного міста».

Середовище «розумного міста» характеризується передовими комунікаційними технологіями та інфраструктурою Інтернету речей, що потребує спеціальних інформаційних, комунікаційних та аналітичних технологій і системних архітектур для забезпечення процесів функціонування всіх застосунків і переваг «розумних міст».

Інформаційно-технологічна архітектура «розумних міст» із підтримкою Інтернету речей зазвичай потребує інфраструктури ІКТ, яка полегшує обмін інформацією між різними зацікавленими сторонами в міському середовищі, незалежно від конкретної програми чи послуги, що використовується. Зв'язок важливий для передачі IoT-даних, створених різними датчиками в різних програмах, між пристроями та приймачами інформації в обох напрямках.

На рисунку 3.1 зображено огляд методології впровадження програм у «розумному місті» шляхом інтеграції IoT та ШІ.

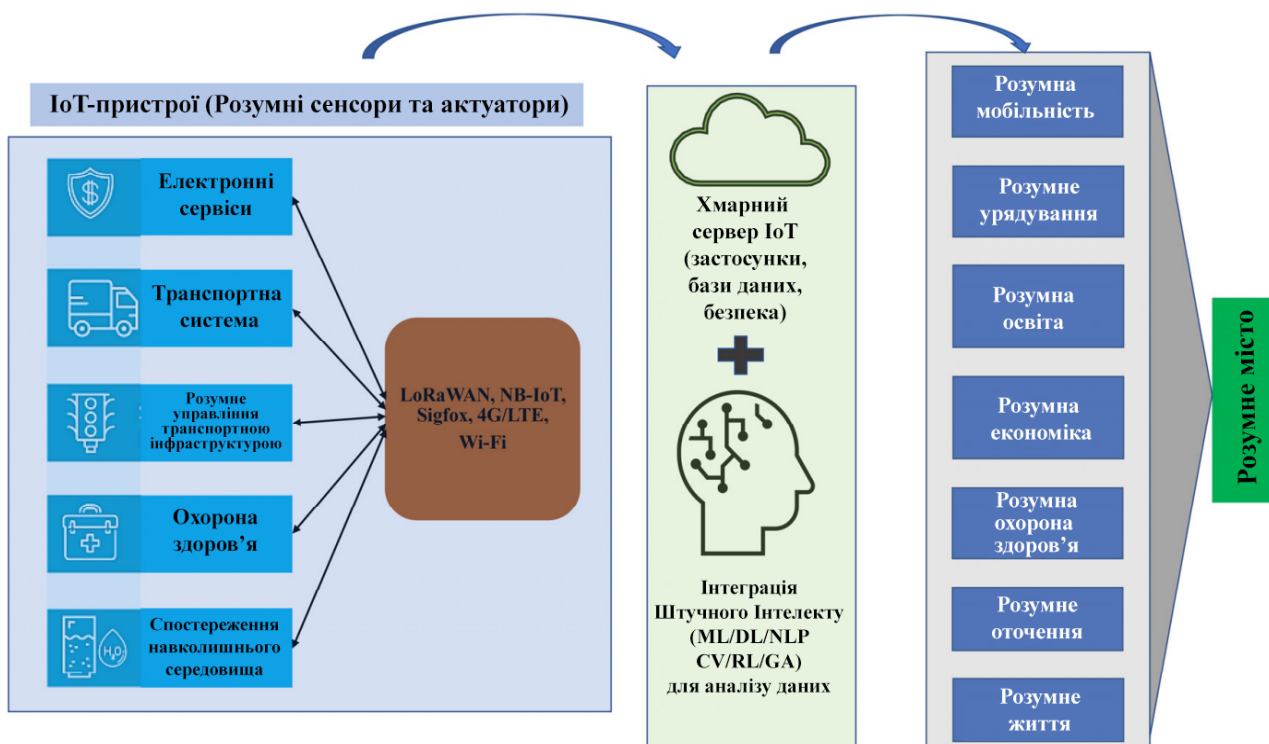


Рисунок 3.1 – Структура впровадження застосунків у «розумному місті» шляхом інтеграції IoT та ШІ [8]

Щоб досягти цього, використовуються три популярні шаблони зв'язку:

- стільникові мобільні мережі;
- виділені стільникові IoT-мережі;
- багаторівневі мережі.

Таким чином, щоб досягти належного архітектурного підґрунтя для «розумних міст» на основі IoT та ШІ, необхідна класифікація на основі типу програми, оскільки інтелектуальність таких об'єктів, як управління, економіка, охорона здоров'я тощо, має вимірюватися в програмі «розумного міста».

Розглянемо компоненти з провідними інформаційними та комунікаційними технологіями, доступними у всіх трьох архітектурних класах «розумного міста». У проаналізованій науковій публікації [77] обговорюється множина компонентів інформаційно-технологічної архітектури для інтеграції IoT-систем та ШІ. Зокрема чотири основні компоненти – це вимірювання первинних даних, мережеві та комунікаційні компоненти, критично важливі компоненти – периферійні, хмарні та туманні обчислення для формування програмно-алгоритмічних засобів та «розумних» цифрових послуг.

3.1.1 Компоненти сенсорних шарів «розумного міста»

Компоненти цього рівня – фізичні об’єкти IoT-пристроїв, давачів та виконавчих механізмів. IoT-пристрої взаємодіють із фізичним світом, надсилаючи й отримуючи дані, використовуючи бездротові мережі [78]. У цьому контексті різноманітні програми «розумного міста» використовують давачі, виконавчі механізми та технології розумних пристроїв.

На даний час на ринку доступна значна кількість комерційних IoT-пристроїв, які можуть вимірювати різні фізичні величини та зовнішні змінні, наприклад:

- давачі для вимірювання вологості [79];
- температури [80];
- моніторингу навколишнього середовища [81];
- моніторингу поживних речовин у воді [82] тощо.

Актuatorи використовуються для керування чи переміщення інших об’єктів або систем шляхом фізичної взаємодії або віртуального керування [83]. Зазвичай їх поділяють на [84]:

- пневматичні;
- електричні;
- гідравлічні.

Автори [85] описують декілька програмних застосунків можна використовувати для розгортання низькорівневих IoT-систем.

3.1.2 Комунікації в багаторівневих архітектурах «розумного міста» для потреб IoT-систем та ШІ

Багаторівневі архітектури [86] «розумного міста» для потреб IoT-систем та ШІ покладаються на багаторівневий підхід до збору та обробки даних спостереження, вимірювання та створення мережевої інфраструктури в режимі декількох етапів. Дані IoT-давачів зазвичай передаються на центральні шлюзи,

які потім передають дані в Інтернет за допомогою різних комунікаційних технологій.

Технологія передачі з декількома етапами [87] компенсує обмежені діапазони зв'язку шляхом впровадження різних технологій радіозв'язку. Такий підхід допомагає використовувати IoT-пристрої із надзвичайно низькою потужністю, що важливо для конкретних застосувань та аналітичних алгоритмів на базі ШІ. З іншого боку, через обмеження технологій радіозв'язку, необхідні для забезпечення підключення, можна використовувати ряд пристроїв. В таблиці 3.1 подано порівняння декількох стандартів зв'язку малого радіусу дії для їх використання в багаторівневих інформаційних архітектурах «розумних міст» на базі IoT та ШІ [88].

Таблиця 3.1 – Стандарти зв'язку малого радіусу дії для багаторівневих IoT-архітектур та ШІ [8]

	ZigBee (802.15.4)	WI-SUN (802.15.4g)	ULP (802.15.4q)	Бездрото вий M- Bus	Z- wave	Bluetooth Low Energy (BLE)	Wi-Fi Low Power (802.11ah)
Смуга частот	868/915/2450 МГц	Sub-1 ГГц, 2.4 ГГц	868/915/2450 МГц	169/433/868 МГц	908 МГц	2.4 ГГц	Sub-1 ГГц
Максимальна швидкість передачі	250 кбіт/с	1 Мбіт/с	100 кбіт/с	100 кбіт/с	100 кбіт/с	1 Мбіт/с	7.8 Мбіт/с
ТХ потужність	1–100 mW	1–100 mW	5–15 mW	1–100 mW	1–100 mW	1–100 mW	10 mW–1 W
Максимальна дальність (м)	100	200	100	300	100	30	1000

Такі інформаційно-технологічні архітектури базуються на багаторівневому підході та використовують маршрутизацію з декількома етапами для створення мережевої інфраструктури. Стандарт IEEE 802.15.4 [89] призначений для недорогих персональних бездротових IoT-мереж із низькою швидкістю передачі даних і низьким енергоспоживанням. Стек протоколів складається з рівнів PHY і MAC і підтримує роботу в трьох неліцензійних діапазонах частот, а саме «868 МГц», «915 МГц» і «2,4 ГГц». У стандарті використовується схема модуляції прямої послідовності з розширеним спектром (DSSS), яка забезпечує швидкість передачі даних «20, 40 і 250 кбіт/с» у трьох діапазонах частот. З часом стандарт IEEE 802.15.4 [89] зазнав різноманітних удосконалень для покращення його продуктивності, особливо на рівнях PHY. Рівні MAC використовують механізми множинного доступу з аналізом несучої з уникненням зіткнень (CSMA-CA), щоб полегшити доступ до каналу, синхронізацію, асоціацію PAN і передачу маяків IoT-пристроїв.

Обширний перелік застосунків виник на основі стандарту IEEE 802.15.4 [89], зокрема ZigBee, 6LoWPAN, WI-SUN і ULP, які можна використовувати для різноманітних IoT та III застосунків у персональних бездротових мережах. «Z-Wave Alliance» розробив стек протоколів Z-Wave для програм домашньої автоматизації. Він використовує модуляцію частотної маніпуляції Гауса (GFSK) і сітчасту мережеву архітектуру для маршрутизації та безпеки. Стек протоколів Z-Wave визначає всі доступні рівні. Корпорація розробник керує ним, щоб забезпечити взаємодію між компаніями. Можливі змінні швидкості передачі даних «9,6/40/100 Кбіт/с», а діапазон зв'язку подібний до рішень на основі IEEE 802.15.4.

Вимірювальна шина (M-Bus) – це спеціалізована шинна техніка передачі даних для вимірювання комунальних послуг, зокрема газу, електроенергії та води. Він важливий для розробки інтелектуальних комунальних послуг і може працювати в трьох частотних діапазонах «169/433/868 МГц» з топологією мережі зірка або града. Він використовує синхронізовані протоколи маршрутизації множинного доступу з розділенням часу (TDMA) і може обмінюватися даними на відстані до 300 м із високою швидкістю передачі даних 100 Кбіт/с.

На рисунку 3.2 подано макети для трьох інформаційно-технологічних архітектур.

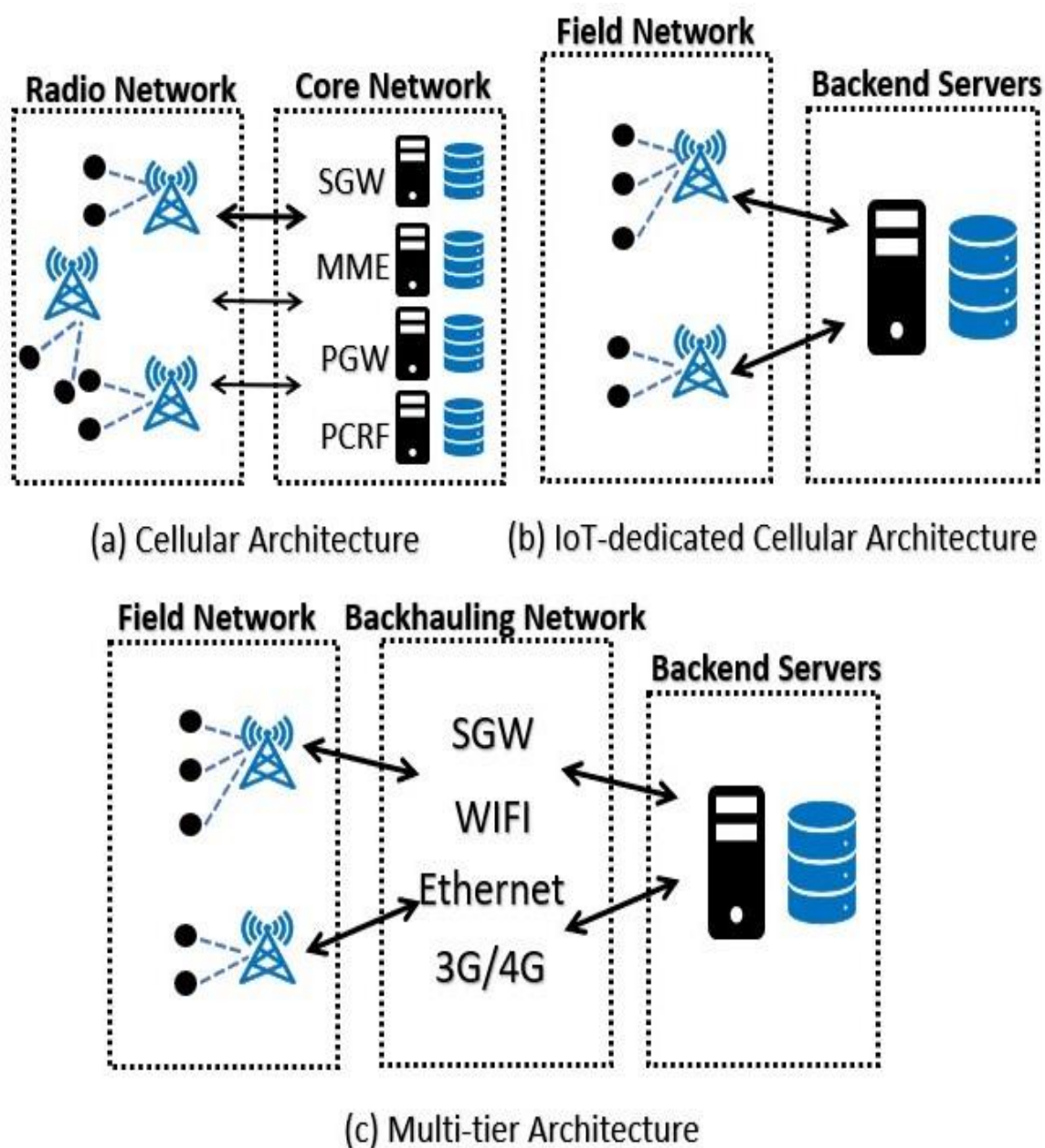


Рисунок 3.2 – Архітектури для підтримки комунікацій M2M та ІІІ у «розумних містах» [8]

«Bluetooth Low Energy» (BLE) нещодавно став дуже популярним у потоковому аудіо та підходить для IoT-програм. Це стек малопотужних протоколів, де пристрої BLE мають низьке енергоспоживання та можуть використовуватися протягом тривалого часу. Перша схема модуляції – «GFSK» з швидкістю передачі даних «1 Мбіт/с». Є сорок різних каналів. Три

використовуються для повідомлень та тридцять сім каналів даних. BLE може інтегруватися з IPv6 і підтримує техніку фрагментації пакетів із базовими функціями безпеки. Головним недоліком BLE є те, що він підтримує лише сітчасті топології, що обмежує III застосунки реальними сценаріями.

«Wi-Fi Low Power» збільшує радіус дії Wi-Fi, споживаючи менше енергії та працюючи в діапазоні частот «900 МГц». Як наслідок, він підходить для IoT-програм. Швидкість передачі даних збільшується з «150 Кбіт/с» до «8 Мбіт/с» за допомогою схеми сигналу OFDM у поєднанні з модуляцією двійкової фазової маніпуляції (BPSK), квадратурної фазової маніпуляції (QPSK) і модуляції квадратурної амплітуди (QAM). Також можна додати більше IoT-пристроїв за допомогою MAC-рівня. Це оптимальний протокол для різних програм на базі III, оскільки він має режим енергозбереження, метод оптимізації даних і розширений стан сну.

Автори [90] повідомляють про дослідження, які базуються на технології Wi-Fi «IEEE 802.11» [91]. Вони інформують, що технологія Wi-Fi [92] широко використовується в програмах «розумних міст» на базі IoT та III. Через велику кількість гаджетів, що підключаються, виникають серйозні перешкоди. Механізм захисту від перешкод є важливим для зменшення ефекту перешкод, і Wi-Fi може бути більш корисним у «розумних містах» на основі IoT та III [93]. Дослідники [94] повідомили про механізм для вимірювання потужності сигналу Wi-Fi і розробили застосунок на основі III для інтелектуального медичного обслуговування для «розумного міста». Кожен пацієнт у «розумній» лікарні має при собі смартфон із підключенням до Wi-Fi. Кількість пацієнтів, які очікують у зоні очікування, де вони знаходяться, і їхні переміщення в режимі реального масштабу часу визначаються даними про потужність сигналу, зібраними з їхніх мобільних телефонів. Основна перевага смарт-системи полягає в тому, що її можна впровадити на базі існуючої інформаційно-технологічної інфраструктури без будь-якої її модифікації. Зібрану інформацію можна використовувати для виявлення перспективних медичних проблем, що корисно для лікарів.

3.2 Перспективні тенденції розвитку «розумних міст» на базі IoT та ШІ

Щоб керувати різними аспектами міського життя, наприклад, дорожнім рухом, споживанням енергії, управлінням відходами та громадською безпекою, «розумне місто» вимагає широкого використання IoT-пристроїв для моніторингу та контролю. Ці пристрої генерують великі за обсягом набори та колекції даних, які повинні бути передані через міські комунікаційні та сенсорні мережі в Інтернет до центральної системи управління для обробки та аналізу на базі ШІ. Тому масове підключення IoT-пристроїв є необхідним для успішного впровадження «розумного міста». Впровадження IoT-мережі на основі 5G [95] є потенційно-перспективним рішенням для управління надвеликими мережами в сценарії «розумного міста». Ця мережа [96], заснована на парадигмі бездротової програмно-визначеної мережі (WSDN), пропонує гнучку та швидку мережеву інфраструктуру для полегшення розгортання мереж «розумного міста» на основі IoT та ШІ [97]. Він має підвищену швидкість і пропускну здатність, де швидкість передачі даних досягає «20 Гбіт/с». Мережа 5G може керувати великими за обсягом наборами та колекціями даних, які продукують IoT-пристрої. Її висока пропускна здатність може вмістити більше підключених IoT-пристроїв, створюючи різноманітні нові програми на базі ШІ для покращення життя в «розумних містах».

Крім того, мережі 5G пропонують низьку затримку та підвищену надійність, що робить їх бажаними для формування мереж «розумних міст» на основі IoT та ШІ. Завдяки затримці всього «1 мс» технологія 5G може дати змогу розробляти більше застосунків у режимі реального часу. Знижений час затримки забезпечує мінімальну затримку між IoT-пристроями, що забезпечує швидший і ефективніший зв'язок. Ця функція має вирішальне значення для розробки застосунків для «розумного» транспорту безпілотників, автономних транспортних засобів, дистанційної хірургії в режимі реального масштабу часу або моніторинг пацієнтів для «розумної» охорони здоров'я в «розумному місті».

IoT-пристрої з меншою затримкою можуть надсилати та отримувати дані набагато швидше, що дає змогу використовувати низку інноваційних і чутливих

до часу випадків. Порівняно з попередніми поколіннями, мережі 5G вважаються надійнішими, пропонуючи функції сегментування мережі та периферійних обчислень з множинним доступом (MEC). Ці функції забезпечують послідовне та безперебійне підключення для IoT-пристроїв у перевантажених районах «розумного міста». Оскільки розвиток «розумних міст» та ШІ продовжується, очікується, що мережі 5G будуть використовуватися все частіше через їх здатність надавати розширені функції безпеки, зокрема безпечне завантаження, сегментація мережі, які можуть допомогти запобігти кібератакам і витоку даних, гарантуючи безпеку IoT-пристроїв та великих даних, які вони генерують (див. рисунок 3.3).

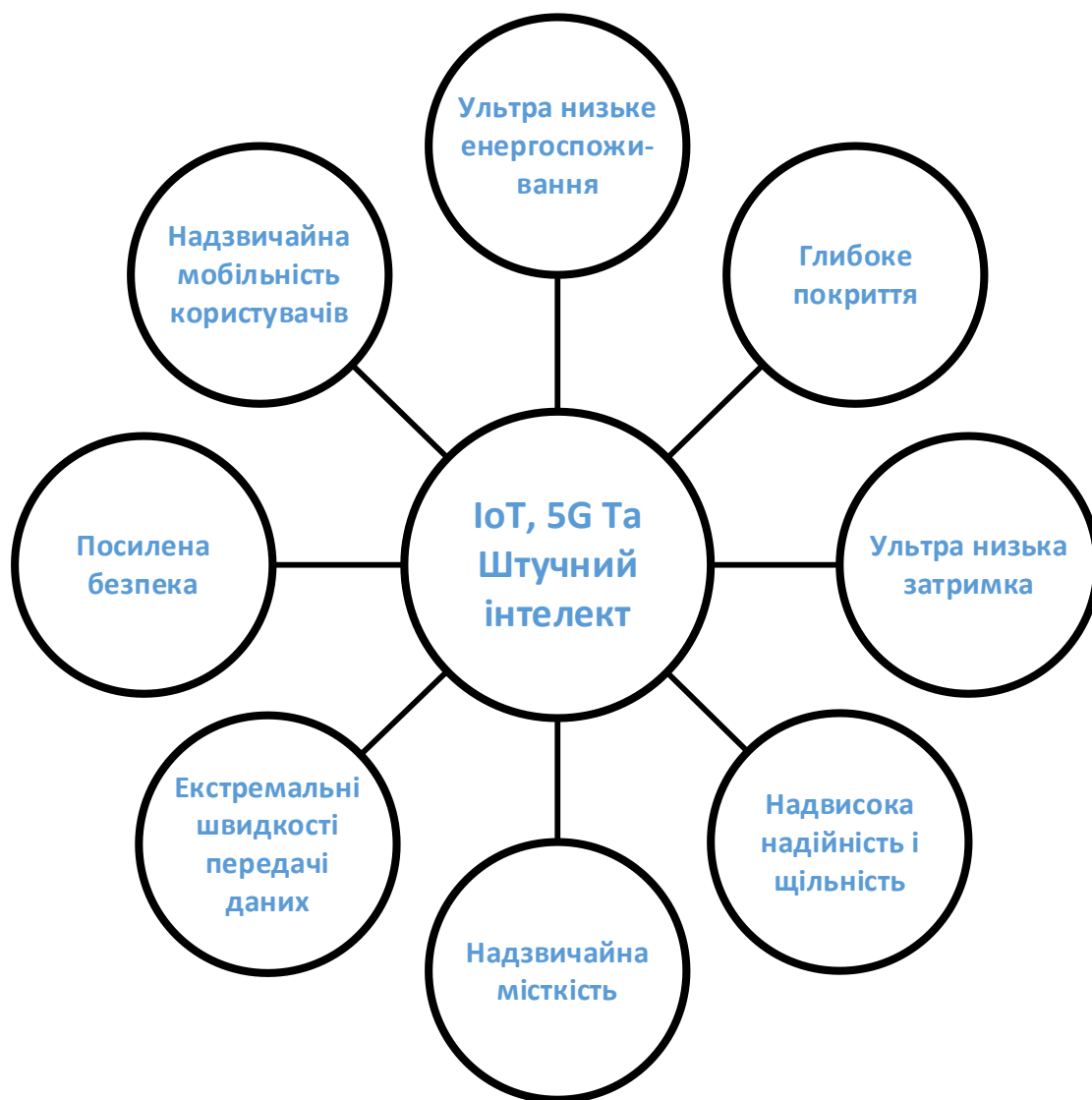


Рисунок 3.3 – Перспективні характеристики мереж 5G з підтримкою IoT та ШІ [8]

Вплив 5G на з'єднання мільярдів IoT-пристроїв в одну комунікаційну технологію є значним, особливо у створенні великого «розумного міста» на основі ШІ. Щоб цього досягти, «розумні» пристрої повинні мати можливість взаємодіяти один з одним і обмінюватися даними без втручання людини [98]. Для цих інтелектуальних пристроїв критично важливо підтримувати процедури опрацювання подій в реальному масштабі часу на основі запитів, які можна координувати між наскрізними пристроями. Крім того, вони повинні бути оснащені автоматичними та інтелектуальними алгоритмами на основі ШІ, які можуть безперебійно працювати на кожному етапі розвитку «розумного міста», від планування до розгортання та обслуговування. Це гарантує, що інфраструктура «розумного міста» буде ефективною, масштабованою та зможе адаптуватися до мінливих потреб і запитів громадян [99]. IoT та ШІ орієнтовані архітектури створені, щоб забезпечити загальну інформаційно-технологічну платформу, яка відповідає вимогам:

- Мережі 5G мають бути адаптованими та незалежними відповідно до конкретних потреб «розумних» застосунків.
- Хмарна мережа радіодоступу «CloudRAN» повинна використовуватися для підтримки масових з'єднань пристроїв для різних «розумних» програм.
- Архітектура базової мережі має бути легкою для впровадження та забезпечувати функції на вимогу для мережевих конфігурацій.

У майбутньому «розумні міста» будуть значною мірою покладатися на комунікації 5G, IoT і передові технології ШІ, які передбачають зберігання та завантаження великих обсягів IoT-даних на хмарний сервер для отримання корисної інформації за допомогою методів аналізу даних. Ці «розумні міста» впровадять різні напрямки: «розумний» транспортний трафік, «розумні» будинки, «розумне» сільське господарство, «розумні» мережі та «розумне» управління. Мережі IoT з підтримкою 5G забезпечуватимуть обширний перелік функцій, зокрема прямий зв'язок між пристроями, типову архітектуру, розширений спільний доступ до спектру та керування перешкодами, які будуть життєво важливими для побудови «розумного міста». Інтеграція ШІ з мережами 5G стане невід'ємною частиною майбутнього «розумного міста». ШІ збирається

обробляти великі обсяги даних із застосунків на основі Інтернету речей, наприклад, громадський транспорт, світлофори та повсякденна діяльність громадян, для більш точного та точного прийняття рішень. Це дасть можливість знайти розуміння шаблонів даних, які можна використовувати для підвищення ефективності та продуктивності діяльності муніципальних органів влади, одночасно зменшуючи відповідні витрати. Крім того, ІІІ допоможе зменшити людські помилки, приймати автоматизовані рішення на основі даних, впроваджувати ефективне управління містами та досліджувати нові комерційні можливості.

Роль ІІІ в «розумному місті» полягає в управлінні та аналізі великих обсягів даних, створених IoT-пристроями, з високою точністю для високоефективного прийняття рішень. Наприклад, громадський транспорт, світлофори та повсякденна діяльність громадян генерують великі обсяги даних, і ІІІ може визначати інформацію, яка може підвищити ефективність і продуктивність роботи муніципального управління, одночасно зменшуючи витрати. Крім того, ІІІ може:

- мінімізувати людські помилки;
- приймати автоматизовані рішення на основі даних;
- впроваджувати ефективне міське управління;
- досліджувати нові комерційні можливості.

Використовуючи штучний інтелект і технології 5G, постачальники енергії можуть оптимізувати відновлювані джерела енергії, такі як сонячна та вітрова енергія. ІІІ може передбачити, коли засяє сонце або подує вітер, і 5G може миттєво передавати цю інформацію постачальникам електроенергії, даючи їм можливість відповідно регулювати енергопостачання. ІІІ і 5G також можуть допомогти зменшити затори та викиди в транспортному секторі шляхом оптимізації транспортного потоку та визначення найбільш ефективних маршрутів транспортних засобів. Це може скоротити час, проведений у дорозі, що, у свою чергу, може зменшити викиди та заощадити енергію. Інтеграція ІІІ та технології 5G може змінити спосіб управління енергією та транспортом, зменшити викиди вуглецю та підвести нас до більш сталого майбутнього.

Підсумовуючи, успіх «розумного міста» значною мірою залежить від його здатності інтегрувати у свою інфраструктуру передові технології, такі як зв'язок 5G, пристрої Інтернету речей та алгоритми ШІ. Працюючи разом, ці технології можуть створити більш ефективне, стійке та придатне для життя місто. Завдяки інтеграції алгоритмів ШІ з відновлюваними джерелами енергії, зокрема сонячної та вітрової енергії, міста можуть оптимізувати використання енергії та зменшити викиди вуглекислого газу, ставши екологічно стійкішим, одночасно зменшивши витрати на енергію для жителів і підприємств. Використовуючи ці технології, «розумні міста» можуть стати більш ефективними, продуктивними та екологічно стійкими, що зрештою покращить якість життя громадян. Зменшуючи затори, покращуючи якість повітря та оптимізуючи використання ресурсів, «розумні міста» можуть створити краще середовище життя для всіх, що робить їх захоплюючою перспективою для майбутнього міського розвитку. На рисунку 3.4 зображено футуристичне «розумне місто», яке поєднує IoT, 5G та штучний інтелект.

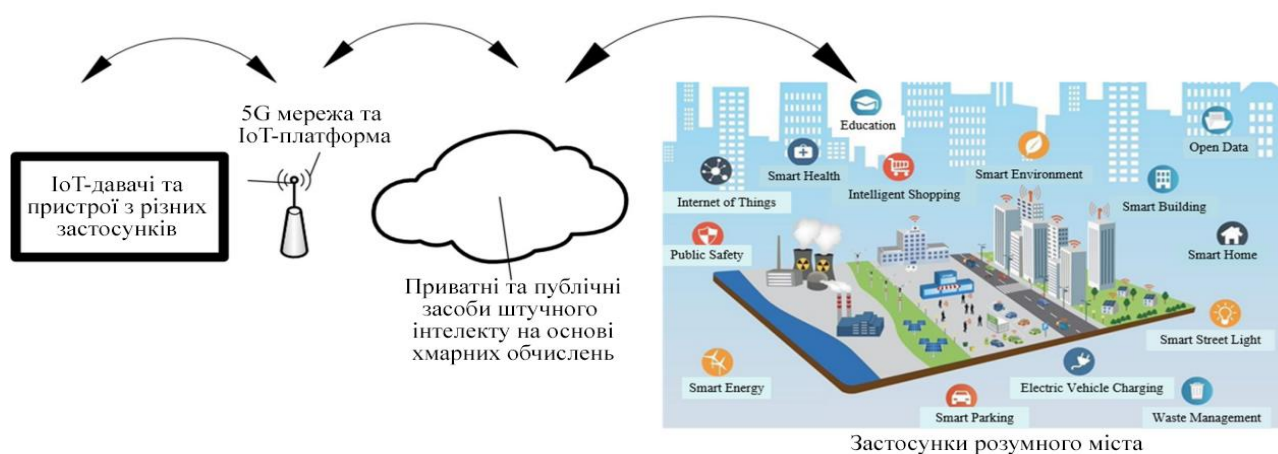


Рисунок 3.4 – Ілюстрація поєднання IoT, 5G та ШІ, які будуть невід’ємними компонентами футуристичного «розумного міста» [8]

Комунікаційні технології необхідні для забезпечення надійного та постійного зв'язку в «розумних містах». Однак поширення «розумних» пристроїв може викликати труднощі. Таким чином, сучасні дослідження досліджують потенціал комунікаційних технологій, створених за допомогою Інтернету речей (IoT), і їх можливі застосування в «розумних містах». Wi-Fi,

ZigBee і Z-Wave підходять для коротких відстаней, де обмежені пристрої та їх зони покриття, оскільки вони забезпечують більші швидкості передачі даних, ніж технології міжміського сполучення, такі як LoRaWAN. Однак вибір комунікаційної технології залежить від конкретних вимог кожної програми та необхідного діапазону покриття. ZigBee зазвичай використовується для застосунків із низьким енергоспоживанням із низькою швидкістю передачі даних, що забезпечує безпечну мережу та довший час роботи акумулятора. Він пропонує мережеві топології, придатні для різних застосунків, наприклад, сітка, зірка та дерево. З іншого боку, деякі технології великого радіуса дії вимагають підключення пристроїв через центральний шлюз для збору інформації та прийому даних. Ці технології включають LoRaWAN, NB-IoT, Sigfox і LTE, і вони працюють на ліцензованих і неліцензійних спектрах залежно від програм. При виборі комунікаційної технології важливий не тільки функції низького енергоспоживання, але й масштабованість, пропускна здатність мережі, безпека та регулярність.

Стільникові мережі можуть бути цінним ресурсом для розгортання нових програм у «розумному місті». Вузькосмуговий Інтернет речей «NB-IoT» – це технологія, яка орієнтована на недорогі пристрої, забезпечуючи при цьому високу безпеку та надійність мережі. Він також використовує переваги існуючих стільникових мереж, що може зменшити вартість встановлення мережі для нових програм «розумного міста». З іншого боку, LoRaWAN і Sigfox є неліцензійними технологіями, які можуть допомогти подолати проблеми вартості, пов'язані з ліцензованими технологіями. Залежно від програми та регіону ці технології зазвичай використовують діапазони «ISM 2,4 ГГц», «868 МГц», «915 МГц» і «433 МГц». Sigfox особливо корисний для програм із низьким обсягом даних, зокрема «розумного» середовища, «розумного» сільського господарства та «розумної» роздрібною торгівлі. Він стверджує, що підключає мільйон пристроїв у великій зоні покриття.

Використання декількох алгоритмів ШІ в «розумних містах» може підвищити ефективність, стійкість і якість життя. Це алгоритми ML, DL, NLP, CV і RL. Алгоритми ML дають машинам змогу ідентифікувати закономірності,

вивчати дані та робити прогнози на основі вхідних даних. З іншого боку, DL-моделі використовують штучні нейронні мережі для розуміння ієрархічних представлень даних, що дає їм можливість виявляти складні характеристики та шаблони. Алгоритми NLP дають змогу комп'ютерам розуміти, інтерпретувати та створювати людську мову, тоді як алгоритми CV дають машинам можливість досліджувати та розуміти візуальні дані, розпізнавати шаблони та особливості зображень і використовувати цю інформацію для прийняття обґрунтованих рішень і прогнозів. RL – це алгоритм машинного навчання, у якому агент взаємодіє із середовищем методом проб і помилок, щоб максимізувати кумулятивну винагороду. Ці алгоритми можна використовувати в різних програмах у «розумних містах», зокрема для управління трафіком, оптимізації енергоспоживання, управління відходами та громадської безпеки. Вони можуть зробити «розумні міста» більш ефективними, стійкими та безпечнішими для мешканців.

Майбутнє «розумного міста» залежатиме від розвитку кожного сектора, наприклад «розумного» середовища, «розумного» сільського господарства, «розумної» економіки, «розумного» бізнесу та «розумного» управління. Можливість інтегрувати новітні комунікаційні технології 5G, IoT-пристрої і алгоритми ШІ в міську інфраструктуру відіграє вирішальну роль в успіху «розумного міста». Інтеграція цих технологій може створити більш ефективне, стійке та придатне для життя місто. Об'єднання всіх секторів може допомогти побудувати «розумне місто». Доступні на даний час стандарти передачі даних, розроблений для мереж IoT несумісні між собою. Таким чином, потрібно провести багато роботи, щоб забезпечити взаємозв'язок між вузлами IoT-давачів за допомогою різних протоколів зв'язку під час роботи при низькому споживанні енергії. Інша сфера, на якій повинні зосередитись дослідники або зацікавлені сторони, – це розробка ефективних методів зберігання даних і апаратного забезпечення з низьким енергоспоживанням для зменшення експлуатаційних витрат. Гетерогенні мережі для окремих застосунків повинні оброблятися в одній гігантській мережі «розумного міста», і 5G може відігравати важливу роль у майбутніх концепціях «розумного міста». ШІ також має великі можливості для

майбутньої роботи в галузі розробки методів об'єднання даних, щоб зробити гетерогенні джерела даних більш доступними та інтелектуальне скорочення даних для забезпечення того, щоб надлишкові або «нецікаві» дані не були частиною розробки ІІІ. Як наслідок можна зробити висновок, що поточні комунікаційні технології недостатні для забезпечення безперебійного з'єднання в «розумних містах», оскільки вони спочатку були створені для розміщення обмеженої кількості IoT-пристроїв і мають обмежені комунікаційні можливості. Таким чином, існує нагальна потреба в розробці інтелектуальних і стандартизованих протоколів Інтернету речей на основі технології 5G, щоб ефективно задовольняти обчислювальні та комунікаційні потреби ІІІ майбутніх «розумних міст».

3.3 Висновок до третього розділу

В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано прототип інформаційно-технологічної архітектури «розумного міста» на базі IoT та ІІІ. Розроблений прототип інформаційно-технологічної архітектури «розумного міста» на основі IoT та ІІІ демонструє високий потенціал для трансформації міського середовища. Багаторівнева архітектура, що включає сенсорні шари та ефективні комунікаційні протоколи, забезпечує збір та обробку великих обсягів даних з різноманітних джерел. Інтеграція штучного інтелекту дозволяє аналізувати ці дані в режимі реального часу, виявляти закономірності та приймати обґрунтовані рішення для оптимізації міських процесів. Така архітектура створює основу для реалізації широкого спектру інноваційних рішень, від «розумної» мобільності до «розумного» управління енергоспоживанням. Описано перспективні тенденції розвитку «розумних міст» на базі IoT та ІІІ.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Психологічні чинники небезпеки

В кваліфікаційній роботі досліджено процеси інтеграції IoT та штучного інтелекту в розумних містах. Сучасні інформаційно-технологічні проєкти класу «розумне місто» потребують від персоналу підвищеної уваги та концентрації. Зростає рівень стресу та психофізичного навантаження. Тому в цьому розділі доцільно проаналізувати психологічні чинники небезпеки.

Аналіз статистичних даних та висновків експертів у галузі безпеки життєдіяльності свідчить, що від 60 до 90% травм на виробництві і в побуті відбувається з вини потерпілих [100]. Основні причини цього:

- низький рівень професійної підготовки з питань безпеки;
- недостатнє виховання;
- слабка установка людини на дотримання вимог безпеки;
- допуск до небезпечних робіт осіб з підвищеним ризиком травматизму;
- перебування людей у стані втоми чи інших психічних станах, які знижують безпеку діяльності.

Виділяють комплекс чинників, що збільшують індивідуальну схильність людини до небезпеки, це:

- особливості темпераменту;
- функціональні зміни в організмі;
- дефекти органів відчуття;
- незадоволення даним видом діяльності.

Водночас схильність до небезпеки через несприятливий характер діяльності:

- значні фізичні та розумові зусилля;
- незручна робоча поза;
- високий темп праці;
- нервово-емоційні перевантаження;
- перенапруга слухових та зорових аналізаторів;

– несумісність робочого місця, засобів праці та антропометричних даних людини.

Зазначені чинники призводять до збільшеної фізичної та нервової втоми, що впливає на психіку, зменшує швидкість та точність орієнтації, погіршує увагу та пильність і порушує сприйняття оточуючого середовища. Крім того, це може призводити до травматизації.

Психологи визначають спеціальну галузь, а саме психологію безпеки, де розглядають психічні властивості та різноманітні форми психічних станів, що виникають під час трудової діяльності [101]. Психічні процеси є основою психічної діяльності і без їхньої участі неможливе формування знань та набуття життєвого досвіду.

Виділяють пізнавальні, емоційні та вольові психічні процеси. Психічні властивості представляють собою стійкі особливості особистості, такі як інтелектуальні, емоційні, вольові, трудові і інші. Психічні стани визначають особливості психічної діяльності в конкретний період часу та можуть позитивно або негативно впливати на всі психічні процеси. За думкою багатьох психологів, ефективність діяльності та працездатність людини залежать від рівня психічного напруження. Підвищення рівня психічного напруження істотно покращує ефективність праці. Однак існує критична межа активації, після якої результати праці знижуються аж до повної втрати працездатності.

Існують два типи позамежевого психологічного напруження: гальмівний та збудливий. Гальмівний тип проявляється скутістю та сповільненістю рухів, при цьому людина втрачає колишню спритність у виконанні професійних дій. Реакції стають повільнішими, процес мислення сповільнюється, згадування погіршується, увага розпорошується, і з'являються інші негативні прояви, які не є характерними для цієї людини у спокійному стані. Збудливий тип характеризується гіперактивністю, багатомовністю, тремтінням рук і голосу. Оператори виконують численні дії, які не є обґрунтованими конкретною потребою: перевіряють стан приладів, крутять регулятори, поправляють одяг, розтирають руки. Також вони стають дратівливими, запальними, проявляють різкість, грубість і уразливість, що не є характерними для них у спокійному стані.

Позамежеві форми психічного напруження часто лежать в основі помилкових дій та неправильної поведінки у складній ситуації, що може призвести до травматизму та аварій [47]. Серед особливих психічних станів, які мають велике значення для безпеки життєдіяльності, психологи виокремлюють пароксизмальні розлади свідомості, психогенні зміни настрою та афективні стани, пов'язані з вживанням психоактивних засобів, стимуляторів, транквілізаторів і алкогольних напоїв.

Пароксизмальні стани представляють собою групу розладів, що проявляються короткочасною втратою свідомості, тривалістю від кількох секунд до хвилин. Ці стани є характерними для певних органічних захворювань головного мозку, а також для епілепсії. Сучасні методи дають змогу вчасно ідентифікувати осіб, у яких існує прихована схильність до пароксизмальних станів. Таким людям не рекомендується працювати на висоті, керувати автотранспортом та виконувати інші види робіт із підвищеною небезпекою.

Психогенні зміни настрою та афектні стани виникають під впливом психічних впливів. Зниження настрою та апатія можуть тривати від кількох хвилин до одного-двох місяців. Зміни в настрої спричинені конфліктними ситуаціями, втратою близьких та іншими подіями. Це може супроводжуватися байдужістю, вялістю, загальною скутістю, уповільненням темпу мислення. Погіршення настрою також супроводжується втратою самоконтролю, що може призвести до травм та збільшити ризик виникнення небезпечних ситуацій.

Афективні стани (афект – вибух емоцій) можуть виникнути внаслідок трудових невдач або під впливом образливих ситуацій. У стані афекту розвивається емоційне звуження обсягу свідомості, і можна спостерігати різкі рухи, агресивні та руйнівні дії. Люди, які мають схильність до афективних станів, належать до групи з підвищеним ризиком травм та не повинні займати посади з високою відповідальністю.

Використання різних психоактивних засобів, включаючи алкоголь, підвищує ризик травматизму та знижує рівень безпеки в проведенні діяльності. Вживання легких стимуляторів, таких як чай чи кава, допомагає боротися зі сонливістю та може сприяти підвищенню працездатності на короткий період.

Однак вживання активних стимуляторів під час відповідальних завдань може викликати негативний ефект – погіршення самопочуття та зниження швидкості реакції. Також використання транквілізаторів, які мають заспокійливий ефект та запобігають розвитку неврозів, може призводити до зниження психічної активності, уповільнення реакцій, апатії та сонливості.

Особливу увагу слід приділити впливу алкогольних напоїв на безпеку діяльності. Згідно з різними даними, в 40-60% випадків автомобільних травм виникає через вживання алкоголю. На виробництві встановлено, що 64% смертельних випадків пов'язані з алкогольним вживанням та помилковими діями загиблих. Для безпеки праці особливо важлива є післяалкогольна астенія (похмілля), яка не лише знижує працездатність, але і спричиняє загальмованість та зменшення відчуття обережності.

Тривале вживання алкоголю призводить до алкоголізму, що в супроводі різним ступенем деградації особистості. Люди, що страждають від алкоголізму, втрачають свою звичну точність та охайність в роботі. Вони все частіше допускають помилки та втрачають здатність вирішувати складні проблеми, а також швидко та правильно орієнтуватися у нестандартних ситуаціях.

4.2 Контроль за станом охорони праці

Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Магістр» присвячена дослідженню процесів інтеграції IoT та штучного інтелекту в розумних містах. Оскільки проекти класу «розумне місто» потребують активної інтеграції інформаційних та комунікаційних технологій в різнотипову за своєю природою міську інфраструктуру, то актуальним постає контроль за станом охорони праці.

Контроль за охороною праці є важливим механізмом забезпечення безпеки праці та попередження нещасних випадків. Він полягає в тому, що суб'єкт контролю здійснює облік і перевірку того, як контрольований об'єкт виконує покладені на нього завдання і реалізує свої функції.

Підвищена увага до проблеми здійснення контролю за охороною праці пояснюється тим, що незважаючи на заходи, що вживаються, рівень

виробничого травматизму і смертельних випадків зростає. Однією із причин цього є недосконалість механізму контролю за дотриманням законодавства та норм охорони праці.

Контроль за охороною праці здійснюється з боку роботодавців та державних органів. Роботодавці здійснюють внутрішній контроль, який спрямований на забезпечення безпеки праці на своєму підприємстві. Державний контроль здійснюється органами державного нагляду за охороною праці.

Мета контролю за охороною праці – запобігти порушенням законодавства та норм охорони праці, а також усунути вже виявлені порушення.

Контроль за охороною праці є ефективним способом забезпечення безпеки праці, але він повинен бути ефективним. Для цього необхідно:

- Удосконалити законодавство та норми охорони праці.
- Створити ефективний механізм державного контролю за охороною праці.
- Сприяти підвищенню рівня культури охорони праці у роботодавців та працівників.

На практиці основними видами контролю за станом охорони праці, які проводяться на підприємствах [102], зокрема, є такі:

- Трьохступеневий контроль закріплено нормативними актами, зокрема розділом 3 Галузевої Угоди між Міністерством регіонального розвитку та будівництва України та Профспілкою працівників і промисловості будівельних матеріалів України на 2017-2018 роки.

- Оперативний контроль керівниками робіт за іншими відповідальними особами підприємства (наприклад, службою охорони праці).

- Контроль вищою організацією (четвертий чи п'ятий ступінь контролю).

- Контроль місцевими органами влади (органами самоврядування).

- Відомчий контроль за охороною праці – це вид контролю, який здійснює роботодавець для забезпечення безпеки праці на своєму підприємстві. Відповідно до статті 13 Закону України про охорону праці, роботодавець зобов'язаний: створити на робочому місці і в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до вимог нормативних актів; забезпечити дотримання

прав працівників, гарантованих законодавством про охорону праці. Для виконання цих обов'язків роботодавець повинен: створити систему управління охороною праці; забезпечити проведення інструктажів з охорони праці для працівників; проводити перевірки дотримання вимог охорони праці на підприємстві. Відомчий контроль за охороною праці є важливим механізмом забезпечення безпеки праці на підприємстві. Він дозволяє виявити та усунути порушення законодавства та норм охорони праці, а також сприяє підвищенню культури безпеки праці у працівників.

- Громадський контроль.
- Контроль органами державного нагляду.

В масштабах одного підприємства адміністративний контроль за станом охорони праці здійснюють:

- Керівник підприємства.
- Головні спеціалісти.
- Інші особи, які наказом роботодавця наділені адміністративними повноваженнями [103].

Відомчий контроль за охороною праці – це вид контролю, який здійснюють органи управління підприємством, установою, організацією з метою забезпечення безпеки праці на підпорядкованих їм об'єктах.

Відповідно до Порядку проведення планових виїзних перевірок підприємств, установ, організацій з питань охорони праці, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 1 червня 2013 року № 440, відомчий контроль за охороною праці здійснюють:

- служби охорони праці вищестоящих організацій;
- галузеві спеціалісти вищестоящих організацій.

За результатами перевірок відомчого контролю складається акт, у якому зазначаються виявлені порушення вимог законодавства про охорону праці та заходи щодо їх усунення.

Мета відомчого контролю за охороною праці:

- забезпечення виконання вимог законодавства про охорону праці на підпорядкованих підприємствах, установах, організаціях;

- усунення виявлених порушень вимог законодавства про охорону праці;
- підвищення рівня культури безпеки праці у працівників.

Під час здійснення відомчого контролю перевіряються:

- виконання планів роботи з охорони праці на підприємстві;
- використання виділених на охорону праці коштів;
- розробка проектної документації;
- виконання обов'язків з охорони праці службовими особами;
- інші питання, пов'язані з охороною праці.

Для забезпечення ефективності відомчого контролю він повинен бути регулярним і систематичним.

Оперативний контроль за охороною праці

Оперативний контроль за охороною праці – це вид контролю, який здійснюється на підприємствах, в установах, організаціях з метою своєчасного виявлення та усунення порушень вимог законодавства про охорону праці.

Мета оперативного контролю:

- поліпшення організації роботи з охорони праці;
- посилення уваги до безпеки праці з боку керівника підприємства, головних спеціалістів, керівників структурних підрозділів і профспілкових організацій;
- підвищення особистої відповідальності за вирішення поточних та перспективних питань охорони праці на підприємстві.

Кожен ступінь контролю здійснюють конкретні особи відповідно до існуючого наказу про введення оперативного контролю за станом охорони праці в установах, закладах та на підприємствах системи МОЗ України:

- Перший ступінь оперативного контролю проводить керівник структурного підрозділу (майстер, бригадир) разом з громадським інспектором щоденно перед початком зміни і під час роботи. Про допущені порушення робиться запис у спеціальний журнал і доповідається вищому керівнику.

- Другий ступінь оперативного контролю здійснюють головні спеціалісти, начальники дільниць разом з представником профспілки раз на 7-10 днів. Помічені недоліки записують в журнал другого ступеня.

– Оперативний контроль третього ступеня один раз на місяць проводить комісія, до складу якої входять керівник підприємства, голова профспілок, інженер з охорони праці, головні спеціалісти. Результати перевірки стану охорони праці третього ступеня оформляють протоколом.

– Оперативний контроль четвертого ступеня проводиться на нарадах на яких приймаються рішення про усунення виявлених недоліків з метою запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням [78].

При дослідженні процесів інтеграції IoT та штучного інтелекту в розумних містах враховано досліджену інформацію про контроль за станом охорони праці.

4.3 Висновок до четвертого розділу

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи розглянуто психологічні чинники небезпеки. Описано контроль за станом охорони праці.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження підтвердило високу актуальність та перспективність інтеграції Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту (ШІ) у концепції «розумного міста». Аналіз наукової літератури та розроблена інформаційно-технологічна архітектура демонструють широкий спектр можливостей, які відкриваються перед містами завдяки цим технологіям. ШІ дозволяє оптимізувати міські процеси, підвищити якість життя мешканців, створити більш ефективні та стійкі системи управління міськими інфраструктурами. Однак, разом з новими можливостями виникають і нові виклики, пов'язані з безпекою даних та етичними аспектами.

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр»:

- Описано парадигму «розумного міста».
- Проаналізовано інформаційні та комунікаційні технології «розумних міст».
- Подано опис процесу наукометричного мошуку магістерського дослідження.

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- Досліджено технології штучного інтелекту для IoT-систем розумного міста.
- Подано розлогий аналіз перспектив розвитку ШІ для IoT-систем «розумного міста».

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

- В третьому розділі кваліфікаційної роботи описано прототип інформаційно-технологічної архітектури «розумного міста» на базі IoT та ШІ.
- Описано перспективні тенденції розвитку «розумних міст» на базі IoT та ШІ.

У розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто психологічні чинники небезпеки. Описано контроль за станом охорони праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 Nikitas, A.; Michalakopoulou, K.; Njoya, E.T.; Karampatzakis, D. Artificial intelligence, transport and the smart city: Definitions and dimensions of a new mobility era. *Sustainability* 2020, 12, 2789.
- 2 Nam, T.; Pardo, T.A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times*, College Park, MD, USA, 12–15 June 2011; pp. 282–291.
- 3 O'grady, M.; O'hare, G. How smart is your city? *Science* 2012, 335, 1581–1582.
- 4 Wang, J.; Jiang, C.; Zhang, K.; Quek, T.Q.; Ren, Y.; Hanzo, L. Vehicular sensing networks in a smart city: Principles, technologies and applications. *IEEE Wirel. Commun.* 2018, 25, 122–132.
- 5 Ejaz, W.; Anpalagan, A. *Internet of Things for Smart Cities: Technologies, Big Data and Security*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2019.
- 6 Rejeb, A.; Rejeb, K.; Simske, S.; Treiblmaier, H.; Zailani, S. The big picture on the internet of things and the smart city: A review of what we know and what we need to know. *Internet Things* 2022, 19, 100565.
- 7 Stanko, Andrii, et al. "Artificial Intelligence of Things (AIoT): Integration Challenges and Security Issues." (2024).
- 8 Alahi, M. E. E., Sukkuea, A., Tina, F. W., Nag, A., Kurdthongmee, W., Suwannarat, K., & Mukhopadhyay, S. C. (2023). Integration of IoT-enabled technologies and artificial intelligence (AI) for smart city scenario: recent advancements and future trends. *Sensors*, 23(11), 5206.
- 9 Pasichnyk, Volodymyr. "Information and technological tools for analysis and visualization of open data in smart cities." (2024).
- 10 Marsal-Llacuna, M.-L.; Colomer-Llinàs, J.; Meléndez-Frigola, J. Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the Smart Cities initiative. *Technol. Forecast. Soc. Change* 2015, 90, 611–622.

- 11 Petrolo, R.; Loscri, V.; Mitton, N. Towards a smart city based on cloud of things. In Proceedings of the 2014 ACM International Workshop on WIRELESS and Mobile Technologies for Smart Cities, Philadelphia, PA, USA, 11 August 2014.
- 12 Dmytriv, Dmytro, et al. "Industry 4.0 technologies for smart households." (2024).
- 13 Theoleyre, F.; Watteyne, T.; Bianchi, G.; Tuna, G.; Gungor, V.C.; Pang, A.-C. Networking and communications for smart cities special issue editorial. *Comput. Commun.* 2015, 58, 1–3.
- 14 Djahel, S.; Jabeur, N.; Barrett, R.; Murphy, J. Toward V2I communication technology-based solution for reducing road traffic congestion in smart cities. In Proceedings of the Networks, Computers and Communications (ISNCC), 2015 International Symposium on, Yasmine Hammamet, Tunisia, 13–15 May 2015.
- 15 Duda, Oleksii, et al. "Information technology sets formation and" TNTU Smart Campus" services network support." ITTAP. 2023.
- 16 Albino, V.; Berardi, U.; Dangelico, R.M. Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *J. Urban Technol.* 2015, 22, 3–21.
- 17 Duda, Oleksii, et al. "Information technology platform for the selection and analytical processing of information on COVID-19." 2021 IEEE 16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). Vol. 2. IEEE, 2021.
- 18 Statista. Number of Internet of Things (IoT) Connected Devices Worldwide from 2019 to 2021, with Forecasts from 2022 to 2030. Available online: <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>.
- 19 Janani, R.; Renuka, K.; Aruna, A. IoT in smart cities: A contemporary survey. *Glob. Transit. Proc.* 2021, 2, 187–193.
- 20 Al-Turjman, F. Information-centric framework for the Internet of Things (IoT): Traffic modeling & optimization. *Future Gener. Comput. Syst.* 2018, 80, 63–75.
- 21 Allam, Z.; Dhunny, Z.A. On big data, artificial intelligence and smart cities. *Cities* 2019, 89, 80–91.
- 22 Kapoor, N.; Ahmad, N.; Nayak, S.K.; Singh, S.P.; Ilavarasan, P.V.; Ramamoorthy, P. Identifying infrastructural gap areas for smart and sustainable tribal

village development: A data science approach from India. *Int. J. Inf. Manag. Data Insights* 2021, 1, 100041.

23 Cugurullo, F. Urban artificial intelligence: From automation to autonomy in the smart city. *Front. Sustain. Cities* 2020, 2, 38.

24 Al-Turjman, F.M. Information-centric sensor networks for cognitive IoT: An overview. *Ann. Telecommun.* 2017, 72, 3–18.

25 Simjee, F.; Chou, P.H. Everlast: Long-life, supercapacitor-operated wireless sensor node. In *Proceedings of the 2006 International Symposium on Low Power Electronics and Design*, Tegernsee Bavaria, Germany, 4–6 October 2006.

26 Vaishnavi, V.K.; Kuechler, W. *Design Science Research Methods and Patterns: Innovating Information and Communication Technology*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2015.

27 Syed, A.S.; Sierra-Sosa, D.; Kumar, A.; Elmaghraby, A. IoT in smart cities: A survey of technologies, practices and challenges. *Smart Cities* 2021, 4, 429–475.

28 Ashwini, B.; Savithramma, R.; Sumathi, R. Artificial Intelligence in Smart city applications: An overview. In *Proceedings of the 2022 6th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, Madurai, India, 25–27 May 2022; pp. 986–993.

29 Chang, C.-W.; Lee, H.-W.; Liu, C.-H. A review of artificial intelligence algorithms used for smart machine tools. *Inventions* 2018, 3, 41.

30 Ray, S. A quick review of machine learning algorithms. In *Proceedings of the 2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon)*, Faridabad, India, 14–16 February 2019; pp. 35–39.

31 Tyagi, A.K.; Chahal, P. Artificial intelligence and machine learning algorithms. In *Research Anthology on Machine Learning Techniques, Methods, and Applications*; IGI Global: Hershey, PA, USA, 2022; pp. 421–446.

32 Ullah, Z.; Al-Turjman, F.; Mostarda, L.; Gagliardi, R. Applications of artificial intelligence and machine learning in smart cities. *Comput. Commun.* 2020, 154, 313–323.

33 Sree, S.R.; Vyshnavi, S.; Jayapandian, N. Real-world application of machine learning and deep learning. In *Proceedings of the 2019 International Conference on*

Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT), Tirunelveli, India, 27–29 November 2019; pp. 1069–1073.

34 Singh, S.K.; Jeong, Y.-S.; Park, J.H. A deep learning-based IoT-oriented infrastructure for secure smart city. *Sustain. Cities Soc.* 2020, 60, 102252.

35 Li, X.; Liu, H.; Wang, W.; Zheng, Y.; Lv, H.; Lv, Z. Big data analysis of the internet of things in the digital twins of smart city based on deep learning. *Future Gener. Comput. Syst.* 2022, 128, 167–177.

36 Tyagi, N.; Bhushan, B. Demystifying the Role of Natural Language Processing (NLP) in Smart City Applications: Background, Motivation, Recent Advances, and Future Research Directions. *Wirel. Pers. Commun.* 2023, 130.

37 Chowdhary, K.; Chowdhary, K. Natural language processing. In *Fundamentals of Artificial Intelligence*; Springer: New Delhi, India, 2020.

38 Wang, J.; Wang, M.; Song, Y. A study on smart city research activity using bibliometric and natural language processing methods. In *Proceedings of the 2021 The 9th International Conference on Information Technology: IoT and Smart City*, Guangzhou China, 22–25 December 2021; pp. 346–352.

39 Parkavi, A.; Sowmya, B.; Jerin Francis, A.; Srikanth, B.; Rohan, N.; Deepak, R. “SmartEval”—Evaluation System for Descriptive Answers in Examinations Using Natural Language Processing and Artificial Neural Networks. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Recent Trends in Machine Learning, IoT, Smart Cities and Applications: ICMISC 2021*, Hyderabad, India, 28–29 March 2021; pp. 557–567.

40 Szeliski, R. *Computer vision: Algorithms and applications*; Springer Nature: Berlin/Heidelberg, Germany, 2022.

41 Bhatt, D.; Patel, C.; Talsania, H.; Patel, J.; Vaghela, R.; Pandya, S.; Modi, K.; Ghayvat, H. CNN variants for computer vision: History, architecture, application, challenges and future scope. *Electronics* 2021, 10, 2470.

42 Xu, X.; Zuo, L.; Huang, Z. Reinforcement learning algorithms with function approximation: Recent advances and applications. *Inf. Sci.* 2014, 261, 1–31.

43 Cao, D.; Hu, W.; Zhao, J.; Zhang, G.; Zhang, B.; Liu, Z.; Chen, Z.; Blaabjerg, F. Reinforcement learning and its applications in modern power and energy systems: A review. *J. Mod. Power Syst. Clean Energy* 2020, 8, 1029–1042.

- 44 Katoch, S.; Chauhan, S.S.; Kumar, V. A review on genetic algorithm: Past, present, and future. *Multimed. Tools Appl.* 2021, 80, 8091–8126.
- 45 Chi, H.R.; Radwan, A. Multi-objective optimization of green small cell allocation for IoT applications in smart city. *IEEE Access* 2020, 8, 101903–101914.
- 46 Herath, H.; Karunasena, G.; Herath, H. Development of an IoT based systems to mitigate the impact of COVID-19 pandemic in smart cities. In *Machine Intelligence and Data Analytics for Sustainable Future Smart Cities*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2021; pp. 287–309.
- 47 Yang, H.; Du, L.; Zhang, G.; Ma, T. A Traffic Flow Dependency and Dynamics based Deep Learning Aided Approach for Network-Wide Traffic Speed Propagation Prediction. *Transp. Res. Part B Methodol.* 2023, 167, 99–117.
- 48 Wang, S.; Xie, X.; Huang, K.; Zeng, J.; Cai, Z. Deep Reinforcement Learning-Based Traffic Signal Control Using High-Resolution Event-Based Data. *Entropy* 2019, 21, 744.
- 49 Hassan, M.; Kanwal, A.; Jarrah, M.; Pradhan, M.; Hussain, A.; Mago, B. Smart City Intelligent Traffic Control for Connected Road Junction Congestion Awareness with Deep Extreme Learning Machine. In *Proceedings of the 2022 International Conference on Business Analytics for Technology and Security (ICBATS)*, Dubai, United Arab Emirates, 16–17 February 2022; pp. 1–4.
- 50 Kaur, P.; Kumar, Y.; Gupta, S. Artificial Intelligence Techniques for the Recognition of Multi-Plate Multi-Vehicle Tracking Systems: A Systematic Review. *Arch. Comput. Methods Eng.* 2022, 29, 4897–4914.
- 51 Qu, J.; Zhao, Y.; Xie, Y. Artificial intelligence leads the reform of education models. *Syst. Res. Behav. Sci.* 2022, 39, 581–588.
- 52 Bhutoria, A. Personalized education and Artificial Intelligence in the United States, China, and India: A systematic review using a Human-In-The-Loop model. *Comput. Educ. Artif. Intell.* 2022, 3, 100068.
- 53 Benotsmane, R.; Kovács, G.; Dudás, L. Economic, Social Impacts and Operation of Smart Factories in Industry 4.0 Focusing on Simulation and Artificial Intelligence of Collaborating Robots. *Soc. Sci.* 2019, 8, 143.

54 Manickam, P.; Mariappan, S.A.; Murugesan, S.M.; Hansda, S.; Kaushik, A.; Shinde, R.; Thipperudraswamy, S.P. Artificial Intelligence (AI) and Internet of Medical Things (IoMT) Assisted Biomedical Systems for Intelligent Healthcare. *Biosensors* 2022, 12, 562.

55 Awotunde, J.B.; Folorunso, S.O.; Ajagbe, S.A.; Garg, J.; Ajamu, G.J. AiIoMT: IoMT-Based System-Enabled Artificial Intelligence for Enhanced Smart Healthcare Systems. In *Machine Learning for Critical Internet of Medical Things: Applications and Use Cases*; Al-Turjman, F., Nayyar, A., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2022; pp. 229–254.

56 Yang, Y.; Siau, K.; Xie, W.; Sun, Y. Smart Health: Intelligent Healthcare Systems in the Metaverse, Artificial Intelligence, and Data Science Era. *J. Organ. End User Comput.* 2022, 34, 1–14.

57 Pereira, G.V.; Parycek, P.; Falco, E.; Kleinhans, R. Smart governance in the context of smart cities: A literature review. *Inf. Polity* 2018, 23, 143–162.

58 Kankanhalli, A.; Charalabidis, Y.; Mellouli, S. IoT and AI for smart government: A research agenda. *Gov. Inf. Q.* 2019, 36, 304–309.

59 Hasan, M.K.; Akhtaruzzaman, M.; Kabir, S.R.; Gadekallu, T.R.; Islam, S.; Magalingam, P.; Hassan, R.; Alazab, M.; Alazab, M.A. Evolution of Industry and Blockchain Era: Monitoring Price Hike and Corruption Using BIoT for Smart Government and Industry 4.0. *IEEE Trans. Ind. Inform.* 2022, 18, 9153–9161.

60 Ni, A.; Cheung, A. Understanding secondary students' continuance intention to adopt AI-powered intelligent tutoring system for English learning. *Educ. Inf. Technol.* 2023, 28, 3191–3216.

61 Yang, W. Artificial Intelligence education for young children: Why, what, and how in curriculum design and implementation. *Comput. Educ. Artif. Intell.* 2022, 3, 100061.

62 Su, J.; Zhong, Y. Artificial Intelligence (AI) in early childhood education: Curriculum design and future directions. *Comput. Educ. Artif. Intell.* 2022, 3, 100072.

63 Bendiab, G.; Hameurlaine, A.; Germanos, G.; Kolokotronis, N.; Shiaeles, S. Autonomous Vehicles Security: Challenges and Solutions Using Blockchain and Artificial Intelligence. *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.* 2023, 24, 3614–3637.

64 Kussl, S.; Wald, A. Smart Mobility and its Implications for Road Infrastructure Provision: A Systematic Literature Review. *Sustainability* 2023, 15, 210.

65 Van Noordt, C.; Misuraca, G. Artificial intelligence for the public sector: Results of landscaping the use of AI in government across the European Union. *Gov. Inf. Q.* 2022, 39, 101714.

66 Bojovic', Ž.; Klipa, Đ.; Bojovic', P.D.; Jovanovic', I.M.; Šuh, J.; Šenk, V. Interconnected Government Services: An Approach toward Smart Government. *Appl. Sci.* 2023, 13, 1062.

67 Hu, Y.-H.; Fu, J.S.; Yeh, H.-C. Developing an early-warning system through robotic process automation: Are intelligent tutoring robots as effective as human teachers? *Interact. Learn. Environ.* 2023, 1–14.

68 Zhou, Y.; Xia, Q.; Zhang, Z.; Quan, M.; Li, H. Artificial intelligence and machine learning for the green development of agriculture in the emerging manufacturing industry in the IoT platform. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.* 2022, 72, 284–299.

69 Agarwal, P.; Swami, S.; Malhotra, S.K. Artificial Intelligence Adoption in the Post COVID-19 New-Normal and Role of Smart Technologies in Transforming Business: A Review. *J. Sci. Technol. Policy Manag.* 2022. ahead-of-print.

70 Zhou, B.; Yang, G.; Shi, Z.; Ma, S. Natural Language Processing for Smart Healthcare. *IEEE Rev. Biomed. Eng.* 2022, 1–17.

71 Li, L.; He, Y.; Zhang, H.; Fung, J.C.H.; Lau, A.K.H. Enhancing IAQ, thermal comfort, and energy efficiency through an adaptive multi-objective particle swarm optimizer-grey wolf optimization algorithm for smart environmental control. *Build. Environ.* 2023, 235, 110235.

72 Ahmed, I.; Zhang, Y.; Jeon, G.; Lin, W.; Khosravi, M.R.; Qi, L. A blockchain- and artificial intelligence-enabled smart IoT framework for sustainable city. *Int. J. Intell. Syst.* 2022, 37, 6493–6507.

73 Bharati, R. Future of AI & Generation Alpha: ChatGPT beyond Boundaries. *Eduzone Int. Peer Rev./Refereed Multidiscip. J.* 2023, 12, 63–68.

74 Panahi Rizi, M.H.; Hosseini Seno, S.A. A systematic review of technologies and solutions to improve security and privacy protection of citizens in the smart city. *Internet Things* 2022, 20, 100584.

75 Makroum, M.A.; Adda, M.; Bouzouane, A.; Ibrahim, H. Machine Learning and Smart Devices for Diabetes Management: Systematic Review. *Sensors* 2022, 22, 1843.

76 Chen, L.; Chen, P.; Lin, Z. Artificial Intelligence in Education: A Review. *IEEE Access* 2020, 8, 75264–75278.

77 Yan, M.; Li, X.; Lai, L.L.; Xu, F. Energy internet in smart city review. In *Proceedings of the International Conference on Wavelet Analysis & Pattern Recognition*, Ningbo, China, 9–12 July 2017.

78 Pukkasenung, P.; Lilakiatsakun, W. Improved generic layer model for IoT architecture. *J. Inf. Sci. Technol.* 2021, 11, 18–29.

79 Malee, W.; Ruang-on, S.; Hussain, N.; Tina, F.W. Using a smart watering system for controlling thrips inside mangosteen canopy in Nakhon Si Thammarat province, Southern Thailand. *Int. J. Smart Sens. Intell. Syst.* 2022, 15.

80 Kuhapong, U.; Tina, F.W.; Limsakun, K.; Watthanaphong, S.; Luckban, E.; Piyakun, T. Temporal variations in the air, soil, and fiddler crab (*Austruca perplexa*) burrow temperatures in southern Thailand. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 2020.

81 Akhter, F.; Alahi, M.E.E.; Siddiquei, H.R.; Gooneratne, C.P.; Mukhopadhyay, S.C. Graphene oxide (GO) coated impedimetric gas sensor for selective detection of carbon dioxide (CO₂) with temperature and humidity compensation. *IEEE Sens. J.* 2020, 21, 4241–4249.

82 Alahi, M.E.E.; Nag, A.; Mukhopadhyay, S.C.; Burkitt, L. A temperature-compensated graphene sensor for nitrate monitoring in real-time application. *Sens. Actuators A Phys.* 2018, 269, 79–90.

83 Singh, R.; Anita, G.; Capoor, S.; Rana, G.; Sharma, R.; Agarwal, S. Internet of things enabled robot based smart room automation and localization system. In *Internet of Things and Big Data Analytics for Smart Generation*; Springer: Cham, Switzerland, 2019; Volume 154, pp. 105–133.

- 84 Sethi, P.; Sarangi, S.R. Internet of things: Architectures, protocols, and applications. *J. Electr. Comput. Eng.* 2017, 2017, 9324035.
- 85 Kumar, S.; Tiwari, P.; Zymbler, M. Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: A review. *J. Big Data* 2019, 6, 111.
- 86 Yang, Y. Multi-tier computing networks for intelligent IoT. *Nat. Electron.* 2019, 2, 4–5.
- 87 Barrachina-Muñoz, S.; Bellalta, B.; Adame, T.; Bel, A. Multi-hop communication in the uplink for LPWANs. *Comput. Netw.* 2017, 123, 153–168.
- 88 Cesana, M.; Redondi, A.E. Iot communication technologies for smart cities. *Des. Dev. Facil. Smart Cities Urban Des. IoT Solut.* 2017, 139–162.
- 89 IEEE. IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks. Available online: <https://standards.ieee.org/ieee/802.15.4/7029/>.
- 90 Khorov, E.; Lyakhov, A.; Krotov, A.; Guschin, A. A survey on IEEE 802.11 ah: An enabling networking technology for smart cities. *Comput. Commun.* 2015.
- 91 Jun, J.; Peddabachagari, P.; Sichitiu, M. Theoretical maximum throughput of IEEE 802.11 and its applications. In *Proceedings of the Network Computing and Applications, 2003. NCA 2003. Second IEEE International Symposium on*, Cambridge, MA, USA, 18 April 2003; pp. 249–256.
- 92 Cordeiro, C.; Akhmetov, D.; Park, M. IEEE 802.11 ad: Introduction and performance evaluation of the first multi-Gbps WiFi technology. In *Proceedings of the 2010 ACM International Workshop on mmWave Communications: From Circuits to Networks*, Chicago, IL, USA, 24 September 2010; pp. 3–8.
- 93 Adame, T.; Bel, A.; Bellalta, B.; Barcelo, J.; Oliver, M. IEEE 802.11 AH: The WiFi approach for M2M communications. *IEEE Wirel. Commun.* 2014, 21.
- 94 Duarte, J.M.; Cerqueira, E.; Villas, L.A. Indoor patient monitoring through Wi-Fi and mobile computing. In *Proceedings of the New Technologies, Mobility and Security (NTMS), 2015 7th International Conference on*, Paris, France, 27–29 July 2015; pp. 1–5.
- 95 Agiwal, M.; Roy, A.; Saxena, N. Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 2016, 18, 1617–1655.

- 96 Gupta, A.; Jha, R.K. A survey of 5G network: Architecture and emerging technologies. *IEEE Access* 2015, 3, 1206–1232.
- 97 Akyildiz, I.F.; Lee, A.; Wang, P.; Luo, M.; Chou, W. A roadmap for traffic engineering in SDN-OpenFlow networks. *Comput. Netw.* 2014, 71, 1–30.
- 98 Hošek, J. Enabling Technologies and User Perception Within Integrated 5G-IoT Ecosystem; Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM: Brno, Czech Republic, 2016; Available online: https://www.vut.cz/vutium/spisy?action=ukazka&id=1489 &publikace_id=14745.
- 99 Akyildiz, I.F.; Nie, S.; Lin, S.-C.; Chandrasekaran, M. 5G roadmap: 10 key enabling technologies. *Comput. Netw.* 2016, 106, 17–48.
- 100Ткачук, 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.
- 101Левченко, О. Г. (2024). Охорона праці та цивільний захист.
- 102Березюк, О. В., and М. С. Лемешев. "Безпека життєдіяльності." (2011).
- 103Серіков, Я. О., & Коженевські, Л. (2010). БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ-СЕКЮРИТОЛОГІЯ.

ДОДАТКИ

**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
М34

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»
М34 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. Фріз МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТАРГЕТОВАНОЇ РЕКЛАМИ S. V. Lytvynenko, 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. Lugovskyi, 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 004.9

О. Ловчук; В. Дубельт; А. Лисий

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

KUBERNETES В ОБЧИСЛЮВАЛЬНІЙ ІНФРАСТРУКТУРІ РОЗУМНИХ МІСТ

UDC 004.9

O. Lovchuk; V. Dubelt; A. LYSYI

KUBERNETES IN THE SMART CITIES COMPUTING INFRASTRUCTURE

Розумні міста інтегрують обширні множини IoT-пристроїв. Це супроводжується зростанням навантаження обчислювальних і мережних систем для забезпечення функціонування різнотипових «розумних» систем, як от моніторинг транспортних потоків, оперативне управління процесами енергоспоживання, контроль параметрів довкілля, інтелектуальні системи відеоспостереження та інші «розумні» служби. Інтеграція Kubernetes в обчислювальну інфраструктуру розумних міст дає змогу забезпечити гнучкість та масштабованість «розумних» цифрових сервісів, сприяючи при цьому підвищенню їх стійкості та надійності. Алгоритми планування в системах класу «розумне місто» здатні автоматично перемикаєти обчислювальні навантаження в разі відмови окремих вузлів або при виникненні непередбачуваних навантажень.

Kubernetes використовує декларативний підхід до керування програмно-алгоритмічними засобами, коли адміністратори чи користувачі вказують бажані стани програм, а система автоматично їх підтримує. Він також надає обширний перелік інструментів для моніторингу та керування застосунками, зокрема, програмно-алгоритмічні засоби для автоматичного виявлення збоїв та самовідновлення. Загалом Kubernetes пропонує гнучкі алгоритмічні рішення для керування контейнерними програмами у виробничих обчислювальних середовищах. Kubernetes підходить для веб-застосунків на основі мікросервісів. При цьому кожен компонент веб-систем можна запускати в окремому контейнері [1]. Завдяки легкості розгортання контейнерів, їх можна легко створювати та знищувати, забезпечуючи оперативне та високоефективне використання обчислювальних ресурсів. Kubernetes автоматизує процеси розгортання, масштабування та керування контейнерами в обчислювальному кластері, покращуючи використання ефективності і гнучкість виділення, використання та вивільнення різнотипових ресурсів. Це спрощує процедури створення та підтримки складних програмно-алгоритмічних комплексів. Крім стандартних стратегій планування Kubernetes, як от BestEffort або Burstable, для «розумних міст» можна використовувати спеціалізовані оригінальні стратегії планування, які базуються на характеристиках міської обчислювальної інфраструктури та його сервісних потребах [2]. Наприклад, планувальники можуть бути оперативно налаштовані для вибору окремих обчислювальних вузлів на основі географічного положення для забезпечення мінімального часу затримки або підвищення ефективності процесів обміну даними між регіонами. Водночас, алгоритми масштабування Kubernetes можуть бути модифіковані для інтеграції з системами прогнозування обчислювального навантаження.

Література

1. Senjab, Khaldoun, et al. «A survey of Kubernetes scheduling algorithms». *Journal of Cloud Computing* 12.1 (2023): 87.
2. Li, Hongjian, et al. «Cost-efficient scheduling algorithms based on beetle antennae search for containerized applications in Kubernetes clouds». *The Journal of Supercomputing* 79.9 (2023): 10300-10334.

Р. Ставицький, Р. Катрич, А. Лисий ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В РОЗУМНИХ МІСТАХ R. Stavytskyi, R. Katrych, A. Lysyi ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SMART CITIES	89
Р. Ставицький, В. Дубельт, Х. Дуда РОЗУМНІ МІСТА ТА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНІ ЗАСОБИ НА БАЗІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ R. Stavytskyi, V. Dubelt, Kh. Duda SMART CITIES AND SOFTWARE AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED ALGORITHMIC TOOLS	90
О. Стець МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ SWAP ПОКАЗНИКІВ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПІДМІНИ ОБЛИЧЬ O. Stets SWAP METRICS OPTIMIZATION METHODS FOR MOBILE FACE ANTI-SPOOFING NEURAL NETWORKS	91
П. С. Стрийвус, Р. І. Королюк СПОСОБИ БЕЗДРОТОВОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ І ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ P. S. Struvyus, R. I. Koroliuk METHODS OF WIRELESS DATA TRANSMISSION AND THEIR APPLICATION	92
М. Стрембіцький, А. Кондратюк, Р. Мудрак ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ПОВІТРЯНИХ ЦІЛЕЙ M. Strembitskyi, A. Kondratyuk, R. Mudrak INFORMATION SYSTEM FOR RECOGNITION AND PREDICTION OF TRAJECTORY OF AIR TARGETS	93
Т. С. Срогий, Я. В. Литвиненко ОГЛЯД МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИКЛІЧНИХ СИГНАЛІВ В ЕКОНОМІЦІ T. S. Srogy, I. V. Lytvynenko REVIEW OF MATHEMATICAL MODELS FOR SIMULATING CYCLICAL SIGNALS IN THE ECONOMY	94
А. А. Титжинський ЗАХИСТ БЛОКЧЕЙНУ ВІД КВАНТОВИХ ОБЧИСЛЕНЬ A. A. Tytzhynskyi PROTECTION OF BLOCKCHAIN FROM QUANTUM COMPUTING	95
А. А. Титжинський ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОНСЕНСУСНИХ АЛГОРИТМІВ У КОНТЕКСТІ ЇХНЬОЇ СТІЙКОСТІ ДО АТАК A. A. Tytzhynskyi COMPARATIVE ANALYSIS OF CONSENSUS ALGORITHMS IN THE CONTEXT OF THEIR RESISTANCE TO ATTACKS	96
В. Федорієнко, О. Жук ПІДХІД ДО МОНІТОРИНГУ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ В ІНТЕРЕСАХ СИЛ ОБОРОНИ УКРАЇНИ V. Fedorienko, O. Zhuk APPROACH TO MONITORING THE INFORMATION SPACE IN THE INTERESTS OF THE DEFENSE FORCES OF UKRAINE	97

УДК 004.9

Р. Ставицький; В. Дубельт; Х. Дуда

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

РОЗУМНІ МІСТА ТА ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНІ ЗАСОБИ НА БАЗІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

UDC 004.9

R. Stavytskyi; V. Dubelt; K. Duda

SMART CITIES AND SOFTWARE AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED ALGORITHMIC TOOLS

Міграція в міста є зростаючим трендом двадцять першого століття, і, за прогнозами ООН, до 2050 року понад 70% населення світу житиме в міському середовищі [1]. Ці міграційні процеси спричинятимуть зростаючий тиск на здатність міст справлятися із викликами, що продукує нагальну потребу розробки «розумніших» підходів до процесів управління міськими проблемами, як-от зростання міського населення, транспортні затори, зростання рівня злочинності, соціальні виклики, підвищена потреба та розподіл ресурсів тощо. На даний час ефективні рішення у цій царині пропонують інформаційно-технологічні концепти «розумне місто».

Бурхливий розвиток інформаційних технологій актуалізує оперативне управління великими обсягами різнотипових структурованих та неструктурованих даних. Світ наповнюється IoT-пристроями та сенсорами, які здатні відслідковувати характеристики навколишнього середовища та обмінюватися даними між собою, формуючи при цьому цифрове середовище «розумних міст» з великими за обсягом наборів та колекцій мінливих та різноманітних даних. Традиційні методи штучного інтелекту та машинного навчання, розроблені на даний час для детерміністичних ситуацій, не підходять для таких швидкоплинних умов та ситуацій [2]. Завдяки великій кількості різноманітних параметрів, що потребує кожен IoT-пристрій у «розумному» міському цифровому середовищі, бажано, щоб програмно-алгоритмічні засоби на базі штучного інтелекту мали змогу оперативного адаптуватися. Тобто здійснювати процедури самоструктурування, самоналаштування та самонавчання, а не обмежуватися попередньо заданою структурою та параметрами. Тому актуальним напрямком сучасних досліджень є дослідження процесів автоматизованого формування «розумних» міських систем на базі штучного інтелекту та алгоритмів машинного навчання для розширення аналітичних можливостей при опрацюванні великих даних в обчислювальному середовищі розумних міст. Впродовж останнього періоду часу інформаційні системи такого класу формуються за допомогою моделей самоорганізуючих карт, які дають можливість усунути обмеження традиційних підходів до систем на основі штучного інтелекту та забезпечити своєчасну обробку даних у динамічних обчислювальних середовищах розумних міст. Вони можуть інтегрувати аналітичні програмно-алгоритмічні засоби з використанням хмарних обчислювальних платформ.

Література

1. World population projection by UN. (2018). UN DESA | United Nations Department of Economic and Social Affairs. URL: <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-worldurbanization-prospects.html>.
2. Alahakoon, Daminda, et al. «Self-building artificial intelligence and machine learning to empower big data analytics in smart cities». Information Systems Frontiers (2023): 1-20.