

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра _____ КІТАМ _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Спеціальність _____ 172 Телекомунікації та радіотехніка _____
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної
техніки _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАМ _____
(підпис)

«24» жовтня 2022р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Панченку Олегу Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Технології обміну даними в інфраструктурі Smart-city

Затверджена наказом по університету від 24.10.2022 р. № 1391 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 19.12.2022

3. Вихідні дані до роботи: _____

3.1 Протокол зв'язку ESP-NOW,

3.2 Обчислити середній коефіцієнт розподілу трафіку протягом доби автомобілів та пішоходів

3.3 Програми OpenStreetMap та JOSM для моделювання топології вуличного освітлення.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз технологій розвитку інфраструктури smart-city;

4.3 Концепція та проєктування інтелектуальної системи освітлення;

4.4 Передумови та середовище тестування розробленої системи освітлення;

4.5 Охорона праці;

4.6 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій демонстраційний матеріал у вигляді презентації формату *.ppt

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	24.10.2022	виконано
2	Збір матеріалів для дослідження	28.10.2022	виконано
3	Розробка розділу Аналіз технологій розвитку інфраструктури smart-city	03.11.2022	виконано
4	Розробка розділу Концепція та проєктування інтелектуальної системи освітлення	15.11.2022	виконано
5	Розробка розділу Передумови та середовище тестування розробленої системи освітлення	26.11.2022	виконано
6	Розробка розділу Охорона праці	29.11.2022	виконано
7	Оформлення кваліфікаційної роботи	04.12.2022	виконано

Дата видачі завдання 24.10.2022

Студент _____ Панченко О. О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ доц. Жарікова І. В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 75 с., 4 табл., 21 рис., 25 джерел.

ЦИФРОВІЗАЦІЯ, ТЕХНОЛОГІЇ, ІНФРАСТРУКТУРА, SMART-CITY,
ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ.

Мета роботи – дослідження та впровадження smart-технологій для розбудови інфраструктури сучасних міст.

Об’єкт дослідження – процеси урбанізації та смартизації інфраструктурних систем в сучасних містах.

Предмет дослідження – технології обміну даними в інфраструктурі міста для реалізації концепції smart-city.

У роботі були проаналізовані чинники та наслідки впровадження smart-технологій у фізичну інфраструктуру для визначення їх впливу на життєзабезпечення міста за сферами використання, а також особливостей запровадження таких технологій містами України.

Побудовано структурну схему інтелектуальної системи освітлення та загальний алгоритм її роботи.

Також змодельована та розроблена інтелектуальна система освітлення та описані технології обміну даними на її прикладі.

ABSTRACT

Report of the practice: 75 p., 4 tabl., 21 fig., 25 sources.

DIGITALIZATION, TECHNOLOGIES, INFRASTRUCTURE, SMART, DEVELOPMENT TRENDS, TECHNOLOGICAL PROCESSES.

The purpose of the research is to study and implement smart technologies for building the infrastructure of modern cities.

The object of research is the processes of urbanization and smartization of infrastructure systems in modern cities.

The subject of research is models and methods of improving the quality and efficiency of infrastructural elements in cities.

The work analyzed the factors and consequences of the introduction of smart technologies into the physical infrastructure to determine their impact on the life support of the city by areas of use, as well as the features of the introduction of such technologies by the cities of Ukraine.

The structural diagram of the intelligent lighting system and the general algorithm of its operation have been built.

An intelligent lighting system is also modeled and developed, and data exchange technologies are described on its example.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	8
Вступ.....	9
1 Аналіз технологій розвитку інфраструктури smart-city.....	10
1.1 Сучасні тенденції поширення цифрових технологій та розвитку цифровізації.....	10
1.2 Сучасні технології розвитку цифровізації.....	11
1.3 Процеси формування міст та місце в них цифрових технологій	14
1.4 Smart-інфраструктура: головні характеристики та функції.....	19
1.5 Потенційні переваги розбудови smart – інфраструктури в містах.....	24
1.6 Перешкоди впровадження smart-інфраструктури в містах.....	32
1.7 Висновки до розділу 1.....	34
2 Концепція та проєктування інтелектуальної системи освітлення.....	35
2.1 Обґрунтування вибору та вимоги до інтелектуальної системи освітлення.....	35
2.2 Запропоноване технічне рішення.....	36
2.3 Проєктування системи детектування.....	37
2.4 Визначення зміни погодних умов.....	41
2.5 Проєктування системи комунікації.....	43
2.6 Розробка алгоритма роботи інтелектуальної системи оповіщення.....	45
2.7 Алгоритм роботи інтелектуальної системи оповіщення.....	46
2.8 Висновки до розділу 2.....	50
3 Передумови та середовище тестування розробленої системи освітлення.....	50
3.1 Передумови розробки інтелектуальної системи освітлення.....	50
3.2 Опис розробленої моделі (пішохідна частина).....	51
3.3 Протокол зв'язку для інтелектуальної системи освітлення.....	55
3.4 Опис розробленої моделі (автомобільна частина).....	58
3.5 Порівняльна характеристика звичайної та розробленої системи.....	62

3.6 Висновки до розділу 3.....	67
4 Охорона праці.....	68
4.1 Організаційні основи охорони праці.....	68
4.2 Аналіз виробничого травматизму на підприємстві та у навчальних лабораторіях.....	69
Висновки.....	72
Перелік джерел посилання.....	73
Додаток А Демонстраційний матеріал.....	76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВВП – валовий внутрішній продукт;

ВДЕ – відновлювана енергетика;

ВЕС – вітроелектростанція;

ЄС – європейський союз.

ЖКГ – житлове комунальне господарство;

ІКТ – інформаційно комунікативні технології;

МСП – мале та середнє підприємство;

ОЕСР – організація економічного співробітництва та розвитку;

ПГ – парникові гази;

СЕС – сонячна електростанція;

ШСД – ширококутний доступ;

ШІ – штучний інтелект;

ІоТ – Інтернет речей;

ІТН – інтелектуальна транспортна мережа.

ВСТУП

Зміни, що відбуваються внаслідок революції в інформаційних технологіях, та багатопланові політичні зміни, що відбуваються у світі, сигналізують про необхідність нових підходів до політики. Технології вдосконалюються досить швидкими темпами, проте законодавча база і на рівні країн, і окремих міст адаптується до таких змін повільно, що відповідно уповільнює процеси смартизації. Необхідність реформування інфраструктурної політики посилюється не лише викликами, пов'язаними з процесами цифровізації, але й зі зростаючою урбанізацією.

У роботі буде описано сучасні технології обміну даними на основі яких відбувається процес цифровізації у світі. Для цього було побудована інтелектуальна система освітлення, одна з концепцій smart-city, на основі якої ми зможемо побачити як автоматизовані прилади обмінюються даними та для чого це потрібно.

Мета дослідження роботи – дослідження та впровадження smart-технологій для розбудови інфраструктури сучасних міст.

Об'єкт дослідження – процеси урбанізації та смартизації інфраструктурних систем в сучасних містах.

Предмет дослідження – технології обміну даними в інфраструктурі міста для реалізації концепції smart-city.

Задачі дослідження – проаналізувати технології розвитку інфраструктури smart-city, спроектувати інтелектуальну систему освітлення, спроектувати систему детектування та комунікації розробленої системи, вибрати та описати спосіб передачі інформації у системі.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗВИТКУ ІНФРАСТРУКТУРИ SMART-CITY

1.1 Сучасні тенденції поширення цифрових технологій та розвитку цифровізації

Впровадження технологій та технологічний прогрес, які спостерігаються у дедалі більшій кількості країн, дозволяють застосовувати нові методи виробництва та підвищувати рівень конкурентоспроможності, що сприяє покращенню якості життя населення.

З кожним роком цифровізація змінює більшість галузей суспільства, а взаємозв'язок між ними піддається переоцінці, що свідчить про головні трансформації розвитку. Формується принципово нове цифрове середовище, утворюються нові екосистеми та моделі економічного розвитку. Цифрова трансформація стала одним із головних драйверів глобальних змін. Подальший перехід до цифрових послуг є неминучим і лише прискорюватиметься та поширюватиметься [1-2].

Структурні трансформації, що відбуваються у глобальній економіці, стали рушійною силою економічного розвитку, що обумовлюються переходом до дедалі складніших технологічних процесів. Повсюдне впровадження технологій та технологічний прогрес, які спостерігаються у дедалі більшій кількості країн, дозволяють застосовувати нові методи виробництва та підвищувати рівень конкурентоспроможності, що сприяє покращенню якості життя населення. Сама ж технологія стає дедалі складнішою, технологічні цикли з кожним десятиліттям – дедалі коротшими, а технологічна новація вимагає значно більших капіталовкладень. На практиці технологію пов'язують з чимось, що підвищує продуктивність, знижуючи роль інших факторів виробництва (наприклад, капіталу чи робочої сили), з метою отримання більших прибутків. Разом з тим, наявність самої технології не є достатньою умовою для технологічного та соціально-

економічного розвитку країни.

1.2 Сучасні технології розвитку цифровізації

Подальший перехід до цифрових послуг є неминучим і лише прискорюватиметься та поширюватиметься. Цифрові технології можуть стати засобом досягнення рівності серед населення, але за відсутності належного управління цифровий розрив навпаки може збільшитися. Цифровізація та удосконалення технологій виходять на рівень покращення інфраструктури країн і міст, наприклад технологія IoT. Інтернет речей (IoT) – технологія, якою підтримується зв'язок мережі комп'ютеризованих пристроїв з Інтернетом, що використовують мікропроцесори, різноманітні датчики та апаратні засоби бездротового зв'язку для збору, передачі та виконання дії щодо інформації, отриманої з їх середовища. В основі кожного пристрою в системі IoT знаходяться датчики, які збирають та передають дані до хмари з метою подальшого їх аналізу, обробки та прийняття рішень. Завдяки поступовому впровадженню швидкісного Інтернету забезпечується міцний зв'язок між мільйонами пристроїв і датчиками, що дозволяє IoT ефективно працювати. Наведемо декілька прикладів застосування IoT:

- Розумне вуличне освітлення. Розумні вуличні ліхтарі функціонують як точки Wi-Fi, оснащені камерою спостереження, заряджають розетки для електромобілів та телефонів і вимірюють якість повітря [3]. Детальний приклад технології вуличного освітлення буде розглянуто далі.

- поводження з відходами. У будівлях впроваджується розумна станція збору сміття, де мешканці утилізують мішки для сміття (розділене на органічне та неорганічне). Оснащена датчиками станція збору сміття визначає, коли вона стає заповненою. І сміття автоматично спрямовується по трубах високого тиску безпосередньо до центру переробки;

- громадський транспорт. Датчики, розташовані на громадському транспорті, надсилають дані про трафік у програмне забезпечення управління

міським транспортом. У режимі реального часу вираховується час, потрібний для очікування на транспорт; також можливим стає отримання інформації про затори або про затримки руху.

Така технологія може характеризуватися і позитивними, і негативними наслідками. Зокрема до позитивних можна віднести: зменшення вартості надання послуг, більша прозорість та ефективність використання ресурсів, зростання продуктивності у промисловому секторі, виникнення додаткових знань, а також цінностей, що ґрунтуються на під'єднаних розумних речах, зменшення вартості надання послуг та ін. [4]. З-поміж негативних наслідків найбільш ймовірними є втрата робочих місць низькокваліфікованими працівниками, порушення конфіденційності, втрата контролю, зловмисне проникнення до систем (хакерство) та загроза безпеці.

Не менш важливою технологією поряд з IoT є Великі дані (Big Data) – набір методів і засобів опрацювання структурованих і неструктурованих різнотипних даних у режимі реального часу з метою їх аналізу та використання для прийняття відповідних рішень у різних сегментах [5]:

- Розумна енергія. Впровадження розумних мереж (smart grids) дозволяє міським службам аналізувати споживання електроенергії в режимі реального часу. Використовуючи аналітику даних, вони можуть прогнозувати піки споживання та відповідно планувати розподіл енергії [6];

- громадський транспорт. Транспортна інфраструктура використовує Великі дані з метою забезпечення швидкої та безпечної подорожі містом. Влада міста отримує дані про рух транспорту, що дозволяє їй ефективно керувати транспортною системою. Зазвичай система розумного транспорту міста складається з інтелектуальної транспортної мережі (Intellectual Transport Network);

- управління інфраструктурою міста. Великі дані допомагають контролювати та керувати питаннями, наприклад, щодо вивезення відходів, транспортування та економії ресурсів. Для цього у фізичну інфраструктуру міста вбудовуються датчики. З метою перетворення інфраструктури на розумну формується технічна база, що складається з мережі датчиків і підключених

пристроїв, які збирають дані; встановлюються розумні додатки, які обробляють дані, переводячи їх у сповіщення та дії.

– безпека міста. Програми з картографування злочинів у реальному часі через аналіз даних виявляють закономірності злочинів і проблемних зон, прогножуючи кількість злочинів. Це дозволяє поліції посилити безпеку в необхідних районах.

Як і у випадку IoT, Великі дані характеризуються і перевагами, і недоліками. Ефективне використання великого масиву даних може прискорити ухвалення рішень у багатьох сферах, що має наслідком покращення життя громадян та дає змогу компаніям та урядам забезпечити необхідні послуги в режимі реального часу. З-поміж позитивних наслідків: спрощення та краща ефективність отримання різноманітних послуг для громадян, можливість отримати дані для передових розробок, ухвалення більшої кількості необхідних рішень для різних суб'єктів господарювання в режимі реального часу, заощадження коштів та поява нових видів робіт [6]. Негативні наслідки стосуються недовіри до самих даних (неможливість перевірити їх точність) та їх підзвітності, а також занепокоєння щодо збереження конфіденційності приватних даних.

Хмарні обчислення – цифрова технологія, якою найбільше користуються компанії. Останні дедалі частіше інвестують у послуги хмарних обчислень, як-то програмне забезпечення фінансового та бухгалтерського обліку, програмне забезпечення для управління відносинами з клієнтами. З-поміж економік світу за використанням цієї технології лідирує Фінляндія, де понад 55% усіх компаній звертаються до хмарних. Однак, існує значний розрив між великими компаніями та МСП у використанні цієї технології.

Іншою важливою технологією, на яку покладаються і міста, і навіть країни, є глобальна система позиціонування (GPS). Вона допомагає створити міську цифрову модель з геореференційними даними: інженери-будівельники, наприклад, можуть визначити найкращий маршрут для велосипедних смуг або розміщення багатомодальних транспортних станцій. На практиці геопросторові технології використовуються також для проєктування житлових та міських районів з метою покращення пішохідних маршрутів.

Штучний інтелект – комбінація технологій, яка вже сьогодні кардинально змінює світ. ШІ використовується в різних сферах і дає можливість оцінювати якість роботи працівників, шукати причини дефектів виробленої продукції, замінювати ручну працю на автоматизовану, генерувати нові знання, які допомагають швидко приймати рішення. Згідно з підрахунками західних аналітиків, загальний внесок інноваційних розробок у глобальний світовий ВВП у 2018 р. оцінювався в \$15,7 трлн. До 2030 р. очікується, що завдяки технологіям ШІ цей показник зросте на 14 %. Запроваджуючи ШІ необхідно звернути увагу на ряд питань, які потребують вирішення [8]. Необхідно створити настанови та ухвалити відповідні принципи стосовно етичних стандартів і нормативних очікувань, які адресуватимуться розробникам і користувачам автономних процесів і машин. Незрозумілим є – які саме інституції (на міжнародному рівні) мають ухвалювати рішення стосовно формування політики в галузі ШІ. Немає правил чи передових практик подолання конфліктів, пов'язаних з системами та додатками на основі ШІ. Важливо розуміти, що навіть найрозумніші системи ШІ не можуть виключати помилок: точність та коректність алгоритмів залежать від того, яким чином вони спроектовані (тут усе залежить від людського капіталу та природи даних).

1.3 Процеси формування міст та місце в них цифрових технологій

Сьогодні міста – провідна форма територіальної та соціально-економічної організації сучасного суспільства. З кожним роком більш очевидним є вихід міст у всьому світі за локальні межі свого географічного положення, – на міжнародний рівень, – здобувши владу та репутацію у таких глобалізованих галузях, як боротьба зі зміною клімату, управління міграцією та розвиток цифрових технологій. Міста стали місцем вибору громадян, які прагнуть стабільності, належного соціального забезпечення та якісної освіти, що призвело до поступової відмови від проживання у сільських місцевостях. Так, у 2008 р. вперше в історії людства чисельність міських жителів перевищила чисельність жителів сільських районів. Урбанізація шириться (і через природний приріст населення, і через міграцію), і міста (від

невеликих містечок до мегаполісів) залишатимуться локомотивами економічного розквіту, політичного розвитку та соціального прогресу, та матимуть беззаперечне значення для формування конкурентоспроможності будь-якої з країн світу.

Процес урбанізації став настільки помітним, що в окремих країнах, як наприклад, Південна Корея, столиця генерує близько половини ВВП країни. А деякі країни є економічно слабшими за такі міста як, наприклад, Амстердам, Барселона, Берлін, Лондон, Мадрид, Сінгапур, що переросли у процвітаючі глобальні економічні центри. Міста стають центрами створення багатства, локалізуючи дедалі більше світову економіку, активізуючи глобальне економічне зростання, формуючи 85 % світового ВВП [9]. Хоча міста займають лише 3 % суші планети, у глобальному масштабі можуть нести серйозні виклики. Висока щільність міст неминуче призводить до проблем, включно із заторами на дорогах, збільшенням енергоспоживання та викидів ПГ (на міста припадає близько 70 % глобального споживання енергії та викидів ПГ), потребою в утилізації відходів, а також зростанням рівня злочинності та поширенням асоціальної поведінки. Ці тенденції супроводжуються безпрецедентним зростанням попиту на водні та земельні ресурси, будівельні матеріали та продукти харчування. Міста з кожним роком відчують потребу в підвищенні якості послуг, стимулюванні конкурентоспроможності місцевих економік, поліпшенні системи надання адміністративних послуг, нарощуванні продуктивності та вирішенні проблем довкілля. Безпечний громадський транспорт, надійно функціонуючі базові комунальні послуги, належне забезпечення засобами існування та відкриті громадські простори набувають особливої важливості.

Управління зростаючими міськими площами та якісне забезпечення всіх жителів необхідними послугами стає одним з головних викликів для міст. Будучи соціально-економічною катастрофою глобального масштабу, пандемія COVID-19 стала можливістю для переосмислення функціонування міст та всієї територіальної системи країн. Успішні приклади стримування поширення пандемії COVID-19 демонструють надзвичайну життєстійкість міських спільнот та їх здатність адаптуватися до нових норм. Пандемія призвела до переосмислення розбудови

міст. Важливими стали процеси модернізації, які роблять міську та територіальну системи більш стійкими, а також заходи, що підсилюють екологічну, соціальну та економічну структуру, не нехтуючи оновленням історико-культурної спадщини, шляхом модернізації інфраструктури та впровадження цифрових технологій.

Формування smart-міста – тенденція, яка охоплює низку міст на всіх континентах планети. Р. Кітчин пояснює феномен розумних міст як спробу вирішити фундаментальну дилему – зменшити витрати за одночасного підвищення економічного зростання, забезпечуючи при цьому стабільність, прийнятність державних послуг та підтримуючи високий рівень якості життя населення, але попереджає, що неоліберальна, керована ринком, технократична перспектива має домінуючу тенденцію, на відміну від альтернативної парадигми, яка полягає в орієнтованості міста на кожного окремого жителя, сприяючи впровадженню соціальних інновацій, інклюзивності, справедливості та залученню до розумного суспільства”. Таке домінування з точки зору економічної вигоди може не враховувати соціальні потреби та характеризуватися відсутністю відповідного правового регулювання.

В одному зі звітів ОЕСР визначено сучасну типологію smart-міст (п’ять основних підходів) за: (1) рівнем економічного зростання та статусом міста; (2) стадією розбудови міста; (3) типом smart-міських інновацій; (4) цілями та (5) просторовим скупченням.

Розглянемо класифікацію smart-міст:

За рівнем економічного зростання та статусом міста:

- розвинута економіка + успадковане місто. У таких містах технології потребують розгортання (а іноді й демонтажу) наявної фізичної інфраструктури, наприклад, доріг і будівель. Низький приріст населення є поширеним явищем і в багатьох випадках може створити нульовий дохід;

- економіка, що розвивається + успадковане місто. Більшість споруд фізичної інфраструктури створені, але чисельність населення швидко збільшується. Приватні фінанси можуть становити основу для покращення існуючої інфраструктури та ефективнішого її використання;

- економіка, що розвивається + нове місто. Характеризується високим економічним зростанням та високим приростом населення. Не потребує демонтажу наявної фізичної інфраструктури;

- розвинута економіка + нове місто. Більшість міст цієї категорії – містасупутники навколо існуючих мегаполісів. Вони конкурують із сусідніми містами за економічне зростання.

За стадією розбудови міст:

- нові міста – масштабні проекти smart-міст, які розбудовуються з нуля і мають на меті вирішення міських проблем за допомогою ультрасучасних рішень, а також створюють інноваційну галузеву екосистему для smart-міст;

- існуючі міста – потребують нових підходів, оскільки наявна фізична інфраструктура може заважати розгортанню міських smart-об'єктів та рішень;

- міста, що скорочуються – є менш розвинутими та переважно не можуть дозволити собі дорогі передові технології. Питання постає у визначенні місць їх уразливості та інструментів для їх запобігання;

За типом smart-міських інновацій:

- технологічні smart-міста базуються на цінностях технологій під час розробки нових практик і послуг (наприклад, додатків, що заохочують користування громадським транспортом);

- організаційні smart-міста зосереджуються на позитивних змінах у щоденній діяльності органів місцевого самоврядування (їх ефективності та продуктивності);

- спільні smart-міста фокусуються на співпраці між різними суб'єктами міста – міська влада, бізнес-спільнота. Відкритий та інтерактивний процес управління є необхідною умовою;

- експериментальні smart-міста фокусуються на людиноорієнтованому підході. Їх метою є досягнення цілісної сталості завдяки поєднанню попередніх трьох типів smart-міст;

За ціллю виділяють:

- smart-міста, оснащені розвинутою інфраструктурою та зосереджені на ефективному управлінні. [12] Інвестування спрямовується у процес інтегрування

ІКТ у фізичну інфраструктуру;

- smart-міста, орієнтовані на платформу та зосереджені на підключенні та інтеграції інформаційних систем, які раніше функціонували незалежно одна від одної;

- smart-міста, орієнтовані на створення інноваційного простору та зосереджені на впровадженні передових технологій та комерціалізують їх для розвитку суміжних галузей. Важливим організаційним механізмом є ДПП.

Також за ціллю пропонують виокремлювати наступні типи smart-міст:

- спрямовані на впровадження економічно ефективних рішень. Впровадження індивідуальних варіантів вирішення проблем розвитку міст, використання живих лабораторій та обмін рішеннями через мережі;

- спрямовані на створення та підтримку інноваційних екосистем для галузей. Основні методи – дерегуляція та створення цифрової інфраструктури на основі відкритих платформ даних для галузей.

За кластерами: на основі 81 міського компонента та 28 сфер типологія формується на шести ключових складових: розумна економіка, розумне середовище, розумне управління, розумний спосіб життя, розумна мобільність та розумні люди.

Розробка та реалізація концепції розумного міста залишається одним з головних напрямів розвитку міст розвинутих країн Європи, Азії та США. Кожна країна, а також різні міжнародні організації та світові компанії, що працюють у сфері цифрових технологій, закладають у термін smart-місто різний контекст (залежно від питань, які ті ладні вирішити).

Для впровадження технологій smart-міста найчастіше необхідними є надійна та економічно доступна мережа ШСД, ефективна екосистема для управління обладнанням через Інтернет і потенціал для використання згенерованих великих обсягів даних. Такий підхід полягає в об'єднанні різних потоків даних міста під одним дахом у вигляді оперативного центру. Такі центри можуть діяти в якості командних пунктів, що сприяють подоланню адміністративної роз'єднаності. Іншим способом забезпечення комплексного розвитку є спільне розміщення різних

компонентів інфраструктури.

Важливою для smart-міста є наявність цифрової інфраструктури, завдяки якій відбувається збір/обробка великих обсягів даних для створення ефективного та сталого середовища. Комплексна система поєднує наявні датчики та накопичувачі, що передають інформацію в режимі реального часу, та потужну обчислювальну систему, що містить аналітичне програмування з розширеними функціональними можливостями бази даних [3-4]. Поєднання різних джерел отримання розрізнених даних дозволяє місту розвинути реальне уявлення про суспільні проблеми, такі як сталість, мобільність, здоров'я та безпека. Можливість отримувати дані з широкого набору датчиків у громадських просторах, у транспортних системах, в енергетичних мережах забезпечує розуміння в режимі реального часу того, якими є транспортні та енергетичні потоки, рівень забруднення та поведінка людини. Загалом, застосування ІКТ у smart-місті є здатністю своєчасно отримувати інформацію та здійснювати обмін нею завдяки:

- датчикам: smart-пристрої, які вимірюють та відстежують різні параметри, що стосуються міста;
- мережевій взаємодії: передача даних та інформації з датчиків у сховища та агрегатори даних для подальшого аналізу;
- аналізу даних, зібраних різними системами smart-інфраструктури, для сприяння прогнозуванню подальших подій;
- автоматизації процесів великої кількості пристроїв у різних сферах.

1.4 Smart-інфраструктура: головні характеристики та функції

Цифрові технології пропонують економічно вигідні та інноваційні рішення щодо багатьох проблем, з якими стикаються міста та їх жителі. Вони сприяють генеруванню інформації для створення дій, що породжують позитивні зміни, – ефективніше використання ресурсів, зменшення рівня забруднення повітря, підвищення рівня громадської безпеки – зумовлені бажанням жителів.

Поєднання цифрових технологій та фізичної інфраструктури міста дало

розвиток розбудові smart-інфраструктури. Її переваги є значними, однак залежать від здатності суспільства адаптуватися до неї у стислі терміни. Smart-інфраструктура має завданням ефективне використання ресурсів міського середовища всіма його учасниками задля забезпечення більш комфортного, безпечного та екологічно чистого життя [13-14]. Smart-інфраструктура не просто вирішує питання створення менш забруднених чи більш ефективних територій, а генерує значний політичний капітал та великі можливості для бізнесу. Головний аргумент на користь об'єктів smart-інфраструктури – відповідність потребам суспільства за одночасного впровадження концепції сталого розвитку.

За ефективного використання smart-інфраструктури жителі міст отримають комфортне та безпечне середовище для проживання. Насамперед це стосується процесів цифровізації секторів ЖКГ, енергетики, будівництва та громадського транспорту, масштабного використання інтегрованих цифрових платформ в управлінні містом, освітнім процесом, медичним сектором, а також контролю за захистом довкілля. Разом з тим, smart-інфраструктура не є панацеєю від усіх проблем міста, а в окремих випадках може генерувати ряд викликів: порушення конфіденційності приватного життя, ризик технічної несправності, зниження культурного розвитку та ін. Загалом же наслідки розбудови smart-інфраструктури залежатимуть від прийняття багатопрофільних та водночас ефективних рішень.

Термін smart-інфраструктура використовується в різних контекстах для опису різних соціально-економічних і технічних умов. Сьогодні немає ні єдиного, загальноприйнятого визначення smart-інфраструктури, ні визначених норм і стандартів її проектування та побудови. Це створює дуалістичність, слабкість інтерпретації та сповільнює процес розбудови такої інфраструктури [4-5]. Відсутність єдиних стандартів неоднозначно впливає на реалізацію інфраструктурних smart-проектів, оскільки очікування власників активів або операторів технологічної реалізації так званих розумних рішень може не виправдатися.

Окремі автори визначають smart-інфраструктуру як процес переходу зі стану нерозумності до стану інтелекту. Нерозумна інфраструктура не взмозі

адаптуватися до мінливих потреб, тоді як розумна може підвищити продуктивність, цілеспрямовано реагуючи на зміни в оточенні та на запити користувачів. Smart-інфраструктура передбачає перехід до позитивних змін у наданні різноманітних послуг завдяки впровадженню технологічних нововведень.

З-поміж цифрових технологій, які застосовуються під час розбудови smart-інфраструктури та мають усюдисущий характер – хмарні обчислення та IoT. До інших технологій, пов'язаних зі smart-інфраструктурою, належать інформаційне моделювання, геоінформаційні системи, ШІ та додаткові технології, як-то оптоволоконні системи, бездротові сенсорні мережі або мікроелектромеханічні системи, що полегшують у режимі реального часу збір та обробку даних. Smart-інфраструктура на пряму залежить від алгоритмів, протоколів обміну даними, детальніше це буде описано далі.

Загалом smart-інфраструктура охоплює:

- мережу датчиків, вбудованих в об'єкти – дороги, автомобілі, лічильники електроенергії, побутові прилади, медичні імплантати людини тощо, які підключають їх до цифрових мереж (IoT). Мережі IoT генерують дані в надвеликих обсягах, відомих як Великі дані (Big Data);
- мережі цифрових комунікацій, що забезпечують потоки даних у режимі реального часу, які можна поєднувати між собою;
- інфраструктуру високої ємності (хмара), яка може підтримувати та забезпечувати сховище для взаємозв'язку даних, програм, речей та людей.

Цінність smart-інфраструктури полягає у:

- самоконтролі та точності прийняття рішень: можливість самостійного моніторингу внутрішнього структурного стану, а також умов середовища та використання з метою покращення точності та своєчасності прийняття рішень (наприклад, самоініціювання технічного обслуговування на основі автоматичного виявлення конкретних несправних деталей);
- ефективності та економії витрат: скорочення експлуатаційних витрат;
- надійності: мінімізація простоїв, збоїв обслуговування;
- безпеці, захисту та стійкості: підтримка адаптивних процесів і конструкцій,

які забезпечують безпеку, захист і стійкість інфраструктури та її користувачів до небезпек, спричинених людиною та природними явищами;

- взаємодії та розширенні можливостей користувачів: надання послуг, адаптивних до мінливих потреб споживачів;

- сталості: оптимізація прийняття рішень для забезпечення сталого використання ресурсів;

- мінімізації надмірностей: мінімізація надлишкових компонентів у системі, що дозволяє зменшити енерговитрати та зберегти ресурси;

- часі реагування: раннє виявлення критичних подій (збоїв, зовнішніх загроз тощо), профілактичне технічне обслуговування та швидке їх подолання;

- зниженні вуглецевого сліду: мінімізація викидів ПГ та споживання енергії;

- якості послуг: підвищення рівня якості та розширення спектра послуг, що надаються інфраструктурою для покращення умов життя (соціально-економічна продуктивність).

Технології, керовані даними, можуть сприяти інтеграції міських систем до більш ефективної, стійкої системи, наприклад, шляхом зв'язування даних у режимі реального часу про транспортні потоки, постачання/споживання електроенергії, водопостачання та відходи. Так, наприклад, розумні лічильники та динамічне ціноутворення на електроенергію можуть суттєво змінити схеми енергоспоживання підприємств та домогосподарств. Автомобілі, велосипеди та скутери з електричним приводом можуть значно зменшити рівень забруднення повітря та шуму.[15] Smart-інфраструктура може зробити суттєвий внесок у розвиток циркулярної та вуглецево-нейтральної економіки.

Розбудова такої інфраструктури може сприяти гнучкішій моделі управління містом через послуги електронного урядування та технології для полегшення доступу до інформації та висловлення думок через Інтернет-платформи. Через такі платформи можливо стає участь у формуванні бюджету: громадяни стають обізнаними щодо спрямування витрат місцевого бюджету (в т. ч. на інфраструктурні проекти і програми). Цифровізація інфраструктури надасть містам можливість посилити організаційний та адміністративний потенціал з метою

подолання бюрократії, покращення практики управління людськими ресурсами [7]. А системи раннього попередження про стихійні лиха можуть покращити готовність до їх настання (та, відповідно, наслідків) або ж попередити їх настання.

Перешкодою для впровадження цифрових технологій та повсюдної розбудови smart-інфраструктури може бути слабкий потенціал міста (відсутність належної політики на місцевому рівні) до використання даних; несумісність даних (інформації), що генеруються різними та дотичними сферами; недостатній та несвоєчасний обмін даними між різними установами; відсутність кваліфікованого персоналу, який займається збором та обробкою даних. Попри те, що багато міст почали відкривати свої дані для громадян та підприємців, проблеми можуть виникнути через відсутність необхідної нормативно-правової бази, що сприяє впровадженню цифрових технологій.[14] Аби процеси автоматизації стали вигідними для міст і регіонів, під час розробки політики необхідно зважати на рівень кваліфікації робочої сили та особливості галузевого розвитку, а також брати участь у підготовці (або перекваліфікації) працівників для роботи в майбутньому.

Ризик територіального розриву, пов'язаний зі зростанням кількості smart-міст, сьогодні є критичною проблемою. Так, одні міста можуть бути добре підготовлені до використання цифрових технологій, інші ж – будуть маргіналізованими через відсутність необхідних заходів політики.

Серед результатів ефективності smart-інфраструктури, якими можуть скористатися жителі міст: розумні мережі покращують процес споживання енергії; датчики у водорозподільній мережі виявляють витоки та дозволяють здійснити швидкий ремонт; розумні лічильники допомагають відстежувати якість води; розумні датчики покращують рух транспорту та підвищують ефективність його функціонування містом; датчики в контейнерах для сміття дозволяють більш ефективно утилізувати відходи; мобільні додатки дозволяють жителям повідомляти про проблеми/загрози та в режимі реального часу взаємодіяти з міськими службами; телемедицина та відеоконсультації покращують результати у сфері охорони здоров'я та знижують витрати на її обслуговування; аналіз туристичних рухів у реальному часі дозволяє рівномірно розподілити туристів (за

числом) тощо.

Відкритість даних та IoT зумовлюють значні ризики, пов'язані зокрема з конфіденційністю особистої інформації громадян, коли особистісна інформація (наприклад, медичні дані про стан здоров'я) може поширюватися серед небажаних осіб, які можуть цими даними маніпулювати. З точки зору етичних міркувань слід розуміти, які типи даних необхідно збирати та оприлюднювати, а також як довго вони повинні зберігатися (необхідне нормативно-правове забезпечення) [9]. На ринку праці дедалі більшою стає поляризація між тими, хто має та вміє користуватися технологіями, і тими, хто має мінімальні навички з автоматизації. Розбудова smart-інфраструктури може ненавмисно поглибити існуючі розбіжності між жителями міст.[18] Щоб приборкати невдоволення громадян та негативну реакцію, підвищення рівнів кваліфікації та навчання цифровій грамотності є критично важливою інвестицією для розбудови такої інфраструктури в майбутньому.

1.5 Потенційні переваги розбудови smart-інфраструктури в містах

Ефективно спроектована та керована smart-інфраструктура може сприяти екологічній сталості міст. Smart-інфраструктура стає основою для досягнення енергоефективності та максимізації можливостей країн досягти своїх цілей щодо скорочення викидів ПГ. Згідно з одним із досліджень, прогнозувалося, що глобальна заміна традиційної міської інфраструктури smart-інфраструктурою повинна була мати результатом скорочення глобальних викидів ПГ до 15 % у 2020 р. Завдяки технологіям IoT та ШІ міста в режимі реального часу можуть детально визначити найбільші проблеми забруднення повітря, причини їх появи, а також вплив на жителів міста. Датчики якості повітря можна розмістити на громадських транспортних засобах, ліхтарях, лавках, сміттєвих баках. Доречно зауважити на такому виді послуг, як мобільне зондування натовпу (Mobile Crowd Sensing, MCS), що вимагає активної участі та залучення громадян. Зокрема, люди з датчиками та обчислювальними пристроями можуть колективно обмінюватися

даними та отримувати інформацію для вимірювання та картографування явищ, що становлять загальний інтерес. Така послуга може бути використана для контролю якості повітря або шуму на вулицях міста. Приклад мобільного додатка для MCS – CUPUS Crowdsensing доступний у Google Play для велосипедистів і пішоходів як спільнот, хто найбільше застосовує цю послугу, оскільки саме вони є найбільш вразливими до поганої якості повітря в містах

Що стосується розумного використання водних ресурсів, то вода, а саме її нестача стане однією з найбільших проблем міст уже у цьому столітті. Недоочищення стічних вод може призвести до серйозного забруднення та до проблем зі здоров'ям. Smart-рішення у водному господарстві спрямовані на підвищення рівня якості води. У системі раціонального управління водними ресурсами застосовуються цифрові технології, що сприяють економії води, зниженню витрат і підвищенню надійності та правильному водорозподілу. Експлуатація фізичної водопровідної системи поєднується з використанням інформаційних мереж. Ця система зазвичай аналізує наявні дані про витрати і тиск для виявлення витоків у режимі реального часу. Серед головних результатів smart-інфраструктури у секторі водопостачання:

- виявлення витоків: оснащення розподільної мережі датчиками з метою забезпечення в режимі реального часу інформації про тиск, потоки/витоки та якість води;
- виявлення забруднення: використання датчиків з метою вимірювання якості поверхневої води в режимі реального часу, що сприяє сталому розвитку міських ресурсів;
- планування технічного обслуговування водної інфраструктури: поєднуються різні джерела даних (наприклад, датчики у трубах вимірюють витрати та тиск).

Тепер концепція розумного управління відходами. Стрімке збільшення відходів перевищує темпи урбанізації: містам дедалі важче відстежувати походження, забезпечувати сортування та утилізацію різних видів відходів, які можуть бути повторно використані з метою переходу до циркулярної економіки.

Збір відходів та їх переробка є однією з найбільших статей щорічних видатків міст. Одним з недоліків системи управління відходами є нездатність прогнозування періодичності їх вивозу [10-11]. Вирішити це питання можна, застосовуючи цифрові технології. Система раціонального управління відходами дозволяє знижувати обсяги відходів і забезпечувати їх сортування за видами, джерелами утворення, а також розвивати методи їх належної переробки. Smart-рішення полягає в обладнанні контейнерів для сміття датчиками, які визначають обсяг відходів. Отримані дані дозволяють оптимізувати кількість сміттевозів та їх маршрути. Smart-рішення у секторі утилізації відходів, як приклад, надаються компанією Rubicon і є доступними на глобальному ринку Geotab. Набір технологій спрямований на допомогу міській владі більш ефективно здійснювати операції з утилізації відходів та їх переробки; застосовується у понад 50 містах США. RubiconSmartCity оснащує партнерів системою програмного забезпечення для повного обслуговування муніципальних відходів та їх переробки в побутових і комерційних умовах.

Також не можна забувати про розумне енергоспоживання. Застосування датчиків, smart-лічильників, систем цифрового управління тощо забезпечують автоматизацію, моніторинг та оптимізують енергорозподіл та енергоспоживання. Такі системи дозволяють оптимізувати функціонування та експлуатацію мереж шляхом урівноваження потреб різних суб'єктів: споживачів, виробників і постачальників. Традиційно та переважно електроенергія у містах генерується централізовано, доставляється до міст та розподіляється з-поміж споживачів – домогосподарств, організацій та енергозбутових організацій. Кожна із зазначених ланок ланцюжка постачання електроенергії зазнає трансформації внаслідок впровадження цифрових технологій [6]. Генерація електричної енергії децентралізується: поряд з діючими централізованими джерелами генерації електроенергії виникають альтернативні джерела, що скорочують споживання централізованих для власних потреб, а в деяких випадках періодично дозволяють направляти надлишкову електроенергію в розподільчі мережі. Відтак відбувається перехід від планового виробництва електроенергії до мережевої генерації,

виникнення нових учасників електроенергетичного ринку. Енергетична smart-інфраструктура має ряд інновацій, як-то розподілене виробництво відновлюваної енергії, мікроенергосистеми, раціональні мережеві технології, енергоаккумуляція, автоматичне реагування на зміну попиту, віртуальне управління електростанціями. Завдяки ним створюється система раціональних енергетичних пристроїв, які дозволяють ретельно відстежувати енергоспоживання, сприяючи реалізації програм моніторингу енергоспоживання на рівні громад та підвищення енергоефективності будівель. Розглянемо деякі з них:

- розподілене виробництво з ВДЕ. Традиційно електроенергію виробляють великі установки, що працюють на основі викопного палива. Вони поступово витіснятимуться розподіленою генерацією на основі ВДЕ, що призведе до збільшення кількості виробників невеликої потужності. Традиційні потужності будуть потрібні як резерв, коли неможливо виробити електроенергію з ВДЕ (наприклад, вночі або в холодні пори року);

- розумні електромережі (smart grids). Електромережі нового покоління, які можуть одночасно виробляти та споживати електроенергію. Вони дозволяють не лише транспортувати енергію, але й формувати та скеровувати дані кінцевим споживачам;

- мікромережі – локальна мережа з місцевими джерелами енергії та навантаженнями, яка може працювати як частина загальнодержавної мережі, але також і окремо. Мікромережі допомагають зменшити втрати енергії під час передачі та розподілу;

- інтелектуальне вимірювання. Новаторським прикладом цієї smart-послуги є smart-metering: розумний лічильник фіксує споживання електричної енергії з інтервалом в одну годину або менше та спрямовує ці дані до комунальної компанії [6]. Завдяки таким лічильникам споживачі долучаються до заходів з енергозбереження, особливо коли попит знаходиться на піковому рівні;

- віртуальний аудит (методом гейміфікації). Дані, генеровані розумними лічильниками, можуть бути корисними для створення детального розуміння моделей використання енергії з метою підвищення обізнаності компаній про

обсяги споживання.

Тепер розглянемо розумну мобільність. Урбанізація та приріст чисельності населення в більшості міст породжують проблеми пересування містом, оскільки зростає кількість і приватного транспорту, і громадського, і відповідно більш довгими за часом стають затори на автошляхах. Наприклад, затори в ЄС часто утворюються в містах та навколо них і щорічно, за оцінками ЄК, коштують майже €100 млрд., або 1 % ВВП ЄС. Розумні рішення для управління дорожнім рухом (наприклад, впроваджені в м. Ірвайн (штат Каліфорнія, США)) вирішують проблеми дорожнього руху та допомагають усунути затори. Система відстежує рух та оцінює час прибуття наступної групи автомобілів до зеленого світлофору. Пристосування світлофорів до реальних дорожніх ситуацій дозволяє вирішити проблему заторів.

Викликів мобільності багато, і вони не обмежуються лише заторами. Йдеться також про розуміння того, як громадяни рухаються щодня, щоб міська влада відповідно планувала розташування станцій, велосипедних маршрутів і світлофорів та оптимізувала графік роботи громадського транспорту. Для більшості жителів сучасних міст зменшення часу на щоденні поїздки є вкрай важливим. Розумні системи управління дорожнім рухом можуть поширюватися і на громадський транспорт. Усі типи громадських транспортних засобів можуть бути підключені до однієї бази даних, що дозволяє повідомляти користувачів про час приїзду, що дає їм можливість обирати оптимальні маршрути. З метою пошуку оптимального способу подорожі застосовуються розумні рішення використання комбінації часових таблиць та даних IoT громадського транспорту [5-7]. Програми, визначаючи місцезнаходження, розраховують відстань і час, необхідний для того, щоб дістатися пункту призначення. У містах, де впроваджено додатки smart-мобільності, можна скоротити час у дорозі в середньому на 20 %.

Не менш важливою є розумна освіта. Розбудова smart-міста потребує smart-людей. Освіта має вирішальне значення для розвитку талантів, і цифрові технології можуть суттєво впливати на цей напрям:

– цифровізація освіти – передбачає зміну способу навчання. З кожним роком

збільшується кількість масових відкритих online-курсів (Massive Open Online Courses, MOOC), які проводяться університетами світового класу, кількість яких також постійно збільшується;

- адаптивне навчання та консультування. Цифровізація навчальних процесів створює цінні дані, які формують уявлення про профіль учнів і студентів. Це дозволяє школам та університетам ефективно комбінувати освіту та консультування;

- персоналізація освіти. Наявність online-курсів дозволяє персоналізувати освіту. З'являється можливість поєднання освітніх послуг від різних постачальників освіти, що дозволяє сформувати навчальний шлях з урахуванням уподобань, інтересів і талантів;

- безперервна освіта. Online-освіта сприяє навчанню протягом усього життя.

Під час розбудови розумних міст дедалі більшої популярності набуває розумне житло. Так, якщо наприкінці 2016 р. в Європі нараховувалося 8,6 млн. розумних будинків (3,8 % усього житла в Європі), то до 2021 р. їх кількість мала збільшитися до 80,6 млн. За іншими прогнозами, глобальний ринок розумних будинків у 2021 р. оцінюється у \$40,9 млрд. Розумний дім – можливість спостерігати та керувати оселею за допомогою одного пульта. Датчики, розташовані в будинку, реагуючи на зміни (температура повітря, присутність сторонніх тощо), дозволяють власнику контролювати ситуацію у будинку, навіть коли він перебуває за межами будинку. Крім того, цифрові технології дозволяють контролювати стан здоров'я людей, які знаходяться у будівлі, якість повітря та води. Серед основних прикладів smart-процесів:

- управління електронними пристроями. Розумні будинки пов'язані з електронними пристроями, такими як смартфони, планшети та ноутбуки, за допомогою яких можна керувати світлом, опаленням та різними побутовими приладами;

- моніторинг та безпека будинку з будь-якої точки світу за допомогою смартфона або планшета. Серед прикладів: отримання відомостей (безперервний відеозапис) про будь-які зміни, що відбуваються в помешканні, зокрема

перебування у ньому сторонніх осіб;

- контроль ландшафтної системи – підтримка оптимального середовища для рослин і домашніх тварин. Система поливає рослини та/або дає їжу домашнім улюбленцям у визначені години та правильних порціях;

- моніторинг охорони здоров'я. Технологія бездротового зондування, вбудована у стіни, може контролювати дихання та серцебиття людини в режимі реального часу (особливо актуальним є для людей похилого віку та немовлят).

Безпека – критичний фактор для будь-якої економіки цивілізованого світу. Цифрові технології можуть покращити громадську безпеку та врятувати життя.

Зокрема:

- розумне вуличне освітлення може не лише зменшити споживання енергії, але й підвищити рівень громадської безпеки;

- дрони для оцінки ризику. Використовуються для збору зображень з метою оцінки небезпеки. За допомогою дронів можна знайти пожежу, віднайти місця аварій та злочинів;

- побудовані на даних програми, що запобігають злочинності – аналіз великого масиву даних може бути використаний для визначення найбільш ймовірних причин поширення злочинності в певних районах;

- розпізнавання обличчя в режимі реального часу та сканування номерних знаків можна використовувати з метою з'ясування обставин злочину (конкретна дата і час). Ці відомості можуть бути використані для зосередження працівників поліції в районах з високою ймовірністю злочину;

- аварійні додатки використовуються для сповіщення у випадку надзвичайної ситуації. Програми автоматично визначають місця, за можливості доповнені аудіо- чи відеозаписом. Маючи підключення до програми, можна повідомити найближче розташованих працівників поліції або надати запит до центрального відділення поліції;

- виявлення вогнепальних пострілів – загальноміська мережа акустичних датчиків на дахах будинків дозволяє точно виявити стрілянину. Якщо вогнепальний удар виявлено десятима датчиками, точне місце знаходження

вогнепального пострілу можна визначити негайно, до того, як про постріл повідомили сторонні (фактичні показники виявлення можуть сягати 95 %).

1.6 Перешкоди впровадженню smart-інфраструктури в містах

Ефективність і швидкість впровадження smart-технологій значно різняться з-поміж міст (частково це пов'язано зі стадією розвитку економіки) і очевидно, що міста, які не мають потужної smart-інфраструктури, не функціонують настільки ефективно. Разом з тим, маючи величезний вплив на норми та умови повсякденного життя smart-інфраструктура не тільки об'єднує людей, але й встановлює певні ієрархії та залежності, характеризуючись новими небезпеками та ризиками.

Відсутність загальнодержавної політики розбудови smart-інфраструктури може стати перешкодою до розбудови такої інфраструктури в містах. Масштабні проєкти з її реалізації часто є складними та вартісними, вимагають підтримки великої кількості зацікавлених сторін, що беруть участь, зокрема, у механізмі ДПП, де поєднуються інтереси державного рівня з приватним[17-18]. Співробітництво та взаємодія між стейкхолдерами може стати найбільшою перешкодою на шляху до розбудови smart-інфраструктури, оскільки і органи місцевої влади, і бізнес не охоче діляться конфіденційними даними або їх стандартизувати в єдині мережі.

Реалізація smart-проєктів може бути пов'язана з політичними циклами, які відбуваються на рівні і держави, і міст, де планується розбудова smart-інфраструктури. І саме проблема політичних циклів може стати причиною відтермінування реалізації необхідних для міста проєктів, оскільки політичний капітал може закінчитися до початку введення в експлуатацію проєкту, що призведе до затримок розбудови такої інфраструктури.

Smart-технології докорінно трансформували процес передачі даних, що характеризується зміною масштабів, обробки та управління. Підходи до вирішення проблеми відкритості даних відіграють важливу роль у забезпеченні доступу до повного спектра товарів, послуг та інформації, доступних через Інтернет. Завдяки йому можливо отримувати доступ до нових знань та обмінюватися ними,

використовувати платформи для діяльності підприємств та бути джерелом ресурсів. Забезпечення вільного потоку даних через кордон також має важливе значення: дозволяє компаніям координувати свою участь у глобальних ланцюгах створення вартості, а також дають можливість навіть невеличким компаніям брати участь у торгівлі.

Більшість аналітичних і наукових праць значною мірою спрямовані на огляд технологічних, екологічних, соціально-економічних аспектів розбудови smart-інфраструктури та їх перевагах. Проте майже немає досліджень, присвячених викликам smart-інфраструктури, які є доволі критичними для життєдіяльності міста та його жителів, і на які варто зважати під час її розбудови, аби нівелювати негативні впливи такі як:

- ризик технічної несправності. Технічні неполадки в роботі пристроїв можуть спричинити збій у програмному забезпеченні, що може призвести до отримання недостовірної або неактуальної інформації. В одному зі звітів RootMetrics від IHS Markit щодо IoT-технологій зазначається, що в ЛасВегасі в мережі виникли значні проблеми: деякі мережі IoT не змогли забезпечити достатнього покриття для підтримки навіть найпростіших програм smart-міста. Через постійне зростання кількості датчиків та їх даних, справність технологічного підключення – необхідна умова успіху;

- неналежний стан програмного забезпечення. Високий рівень помилок у програмному забезпеченні робить тестування на забезпечення якості критично важливим. Практично кожен бізнес сьогодні залежить від програмного забезпечення для розробки, виробництва, дистрибуції та післяпродажної підтримки продуктів і послуг. Інновації в таких сферах, як виробництво робототехніки, нанотехнології та дослідження генетики людини, забезпечуються комп'ютерами та програмним забезпеченням. Така інфраструктура існує у високорозвинутих економіках і є важливою для розробки та використання технологічних продуктів/процесів. У випадку ж застосування неефективного програмного забезпечення сукупний економічний збиток для економіки міста є значним;

– ризик несумісності. Досягнення інтероперабельності є технічно складним процесом. Програмне забезпечення, розроблене різними постачальниками для управління інформацією, зазвичай має несумісні структури та формати. Коли стандарти інтероперабельності та підтримуючі технології є різними, зростають фінансові витрати на вирішення проблеми сумісності або пом'якшення наслідків. Більше того, така діяльність може спричинити затримки доставки товару/послуги, наслідком чого є додаткові логістичні витрати.

1.7 Висновки до розділу 1

На сьогодні концепція Smart City є дуже актуальною та важливою в міжнародних глобалізаційних процесах. Смарт міста стрімко розвиваються по всьому світу, що свідчить про зручність використання ІТ-технологій в усіх аспектах життєдіяльності.

Цифрові технології можуть стати частиною рішення, оскільки генерують величезні потоки інформації. Їх перевага полягає у гнучкості та адаптації. Досягнення у сфері цифрових технологій збільшило обчислювальну потужність, розширило можливості зберігання даних і дозволило мініатюризувати схеми та процесори. Це призвело до створення безлічі розумних елементів/процесів і до автоматизації багатьох життєвих завдань. Разом з тим, попри ряд визначених переваг, дані можуть порушити низку питань щодо безпеки та конфіденційності.

Цифровізація сприяє виникненню нових викликів, пов'язаних з нерівномірним розподілом цифрових благ, поляризацією ринку праці, кібербезпекою тощо.

Далі для того, щоб дослідити технології обміну даними в інфраструктурі smart-city, було обрано концепцію розумного вуличного освітлення. Обрана система майже повністю автоматизована, збирає інформацію з навколишнього середовища та дані про свій стан, а також передає дані між пристроями та відправляє у базу даних для подальшої обробки оператором у разі необхідності. Це один з найефективніших варіантів дослідження сучасних технологій обміну інформацією.

2 КОНЦЕПЦІЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ

2.1 Обґрунтування вибору та вимоги до інтелектуальної системи освітлення

Розробка інтелектуальної системи освітлення призначена для дослідження сучасних протоколів зв'язку та методів передачі інформації в інфраструктурі smart-city. Для кожної концепції в розумному місті використовуються різні методи зв'язку і насамперед зв'язку з операторним штабом. У розроблюваній системі освітлення інформація передається також між пристроями, що дозволяє глибше дослідити технології обміну даними.

Перед тим як моделювати інтелектуальну систему освітлення, необхідно описати загальну інформацію про цю концепцію, на основі якої у подальшому буде розроблена вся система з вбудованої технологією обміну даними, яку треба буде вибрати з поміж інших та описати.

Інтелектуальна система освітлення повинна відповідати таким вимогам:

- система децентралізована, тобто немає центрального контролюючого елемента;
- система може бути легко вбудована в міську систему;
- стан роботи системи залежить від зовнішніх факторів, таких як інтенсивність дорожнього руху та погодні умови;
- кожен ліхтар системи працює автономно і не потребує налаштування;
- рівень загального освітлення, що забезпечується системою, не повинен виходити за межі, передбачені вимогами безпеки.

Таким чином, інтелектуальна система освітлення має бути здатна визначати об'єкт руху в зоні контролю та контролювати рівень освітленості залежно від об'єкта руху та характеристик руху – швидкості та напрямку руху (рис. 2.1).

2.2 Запропоноване технічне рішення

Запропонована структура інтелектуальної системи освітлення (рис. 2.2). складається з вузлів, що поєднують мікрокомп'ютер Beaglebone або будь-який інший модуль System-on-Chip, модулі детектування та комунікації та світлодіодний ліхтар.

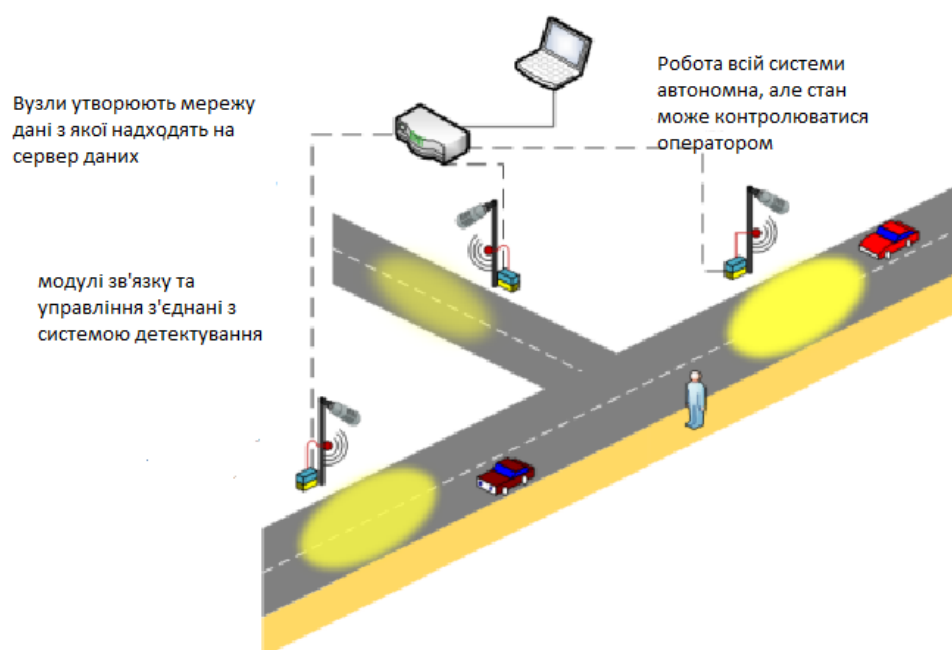


Рисунок 2.1 – Реалізація концепції інтелектуальної системи освітлення

Як центральний керуючий пристрій для вузла виступає мікрокомп'ютер. Кожній лампі відповідає система комунікації та детектування. Система комунікації служить зв'язку елементів вузла, і навіть дозволяє передавати інформацію інші вузли системи. Система детектування необхідна визначення інтенсивності дорожнього руху, створюваного автомобільними засобами і пішоходами, і навіть зміни погодних умов.

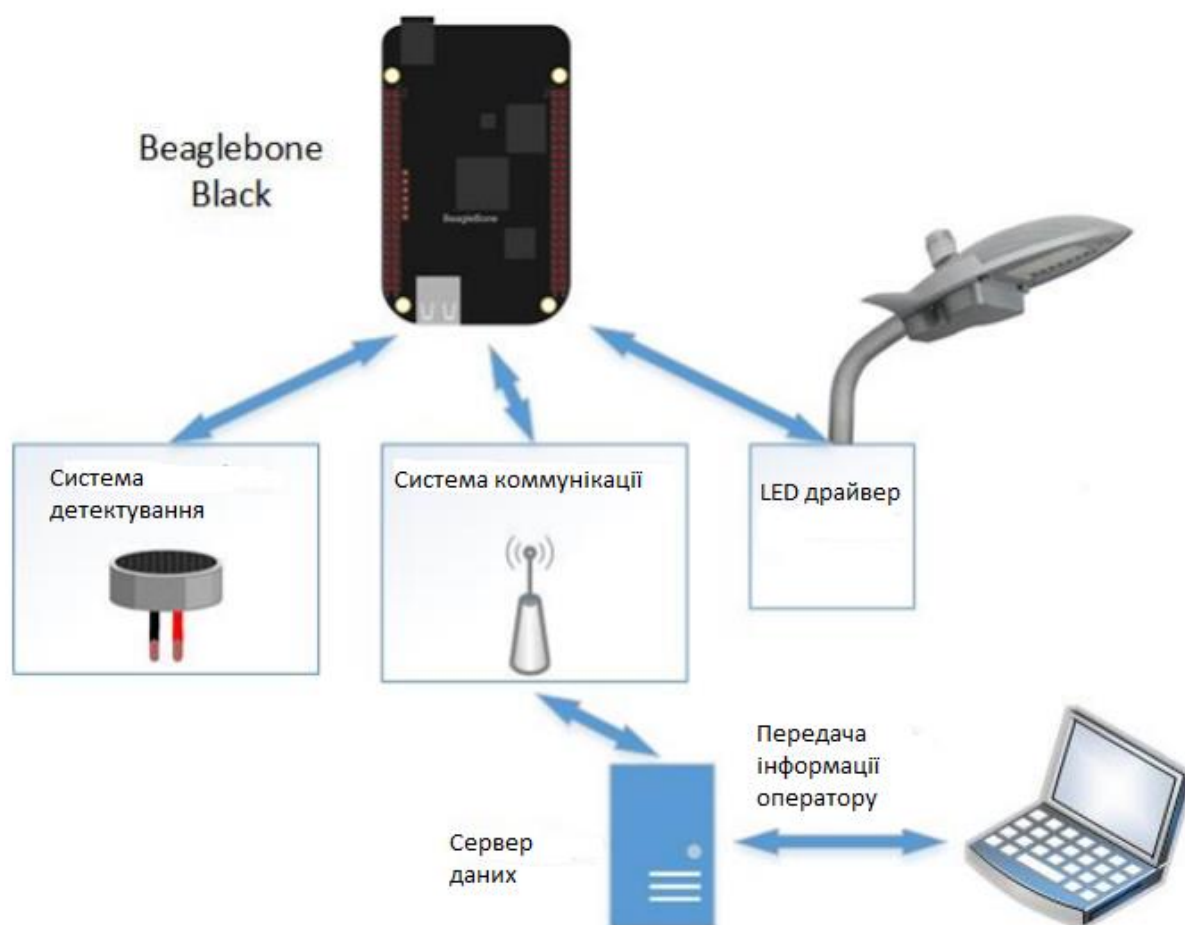


Рисунок 2.2 – Структурна схема інтелектуальної системи освітлення

2.3 Проектування системи детектування

Принцип роботи інтелектуальних систем висвітлення ґрунтується на аналізі подій, що відбуваються у зовнішньому середовищі у зв'язку з тими чи іншими факторами, та відповідному прийнятті рішень для мінімізації енерговитрат. До таких факторів належать інтенсивність дорожнього руху та погодні умови. Щоб визначати наявність таких подій необхідно створення ефективної системи детектування. Таким чином, даний розділ включає попереднє дослідження датчиків різних типів для подальшого застосування в інтелектуальній системі освітлення.

Як основні за фізичним принципом дії можна виділити такі методи контролю руху:

- акустичний (ультразвуковий);
- радіохвильовий (НВЧ);

- інфрачервоний (ІЧ);
- комбінований.

Кожен з цих типів має свої переваги і недоліки. Недоліки, зокрема, пов'язані з нездатністю датчиків виявити людину за певних умов або, навпаки, їх хибними спрацьовуваннями.

Використання сукупності методів контролю та принципів виявлення може значно зменшити ймовірність некоректного спрацьовування датчика. Сигнал тривоги видається лише в тому випадку, якщо одночасно або протягом невеликого інтервалу часу спрацьовують обидва детектори. Для підвищення стабільності роботи системи, використовувані принципи виявлення повинні бути такими, щоб перешкоди, що викликають помилкові спрацьовування, по-різному впливали на кожний компонент детектор. У табл. 2.1 наведено вплив зовнішніх факторів на роботу датчиків різних типів, де + – висока чутливість, - – низька чутливість.

Таблиця 2.1 – Чутливість датчиків до факторів, що заважають

Причина некоректної роботи	Інфрачервоний	Мікрохвильовий	Ультразвуковий
Турбулентність повітря	+	-	-
Дощ	-	+	+
Зміна температури	+	-	+
Яскраве світло	+	-	-
Вібραції	+	+	-
Електромагнітні перешкоди	-	+	-
Переміщення за межами зони контролю	-	+	-

З таблиці видно, більшість змін навколишнього середовища по-різному впливають на кожен детектор і в більшості випадків не можуть призвести до одночасного спрацювання всіх сенсорів. Найбільшого поширення нині набула комбінація мікрохвильового активного та ІЧ-пасивного принципів виявлення. Набагато рідше використовується комбінація ультразвукового та ІЧ-детекторів. На рис. 2.3 показана установка, що включає систему детектування інтелектуальної системи освітлення.

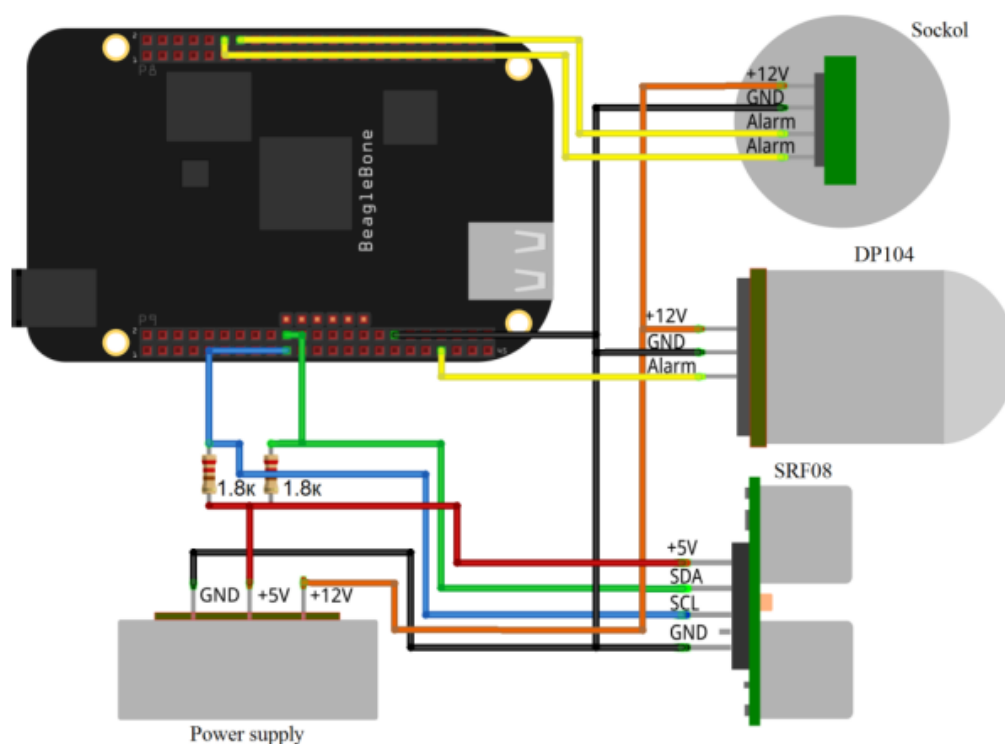


Рисунок 2.3 – Установка з системою детектування інтелектуальної системи освітлення

Основними елементами експериментальної установки є мікрокомп'ютер BeagleBone Black, інфрачервоний датчик DP104, ультразвуковий датчик SRF08, комбінований датчик Sockol-3, блок живлення з висновками 5 В, 12 В. Мікрокомп'ютер BeagleBone Black використовується як керуючий пристрій, який виконує програму зчитування інформації з датчиків. Властивості BeagleBone Black представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Специфікація на BeagleBone Black

Технічна складова	Характеристика
Процесор	1 ГГц AM335x
Пам'ять	512 Мб DDR3
Підтримка відео	On-board HDMI
Послідовне з'єднання	TTL header present but separate cable needed
Вхідні та вихідні порти	GPIO, аналогові порти, 5 V, 3.3 V, 1.8 V, I ² C, UART, CAN, SPI, GPMC, MMC, LCD, McASP

Зовнішній вигляд BeagleBone Black представлений на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд BeagleBone Black

Крім управління датчиками руху, в інтелектуальній системі освітлення мікрокомп'ютер підключено до блоку комунікації, який здійснює зв'язок між вузлами інтелектуальної системи освітлення. Властивості інфрачервоного датчика представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Специфікації інфрачервоного датчика

Характеристика	Значення
Напруга	DC 12 В
Робочий діапазон, м	6-10
Вихідна потужність	Max 100 W LED lamp
Час встановлення	від 5 до 6 хв
Робочий діапазон для освітленості, Лк	від 2 до 2000
Матеріал	ABS
Рівень захисту	IP65

Зовнішній вигляд інфрачервоного датчика подано на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 – Інфрачервоний датчик

2.4 Визначення зміни погодних умов

Крім залежності від інтенсивності руху, адаптивність інтелектуальної системи освітлення полягає в адекватній реакції на зміну погодних умов. Під погодними умовами насамперед розуміється рівень природного освітлення, зумовлений світлом Сонця чи Місяця. Для цього завдання можна використовувати фоторезистор, який змінює свій опір під впливом світла.

Як установку використовувалося схемне рішення, представлене на рис. 2.6.

Ця експериментальна установка складається з мікрокомп'ютера Beaglebone Black, фоторезистора та резистора на 10 кОм. Фоторезистор і резистор утворюють дільник напруги, який використовується для того щоб перетворити величину опору, що змінюється, у значення, яке можливо виміряти на аналоговому вході ВВВ, дана величина повинна бути перетворена в напругу від 0 В до 1,8 В. Використовуваний фоторезистор має темновий опір близько 200 кОм при яскравому світлі опір падає до 1 кОм або 2 кОм.

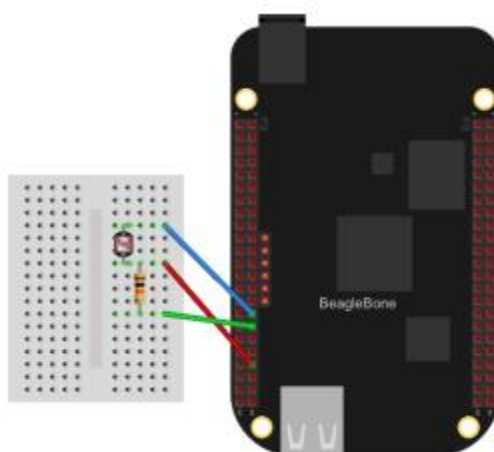


Рисунок 2.6 – Установка для визначення освітленості

Електрична схема для використовуваної установки представлена на рис. 2.7.

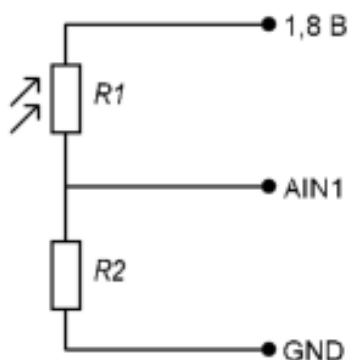


Рисунок 2.7 – Електрична схема для використовуваної установки

2.5 Проектування системи комунікації

Система комунікації, реалізована в інтелектуальній системі освітлення, визначає як спосіб комунікації між вузлами системи, а й ефективність всієї системи. Контроль за системою освітлення може бути як централізованим, і розподіленим. В цілому, було показано, що розподілений контроль більш перспективний для використання в інтелектуальних системах висвітлення. Розвиток розподілених систем призвело до виникнення поняття міжмашинної взаємодії (M2M), якого відносять як апаратні, і програмні компоненти.

Системи M2M мають три категорії компонентів:

- пристрої, які служать як контрольно-обчислювальні пункти і утворюють фізичний рівень мережі комунікації;
- телекомунікаційні компоненти, у тому числі шлюзи між мережею інтернету та різнорідними мережами (бездротові, PLC);
- домени додатків, які мають керуючу функцію.

В інтелектуальній системі освітлення буде використовуватися бездротова система комунікації. Бездротові системи комунікації, що використовуються в системах управління, включають мережі GSM/GPRS, Bluetooth мережі, Wi-Fi, Zigbee, мережі з надширокополосною передачею даних. За дальністю зв'язку можна класифікувати:

- WWAN (Wireless Wide Area Network) – бездротова глобальна обчислювальна мережа, де використовуються такі технології, як UMTS, GPRS, GSM тощо;
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) – бездротові мережі масштабу міста, такі як WiMAX-мережа, що працює на основі стандарту IEEE 802.16 зі швидкостями 1-10 Мбіт/с у зоні 4-10 км;
- WLAN (Wireless Local Area Network) – бездротова локальна мережа з дальністю дії до 100 м. Wi-Fi (IEEE 802.11) – найвідоміший набір стандартів;
- WPAN (Wireless Personal Area Network) – бездротова персональна мережа, призначена для передачі даних з низькою швидкістю та частотою передачі 2.4 ГГц.

Bluetooth, ZigBee – найвідоміші представники цієї категорії.

У табл. 2.4 представлений порівняльний аналіз стандартів передачі інформації.

Таблиця 2.4 – Порівняння стандартів передачі інформації

Параметр	ZigBee	Wi-Fi	Bluetooth
Стандарт IEEE	802.15.04	802.11 b/g	802.15.01
Призначення	Управління	Широкополосна мережа	Мобільні пристрої
Кількість пристроїв у мережі	До 65 000	32	7
Робоча зона, м	100	100	10

Згідно з табл. 2.4 ZigBee передбачає більшу кількість вузлів комунікації та дозволяє економічно витрачати електроенергію.

2.6 Розробка алгоритму роботи інтелектуальної системи оповіщення

Розглянувши можливі технології для реалізації інтелектуальної системи освітлення, було розроблено схему вузла інтелектуальної системи освітлення згідно з рис. 2.8.

Як центральний керуючий пристрій обраний мікрокомп'ютер Beaglebone Black, який здійснює управління системами детектування та комунікації, живленням джерела освітлення, платою управління освітленням. Вимірник потужності дозволяє вимірювати силу струму, потужність, що використовується для подальшого керування освітленістю залежною від поданої напруги.

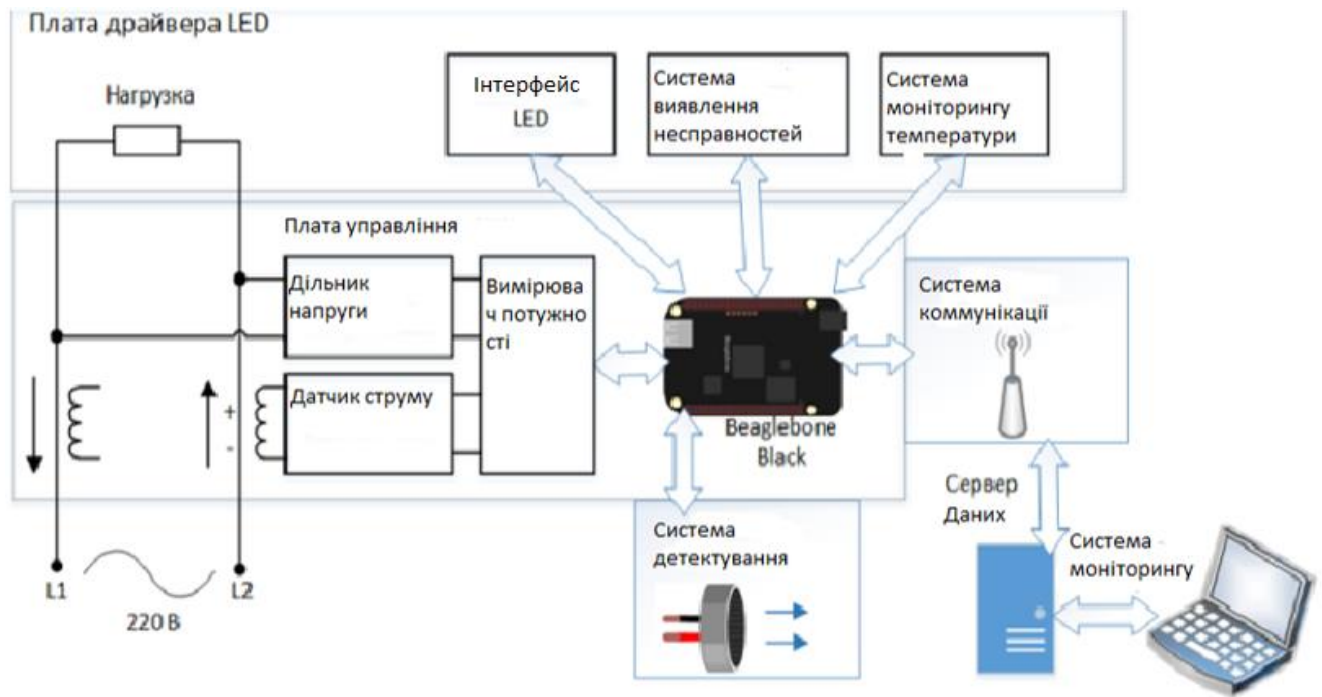


Рисунок 2.8 – Блок-схема вузла інтелектуальної системи освітлення

Система детектування визначає зміна зовнішніх умов, з урахуванням чого приймається рішення про рівень освітленості. У плату драйвера LED включені реалізований інтерфейс, необхідний для керування ліхтарем, система визначення несправностей, яка дозволяє оперативно реагувати на несправності, система моніторингу температури, яка необхідна для запобігання перегріву плати, що може призвести до несправності. Система комунікації включає як функції передачі інформації між рівнозначними вузлами мережі, так і функції передачі інформації на сервер даних для подальшого моніторингу оператором.

2.7 Алгоритм роботи інтелектуальної системи оповіщення

Крім розглянутих аспектів, що зачіпають обмеження в галузі права, проєктована інтелектуальна система освітлення має наступні технічні характеристики, розглянуті раніше:

- систем є децентралізованою;
- мережевий протокол, що використовується в системі, – IPv6;
- кожен вузол самоналаштовується відповідно до зовнішніх умов;

– система дозволяє використовувати як PLC, так і Wi-Fi, ZigBee.

З урахуванням розглянутих обмежень збудуємо функціональну схему для інтелектуальної системи освітлення (рис. 2.9).

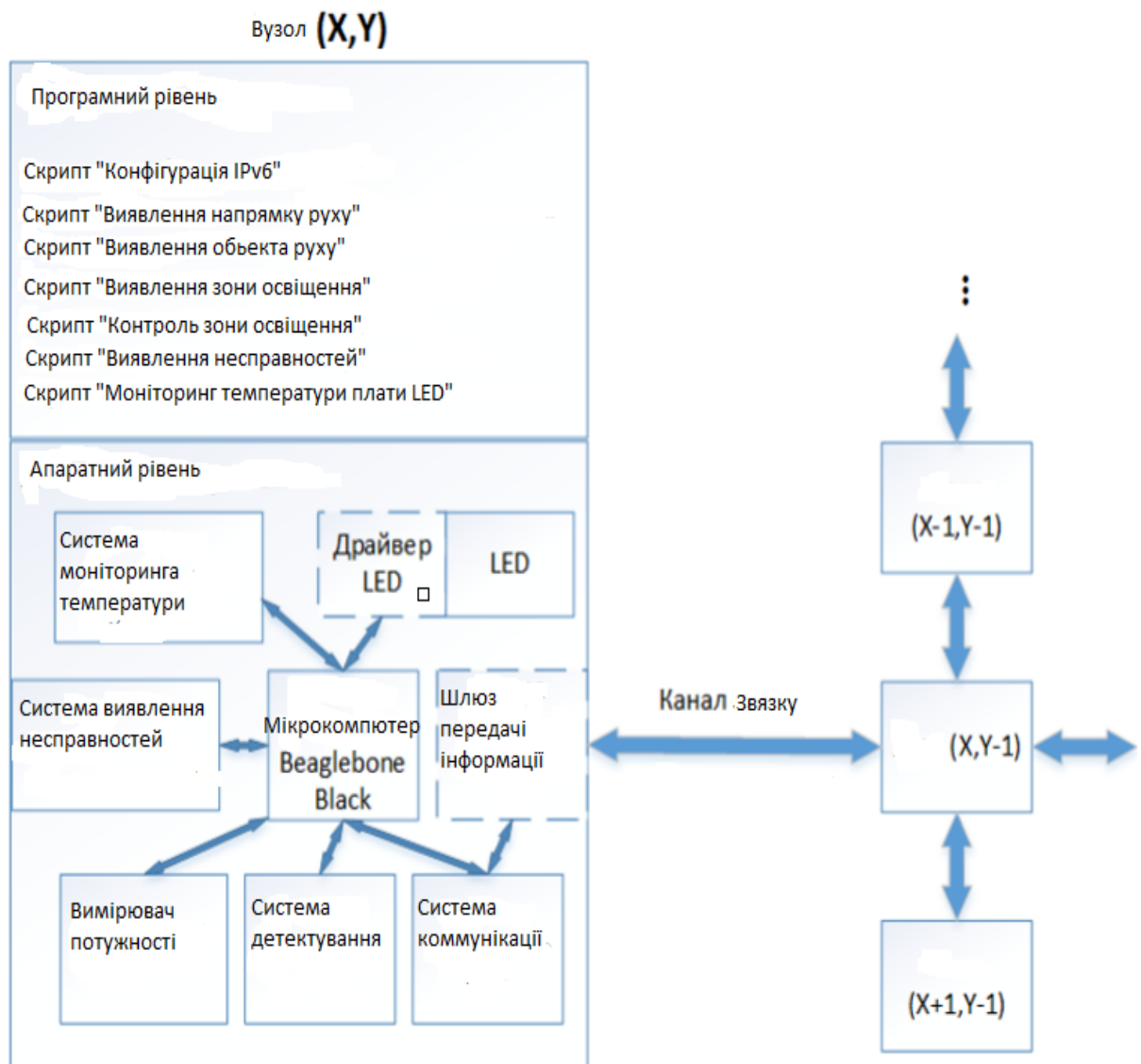


Рисунок 2.9 – Функціональна схема для інтелектуальної системи освітлення

Розглянемо алгоритм роботи для інтелектуальної системи освітлення (рис. 2.10).

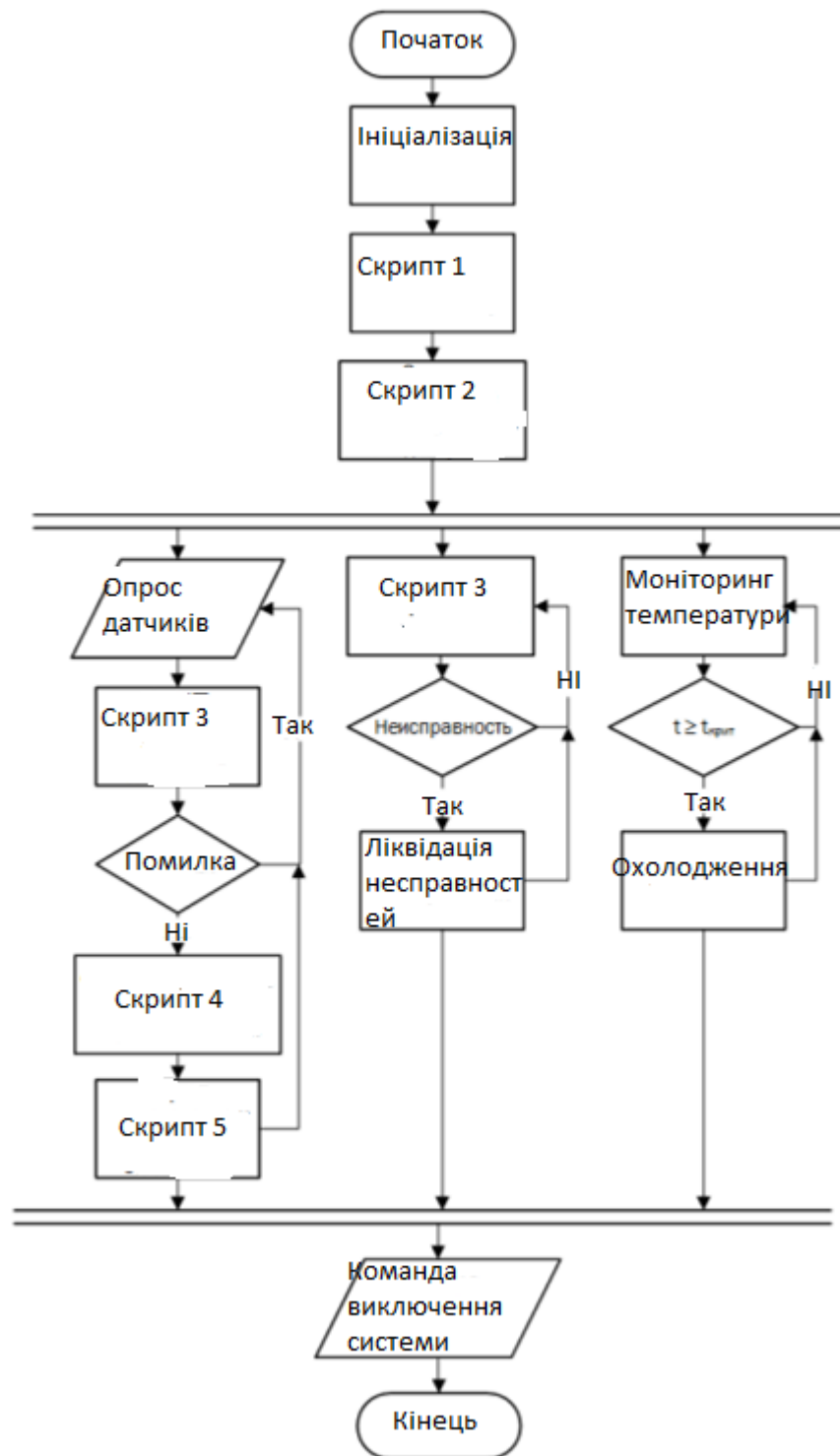


Рисунок 2.10 – Загальний алгоритм роботи інтелектуальної системи освітлення

Алгоритм роботи інтелектуальної системи освітлення згідно з рис. 2.10 наступний:

– відбувається ініціалізація системи, запуск скриптів початкового

налаштування системи;

- виконується скрипт автоконфігурації вузлів системи для призначення адрес кожному вузлу системи, створюється список сусідніх вузлів для кожного вузла;

- далі в процесі роботи системи одночасно виконуються скрипти керування освітленням, визначення несправностей у системі та моніторингу температури плати LED;

- відбувається постійне опитування стану датчиків;

- декілька можливих подій (E) щодо об'єкта руху: присутність людей та/або транспортних засобів, що й було виявлено, присутність людей та/або транспортних засобів, що не було виявлено, відсутність людей та/або транспортних засобів, що й було виявлено, відсутність людей та/або транспортних засобів, що не було виявлено.

Другий і четвертий сценарії мають бути ідентифіковані системою як помилку і повинні тягнути у себе неадекватних дій із боку системи, тобто. має відбуватися обробка помилок:

- виконується скрипт визначення зони освітленості на підставі отриманих даних і виконується контроль рівня освітлення. При видаленні об'єкта із зони освітленості відбувається зниження рівня освітленості до того, що було у стані спокою;

- виконується скрипт визначення несправностей;

- здійснюється моніторинг температури плати LED для запобігання перегріву, що може призвести до несправності ліхтаря та його плати.

У разі команди вимкнення системи відбувається безпечне вимкнення інтелектуальної системи освітлення.

2.8 Висновки до розділу 2

У розділі 2 був спроектований загальний вигляд системи інтелектуального освітлення, розроблений алгоритм роботи, показані пристрої, що використовуються у цій системі, а також описані технології за допомогою яких

відбувається обмін даними між самими пристроями та сервером даних. Система повністю автоматизована та за необхідності може контролюватися оператором.

У системі освітлення буде використовуватися бездротова технологія передачі даних. Були описані такі стандарти передачі інформації як ZigBee, Wi-Fi та Bluetooth. Згідно з табл. 2.5 де було порівняно ці стандарти, ZigBee передбачає більшу кількість вузлів комунікації та дозволяє економічно витратити електроенергію.

У наступному розділі буде показана побудована система освітлення з вибраним протоколом зв'язку та технологіями передачі інформації які входять в концепцію розумного міста.

3 ПЕРЕДУМОВИ ТА СЕРЕДОВИЩЕ ТЕСТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ ОСВІТЛЕННЯ

3.1 Передумови розробки інтелектуальної системи освітлення

Швидкий розвиток міст призвів до значного розширення розумних мереж. Вуличне освітлення є однією з мереж, яка зазнала значного розширення і набула великого значення в житті людей, оскільки воно забезпечує їх безпеку вночі. Вуличне освітлення є одним із найбільших енергетичних витрат будь-якого міста, так, наприклад, на нього припадає понад 35-45% комунального бюджету муніципалітету Києву.

При цьому більшості областей України управління вуличним освітленням здійснюється двома способами, перший метод – ручним керуванням, що є негнучким, неефективним і громіздким.

Другий метод, оптичний контроль, який розв'язує проблему робочої сили, але неефективний у контексті зниження витрат електроенергії.

Відповідно мета нашого дослідження полягає в тому, щоб розробити та випробувати інтелектуальну систему освітлення, яка може забезпечити оптимальне освітлення для зменшення витрат на електроенергію, одночасно забезпечуючи безпеку користувачів на односпрямованій дорозі. Цю систему слід оцінювати з точки зору її здатності керувати кількома учасниками дорожнього руху одночасно. Крім того, цю систему слід оцінити з точки зору того, як використання бездротового зв'язку впливає на ефективність і вартість цієї системи.

Враховуючи, що останні досягнення в світлодіодного освітлення значно покращили його енергетичну ефективність, передачу кольору та миттєве освітлення після ввімкнення подання відповідної команди. Таким чином, світлодіодні лампи дозволяють економити енергію внаслідок точного тимчасового керування освітленням і є більш економічно вигідними завдяки подовженому терміну служби [9].

3.2 Опис розробленої моделі (пішохідна частина)

На рис 3.1 показана блок-схема запропонованої системи освітлення.

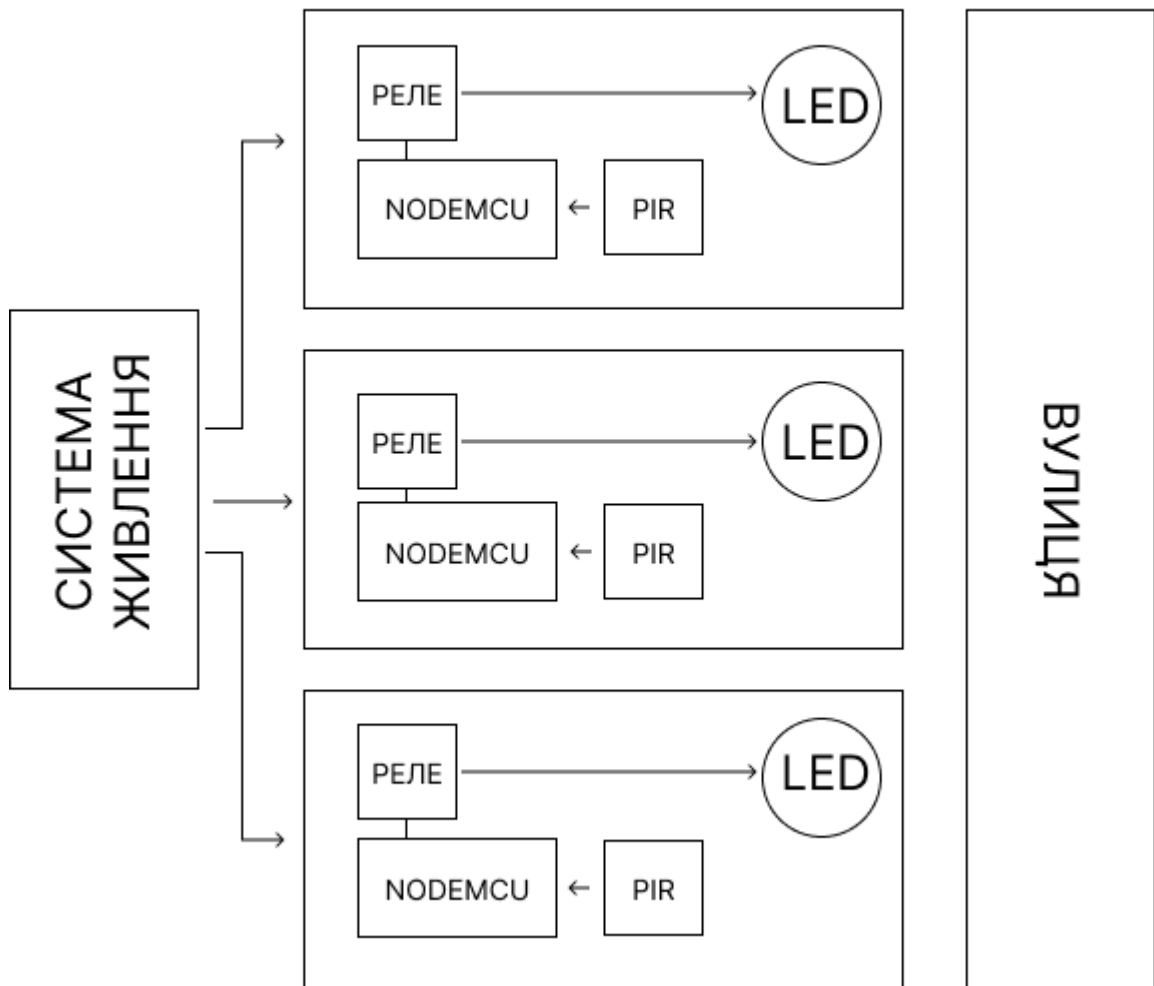


Рисунок 3.1 – Блок-схема запропонованої системи інтелектуального вуличного освітлення

На рис. 3.1 показана схематична робота запропонованої системи. Вона складається з трьох блоків освітлення, кожен блок складається зі світлодіодної лампи, плати NodeMCU ESP8266, PIR-датчика та релейного модуля. Джерело живлення плат NodeMCU та датчиків PIR становить 5 В і 220 В для світлодіодів. Коли користувач входить до зони блоку освітлення 1, датчик PIR виявляє рух користувача, NODEMCU надсилає сигнал до реле, щоб увімкнути світлодіод, а потім надсилає бездротове повідомлення за протоколом ESP-NOW до NODEMCU,

де є освітлювальний блок 2, який освітлює зону перед користувачем, доки користувач не досягне освітлювального блоку 2. Надалі поки буде виявлено рух користувача, область залишається освітленою, так що процес не завершується, поки користувач не вийде з системи.

NodeMCU — це пристрій, схожий на Arduino. Його основним компонентом є ESP8266. Він має програмовані контакти. Має вбудований WiFi, також може отримувати живлення через порт micro-usb. Його вартість низька (приблизно 55 грн). Його можна програмувати через декілька середовищ програмування.

Свою чергою ESP8266 – це система на чіпі (SoC), яка об'єднує 32-розрядний мікроконтролер, стандартні цифрові периферійні інтерфейси, антенні перемикачі, радіочастотний балон, підсилювач потужності та малошумний приймальний підсилювач, фільтри та модулі керування живленням у невеликому корпусі (рис. 3.2).

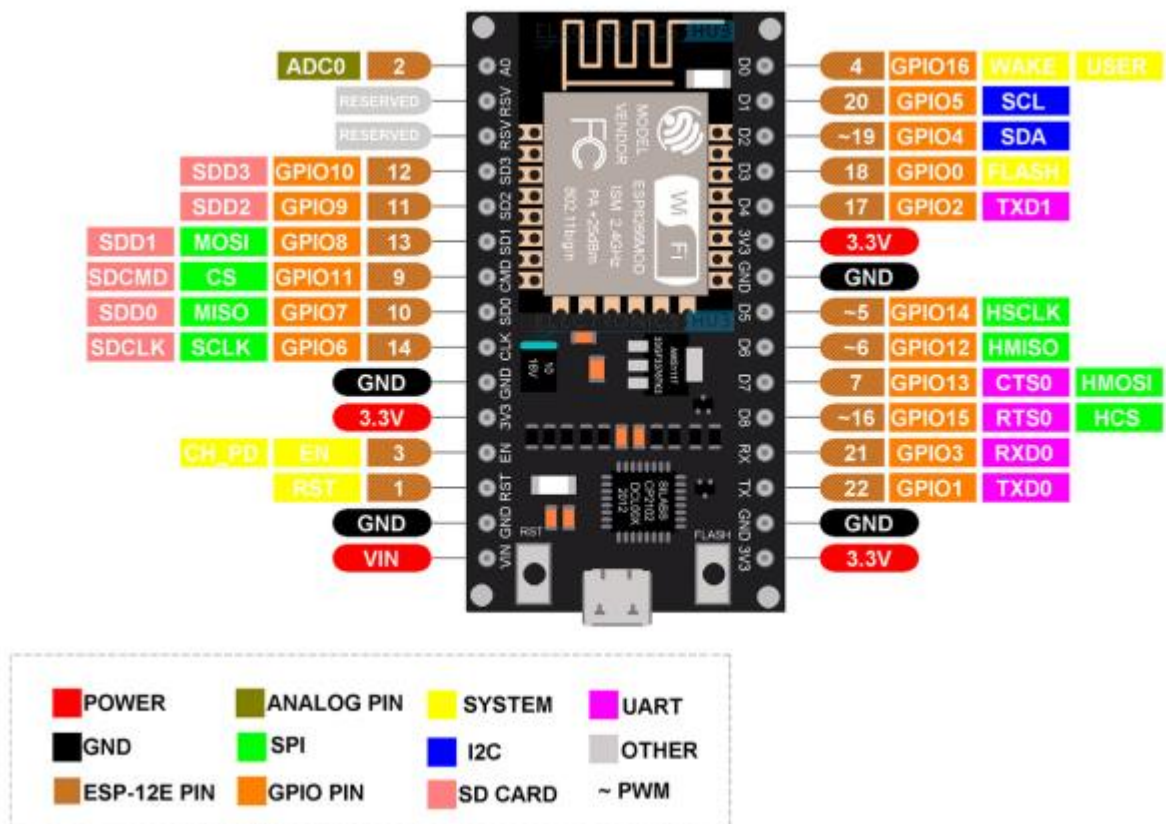


Рисунок 3 2 – Пінова діаграма NodeMCU ESP8266

PIR (пасивні інфрачервоні датчики) дозволяють виявляти рух у полі зору залежно від зміни температури тіла. Вони невеликі, дешеві та прості у використанні. На рис.3.3 показан датчик PIR HC-SR501.

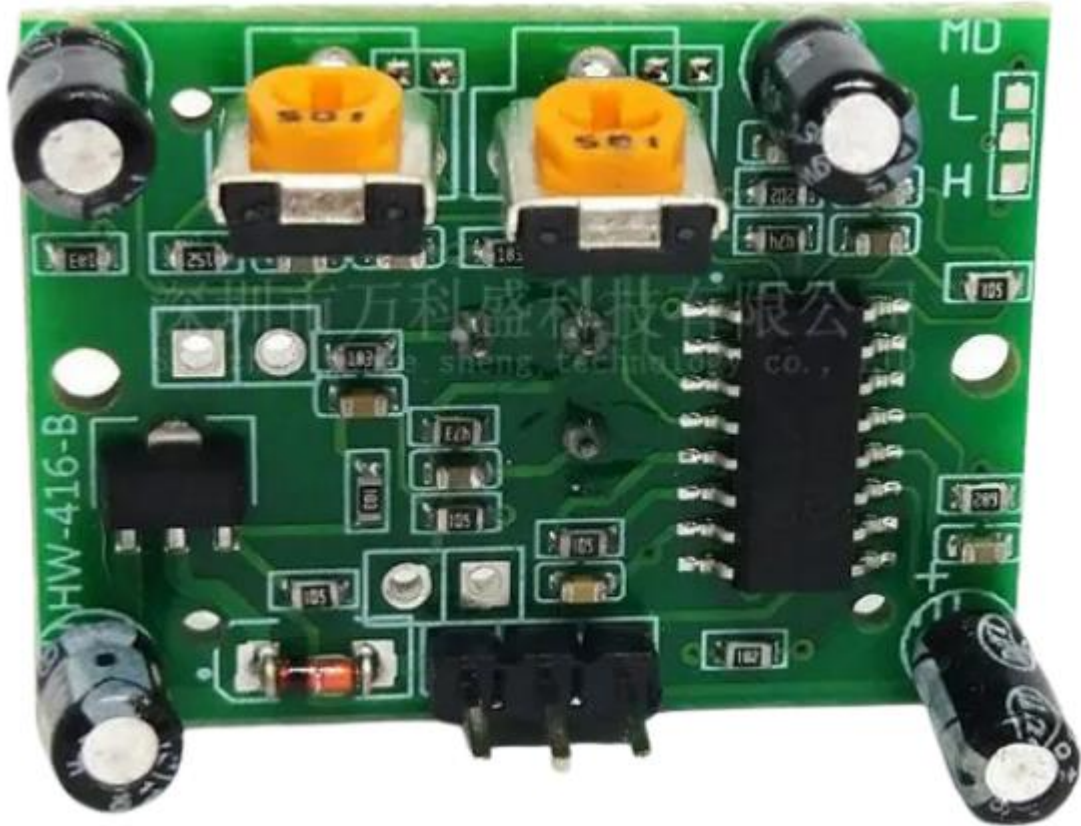


Рисунок 3.3 – Датчик PIR HC-SR501

У нашій роботі ми використовували датчик PIR HC-SR501 через його багатофункціональність порівняно з його ціновими конкурентами, а саме:

- широкий діапазон вхідної напруги від 4,0 до 12 В (рекомендовано +5 В);
- відстань покриття приблизно 120° і 7 метрів;
- вихідна напруга висока/низька (3,3 V TTL);
- може розрізняти рух предметів від рухів людини.

Для живлення датчика використаємо Arduino Uno R3. Arduino Uno R3 є мікроконтролером ATmega328, який забезпечує контакти живлення для інших пристроїв (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Arduino Uno R3

Таким чином, він являє собою вимикач з електричним приводом. Коли струм перевищує апаратні межі, спрацьовує котушка для замикання відкритих контактів, або для розмикання закритих контактів. Це забезпечує високу надійність та безпечне відключення від основного живлення. Крім того, він має довгий термін служби.

На рис. 3.5 показано результати чотирьох запропонованих випадків інтелектуальної системи вуличного освітлення від моменту входу користувача в систему до виходу з неї (від 1 до 4). Пунктирна стрілка позначає напрямок бездротового з'єднання між блоками, що підсвічуються за протоколом ESP-NOW.

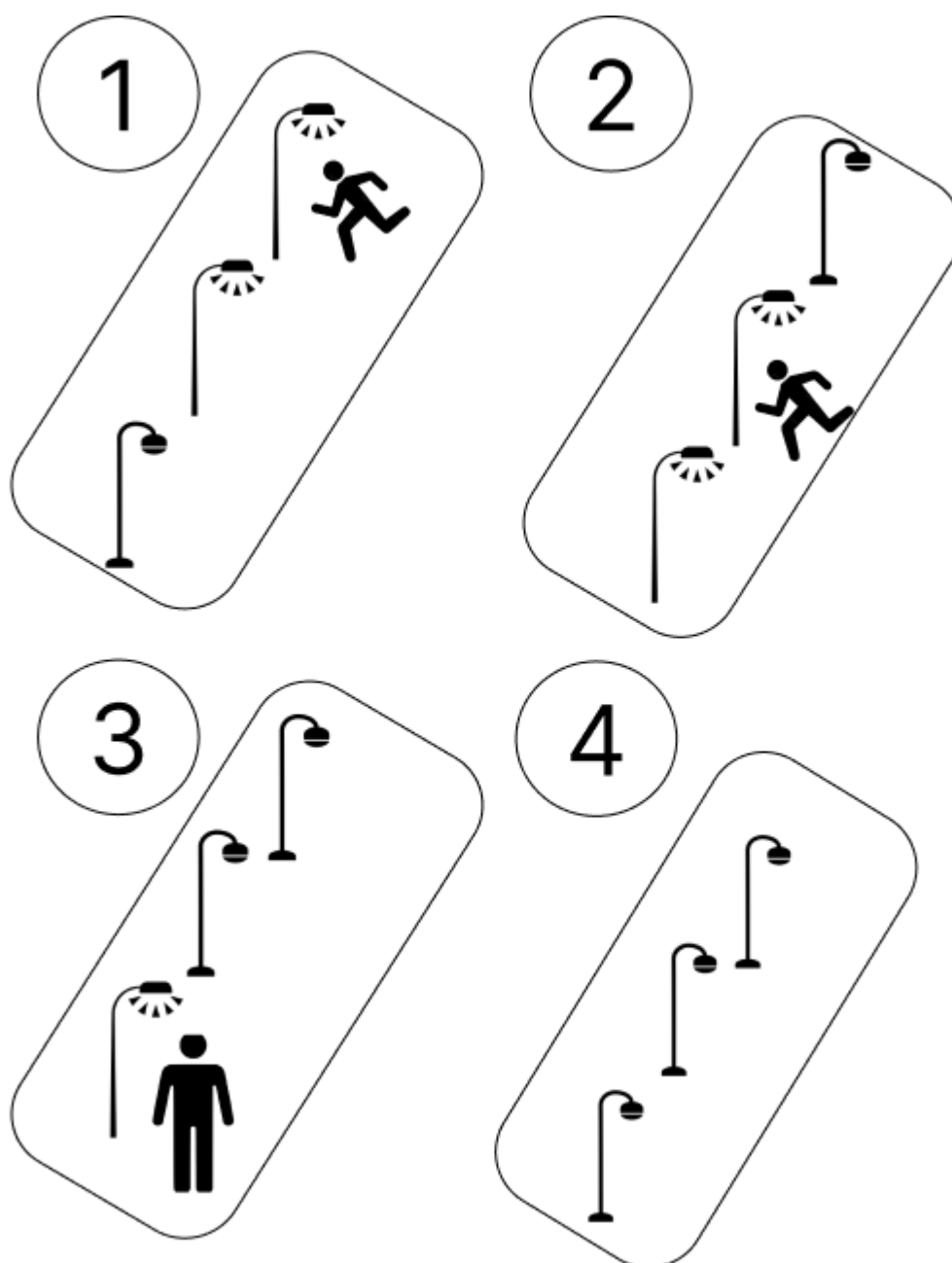


Рисунок 3.5 – Результат запропонованої розумної системи вуличного освітлення

3.3 Протокол зв'язку для інтелектуальної системи освітлення

Основною для протоколу зв'язку ми обрали ESP-NOW, розроблений компанією Espressif, який дозволяє кільком пристроям спілкуватися один з одним без використання маршрутизатора. Цей спосіб є енергоефективним і зручним. Протокол подібний до малопотужного бездротового зв'язку 2,4 ГГц, який часто використовується в бездротових комп'ютерних мишках. ESP-NOW дуже

універсальний, тому ми зможемо побудувати односторонній або двосторонній зв'язок у різних конфігураціях, наприклад:

- головний ESP8266 та підлеглий ESP8266;
- кілька головних ESP8266 та кілька підлеглих ESP8266;
- головний ESP8266 та кілька підлеглих ESP8266.

Технологія ESP-NOW – це спрощений протокол зв'язку Wi-Fi з передачею коротких пакетів між парами парних пристроїв, розроблений та випущений Espressif в 2016.07 для мікроконтролерів ESP8266 та ESP32. Додаткові процедури, пов'язані з підтримкою протоколу Wi-Fi, не використовуються, що прискорює процес обміну пакетами.

ESP-NOW може застосовуватися в Інтернеті Речей для керування інтелектуальними джерелами світла, реле, розетками, іншими пристроями дистанційного керування, отримання інформації від датчиків та інших програм.

ESP-NOW підтримує такі функції:

- зашифрований і незашифрований зв'язок між парами пар;
- змішані зашифрований та незашифрований зв'язок між сполученими пристроями;
- передача до 250 б корисної інформації;
- налаштування функції зворотного дзвінка для інформування прикладного рівня, зокрема, про успішність або збій передачі.

ESP-NOW також має такі особливості та обмеження:

- швидкість передачі – трохи більше 1 Мбіт/с частоті 2,4 ГГц, тобто. ESP-NOW працює на тій же частоті та каналах, що і ваш роутер Wi-Fi;
- протокол Wi-Fi не використовується;
- аналогічний протоколу з низьким енергоспоживанням, який використовується в бездротовій миші 2,4 ГГц;
- потрібне лише початкове сполучення;
- після сполучення з'єднання не розривається;
- ширококомовна передача не підтримується – тільки множинна роздача парам парних пристроїв;

- максимум 20 пар, включаючи зашифровані, підтримуються на одному пристрої, включаючи зашифровані пари;

- максимум 10 пар зашифрованих підтримуються в режимі Station;

- максимум 6 у режимі SoftAP або SoftAP+Station;

- шифрування багатоадресної розсилки не підтримується;

ESP-NOW застосовує технологію кадрів IEEE802.11 Action Vendor разом з функцією IE, розробленою Espressif, та технологією шифрування CCMP, реалізуючи безпечне комунікаційне рішення без встановлення з'єднання. Пристрій з Wi-Fi підтримує основний майстер-ключ (PMK) та кілька локальних майстер-ключів (LMK);

- PMK використовується для шифрування LMK за допомогою алгоритму AES-128;

- LMK парного пристрою використовується для шифрування інформації користувача методом CCMP. Максимальна кількість різних LMK – 6;

Якщо LMK для парного пристрою не заданий, дані користувача шифруватися не будуть.

На рис. 3.6 показано напрямки зв'язку за протоколом ESP-NOW у нашій системі.

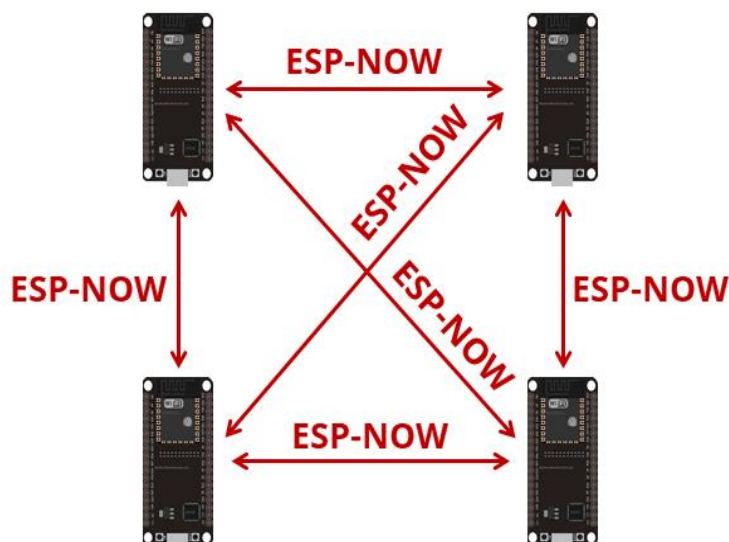


Рисунок 3.6 – ESP-NOW

3.4 Опис розробленої моделі (автомобільна частина)

Система являє собою лінію громадського вуличного освітлення, керовану автоматичним (програмованим) і ручним способом. Завдяки датчикам, якими оснащена система, можливо запрограмувати перемикання світла відповідно до таблиць ефемерид (локальний схід і захід сонця) на основі попередньо встановленого та фіксованого розкладу. Система також здатна динамічно реагувати, завдяки наявності смарт-камер, на швидкість транспортного потоку.

Система буде складатись з вуличних ліхтарів: кожен блок має ламповий блок, що складається з IP-вузла, світлодіодного драйвера та світлодіодної матричної лампи. Оскільки кожна лампа має унікальну IP-адресу, можна стежити за окремим станом і регулювати яскравість за допомогою драйвера, який має особливий інтерфейс. Кілька розумних камер надають усі дані про дорожній рух, оскільки вони здатні фіксувати не лише проїзд транспортного засобу чи пішохода, а й визначати його тип і швидкість. Уся інформація про стан і дані про споживання електроенергії потім надсилаються до концентратора, який надсилає їх до віддаленої комп'ютерної системи, яка, крім того, зберігає важливі дані про всі вуличні ліхтарі з 15-хвилинними інтервалами: завдяки програмному забезпеченню її можна запустити зворотний шлях на елементах керування, щоб пілотувати світлодіодний драйвер. Таким чином, можна отримувати телеметричні дані кожної окремої лампи та, як наслідок, надсилати команди, які можуть регулювати яскравість від 100 % до вимкненого стану. Схема розробленої системи показана на рис. 3.7.

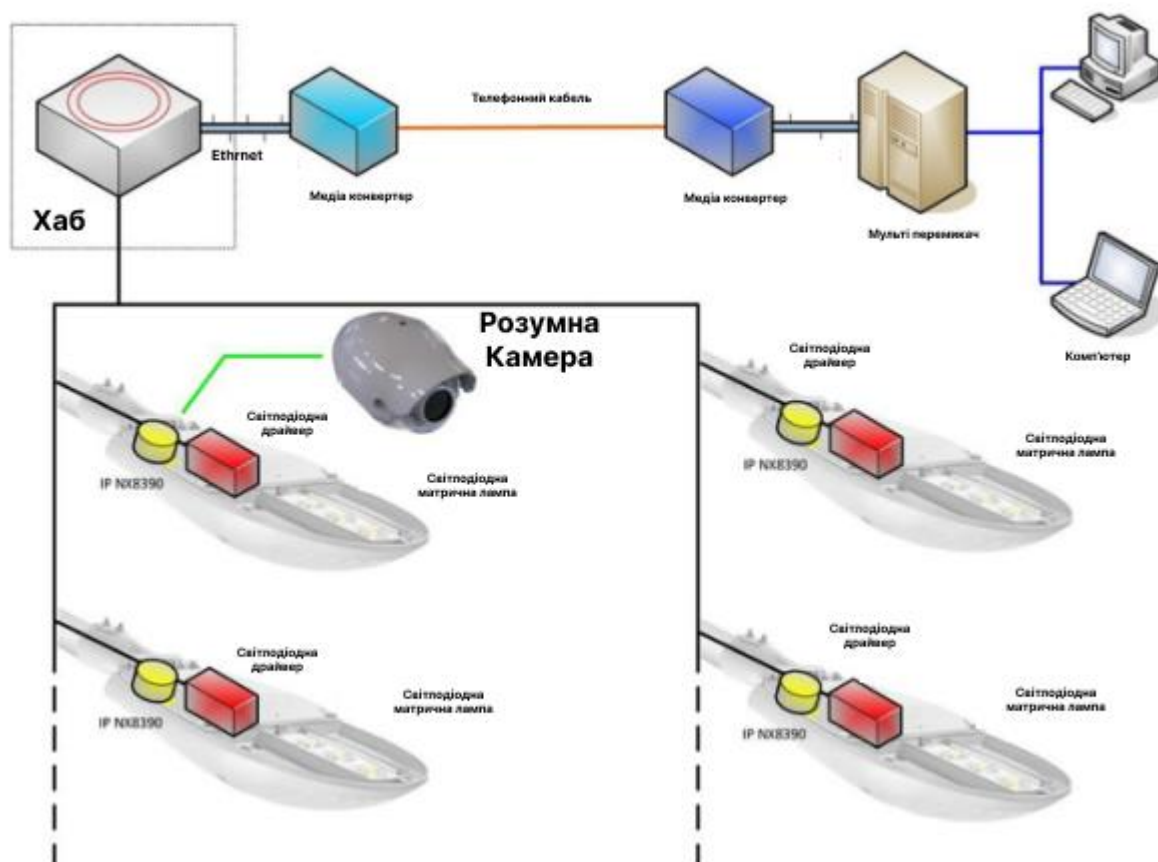


Рисунок 3.7 – Схема розробленої системи

Концентратор складається з трьох основних частин:

- PLC модем;
- повна операційна система Linux;
- Внутрішнє джерело живлення;
- PLC Modem (Power Line Communication) – це пристрій, який дозволяє передавати та приймати дані через електричну мережу низької напруги за допомогою технології мультимодуляції OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Хаб спілкується з вузлами, розташованими на освітлювальних корпусах.

Вузол зв'язку за лінією живлення (PLC) – це пристрій, який забезпечує передачу та прийом широкосмугових даних через електричну мережу низької напруги з використанням технології модуляції з кількома несучими ортогонального частотного мультиплексування (OFDM), зв'язуючись з концентратором та/або іншим вузлів. Він використовує смугу пропускання 10 МГц,

відповідним чином запрограмований так, що дозволяє керувати багатоточковим керуванням доступом до середовища (MAC) із можливістю самоповторення, щоб будь-який вузол міг розширити мережу одночасно.

Подібна система допускає самовідновлення та адаптивність мережі у відповідь на зміни, що відбуваються на фізичному носії (адаптивна реакція на зміни SNR). Пристрій також має систему виправлення помилок, яка забезпечує максимальну міцність і надійність у будь-якому середовищі електромережі, а система шифрування даних (DES, 3DES і AES) забезпечує повну безпеку передачі інформації. Вузли використовують оптимізований протокол вибору маршруту (маршрутизації). Пристрої шукають і використовують найкращу лінію з точки зору затухання та кількості повторювачів для підключення до концентратора.

Паралельно розумна камера (SmartEye) здатна ідентифікувати, залежно від контрольованої зони, потік транспортних засобів, які її перетинають, їхню швидкість, їхню стійкість у зоні інтересу та, перш за все, їхній тип. Обладнання здатне розрізняти типи транспортних засобів, наприклад автомобілі, вантажівки, мотоцикли та велосипеди: воно також здатне відстежувати пішоходів і визначати час для в'їзду та виїзду з відповідної зони. Розумна камера з відповідним програмним забезпеченням здатна ідентифікувати та записувати номерні знаки автомобіля.

Світлодіодний драйвер регулює потужність світлодіода (або ланцюгів світлодіодів) і реагує на зміну потреб світлодіодної схеми, забезпечуючи постійну кількість потужності, коли електричні властивості змінюються з температурою. Фактично джерело живлення має виходи, які відповідають електричним характеристикам того типу світлодіода, який ми збираємося контролювати безпосередньо. Пристрій може запропонувати, як і в нашому випадку, дімування (змінне керування) світлового потоку за допомогою схем широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), крім того, є більше каналів для окремого керування різними світлодіодами або масивом світлодіодів. Рівень живлення світлодіода підтримується постійним драйвером світлодіода, оскільки електричні властивості змінюються під час підвищення та зниження виявленої температури: без

правильного драйвера світлодіод може стати надто гарячим і нестабільним, що спричинить недостатню продуктивність або збій.

Світлодіодна лампа. Світлодіодний матричний світильник містить 64 окремих світлодіоди, розміщених на прямокутній панелі. Їх інтенсивність можна регулювати, дозволяючи модулювати світловий потік від нуля (вимкнено) до 100%. Загальна функціональність не порушується, навіть якщо частина світлодіодів матриці відсутня, тобто лампа продовжує подавати світло, навіть якщо не з максимальною очікуваною інтенсивністю.

Крім того, в систему наявний медіаконвертер, який є мережевим шлюзом, що забезпечує одночасний доступ з кількох місць (через Ethernet і лінію RS232) до інших інструментів і підключених до лінії RS485. Він виконує функції сервера Modbus/TCP, WEB-сервера та FTP-сервера.

Мережевий журнал (логи) – це мережевий шлюз, який додає функцію реєстрації даних (запис тенденції з часом) параметрів, отриманих пристроями, підключеними до підмережі RS485.

У фінальній частині архітектури знаходиться звичайний мультикомутатор, який керуватиме потоком даних і який потім використовує користувач, підключений до мережі: ця частина мережі виконує роль інтерфейсу зв'язку до нашої системи та від неї.

Програмне забезпечення інтерфейсу: обране класичне I/F, яке може записувати та зберігати дані та надсилати відповідні пульти дистанційного керування. Крім того, воно може витягнути з бази даних зрізи даних за запитом.

Після того як було розроблено архітектуру системи, потрібно було визначити як системи регулювання застосовують конфігурацію освітлення відповідно до статистично розрахованої швидкості транспортного потоку. У нашому випадку попередньо визначена конфігурація буде розрахована відповідно до середнього трафіку на основі 1-годинного середнього інтервалу; крім того, кожен день тижня матиме свою певну конфігурацію.

Крім того, конфігурація вихідного дня (неділі) застосовується автоматично до свята посередині тижня (громадського чи релігійного).

Для цього ми використовуємо установку TAI (Traffic Adaptive Installation) – адаптивну систему з регулюванням у реальному часі: категорія робочого освітлення обирається шляхом вибірки швидкості транспортного потоку: на рис. 3.2 пояснюється схема рішення/логіки. Погодинна швидкість транспортного потоку визначається шляхом перетворення підрахунку за період у 15 хвилин, диференційований для транспортних засобів, людей та навіть велосипедів.

Обмеження алгоритму TAI:

- для кожного періоду підрахунку можна застосовувати лише один варіант категорії освітлення;
 - зміна категорії освітлення може відбуватися лише з кроком понад 15 хв.
- Таким чином, можливо, залежно від інтенсивності транспортного потоку, знизитися від однієї до двох категорій освітлення.

3.5 Порівняльна характеристика звичайної та розробленої систем

Подібні нашій моделі були вже реалізовані у Великобританії – деякі органи місцевого самоврядування вибірково вимикають інтегрували розумну систему освітлення доріг та вуличні ліхтарі в окремих районах. Наприклад, у Йоркширі, де подібна модернізація вже заощадила близько 0,5 мільйона фунтів стерлінгів за рік роботи системи та зменшили викиди парникових газів на 3000 тонн.

У британській реалізації шаблони дорожнього руху не були явно визначені, замість цього використовуються стандартні конфігурації SUMO, такі як потік або маршрут, щоб визначити конкретний розподіл дорожнього руху. Такий підхід було виправдано, оскільки він мав на меті дослідити вплив міжавтомобільного зв'язку на транспортний потік. Однак для оцінки ефективності схем вуличного освітлення нашої моделі, нам потрібно враховувати реалістичний розподіл дорожнього руху протягом годин роботи вуличного освітлення. На рис. 3.8 показано коефіцієнт розподілу трафіку за часом для середнього трафіку у вихідні та будні дні.

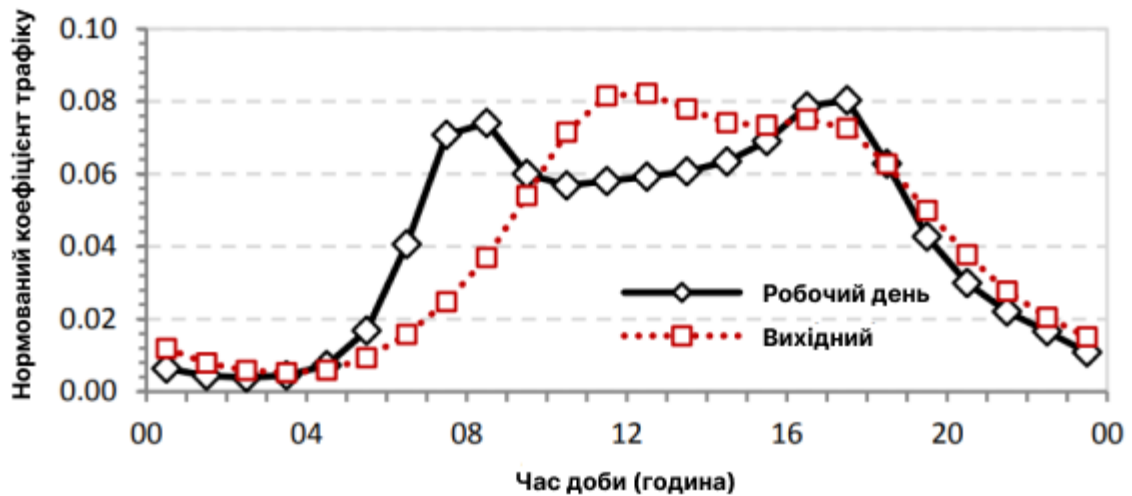


Рисунок 3.8 – Коефіцієнт розподілу трафіку за часом для середнього трафіку у вихідні та будні дні

Щоб представити розумну апроксимацію схеми дорожнього руху, пропонуємо використовувати залежний від часу коефіцієнт розподілу трафіку, показаний на рис. 3.2. Розглянуто два коефіцієнти розподілу трафіку, що представляють середні коефіцієнти трафіку в будні та вихідні дні, оскільки вони демонструють значно відмінні тенденції трафіку. Ці коефіцієнти розподілу множаться на річний середньодобовий потік трафіку (AADF) і використовуються для випадкового введення імітованих автомобілістів під час симуляції. Своєю чергою AAADF представляє середньодобову кількість транспортних засобів, що проїжджають через певну точку дорожньої мережі, на основі емпіричних даних, зібраних протягом повного року. Хоча ADF враховує лише рух транспортних засобів, пішоходи також використовують вуличні ліхтарі, тому пішохідний рух також вводиться в симуляцію. AADF з додатковим рухом пішоходів показано у формулі 3.1, і передбачається, що він має такий же розподіл, як і рух транспортних засобів.

$$AADF_{ped} = \frac{AADF}{1 - \Delta_{ped}}; 0 \leq \Delta_{ped} < 1, \quad (3.1),$$

де Δ_{ped} (%) – це додатковий склад пішохідного руху відповідно до цікавого міста.

Оскільки будні та вихідні дні мають різні інтенсивності трафіку, загальна кількість учасників дорожнього руху, залучених під час моделювання відповідно до будь-якого з цих днів, визначається як:

$$\Gamma(\theta) = \beta(\theta)AADF_{\text{ped}}, \quad (3.2),$$

де θ представляє трафік у будні або вихідні;

β – це вага трафіку за ці дні.

$\beta(\text{будній день}) = 1,13$;

$\beta(\text{вихідний}) = 0,87$.

Таким чином, загальна кількість учасників дорожнього руху, залучених протягом змодельованої години h для руху в будні або у вихідні, визначається як:

$$\Gamma(h, \theta) = \omega(h, \theta)\Gamma(\theta), \quad (3.3),$$

де $\omega(h, \theta)$ – це нормалізований коефіцієнт трафіку в годину h на θ (3.2).

Щоб додати імітованого пішохода чи автомобіліста в наші розрахунки, кожен із цих учасників дорожнього руху має бути пов'язаний із правильним шляхом, який визначає маршрут, яким він подорожує під час симуляції. Для цього можна використовувати комп'ютерні симуляції, а саме Eclipse SUMO та його спеціальні плагіни (randomTrip.py і dualItera.py) [8].

Однак ці шляхи будуть визначені чисельно і не призначені ні для пішоходів, ні для автомобілістів. Для перетворення цих випадкових шляхів у зручний для використання формат було використано MiXiM фреймворк, який також дозволяє аналізувати ефективність схем вуличного освітлення разом з різними мережами бездротового зв'язку. Оскільки продуктивність цих комунікаційних мереж чутлива до простору, їх оцінка вимагає знання реальних топологій вуличного освітлення.

Топологія отримана за допомогою OpenStreetMap і JOSM. OpenStreetMap – це безкоштовна карта світу, яку можна редагувати спільноту, а JOSM – це редактор карт для OpenStreetMap. Дані з OpenStreetMap використовуються в

нашій карті як вихідна карта для дорожньої мережі та створення випадкових шляхів. Однак, для того, щоб використовувати OpenStreetMap ефективно потрібне вдосконалення даних стосовно ідентифікації відносного розташування вуличних ліхтарів у топології. Залежно від сценарію моделювання до даних можна буде додати додаткові пішохідні доріжки, щоб імітувати рух пішоходів, відмінний від руху транспортних засобів. Саме ці вдосконалення можна виконати за допомогою JOSM [7].

Щоб оцінити енергоефективність схем вуличного освітлення використовуємо формулу. Ця модель припускає, що споживання енергії вуличного освітлення прямо пропорційне його вихідній освітленості, напр. коли вихід освітлення вуличного освітлення встановлено на 80%, споживання енергії вуличного освітлення також зменшується до 80% на основі його максимальної потужності P_{max} .

$$e(N) = \sum_{n=0}^N P_{max} \varphi T \quad (3.4),$$

де $e(N)$ – енергія, споживана вуличним ліхтарем після N дискретних кроків у часі;

φ – вихідна потужність вуличного ліхтаря (%);

P_{max} – максимальна номінальна потужність джерела світла (Вт);

T – тривалість за один часовий крок n .

Так, щоб переконатися, що описані операції точно реалізовані, виконується ряд перевірок. Однак через обмеження даної включено лише варті уваги результати: модель дорожнього руху, енергетична модель.

Для перевірки моделі дорожнього руху в нашій моделі використовуються п'ять різних значень AADF: 180, 438, 1347, 3508 і 6554 транспортних засобів на день. Ці значення ADF представляють мінімальне, 1-й квантиль, медіану, 3-й квантиль і максимальне значення AADF відповідно для житлових доріг у Києві.

Щоб запровадити пішохідний рух, $\Delta ped = 0,14$ також включається під час перевірки. На рис. 3.9 показані результати моделювання, що показують розподіл трафіку з використанням значення AADF 3508 транспортних засобів на день

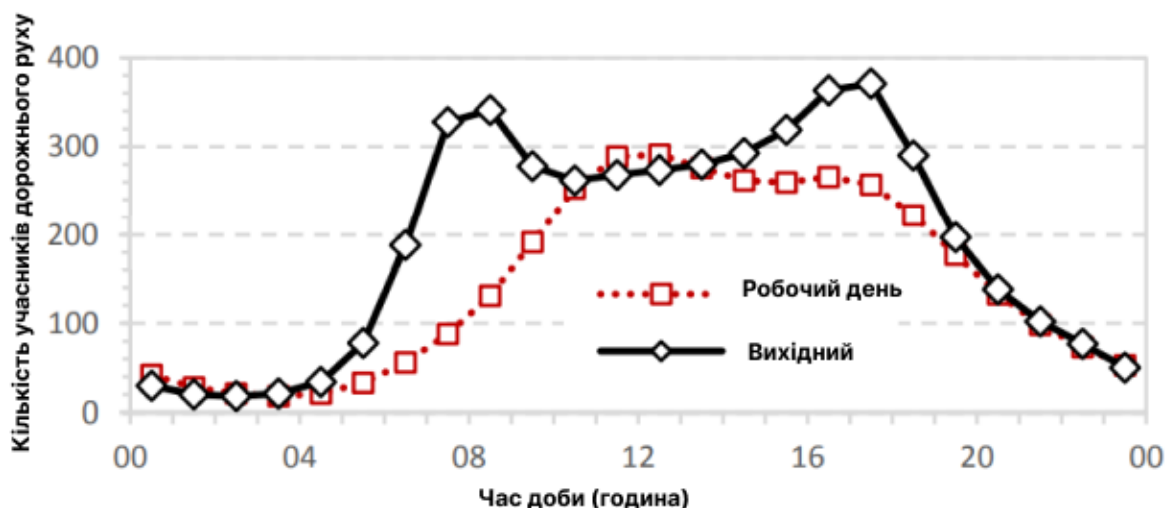


Рисунок 3.9 – Результати моделювання, що показують розподіл трафіку з використанням значення AADF 3508 транспортних засобів на день

На рис. 3.9 показано розподіл трафіку, коли модель перевірено з 3508 автомобілями на день і $\Delta ped = 0,14$. Цей профіль відповідає трендам, визначеним на рис. 3.9.

Енергетична модель перевірена з використанням 112 вуличних ліхтарів. Ці вуличні ліхтарі працюють з 16:00 до 07:00 наступного дня, що є одним із найдовших робочих годин вуличного освітлення протягом зимових місяців в Україні. Передбачається, що всі вуличні ліхтарі будуть оснащені світлодіодними модулями потужністю 25 Вт. Відповідно загальне споживання енергії схемами освітлення звичайним методом буде становити 44,8 кВт-год і 28,8 кВт-год – після імплантації нашої моделі. Ці результати підтверджуються чисельно за допомогою рівняння 3.4.

На рис. 3.10 наведено результати енергоспоживання всіх вуличних ліхтарів при роботі на звичайних і оптимізованих схемах освітлення (перший стовпчик – ранок, другий – вечір). Споживання енергії традиційною схемою освітлення

залишається постійним протягом різних змодельованих годин, тоді як наша модель коливається відповідно до налаштованої конфігурації, описаної у розділі вище.

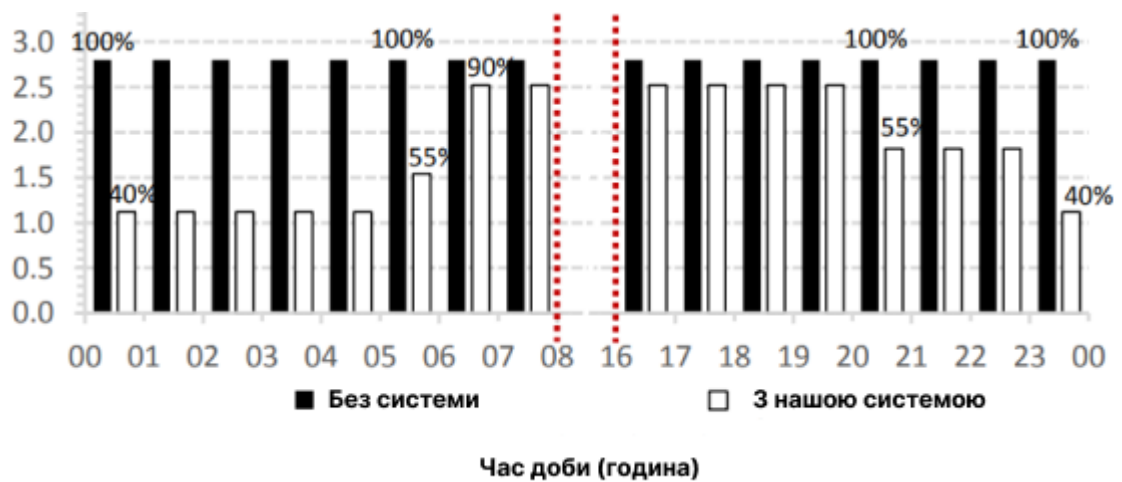


Рисунок 3.10 – Споживання енергії звичайними схемами освітлення та розробленої схемою у різні години роботи вуличного освітлення, а також їх різниця у відсотках

3.6 Висновки до розділу 3

У даному розділі була спроектована інтелектуальна система освітлення. Було запропоноване технічне рішення та вибрано протокол зв'язку ESP-NOW. Це спрощений протокол зв'язку Wi-Fi з передачею коротких пакетів між парами парних пристроїв, розроблений та випущений Espressif в 2016.07 для мікроконтролерів ESP8266 та ESP32.

Для передачі інформації був використаний PLC Modem (Power Line Communication) – це пристрій, який дозволяє передавати та приймати дані через електричну мережу низької напруги за допомогою технології мультимодуляції OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Вузол зв'язку за лінією живлення (PLC) – це пристрій, який забезпечує передачу та прийом широкосмугових даних через електричну мережу низької напруги з використанням технології модуляції з кількома несучими

ортогонального частотного мультиплексування (OFDM), зв'язуючись з концентратором та/або іншим вузлів.

Також була описані автомобільна та пішохідна частина розробленої моделі, а також наведена порівняльна характеристика звичайної системи освітлення та розробленої.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Організаційні основи охорони праці

Охорона праці – найважливіша державна задача, в її основі лежить турбота про здоров'я і життя розробників. Метою охорони праці на підприємствах є зниження і ліквідація виробничого травматизму і професійних захворювань на основі заходів, що включають систему законодавчих актів, соціально-економічних, організаційно-технічних і лікувально-профілактичних методів і засобів, що забезпечують безпеку праці і підтримку працездатності людини на високому рівні.

Охорона праці водночас вирішує два основних завдання. Одне з них – інженерно-технічне – передбачає запобігання небезпечним подіям під час трудового процесу шляхом:

- заміни небезпечних матеріалів менш небезпечними, – переходу на нові технології, які зменшують ризик травмування і захворювання;
- проектування і конструювання устаткування з урахуванням вимог безпеки праці;
- розробки засобів індивідуального та колективного захисту.

Друге – соціальне – пов'язане з відшкодуванням матеріальної, моральної чи соціальної шкоди, завданої внаслідок нещасного випадку або професійного захворювання, тобто це захист працівника та його прав. Виходячи з поставлених перед нею завдань, охорона праці, ґрунтуючись на правових та організаційних основах, вирішує питання виробничої санітарії, виробничої та пожежної безпеки.

Структурно охорона праці включає у себе:

- правові та організаційні основи охорони праці;
- фізіологію, гігієну праці та виробничу санітарію;
- виробничу безпеку;
- пожежну безпеку та профілактику на виробництві.

З наведеної на рис. 4.1 структурної схеми охорони праці видно, що правові та організаційні основи охорони праці є тією базою, яка забезпечує соціальний захист працівників і на якій будуються санітарно-гігієнічна та інженерно-технічна складові охорони праці.

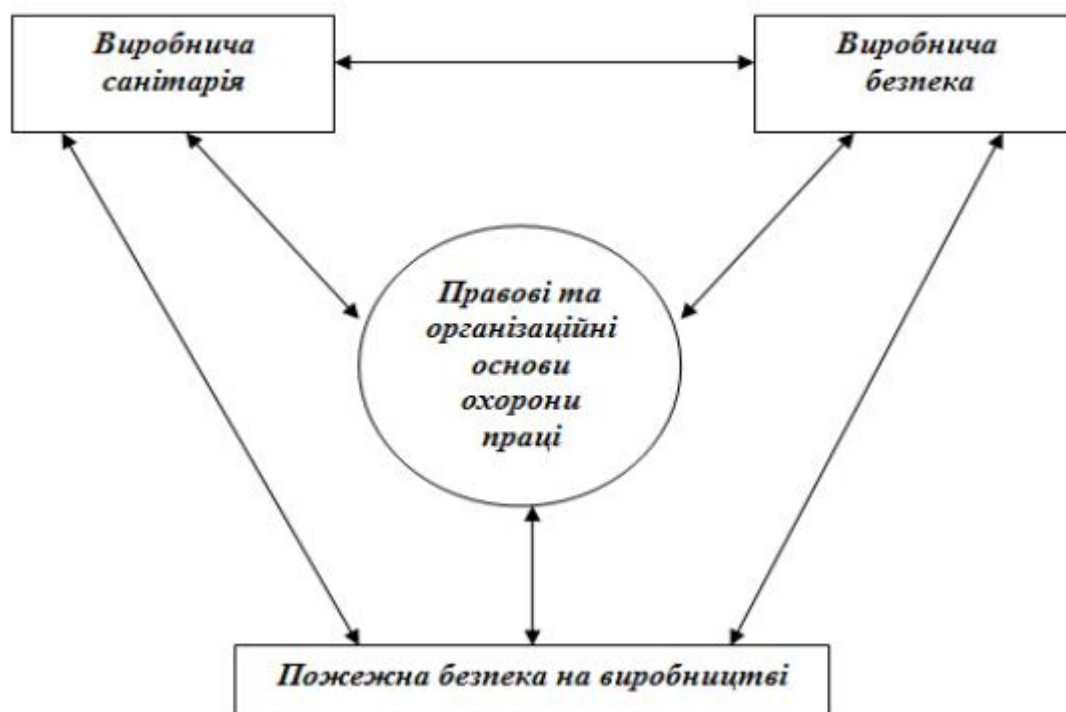


Рисунок 4.1 – Структурна схема охорони праці

4.2 Аналіз виробничого травматизму на підприємстві та у навчальних лабораторіях

Аналіз виробничого травматизму дозволяє не лише виявити причини, а визначити закономірності їх виникнення. На основі такої інформації розробляються заходи та засоби щодо профілактики травматизму. Для аналізу виробничого травматизму застосовують багато різноманітних методів, основні з яких можна поділити на такі групи: статистичні, топографічні, монографічні, економічні, анкетування, ергономічні, психофізіологічні, експертних оцінок та інші.

Статистичні методи основані на аналізі статистичного матеріалу по травматизму, який накопичений на підприємстві або в галузі за кілька років.

Відповідні дані для цього аналізу містяться в актах за формою Н-1 і в звітах за формою №7-ТНВ. Статистичний метод дозволяє всі нещасні випадки і причини травматизму групувати за статтю, віком, професіями, стажем роботи потерпілих, часом, місцем, типом нещасних випадків, характером одержаних травм, видом обладнання. Цей метод дозволяє встановити по окремих підприємствах найпоширеніші види травм, визначити причини, які спричиняють найбільшу кількість нещасних випадків, виявити небезпечні місця, розробити і провести необхідні організаційно-технічні заходи.

Кількісний показник травматизму, або показник частоти нещасних випадків K_q , розраховується на 1000 працюючих:

$$K_q = 1000 \cdot n/P, \quad (4.1)$$

де n – кількість нещасних випадків за звітний період із втратою працездатності на 1 і більше днів;

P – середньоспискова чисельність працюючих за той же звітний період часу.

Якісний показник травматизму, або показник важкості нещасних випадків K_{ϵ} , характеризує середню втрату працездатності в днях на одного потерпілого за звітний період:

$$K_{\epsilon} = D/n, \quad (4.2)$$

де D – загальна кількість днів непрацездатності у потерпілих для випадків із втратою працездатності на 1 і більше днів.

Узагальнюючим показником, який показує кількість людино-днів непрацездатності на 1000 працюючих, є коефіцієнт виробничих втрат:

$$K_{\epsilon\epsilon} = K_q \cdot K_m = 1000 D/P. \quad (4.3)$$

Але жоден із вищенаведених показників не враховує стійкої втрати працездатності та смерті працівників, і тому не може повністю характеризувати рівень травматизму. Для цього необхідне використання принаймні ще одного показника. Таким показником є коефіцієнт нещасних випадків із смертельним наслідком та каліцтвом:

$$K_{ск} = (n_{ск}/n) \cdot 100 \%, \quad (4.4)$$

де $n_{ск}$ – кількість нещасних випадків, що призвели до смерті і каліцтва;
 n – загальна кількість нещасних випадків.

Міжнародна організація праці використовує коефіцієнт частоти, який показує кількість нещасних випадків, що припадає на 1000000 відпрацьованих людино-годин:

$$K_{ч} \text{ МОП} = 1000000 \cdot n/T, \quad (4.5)$$

де T – загальний час роботи, людино-годин.

Вищенаведені та інші показники, наприклад коефіцієнт електротравматизму, дозволяють вивчати динаміку травматизму на підприємстві, в галузі, регіоні тощо, порівнювати ці показники, робити певні висновки, застосовувати організаційні заходи, спрямовані на профілактику травматизму.

ВИСНОВКИ

Отже, у цій роботі ми запропонували розумну систему вуличного освітлення, на основі якої описали технології обміну даними у концепції smart-city. Запропонована система виглядає ефективною та може керувати кількома користувачами одночасно, вона також дешева та гарантує безпеку та надійність протягом тривалого часу.

Безпосередньо хочеться виділити саме протокол зв'язку ESP-NOW, який відкриває нові горизонти для розвитку систем розумного освітлення завдяки своїй швидкості, великому радіусу дії, а також низькій вартості. Якщо поєднати цю технологію зі штучними нейронними мережами (ШНМ), які використовуються для підтримки регулювання потужності та скорочення більшої частини споживання енергії та витрат, то ми зможемо розробити ефективну систему управління живленням для регулювання потоку електроенергії.

Крім того, враховуючи, що ШНМ зазвичай використовує вхідні дані для навчання комплексних процесів (реакція на дощі, перепади температури, рівень хмарності, атмосферний тиск тощо), розроблена система буде здатна виконувати прогностичні функції, які допомагають регулювати інтенсивність світла протягом дня.

Майбутні дослідження в цій галузі будуть концентруватись на методі підвищення ефективності системи шляхом зниження інтенсивності світла залежно від автентичного середовища. Ці засоби допоможуть ще більше зменшити витрати на енергію. Що стосується фактичної роботи пристрою, то ідею необхідно буде перевірити на практиці. Якщо все пройде згідно з нашими розрахунків, то система буде готова до майбутнього розширення в містах дуже швидко та дешево.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Панченко О. О. Технологія обміну даними в інфраструктурі Smart-City / О. О. Панченко // Виробництво & Мехатронні Системи 2022: матеріали VI-ї Міжнародної конференції, Харків, 21-22 жовтня 2022 р. – С. 105-109.

2. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 172 Телекомунікації і радіотехніка, освітньо-професійної програми «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки», / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, Ю. М. Олександров, Р. В. Артюх, Є. А. Разумов-Фризьок, О. О. Чала. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 51 с.

3. Navigant Research Leaderboard: Smart City Suppliers. – Navigant Research, 2018. – Режим доступу: <https://www.navigantresearch.com/research/navigant-research-leaderboard-smart-city-suppliers>.

4. Connected Urban Development. Cisco. – Режим доступу: <https://www.cisco.com/c/en/us/about/consulting-thoughtleadership/what-we-do/industry-practices/public-sector/our-practice/urban-innovation/connected-urbandevelopment/cud-globalconference-amsterdam-september-2018/final.html>.

5. Яшкина О., & Балдинская О. (2018). Маркетинговое исследование потенциала рынка и системы «умный дом». Молодой ученый, 10 (62), 904-908.

6. Smarter Cities Challenge. – IBM. – Режим доступу: <https://www.smartercitieschallenge.org>.

7. Жарікова І. В., Переясловець М. С., Шматко С. В. Дослідження методів підвищення ефективності роботи електропостачальних систем // Proceedings of the 5th International scientific and practical conference «Topical issues of modern science, society and education». – Kharkiv, Ukraine, 28-30 November 2021. – PP. 473-477.

8. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. – Sustainable Development Goals, Knowledge Platform. – Режим доступу: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2019/transformingourworld>.

9. Bortnikova, Vladyslav Yevsieiev, Iryna Botsman, Igor Nevliudov, Kostiantyn Kolesnyk, Nazariy Jaworski. Queries classification using machine learning for implementation in intelligent manufacturing // Chapter 6 in Monograph «Methods and tools in CAD – selected issues». – Białystok (Poland): Publishing House of Bialystok University of Technology. – 2021. – PP. 63-74.

10. Igor Nevliudov, Iryna Botsman, Olena Chala, Kirill Khrustalev. Automated System Development for the Printed Circuit Boards Optical Inspection Using Machine Learning Methods // Proceedings of the 10-th International Scientific and Technical Conference «Information systems and technologies (IST-2021)». – Odesa, September 13-19, 2021. – PP. 234-238.

11. Nevliudov I. Sh. Improvement of the commutation system for a mobile robot platform using polyimide structures / Nevliudov I., Zharikova I., Bronnikov A. // Eurasian scientific discussions. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference (May 8-10, 2022), Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. – 2022. – PP. 157-163.

12. V. Bortnikova, V.Yevsieiev, V.Beskorovainyi, I. Nevliudov, I. Botsman and S. Maksymova, "Structural parameters influence on a soft robotic manipulator finger bend angle simulation", 2019 15th Int. Conf. Exp. Des. Appl. CAD Syst. CADSM 2019, pp. 35-38, 2019.

13. Elsaygher Mohamed S. A., AlShalfan K. A. Intelligent traffic management system based on the internet of vehicles (ioV). Journal of advanced transportation. 2021. Vol. 2021. P. 1–23. URL: <https://doi.org/10.1155/2021/4037533> (date of access: 24.11.2022).

14. Min S.-J., Yi S.-Y. An efficient corner detection and matching algorithm for 2D LIDAR data. Journal of institute of control, robotics and systems. 2021. Vol. 27, no. 1. P. 32–36. URL: <https://doi.org/10.5302/j.icros.2021.20.0159> (date of access: 24.11.2022).

15. Охорона праці в дипломних проектах. - КІІ ім. Ігоря Сікорського, 2019, - 29 с. URL: <http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/05/DP-FBMI2019-%D0%BE%D0%BA.pdf>.

16. OpenStreetMap. OpenStreetMap. URL: <https://www.openstreetmap.org> (date of access: 24.11.2022).

17. Simulation of Urban MObility. Eclipse SUMO. URL: <https://www.eclipse.org/sumo/> (date of access: 24.11.2022).

18. Suvorova K. I., Gurakova L. D. Current lighting systems as energy conservation resource. Municipal economy of cities. 2018. Vol. 7, no. 146. P. 121–126. URL: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2018-7-146-121-126> (date of access: 24.11.2022).

ДОДАТОК А

ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ