

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ФАХОВИЙ БІЗНЕС-КОЛЕДЖ
Циклова комісія комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕРЕЖЕВИХ РІШЕНЬ ДЛЯ «РОЗУМНОГО МІСТА»
(SMART CITY)

Виконала: студентка групи 1К-22

Спеціальності

123 Комп'ютерна інженерія

Діана ДЕМ'ЯНЕНКО

Керівник:

Павло РАТАЙЧУК

Черкаси 2026

ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ФАХОВИЙ БІЗНЕС-КОЛЕДЖ
Циклова комісія комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Освітня програма Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка циклової комісії КІ та ІТ
Наталя ФАЛЬЧЕНКО

«_____» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Дем'яненко Діана Вікторівні

1. Тема кваліфікаційної роботи Дослідження мережевих рішень для «Розумного міста» (Smart City)

Керівник роботи Ратайчук Павло Єгорович, викладач вищої категорії
затверджені наказом закладу фахової перед вищої освіти від «6» жовтня 2025 року № 84/1-у.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 08.06.2026

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи наукова та технічна література з тематики Smart City, мережевих технологій та IoT; характеристики мережевого обладнання Cisco; протоколи передачі даних MQTT, CoAP, HTTP/HTTPS; програмне середовище Cisco Packet Tracer; моделі мережевої інфраструктури розумного міста; засоби аналізу та забезпечення інформаційної безпеки мереж Smart City.

4. Зміст кваліфікаційної роботи дослідження концепції та основних складових систем «розумного міста»; аналіз архітектури та рівнів організації мережевої інфраструктури Smart City; дослідження сучасних мережевих технологій та протоколів передачі даних; аналіз методів забезпечення інформаційної безпеки; огляд світового досвіду впровадження Smart City; проектування мережевої інфраструктури розумного міста; порівняння дротових та бездротових технологій зв'язку; економічне обґрунтування впровадження систем Smart City; розробка та моделювання мережі «розумного міста» у Cisco Packet Tracer; побудова серверної інфраструктури та систем автоматизації IoT; тестування працездатності та оцінка ефективності створеної моделі.

5. Дата видачі завдання 15.09.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів	Примітка про виконання
1	Вступ	14.10.2025	
2	Розділ 1 Концепція та технологічна база систем «розумного міста»	09.12.2025	
3	Розділ 2 Аналіз мережевої інфраструктури та перспективи її розвитку	10.03.2026	
4	Розділ 3 Практична реалізація мережевого рішення “розумного міста”	28.04.2026	
5	Висновки	12.05.2026	
6	Оформлення кваліфікаційної роботи (чистовий варіант)	20.05.2026	
7	Перевірка кваліфікаційної роботи на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту)	05.06.2026	
8	Подання кваліфікаційної роботи на затвердження завідувачу ЦК (за 7 днів до захисту)	08.06.2026	

Студент

Діана ДЕМ'ЯНЕНКО

Керівник роботи

Павло РАТАЙЧУК

АНОТАЦІЯ

У роботі розглянуто теоретичні та практичні аспекти побудови мережевої інфраструктури систем «розумного міста» (Smart City). Досліджено концепцію Smart City, основні напрямки її розвитку, архітектурні особливості та сучасні мережеві технології, що забезпечують функціонування інтелектуальних міських сервісів. Проаналізовано протоколи передачі даних, засоби взаємодії IoT-пристроїв та механізми забезпечення інформаційної безпеки в мережах розумного міста.

Виконано аналіз існуючих світових практик впровадження Smart City, визначено вимоги до мережевої інфраструктури та проведено порівняння дротових і бездротових технологій зв'язку. Обґрунтовано доцільність використання комбінованого підходу до побудови міських мереж з урахуванням потреб сучасної інфраструктури.

Практична частина роботи присвячена розробці та моделюванню мережевого рішення «розумного міста» у середовищі Cisco Packet Tracer. Реалізовано підсистеми інтелектуального освітлення, транспортного управління, відеоспостереження, екологічного моніторингу та сервісів Інтернету речей. Проведено налаштування мережевого обладнання, серверних служб і механізмів автоматизації, а також виконано тестування працездатності створеної моделі.

Отримані результати підтверджують ефективність запропонованого підходу до організації мережевої інфраструктури Smart City та можливість його використання для проєктування сучасних інтелектуальних міських систем.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: SMART CITY, МЕРЕЖЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ, МЕРЕЖЕВА ІНФРАСТРУКТУРА, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, CISCO PACKET TRACER, ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ІОТ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ.

ABSTRACT

This paper considers the theoretical and practical aspects of building network infrastructure for Smart City systems. The Smart City concept, its main development directions, architectural features, and modern networking technologies that ensure the operation of intelligent urban services are studied. Data transmission protocols, IoT device communication methods, and information security mechanisms within Smart City networks are analyzed.

A review of existing global Smart City practices was conducted, key requirements for network infrastructure were identified, and a comparison of wired and wireless communication technologies was performed. The feasibility of using a hybrid approach to urban network design, considering the needs of modern city infrastructure, is substantiated.

The practical part of the study is devoted to the development and simulation of a Smart City network solution in the Cisco Packet Tracer environment. Intelligent lighting, traffic management, video surveillance, environmental monitoring, and Internet of Things services were implemented. Network equipment, server services, and automation mechanisms were configured, and the functionality of the developed model was tested.

The obtained results confirm the effectiveness of the proposed approach to organizing Smart City network infrastructure and demonstrate its potential application in the design of modern intelligent urban systems.

KEYWORDS: SMART CITY, NETWORK TECHNOLOGIES, NETWORK INFRASTRUCTURE, INTERNET OF THINGS, CISCO PACKET TRACER, INFORMATION SECURITY, AUTOMATION, IOT, INTELLIGENT URBAN SYSTEMS.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1 КОНЦЕПЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНА БАЗА СИСТЕМ «РОЗУМНОГО МІСТА»	5
1.1 Концепція, мета та основні складові напрямки Smart City.....	5
1.2 Архітектурна модель та рівні організації міської інфраструктури.....	7
1.3 Аналіз сучасних мережевих технологій у середовищі розумного міста.....	10
1.4 Протоколи передачі даних та методи взаємодії інтелектуальних пристроїв	11
1.5 Забезпечення інформаційної безпеки в мережах Smart City	13
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ РОЗВИТКУ	15
2.1 Світовий досвід та існуючі рішення у сфері Smart City.....	15
2.2 Вимоги до мережевої інфраструктури.....	16
2.3 Проєктування мережі для міста.....	18
2.4 Порівняння дротових і бездротових технологій.....	20
2.5 Економічне обґрунтування впровадження	23
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕРЕЖЕВОГО РІШЕННЯ «РОЗУМНОГО МІСТА»	25
3.1 Опис топології Smart City у Cisco Packet Tracer для розширеної моделі.....	25
3.2 Побудова базової мережевої інфраструктури та маршрутизації	26
3.3 Серверне забезпечення та логіка автоматизації IoT.....	29
3.4 Функціонування інтелектуальної транспортної системи та освітлення	30
3.5 Система громадської безпеки та екологічного моніторингу.....	32
3.6 Організація побутового, медичного та громадського просторів	33
3.7 Захист інформації та методика тестування моделі.....	35
ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46

ВСТУП

У сучасному світі міста стають усе більш технологічними. Кількість транспорту, людей і різних сервісів постійно зростає, тому виникає потреба в ефективному управлінні міськими ресурсами. Саме тому з'являється концепція «розумного міста» (Smart City), яка передбачає використання сучасних інформаційних і мережевих технологій для покращення якості життя людей.

Актуальність теми полягає в тому, що сьогодні багато міст у світі активно впроваджують розумні технології: автоматичне керування освітленням, розумні світлофори, системи відеоспостереження, контроль екології та інші рішення. Усі ці системи працюють завдяки мережевим технологіям, які забезпечують передачу та обробку даних. Без надійної мережевої інфраструктури неможливе функціонування жодної системи Smart City.

Метою даної роботи є дослідження мережевих технологій, що використовуються в системах «розумного міста», а також розробка власної моделі такої мережі з використанням сучасних інструментів моделювання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- розглянути поняття та основні складові «розумного міста»;
- дослідити архітектуру мережевої інфраструктури;
- проаналізувати сучасні мережеві технології та протоколи передачі даних;
- вивчити питання інформаційної безпеки;
- проаналізувати існуючі рішення Smart City у світі;
- розробити та змодельовати мережу «розумного міста»;
- оцінити ефективність створеного рішення.

Об'єктом дослідження є системи «розумного міста», які використовують мережеві технології для збору, передачі та обробки інформації.

Предметом дослідження є мережеві технології та інфраструктура, що забезпечують роботу систем Smart City.

Практичне значення роботи полягає в тому, що розроблена модель мережі може бути використана як приклад для створення або вдосконалення систем «розумного міста», а також у навчальному процесі для кращого розуміння принципів роботи сучасних мереж.

Таким чином, дослідження мережевих технологій у системах Smart City є важливим і актуальним напрямком, який сприяє розвитку сучасних міст і підвищенню якості життя населення.

Апробація результатів дослідження була здійснена в межах XVIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Тенденції розвитку ІТ-технологій в Україні» .

РОЗДІЛ 1 КОНЦЕПЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНА БАЗА СИСТЕМ «РОЗУМНОГО МІСТА»

1.1 Концепція, мета та основні складові напрямки Smart City

Розумне місто - це місто, у якому сучасні технології та інтелектуальні системи використовуються для того, щоб зробити життя мешканців більш зручним, безпечним та ефективним. Його головна мета - оптимізація міських процесів, економія ресурсів та покращення якості життя людей. У такому місті повсякденні операції, такі як управління транспортом, освітленням, водопостачанням чи безпекою, можуть частково або повністю автоматизуватися, що дозволяє мешканцям витратити менше часу на рутинні справи.

Однією з ключових ідей розумного міста є інтеграція технологій в інфраструктуру. Це означає, що датчики, камери, лічильники та інші пристрої збирають дані в режимі реального часу, а спеціальні системи обробляють цю інформацію і приймають рішення. Наприклад, датчики руху можуть контролювати вуличне освітлення: світло вмикається тільки там і тоді, де є люди, що значно економить електроенергію. Світлофори можуть змінювати сигнали залежно від кількості автомобілів, що дозволяє зменшити затори на дорогах.

Розумне місто складається з кількох основних напрямків та систем, які взаємодіють між собою. Схема функціональних підсистем розумного міста та їх взаємозв'язок зображені на рис.1.1. Кожна із підсистем має свої ключові складові та виконує свою функцію.

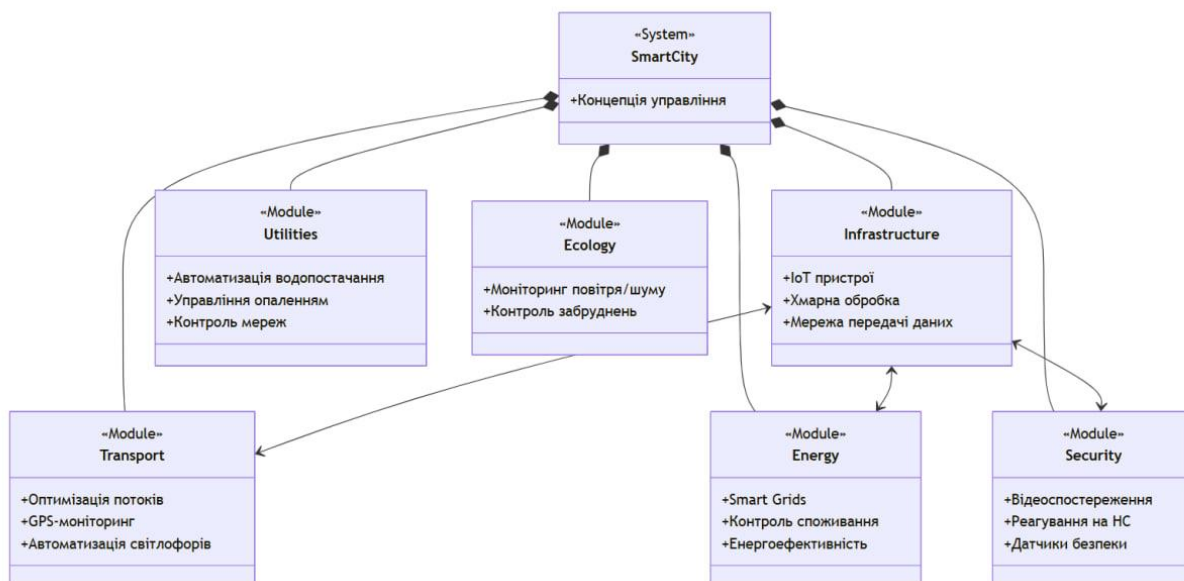


Рисунок 1.1 – Ключові функціональні підсистеми системи «розумного міста»

Модуль «Транспорт» включає автоматизовані світлофори, системи моніторингу руху громадського транспорту, контроль за паркуванням та інформаційні табло для водіїв. Такі системи допомагають зменшити затори, знизити рівень забруднення та скоротити час у дорозі.

В модулі «Енергетика» застосовуються розумні лічильники, системи контролю споживання електроенергії та автоматизації освітлення та опалення. Це дозволяє економити ресурси та зменшувати витрати на енергопостачання.

Модуль «Безпека» включає інтегровані системи відеоспостереження, датчики пожежної та газової безпеки, системи оповіщення населення. Розумне місто може швидко реагувати на надзвичайні ситуації, повідомляючи відповідні служби та мешканців [1].

Модуль «Комунальні послуги» включає в себе автоматизацію водопостачання, теплопостачання, систем вивезення сміття та очищення стоків. Системи можуть самостійно повідомляти про необхідність технічного обслуговування або поповнення ресурсів.

Модуль «Екологія та довкілля» містить в собі датчики контролю якості повітря, рівня шуму та забруднення води дозволяють відстежувати стан навколишнього середовища і швидко реагувати на проблеми.

На прикладі світового досвіду можна побачити ефективність таких систем. У Барселоні датчики контролюють освітлення вулиць та паркувальні місця, що дозволяє економити енергію та скоротити витрати часу водіїв. У Сінгапурі застосовуються системи моніторингу дорожнього руху та безпеки, які допомагають уникати аварій та оптимізувати транспортні потоки. У Києві впроваджуються електронні сервіси для громадян, відеоспостереження та автоматизовані системи контролю комунальної інфраструктури [2].

Розумне місто також допомагає у прийнятті рішень на основі даних. Зібрані дані аналізуються, і на їх основі можна прогнозувати проблеми та планувати розвиток міста. Наприклад, система може визначати, де потрібні нові автобусні маршрути, або передбачати місця з підвищеною концентрацією забруднення повітря.

Таким чином, розумне місто - це система, де технології працюють на користь людей, економлять ресурси та підвищують якість життя. Воно об'єднує транспорт, енергетику, безпеку, комунальні послуги та екологію, створюючи середовище, у якому люди можуть жити комфортно, безпечно та зручно.

1.2 Архітектурна модель та рівні організації міської інфраструктури

Щоб розумне місто працювало ефективно, його інфраструктура має бути організованою та складатися з кількох рівнів, які взаємодіють між собою. Кожен рівень виконує важливу функцію, і лише при правильній взаємодії всіх частин система працює стабільно (див. рис 1.2).

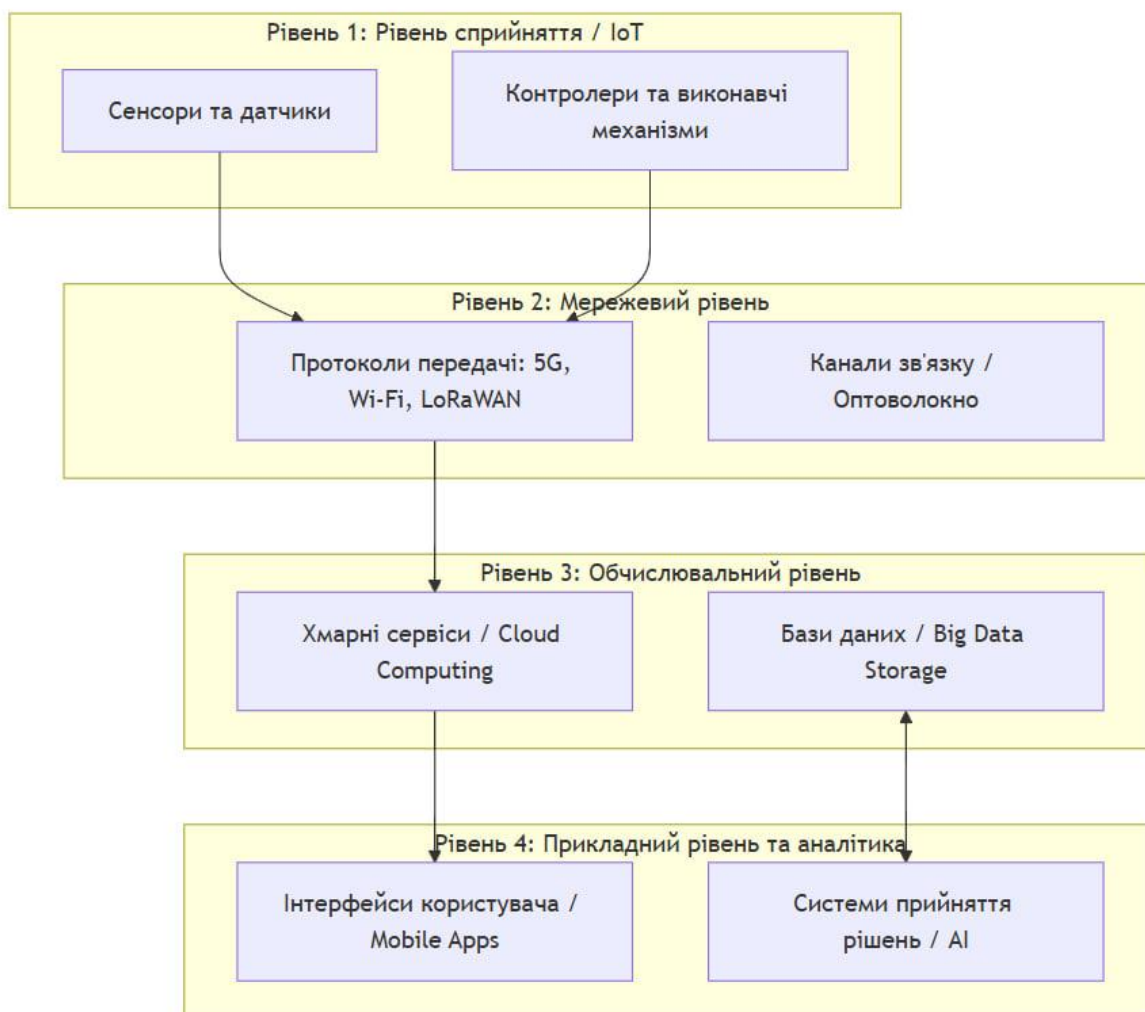


Рисунок 1.2 – Модель архітектури Smart City

Рівень датчиків і сенсорів забезпечує збір даних про стан навколишнього середовища та функціонування міської інфраструктури. Такі пристрої виконують роль основних засобів сприйняття інформації в системі «розумного міста», фіксуючи присутність людей і транспортних засобів, зміни освітленості, температури, рівня шуму, а також показники забруднення повітря чи води. Датчики працюють автономно або в складі великих мережевих систем. Наприклад, у Барселоні датчики паркувальних місць повідомляють водіям через мобільний додаток, де є вільні місця, що дозволяє зменшити затори та забруднення повітря [3].

Мережа передачі даних забезпечує швидку, надійну та безпечну передачу інформації від датчиків до центрів обробки даних. Вона є фундаментальною складовою цифрової інфраструктури міста. Мережі можуть бути дротовими, бездротовими або комбінованими. Дротові, наприклад оптоволоконні, забезпечують стабільну передачу великих обсягів даних, таких як відеопотоки з камер спостереження. Бездротові мережі, як Wi-Fi, LoRaWAN, NB-IoT та 5G, дозволяють передавати дані від мобільних або віддалених пристроїв. Комбіновані мережі поєднують обидва підходи для максимальної ефективності.

Сервери та центри обробки даних виконують роль системи централізованого управління розумного міста. Вони отримують інформацію від усіх датчиків, зберігають її та обробляють, після чого формують команди для автоматичного управління пристроями. Наприклад, датчик руху передає сигнал серверу, який включає світло на певній ділянці вулиці. Сервери можуть працювати як централізовано, коли всі дані збираються в одному місці, або розподілено, коли частина обробки відбувається ближче до датчиків на edge-пристроях, що зменшує затримки та підвищує швидкість реагування.

Рівень аналітики та керування відповідає за прийняття рішень на основі зібраних даних. Тут застосовуються алгоритми, логічні правила або штучний інтелект, щоб автоматично регулювати системи міста. Наприклад, світлофори можуть змінювати сигнали залежно від завантаженості доріг, системи опалення чи освітлення регулюють роботу залежно від часу доби та погодних умов, а громадський транспорт може коригувати маршрути залежно від потоків людей.

Хмарні технології дозволяють зберігати великі обсяги даних та забезпечують доступ до них із будь-якого місця. Вони дають можливість швидко додавати нові сервіси без необхідності купувати додаткове фізичне обладнання.

Правильна організація системи розумного міста забезпечує стабільну роботу всіх її підсистем. Кожен рівень - датчики, мережа, сервери та аналітика - має свою роль, і лише їхня скоординована робота дозволяє ефективно збирати

дані, обробляти їх і приймати рішення. Комбінація централізованої, розподіленої та хмарної обробки даних створює гнучкі, надійні та масштабовані системи, які реально допомагають людям у повсякденному житті.

1.3 Аналіз сучасних мережевих технологій у середовищі розумного міста

Розумне місто працює завдяки поєднанню різних сучасних технологій, які забезпечують швидку взаємодію між пристроями, збір та обробку даних, автоматичне керування процесами та підвищення ефективності міських систем. Основні технології можна умовно розділити на кілька груп.

Інтернет речей (IoT) -це технологія, яка дозволяє підключати різні пристрої до мережі та обмінюватися даними без участі людини. Наприклад, датчики освітлення автоматично повідомляють сервер про наявність людей на вулиці, а сервер включає або вимикає лампи. Датчики паркування передають інформацію водіям через мобільні додатки, що зменшує затори та покращує рух транспорту [4].

Бездротові технології забезпечують швидку передачу даних на великі відстані і дозволяють підключати пристрої без проводів. Найпоширеніші з них - Wi-Fi, LoRaWAN, NB-IoT та 5G. Wi-Fi підходить для міських будівель і офісів, LoRaWAN -для енергоефективних сенсорів на великих відстанях, NB-IoT -для мобільних пристроїв із низьким енергоспоживанням, а 5G забезпечує швидкий обмін даними з мінімальними затримками, що важливо для безпечного руху транспорту та аварійних систем [5].

Дротові та оптоволоконні мережі використовуються для передачі великих обсягів даних. Відеопотоки з камер спостереження, інформація від численних датчиків або аналітичні дані для штучного інтелекту передаються саме через такі мережі, оскільки вони стабільні та не залежать від погодних умов [6].

Хмарні та edge-технології дозволяють ефективно обробляти та зберігати інформацію. Хмарні сервіси надають можливість зберігати великі обсяги даних та забезпечують доступ до них із будь-якої точки. Edge-пристрої обробляють інформацію ближче до джерела, що дозволяє миттєво реагувати на події. Наприклад, датчик руху на вулиці може на edge-пристрої самостійно увімкнути світло, не чекаючи, поки сигнал дійде до централізованого сервера.

Програмна маршрутизація та віртуалізація мереж (SDN) дають змогу швидко змінювати структуру мережі без фізичного втручання. Це означає, що можна додавати нові пристрої, налаштовувати пріоритети передачі даних і оптимізувати роботу системи, не підключаючи додаткові кабелі. Такі технології дозволяють створювати гнучкі та масштабовані мережі, які легко адаптуються до змін у місті.

Всі ці технології працюють разом, забезпечуючи ефективну роботу систем розумного міста, автоматизоване управління процесами, економію ресурсів та підвищення комфорту для мешканців.

1.4 Протоколи передачі даних та методи взаємодії інтелектуальних пристроїв

Для того щоб всі пристрої розумного міста могли обмінюватися даними, вони повинні дотримуватися певних правил передачі інформації. Ці правила називаються протоколами передачі даних. Протоколи визначають, як повідомлення передається, у якому форматі, які підтвердження потрібні, і як уникнути втрат інформації.

Одним із найпоширеніших протоколів у системах розумного міста є MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Він розроблений спеціально для невеликих пристроїв, які часто працюють на батареях. MQTT дозволяє датчикам надсилати короткі повідомлення серверу майже миттєво, з мінімальним енергоспоживанням. Наприклад, датчик руху може відправляти сигнал про

присутність людини на вулиці, і система розумного освітлення вмикає світло лише там, де це необхідно [7].

Ще один протокол - CoAP (Constrained Application Protocol). Він використовується для обміну даними між малопотужними IoT-пристроями та сервером. CoAP особливо підходить для сенсорів, які встановлені на віддалених або важкодоступних об'єктах, наприклад, у парках або на дахах будівель [8].

HTTP/HTTPS - універсальні протоколи, знайомі багатьом з використання інтернету. HTTP дозволяє обмінюватися інформацією між сервером і пристроями, а HTTPS додає шифрування, що забезпечує захист даних. Ці протоколи використовуються, наприклад, для веб-доступу до систем моніторингу міста або мобільних додатків для мешканців [9].

TCP/IP - це фундаментальна технологія, на якій базується весь Інтернет. Вона гарантує надійну доставку даних, розбиваючи повідомлення на пакети та відновлюючи їх у правильному порядку на іншому кінці. IPv6 - сучасна версія адресації, яка дозволяє підключати мільйони пристроїв у великій мережі міста, кожен з яких має унікальну адресу. Це критично для міст, де одночасно працюють тисячі датчиків, камер і серверів.

У сучасних розумних містах протоколи працюють у комбінації. Наприклад, датчик руху може передавати сигнал серверу через MQTT, сервер аналізує дані і відправляє команду на керування освітленням через HTTPS, а вся мережа працює на TCP/IP з унікальними IPv6-адресами. Така взаємодія забезпечує швидку, безпечну і надійну роботу системи.

Протоколи допомагають системам розумного міста працювати ефективно, без збоїв, і забезпечують координацію тисячі взаємопов'язаних пристроїв одночасно (див. таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Характеристики основних мережевих протоколів у середовищі Smart City

Протокол	Призначення	Ключова особливість
MQTT	Обмін короткими повідомленнями за моделлю «видавець-передплатник»	Мінімальне споживання енергії та низьке навантаження на канал зв'язку
CoAP	Передача даних для малопотужних пристроїв у мережах з обмеженнями	Оптимізована робота у важкодоступних місцях та нестабільних мережах
HTTP/S	Забезпечення веб-доступу та взаємодія з мобільними додатками	Підтримка надійного шифрування даних (для версії HTTPS)
IPv6	Універсальна адресація вузлів мережі та IoT-пристроїв	Здатність підтримувати практично необмежену кількість адрес (IP)

Додатково протоколи визначають час відгуку, надійність і пріоритет повідомлень. Наприклад, сигнал про пожежу має оброблятися миттєво, тоді як дані про заповненість сміттєвих контейнерів можуть надходити з невеликою затримкою [10].

1.5 Забезпечення інформаційної безпеки в мережах Smart City

Безпека інформації в розумному місті - це один із ключових факторів, який забезпечує надійну роботу всіх систем. У системі «розумного міста» датчики, сервери, світлофори та камери спостереження об'єднані в одну спільну мережу та постійно взаємодіють між собою. Якщо зловмисник отримає доступ до однієї з систем, це може призвести до аварій на дорогах, перебоїв у подачі енергії або витоку особистих даних мешканців [11].

Основні загрози для мереж розумного міста включають кібератаки, віруси, витік даних, несанкціонований доступ, а також фізичні пошкодження обладнання. Наприклад, хакери можуть спробувати змінити роботу світлофорів, викликати перевантаження серверів або відключити систему освітлення.

Щоб захистити систему, застосовують кілька рівнів безпеки. Шифрування даних гарантує, що інформація, яка передається від датчиків до серверів, не може бути прочитана сторонніми. Аутентифікація та контроль доступу забезпечують, що тільки авторизовані користувачі та пристрої можуть підключатися до мережі. Наприклад, сервер приймає команди лише від перевірених датчиків і операторів міських служб.

Особливу увагу приділяють безпеці IoT-пристроїв, адже вони часто мають обмежені ресурси і можуть бути вразливими для атак. Для цього регулярно оновлюють програмне забезпечення, перевіряють пристрої на наявність вразливостей і встановлюють додаткові рівні захисту, наприклад, спеціальні брандмауери для IoT.

Крім того, застосовуються системи резервування та дублювання даних, щоб у разі збою або атаки система могла швидко відновитися. Наприклад, відеоспостереження з камер зберігається одразу в двох місцях: на локальному сервері і в хмарі. Якщо один сервер виходить з ладу, інший продовжує роботу без перебоїв.

Комплексний підхід до безпеки включає також моніторинг мережі в режимі реального часу, аналіз підозрілих подій та автоматичне блокування загроз. Це дозволяє не тільки реагувати на проблеми, але і попереджати їх ще до того, як вони стануть критичними.

Таким чином, інформаційна безпека є невід'ємною частиною роботи розумного міста. Вона забезпечує надійну роботу систем, захищає мешканців і гарантує, що автоматизовані процеси будуть функціонувати без перебоїв. Без належного захисту всі переваги розумного міста можуть бути поставлені під загрозу.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ МЕРЕЖЕВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇЇ РОЗВИТКУ

2.1 Світовий досвід та існуючі рішення у сфері Smart City

Розумні міста - це не фантастика, а реальність сучасного світу. Багато країн активно впроваджують системи Smart City, використовуючи технології для автоматизації управління містом, підвищення комфорту життя мешканців та економії ресурсів. Аналіз існуючих рішень допомагає зрозуміти, які підходи працюють найкраще, а які варто адаптувати для власного міста.

У Барселоні Smart City використовується для ефективного управління енергоспоживанням, транспортом та комунальними послугами. У місті встановлено тисячі датчиків, які контролюють освітлення вулиць, рівень заповнення паркувальних місць і стан водопостачання. Наприклад, світлофори в центрі міста автоматично регулюють сигнали залежно від завантаженості доріг. Це дозволяє зменшити затори, скоротити час у дорозі та знизити рівень шкідливих викидів від автомобілів [12].

У Сінгапурі розумне місто використовується для моніторингу і управління транспортом, безпекою та екологією. В Сінгапурі застосовується система “розумного транспорту”, яка відстежує рух громадського транспорту та автомобілів у реальному часі [13]. На основі цих даних алгоритми прогнозують затори, оптимізують маршрути автобусів і метро, а також швидко реагують на аварії та інші надзвичайні ситуації. Крім того, в місті використовуються камери спостереження та датчики для моніторингу стану довкілля, наприклад якості повітря та рівня шуму, що допомагає підтримувати комфорт і безпеку мешканців.

У Києві також почали впроваджувати системи розумного міста. В столиці України створено електронні сервіси для мешканців, інтегровані системи відеоспостереження, онлайн-моніторинг комунальних мереж та інформаційні платформи для громадян. Наприклад, додаток для мешканців дозволяє повідомляти про проблеми з комунікаціями, а система автоматично передає ці

повідомлення до відповідних служб. Такі рішення дозволяють підвищити якість обслуговування, економити час і ресурси та зменшувати затримки у реагуванні на проблеми [14].

Світовий досвід показує, що для успішного впровадження Smart City потрібно враховувати кілька факторів: інтеграція різних систем, швидка обробка даних, надійна мережа, захист інформації та адаптація рішень під реальні потреби міста. Наприклад, у Барселоні і Сінгапурі одночасно працюють системи контролю транспорту, відеоспостереження, освітлення та енергоспоживання, що дозволяє ефективно управляти містом на всіх рівнях.

Крім того, досвід світових міст показує важливість поетапного впровадження Smart City. Не варто одразу встановлювати всі системи: спершу тестують окремі рішення на певних ділянках міста, аналізують результати, а потім масштабують систему на всю територію. Це дозволяє уникнути помилок і значних фінансових втрат.

Вивчення існуючих рішень допомагає не лише переймати успішні практики, але й передбачати потенційні проблеми. Наприклад, у деяких містах виникали труднощі із сумісністю старих комунікаційних мереж із сучасними IoT-пристроями, або з налаштуванням захисту даних. Важливо враховувати такі аспекти, щоб розумне місто функціонувало стабільно та безпечно.

Таким чином, аналіз існуючих рішень Smart City у світі дає змогу зрозуміти, які технології і підходи є ефективними, як організувати збір і обробку даних, як підвищити комфорт мешканців і забезпечити безпеку. Цей досвід є базою для розробки власної мережевої інфраструктури середнього міста.

2.2 Вимоги до мережевої інфраструктури

Мережева інфраструктура є основою функціонування систем «розумного міста». Вона забезпечує передачу даних від датчиків і сенсорів до серверів, а також команд від систем управління до пристроїв. Щоб усі системи працювали

стабільно і ефективно, мережа повинна відповідати певним ключовим вимогам, що гарантують її надійність, швидкість та безперервність роботи.

Масштабованість - це здатність мережі збільшувати свої ресурси і підтримувати нові пристрої без перебоїв. У розумному місті кількість датчиків, камер, лічильників і контролерів постійно зростає. Якщо мережа не масштабована, додавання нових пристроїв може призвести до уповільнення роботи або навіть збою всієї системи. Наприклад, у великому місті, коли встановлюють нові камери відеоспостереження на вулицях, мережа повинна без проблем обробляти відеопотоки одночасно з даними інших сенсорів.

Надійність - це здатність мережі працювати стабільно, навіть у випадку збою окремих елементів або під час пікових навантажень. Умови роботи міської мережі можуть бути непередбачуваними: перепади напруги, погодні умови, фізичні пошкодження обладнання. Тому мережа повинна мати резервні маршрути, дублювання серверів і аварійні плани. Наприклад, якщо відмовляє один канал передачі даних для відеоспостереження, система автоматично переключається на резервний, і контроль за безпекою не переривається.

Пропускна здатність визначає обсяг даних, який мережа може передати за одиницю часу. Для розумного міста це особливо важливо, оскільки одночасно працюють тисячі пристроїв, зокрема камери відеоспостереження, датчики руху, системи освітлення та транспортні контролери. Якщо пропускна здатність мережі буде недостатньою, з'являться затримки, втрати даних і помилки у роботі систем. Для великих міст рекомендують використовувати оптоволоконні мережі для критично важливих даних та високошвидкісні бездротові технології для віддалених пристроїв.

Затримки передачі даних - це час, який потрібен сигналу, щоб пройти від пристрою до сервера і назад. Для систем безпеки, управління транспортом або аварійних служб мінімальні затримки критично важливі. Наприклад, сигнал від датчика пожежної сигналізації або аварійного датчика водопостачання повинен

доходити до сервера миттєво, і система має негайно сповіщати відповідні служби.

Сумісність і стандартизація також є важливою вимогою. Мережа повинна підтримувати різні протоколи передачі даних і стандарти, щоб інтегрувати нові пристрої без конфліктів. У містах, де одночасно працюють пристрої різних виробників, важливо забезпечити, щоб вони могли “розуміти” один одного.

Безпека мережі - ще один ключовий аспект. Мережа повинна бути захищена від кібератак, несанкціонованого доступу та витоку даних. У розумному місті через мережу передаються дані про мешканців, стан інфраструктури, відеоспостереження, тому захист інформації має бути на високому рівні.

Приклад практичної реалізації вимог: у Сінгапурі мережа Smart City об'єднує оптоволоконні канали для критично важливих даних і бездротові протоколи для віддалених датчиків. Вона має резервні маршрути, що забезпечує безперервність роботи під час аварій. Пропускна здатність мережі дозволяє обробляти одночасно відеопотоки з тисяч камер і сигнали від десятків тисяч сенсорів.

Таким чином, аналіз вимог до мережевої інфраструктури допомагає зрозуміти, які характеристики є критичними для ефективної роботи Smart City. Масштабованість, надійність, пропускна здатність, низькі затримки – це все, на чому будується будь-яке розумне місто, що прагне забезпечити комфорт, безпеку і стабільну роботу всіх систем.

2.3 Проєктування мережі для міста

Проєктування мережі розумного міста - це комплексний процес, який включає планування, вибір технологій, розрахунок навантажень та зон покриття, щоб усі системи працювали стабільно, швидко та безпечно. Особливо важливо

це для середніх міст, де обмежений бюджет і водночас потрібно забезпечити ефективну роботу всіх міських служб.

Перший крок - вибір топології мережі. Топологія визначає, як пристрої мережі підключаються між собою. Найпоширеніші типи - “зірка”, “шина” і “кільце”. У середніх містах часто застосовують гібридні топології, які поєднують декілька підходів. Наприклад, центральні сервери і критично важливі об’єкти можуть бути підключені по оптоволокну у вигляді “зірки”, а периферійні датчики - через бездротову мережу LoRaWAN або NB-IoT. Це дозволяє забезпечити надійність, швидкість і економію ресурсів.

Другий крок - вибір технології доступу. Дротові технології, наприклад оптоволокну, використовують для передавання великих обсягів даних, таких як відеопотоки з камер спостереження або дані від центрів управління енергетикою. Бездротові технології, як LoRaWAN або NB-IoT, підходять для віддалених зон, парків, житлових районів та вулиць, де прокладати кабелі дорого або складно. 5G та Wi-Fi забезпечують швидку передачу даних у густозаселених районах та дозволяють підключати мобільні пристрої, наприклад електросамокати, громадський транспорт або смартфони мешканців.

Третій крок - розрахунок навантаження на мережу. Для цього визначають кількість підключених пристроїв, обсяг даних, який вони будуть передавати, і частоту оновлення інформації. Наприклад, відеокамери з високою роздільною здатністю генерують великі потоки даних, а датчики руху або освітлення передають невеликі повідомлення, але їх дуже багато. Розрахунок допомагає визначити необхідну пропускну здатність мережі, кількість серверів і точки доступу для стабільної роботи всіх систем.

Четвертий крок - планування зон покриття. Це визначення місць для встановлення датчиків, камер, точок доступу та комутаторів. Мета - забезпечити повне покриття міста без “мертвих зон”, де система не може отримувати або передавати дані. Наприклад, для контролю освітлення вулиць датчики потрібно

встановлювати на перехрестях та місцях великого скупчення людей, а камери відеоспостереження - у місцях підвищеної небезпеки.

П'ятий крок - планування резервування та відмовостійкості. Мережа середнього міста повинна мати резервні маршрути передачі даних і дублювання серверів, щоб у разі збою одного з елементів система продовжувала працювати без перебоїв. Наприклад, якщо канал оптоволоконної мережі пошкоджений, дані можуть передаватися через резервний бездротовий канал.

Шостий крок - інтеграція з іншими системами міста. Мережа повинна підтримувати різні протоколи і стандарти для сумісності всіх підключених пристроїв. Це важливо, щоб старі і нові системи працювали разом. Наприклад, датчики старого типу можуть надсилати дані через MQTT, а нові камери - через HTTPS; мережа повинна обробляти обидва типи сигналів одночасно.

Приклад практичної реалізації: у середньому місті з населенням 200–300 тисяч мешканців можна використовувати центральний сервер для обробки даних з критично важливих систем (освітлення, безпека, транспорт) та розподілені edge-сервери для периферійних датчиків (парки, житлові райони). Оптоволокну забезпечує стабільну передачу відео та аналітичних даних, а бездротові сенсори LoRaWAN або NB-IoT - контроль стану комунальних мереж і освітлення.

Таким чином, правильне проєктування мережі забезпечує стабільну роботу всіх систем розумного міста, дозволяє масштабувати мережу, швидко реагувати на події і економити ресурси. В середньому місті комплексне планування топології, технологій доступу, навантажень та зон покриття є ключовим фактором ефективності Smart City.

2.4 Порівняння дротових і бездротових технологій

Для ефективного функціонування систем розумного міста важливо правильно вибрати технології передачі даних. Основні варіанти - дротові та

бездротові технології, і у кожного з них є свої переваги та недоліки. Розуміння цих особливостей допомагає обрати оптимальне рішення для конкретного міста.

Дротові технології включають Ethernet, оптоволоконні канали та інші кабельні рішення. Основні переваги таких технологій: стабільність передачі даних, велика пропускна здатність і низькі затримки. Наприклад, відеоспостереження з високою роздільною здатністю або аналітичні дані з центрального сервера потребують швидкої і надійної мережі, яку забезпечує оптоволокно.

Дротові мережі також менш чутливі до погодних умов і перешкод, наприклад до дощу або сильного вітру, на відміну від бездротових каналів. Вони добре підходять для критично важливих систем, таких як управління енергопостачанням, громадським транспортом або безпекою. Недоліком є висока вартість прокладання кабелів, особливо у старих районах міста, а також складність зміни маршруту або масштабування мережі після її встановлення.

Бездротові технології включають Wi-Fi, LoRaWAN, NB-IoT, 5G та інші протоколи. Головна перевага - мобільність і легкість встановлення. Сенсори та камери можна розміщувати навіть у віддалених районах, де прокласти кабель важко або дорого. Наприклад, датчики освітлення в парках або на вулицях житлових районів можна швидко встановити і підключити до бездротової мережі.

Бездротові технології також забезпечують енергоефективність. Сенсори LoRaWAN і NB-IoT споживають мало енергії і можуть працювати місяцями або навіть роками без заміни батарей. Це особливо важливо для великої кількості малопотужних пристроїв у місті.

Однак бездротові мережі мають обмеження: вони чутливі до перешкод, погодних умов, відстані і кількості одночасно підключених пристроїв. Пропускна здатність Wi-Fi та NB-IoT менша, ніж у дротових мереж, і для великих обсягів даних вони можуть бути недостатньо швидкими. Крім того, бездротові мережі більш уразливі до кібератак, тому потребують додаткових заходів безпеки.

Порівняння вартості: дротові мережі потребують значних початкових інвестицій на прокладання кабелів та обладнання, але мають менші витрати на обслуговування. Бездротові мережі дешевші для установки, але потребують регулярного моніторингу сигналу, обслуговування батарей сенсорів і додаткового захисту.

Оптимальний варіант для середнього міста - поєднання дротових і бездротових технологій. Критично важливі системи, як відеоспостереження та управління енергопостачанням, підключаються по оптоволокну або Ethernet. Віддалені сенсори та пристрої для моніторингу використовують бездротові технології, що економить бюджет і забезпечує гнучкість.

Наприклад, у місті середнього розміру центральні вулиці та адміністративні будівлі можуть бути підключені через дротову мережу з великою пропускною здатністю, а житлові райони, парки та околиці - через LoRaWAN або NB-IoT. Це дозволяє одночасно отримувати великі обсяги даних і контролювати тисячі малопотужних сенсорів.

Порівняльний аналіз дозволяє вибрати оптимальну конфігурацію мережі, враховуючи бюджет, потреби міста та кількість підключених пристроїв (див. таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Характеристики засобів зв'язку в системах Smart City

Технологія	Переваги	Недоліки	Основна сфера застосування
Оптоволоконні лінії (FTTH/PON)	Найвища пропускна здатність, відсутність електромагнітних перешкод, стабільність	Висока вартість проектування та прокладання кабельних мереж	Магістральні канали, системи відеоспостереження, центри керування
LoRaWAN / NB-IoT	Екстремально низьке енергоспоживання, великий радіус покриття (до 15 км)	Дуже низька швидкість передачі даних, не підходить для мультимедіа	Датчики ЖКГ, розумні лічильники, контроль вуличного освітлення
5G / Wi-Fi 6	Висока мобільність вузлів, велика швидкість передачі даних у реальному часі	Чутливість до фізичних перешкод (стіни, забудова), високе енергоспоживання	Розумний транспорт, сервіси для мешканців, публічні зони доступу

Таким чином, дротові та бездротові технології доповнюють одна одну, і правильне їх поєднання забезпечує ефективну, надійну та економічну роботу мережі розумного міста.

2.5 Економічне обґрунтування впровадження

Впровадження технологій розумного міста вимагає значних фінансових вкладень, але економічний ефект від таких інвестицій виправдовує витрати у довгостроковій перспективі. Економічне обґрунтування допомагає оцінити, як впровадження Smart City дозволяє економити ресурси, підвищувати ефективність міських служб і покращувати якість життя мешканців.

По-перше, автоматизація систем енергоспоживання та освітлення дозволяє значно зменшити витрати на електроенергію. Наприклад, встановлення датчиків руху і автоматичного регулювання вуличного освітлення дозволяє включати світло лише там і тоді, де воно необхідне. У середніх містах, де на вулицях десятки тисяч ламп, це може економити десятки тисяч гривень на місяць, одночасно зменшуючи викиди вуглекислого газу та підвищуючи екологічну ефективність.

По-друге, системи розумного транспорту економлять час і ресурси міста та мешканців. Наприклад, датчики завантаженості доріг і оптимізація світлофорів зменшують затори, що дозволяє скоротити витрати на ремонт доріг через менше навантаження на дорожнє покриття. Крім того, громадський транспорт працює ефективніше, зменшуючи споживання палива та підвищуючи точність маршрутів.

По-третє, впровадження IoT-сенсорів для моніторингу комунальних мереж (водопостачання, опалення, каналізація) дозволяє передбачати аварії та проводити профілактичне обслуговування. Наприклад, датчики контролю тиску у водопровідних трубах сигналізують про потенційні витoki ще до появи

видимих проблем. Це зменшує витрати на ремонт аварій, запобігає втраті ресурсів і підвищує безпеку мешканців.

Крім того, впровадження систем моніторингу навколишнього середовища (якість повітря, шум, забруднення води) дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо розвитку міста і екологічної політики. Наприклад, аналіз даних про рівень забруднення допомагає оптимізувати розташування зелених зон, промислових об'єктів і транспортних маршрутів, що економить ресурси і підвищує комфорт життя.

Важливим аспектом економічного обґрунтування є повернення інвестицій (ROI). Незважаючи на великі початкові витрати на обладнання, датчики, мережеву інфраструктуру і програмне забезпечення, витрати швидко окуповуються завдяки скороченню енергоспоживання, економії на ремонті комунікацій та зменшенню затрат на управління транспортом.

Додатково економічний ефект забезпечується через оптимізацію роботи міських служб. Завдяки централізованому моніторингу та аналітиці зменшується час реагування на проблеми, знижується кількість аварій та непередбачуваних витрат, підвищується ефективність роботи персоналу.

Приклад практичної реалізації: у середньому місті із населенням 200–300 тисяч мешканців, впровадження системи розумного освітлення і відеоспостереження може за перший рік зекономити до 20–25% бюджету міських комунальних служб. Додатково економія досягається завдяки автоматизації моніторингу водопостачання, тепlopостачання та транспортних потоків.

Таким чином, економічне обґрунтування показує, що впровадження Smart City - це не лише технологічне нововведення, але й довгострокова інвестиція у ефективність, безпеку і комфорт міста, що дозволяє скоротити витрати, підвищити якість життя мешканців і забезпечити стабільну роботу всіх систем.

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕРЕЖЕВОГО РІШЕННЯ “РОЗУМНОГО МІСТА”

3.1 Опис топології Smart City у Cisco Packet Tracer для розширеної моделі

Віртуальна модель концепції «Розумне місто», що реалізована у межах роботи в середовищі Cisco Packet Tracer, є структурованою багаторівневою системою (див. рис. 3.1). Її головне завдання полягає у відтворенні взаємодії між різноманітними технологічними секторами сучасного мегаполіса. Моделювання дозволяє наочно продемонструвати, як фізичні пристрої, сенсори та виконавчі механізми об'єднуються в єдиний цифровий організм завдяки правильно налаштованій мережевій інфраструктурі. Це дає змогу оцінити ефективність автоматичного управління, стабільність передачі інформації від датчиків до центрального вузла, а також загальну життєздатність запропонованих архітектурних рішень перед їх впровадженням на реальних об'єктах.

Дана модель дає можливість імітувати роботу ключових міських підсистем, таких як «розумне» освітлення, системи безпеки, транспортне керування та моніторинг навколишнього середовища. Кожен із цих компонентів функціонує як окремий вузол мережі, Також у межах моделювання можна протестувати різні сценарії роботи мережі, зокрема перевантаження каналів зв'язку, відмову окремих пристроїв або затримки передачі даних.

ТОПОЛОГІЯ SMART CITY У CISCO PACKET TRACER

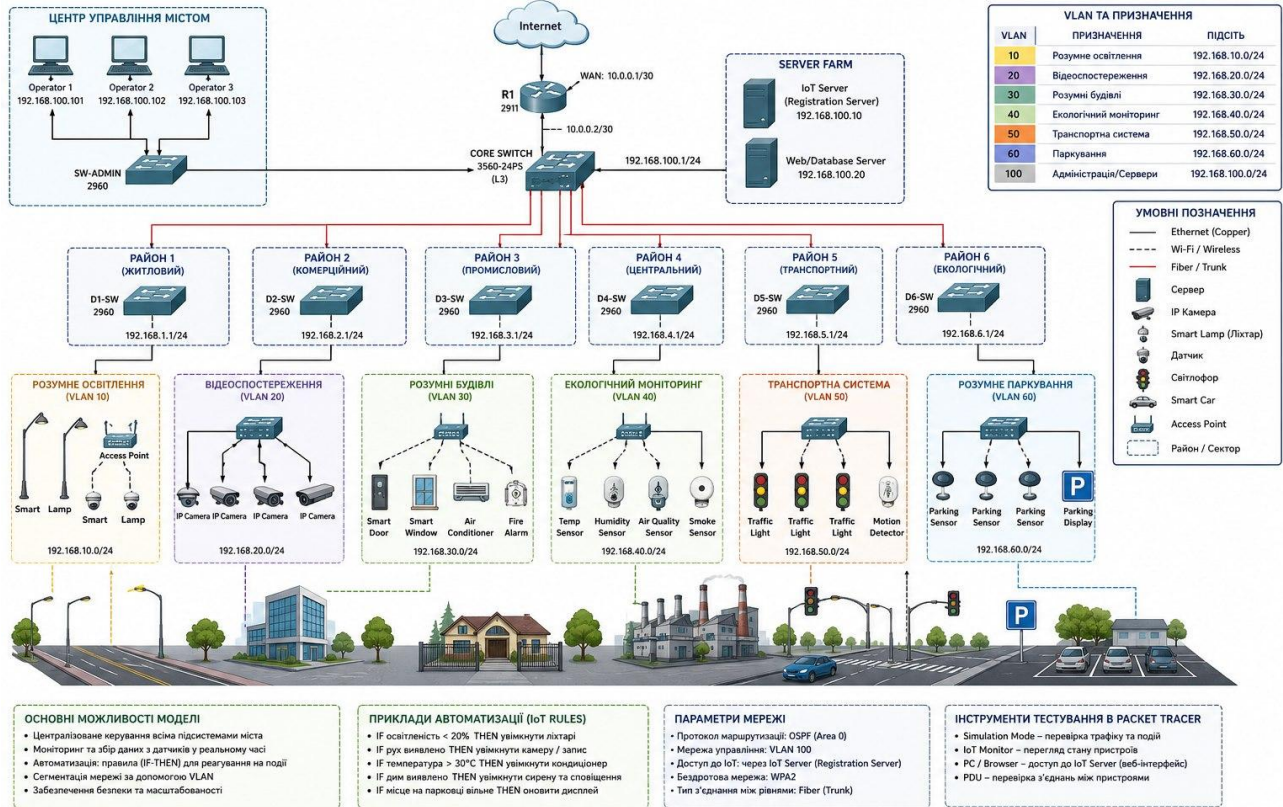


Рисунок 3.1 – Загальна структура Smart City

У результаті отримана модель виступає ефективним інструментом для аналізу, оптимізації та подальшого вдосконалення концепції «розумного міста».

3.2 Побудова базової мережевої інфраструктури та маршрутизації

Основою для функціонування всієї цифрової моделі міста є ядро мережі, яке безпосередньо приймає та розподіляє всі інформаційні потоки. У ролі головного комунікаційного пристрою виступає маршрутизатор Cisco Router 2911 [15]. На цей пристрій покладено обов'язки з координації трафіку між різними міськими службами, які логічно не повинні перетинатися між собою у звичайному режимі роботи, але мають централізовано надсилати звіти до головного аналітичного центру. Маршрутизатор також забезпечує шлюз для виходу у глобальну мережу, що імітує зв'язок міських систем із зовнішніми

хмарними сервісами або регіональними базами даних. Безпосередньо до маршрутизатора підключається комутатор керованого типу Cisco Catalyst 2960 [16]. Цей пристрій виступає головною точкою концентрації дротових з'єднань, до якої сходяться лінії зв'язку від усіх ключових локальних сегментів міста. Завдяки високій пропускну здатності комутатора забезпечується миттєве пересилання пакетів даних без затримок, що є критично важливим для систем, які працюють у режимі реального часу, наприклад, для комплексів екстреного реагування або світлофорних об'єктів. Для того щоб оптимізувати роботу мережі та уникнути перевантаження через величезну кількість ширококомовних запитів від сотень розумних пристроїв, уся топологія була розділена на віртуальні локальні мережі за технологією VLAN. Кожна міська служба отримала свій власний ізольований цифровий простір та унікальний діапазон IP-адрес. Наприклад, мережа для передачі відеопотоку з камер спостереження функціонує окремо від мережі громадського бездротового доступу та окремо від підсистеми екологічних датчиків. Такий підхід гарантує, що можливий збій або висока завантаженість в одному сегменті жодним чином не вплине на стабільність роботи критично важливої інфраструктури, такої як медичні системи чи пожежна сигналізація (див. рис. 3.2). Таке розділення мережі також спрощує її адміністрування та контроль роботи окремих служб. У разі виникнення несправності в одному з сегментів мережі, пошук і усунення проблеми виконується значно швидше. Крім того, за потреби до мережі можна легко підключати нові пристрої та сервіси без зміни вже існуючої структури.

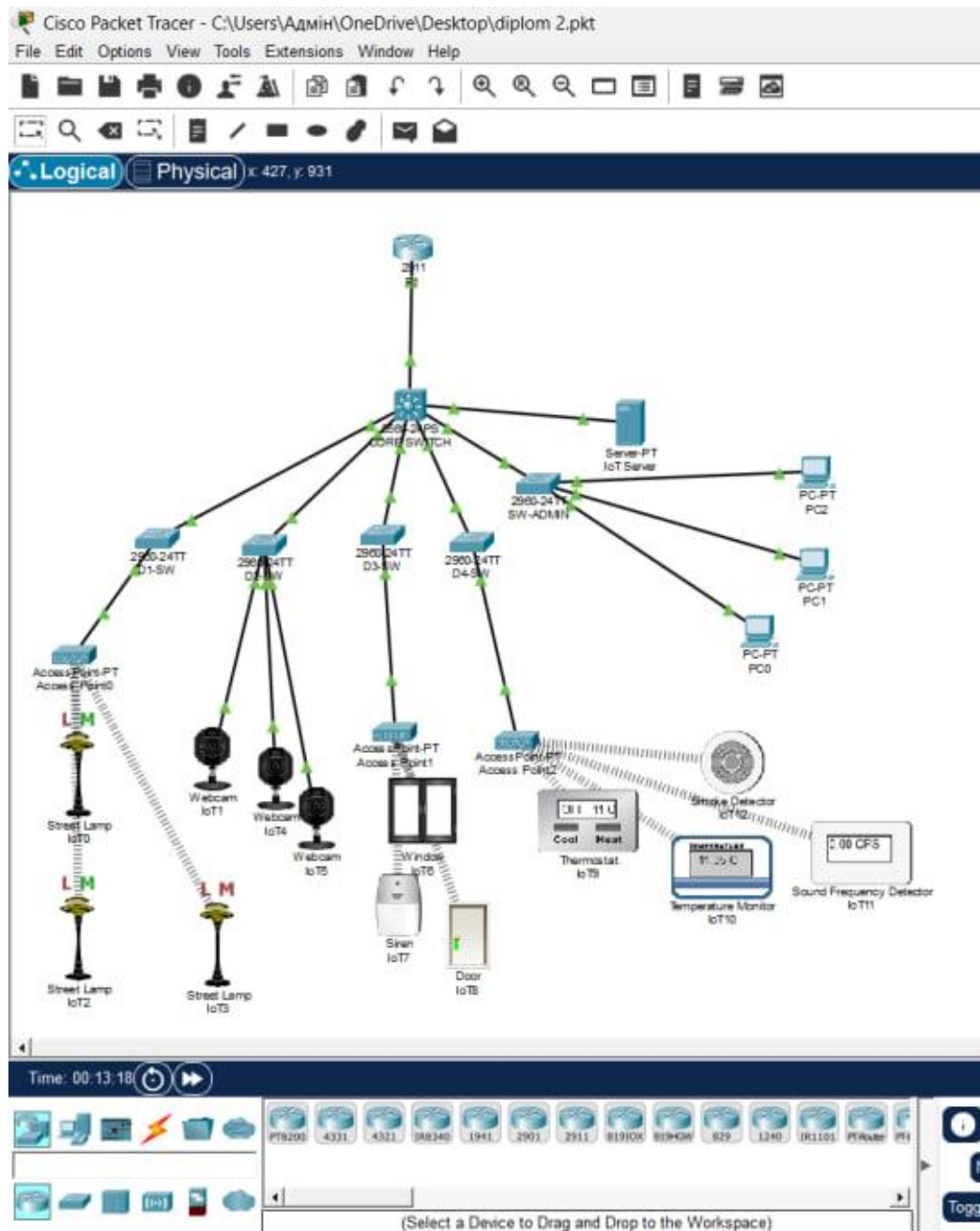


Рисунок 3.2 – Топологія Smart City

Для побудови мережі встановлено центральний комутатор та комутатори доступу для кожного району міста. Усі пристрої підключено між собою кабельними з'єднаннями.

Виконано налаштування IP-адрес для всіх сегментів мережі. Для кожної VLAN створено окрему підмережу та шлюз. Проведено маршрутизацію між VLAN для обміну даними між районами.

Після налаштування виконано тестування мережі за допомогою ping. Перевірка показала успішний обмін даними між усіма пристроями та серверною частиною мережі.

3.3 Серверне забезпечення та логіка автоматизації IoT

Усі процеси збору інформації, реєстрації нових вузлів та надання мережевих параметрів зосереджені на виділеному серверному обладнанні. Головний сервер у моделі налаштований на виконання кількох суміжних завдань, що дозволяє раціонально використовувати ресурси віртуального середовища. Служба автоматичного налаштування вузлів DHCP самостійно видає унікальні мережеві адреси кожному новому датчику, лампі чи смартфону, що з'являється у зоні покриття, позбавляючи потреби ручного конфігурування. Служба доменних імен DNS трансформує складні для сприйняття цифрові IP-адреси серверів у зрозумілі текстові назви, спрощуючи адміністрування та доступ до керування. Найважливішу роль відіграє спеціалізована служба реєстрації пристроїв Інтернету речей, яка діє як координаційний центр для всіх розумних компонентів. Усі датчики руху, задимленості, температури, а також виконавчі пристрої на кшталт сервоприводів вікон чи перемикачів світла проходять обов'язкову авторизацію на цьому сервері. Після успішного підключення адміністратор отримує можливість через вбудований веб-інтерфейс HTTP відстежувати поточний стан кожного об'єкта в місті, а також створювати прямі логічні зв'язки між ними. Саме на рівні сервера прописуються правила автоматизації, завдяки яким зміна показників одного датчика миттєво викликає відповідну реакцію іншого пристрою без участі людини (див. рис 3.3).

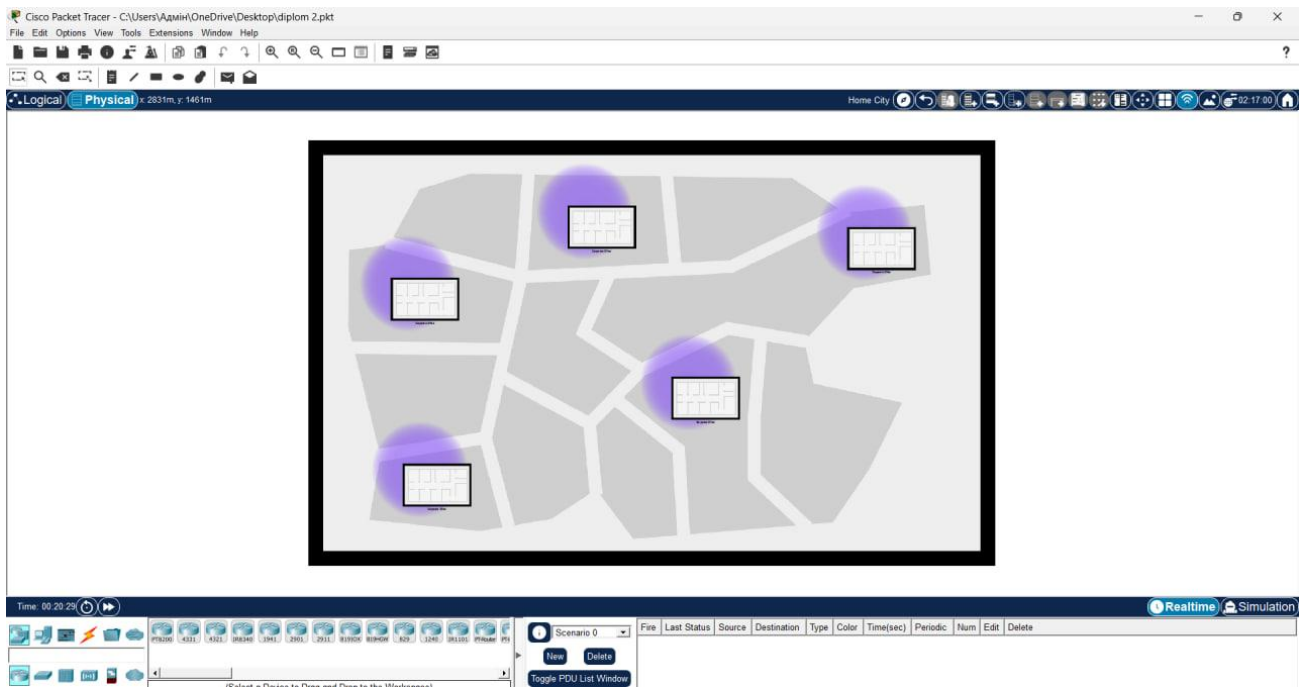


Рисунок 3.3 – Зони покриття бездротових мереж Smart City

У серверній частині мережі встановлено IoT Server та Web Server. Сервери підключено до окремого сегмента мережі для централізованого керування системою.

Виконано реєстрацію IoT-пристроїв у мережі. Датчики та інші пристрої передають інформацію на сервер і можуть керуватися через мережу.

Налаштовано автоматичні сценарії роботи системи. Реалізовано автоматичне вмикання освітлення та передачу повідомлень при спрацюванні датчиків. Серверна частина забезпечує контроль та стабільну роботу всієї системи Smart City.

3.4 Функціонування інтелектуальної транспортної системи та освітлення

Робота підсистеми розумного освітлення побудована на взаємодії інтелектуальних ліхтарів із навколишнім середовищем за допомогою локальних контролерів та домашніх шлюзів. Датчики освітленості фіксують настання

світників і переводять ліхтарі в режим очікування, а датчики руху, що змонтовані вздовж доріг та тротуарів, реагують на наближення автомобіля або пішохода. Коли об'єкт потрапляє в зону дії сенсора, сигнал передається на виконавчий механізм ліхтаря, який збільшує яскравість до максимуму. Після того як людина або машина залишає ділянку, ліхтар знову знижує інтенсивність світіння або вимикається, що дозволяє місту суттєво економити електричну енергію в нічний час. Адаптивне керування дорожнім рухом реалізовано через транспортну підсистему, де інтелектуальні світлофорні об'єкти працюють у зв'язці з детекторами щільності потоку. Сенсори, встановлені під віртуальним дорожнім покриттям, фіксують кількість транспортних засобів, які очікують на перехресті. Якщо на одному з напрямків утворюється значна черга, інформація про це надходить до контролера, який автоматично подовжує дію зеленого сигналу для завантаженої смуги. Це мінімізує час простою транспорту в заторах та оптимізує рух на складних ділянках міських доріг (рис 3.4).

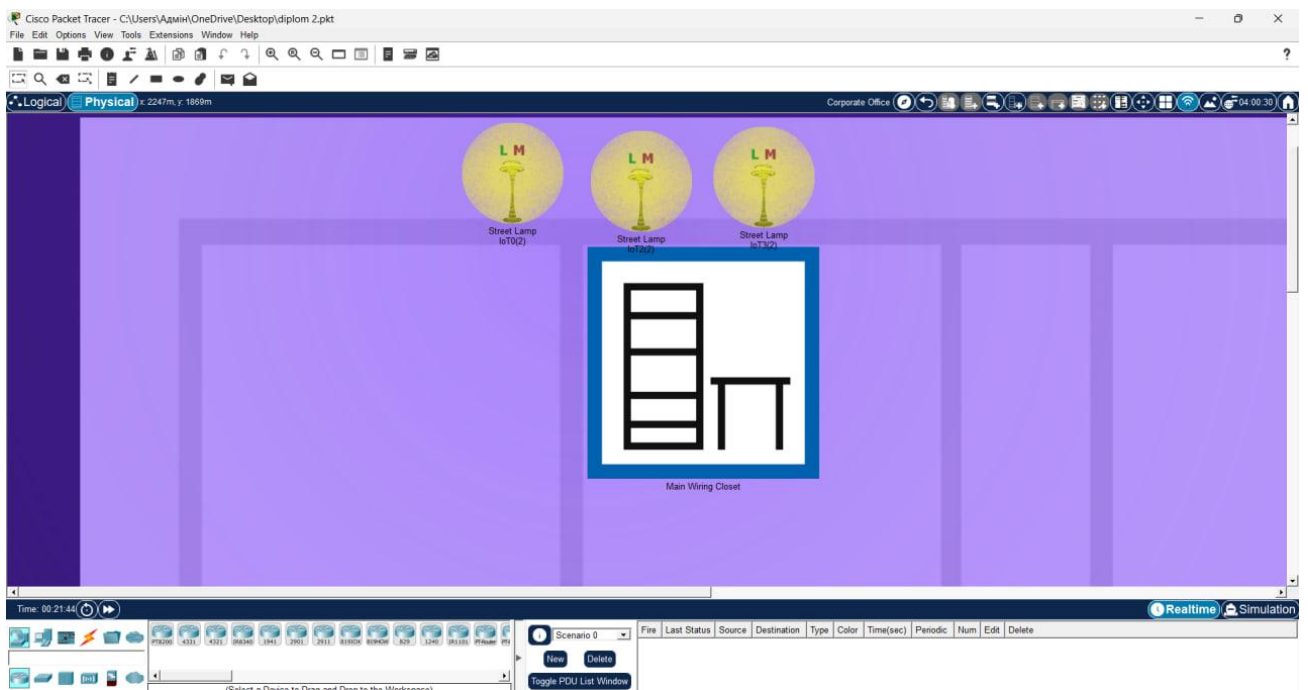


Рисунок 3.4 – Датчики освітлення Smart City

У моделі міста реалізовано систему вуличного освітлення та транспортної інфраструктури. На дорогах розміщено світлофори, ліхтарі та дорожні елементи.

Виконано налаштування роботи світлофорів та освітлення через IoT-пристрої. Освітлення реагує на зміну умов та може автоматично вмикатись у потрібний момент.

Транспортні пристрої підключено до мережі та серверної частини. Проведено перевірку передачі даних між світлофорами, серверами та іншими пристроями системи.

3.5 Система громадської безпеки та екологічного моніторингу

Безпека на вулицях міста підтримується мережею цифрових камер відеоспостереження, які транслюють постійний потік даних до диспетчерського пункту через виділений безпечний канал зв'язку. Ці камери інтегровані з загальною системою моніторингу, що дозволяє не лише бачити ситуацію в реальному часі, але й налаштовувати автоматичні сповіщення у разі виявлення нестандартної активності або фіксації тривожних сигналів від суміжних систем безпеки. Сегмент екологічного моніторингу постійно аналізує якість навколишнього середовища за допомогою чутливих сенсорів, розгорнутих у різних частинах міста. Датчики вимірюють рівень чистоти повітря, фіксують концентрацію шкідливих домішок та коливання температури. Отримані дані надсилаються на центральну платформу, де формується теплова карта екологічного стану міста. У разі виявлення різкого викиду забруднюючих речовин або появи задимленості, система автоматично надсилає сигнал тривоги до відповідних служб міста (рис 3.5).

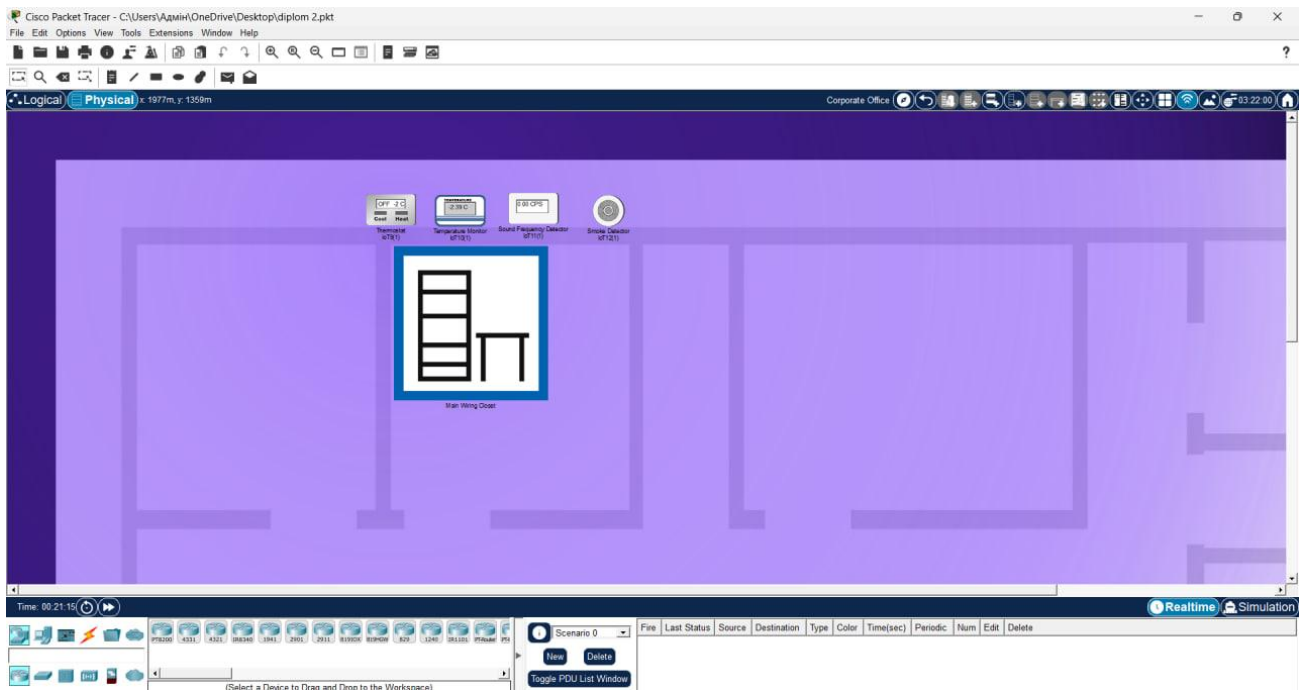


Рисунок 3.5 – Датчики моніторингу навколишнього середовища Smart City

Для системи безпеки у топології встановлено камери відеоспостереження та датчики контролю. Усі пристрої підключено до мережі та окремого сегмента VLAN.

Також реалізовано систему екологічного моніторингу. У моделі використано датчики температури, диму та якості повітря. Отримані дані передаються на сервер для подальшої обробки.

Проведено перевірку роботи датчиків та передачі інформації мережею. Система дозволяє контролювати стан середовища та роботу пристроїв у режимі реального часу.

3.6 Організація побутового, медичного та громадського просторів

Підсистема розумного будинку демонструє автоматизацію на рівні житлового сектору та інтегрується в загальну мережу міста через локальні шлюзи. Усередині житла встановлені розумні двері, вікна, вентилятори та протипожежні датчики. Система налаштована так, що при фіксації підвищення

температури вище встановленої норми автоматично запускається кліматичне обладнання. Якщо ж датчик диму фіксує небезпеку, всередині будинку вмикається звукова сирена, розумні вікна та двері автоматично розблокуються для безпечної евакуації, а повідомлення про надзвичайну ситуацію миттєво передається на головний сервер міської пожежної охорони. Медичний сегмент у цій моделі імітує роботу сучасної клініки та засобів дистанційного контролю за станом здоров'я. Спеціалізовані датчики здатні фіксувати життєво важливі показники пацієнтів та передавати їх на робочі станції лікарів через захищений мережевий сегмент. Це дозволяє реалізувати елементи телемедицини, коли система самостійно попереджає медичний персонал про критичне погіршення стану людини, забезпечуючи швидке надання допомоги. Громадський бездротовий доступ реалізовано за допомогою мережі точок доступу та бездротових маршрутизаторів, розміщених у місцях найбільшого скупчення людей. Цей сегмент побудований так, щоб забезпечити надійне підключення мобільних пристроїв громадян до інтернету та міських інформаційних порталів. При цьому трафік користувачів суворо ізольований від службового трафіку управління містом, що унеможливорює випадковий або навмисний доступ сторонніх осіб до закритих інфраструктурних даних (рис 3.6).

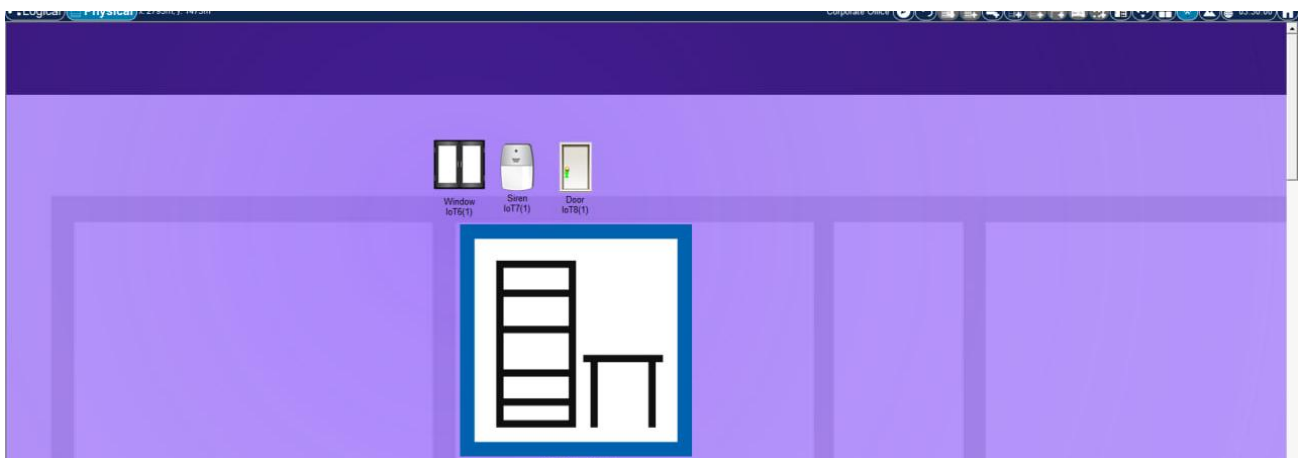


Рисунок 3.6 – Датчики охоронного контуру Smart City

У моделі Smart City реалізовано підключення житлових будинків, громадських зон та медичних об'єктів до єдиної мережі. Для цього використано IoT-пристрої та мережеве обладнання.

У житлових приміщеннях налаштовано освітлення та датчики автоматизації. Для громадських зон виконано підключення камер, освітлення та інших пристроїв.

Медичні об'єкти також підключено до центральної мережі для передачі даних та взаємодії із серверною частиною. Усі пристрої працюють у спільній системі Smart City.

3.7 Захист інформації та методика тестування моделі

Питання безпеки в розробленій топології є пріоритетним через підключення величезної кількості периферійних пристроїв Інтернету речей, які можуть стати об'єктами кібератак. Завдяки суворому розділенню мережі на рівні VLAN, зломисник, навіть отримавши фізичний доступ до одного з вуличних ліхтарів чи екологічних датчиків, не зможе проникнути в систему управління транспортом або серверні бази даних. Додатково на серверах та шлюзах активовано перевірку справжності для кожного пристрою, що підключається, тому будь-яке стороннє обладнання просто блокується на рівні порту комутатора. Для підтвердження повної працездатності та ефективності створеної моделі буловедено серію комплексних тестів у середовищі Cisco Packet Tracer. Перевірка мережевого зв'язку за допомогою відправки тестових пакетів підтвердила наявність стабільного сполучення між усіма підмережами міста та сервером. Аналіз роботи динамічних служб продемонстрував, що всі пристрої безпомилково отримують конфігурацію від DHCP-сервера та правильно знаходять ресурси за їхніми доменними іменами через DNS. Тестування сценаріїв автоматизації включало симуляцію виникнення задимленості, появи руху на дорогах у темний час доби та збільшення транспортного потоку. Результати

тестування показали, що всі виконавчі пристрої реагують на зміни параметрів датчиків миттєво та відповідно до закладеної логіки. Це доводить, що створена віртуальна модель Smart City повністю виконує поставлені завдання та є готовим прототипом для проектування реальних інтелектуальних міських систем (рис 3.7-3.13).

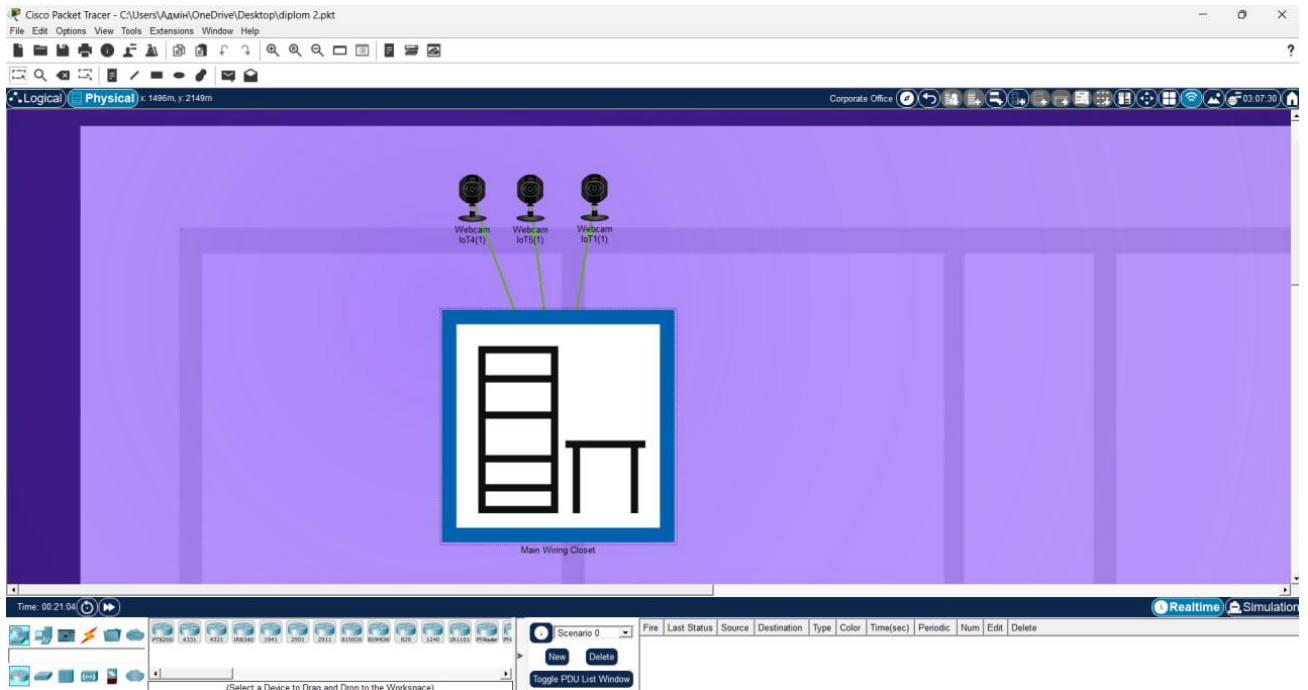


Рисунок 3.7 – Підсистема відеоспостереження та оптичного контролю Smart City

У процесі моделювання мережі Smart City реалізовано підсистему відеоспостереження. Для цього в середовищі Cisco Packet Tracer розміщено камери спостереження та виконано їх підключення до центрального комутатора мережі. Усі пристрої об'єднано в єдину систему для передачі відеоданих та подальшої взаємодії із серверною частиною Smart City. Проведено налаштування мережевих параметрів для стабільної роботи обладнання та перевірено передачу інформації між камерами і сервером. Реалізована система дозволяє здійснювати моніторинг окремих зон міста, контролювати ситуацію в режимі реального часу та забезпечує централізований збір інформації для подальшого аналізу. Після

завершення налаштування виконано тестування роботи мережі та перевірено коректне функціонування всіх пристроїв відеоспостереження.

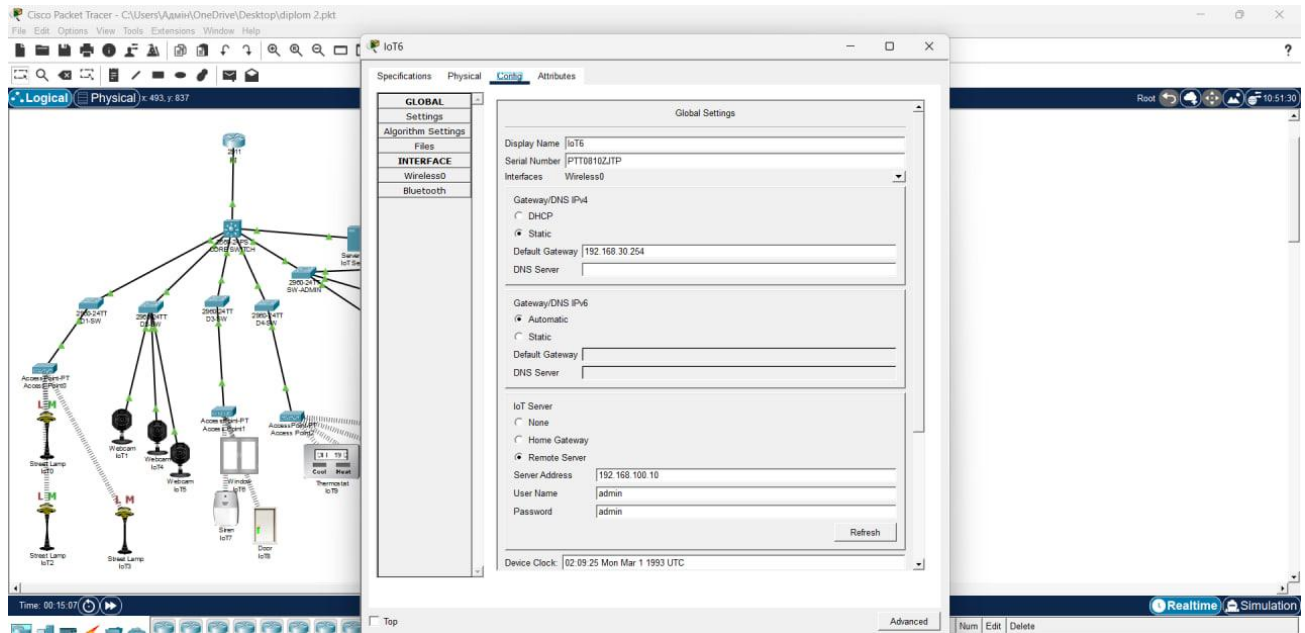


Рисунок 3.8 – Інтерфейс глобальних налаштувань інтелектуального пристрою

У середовищі Cisco Packet Tracer виконано налаштування глобальних параметрів IoT-пристрою для його інтеграції в систему Smart City. Для пристрою задано статичну IP-адресу, маску підмережі та шлюз за замовчуванням. Також виконано підключення до центрального сервера керування для передачі даних та взаємодії з іншими елементами мережі. У процесі налаштування вказано параметри авторизації та адресу сервера, через який здійснюється централізоване керування IoT-пристроями. Після завершення конфігурації проведено перевірку підключення пристрою до мережі та передачі інформації між сервером і периферійним обладнанням. Реалізовані налаштування забезпечують стабільну роботу пристрою в системі Smart City та дозволяють використовувати його для автоматизації міської інфраструктури.

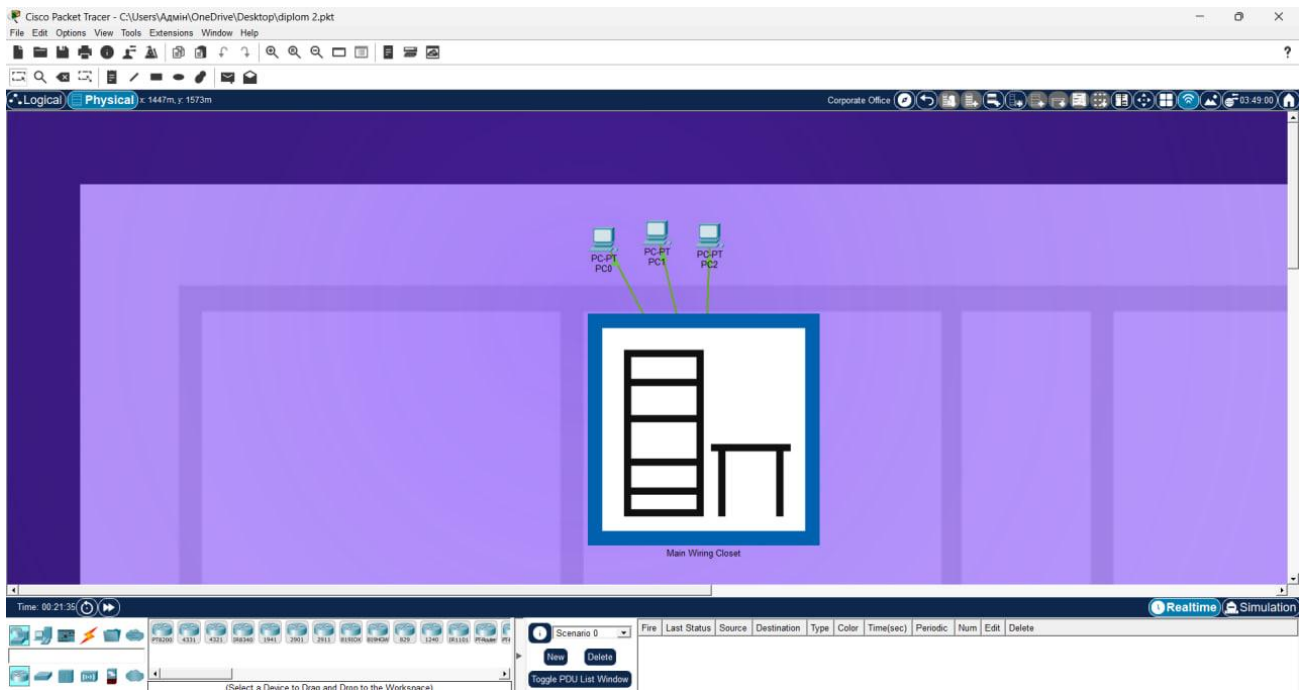


Рисунок 3.9 – Підключення автоматизованих робочих місць

У моделі Smart City організовано підключення автоматизованих робочих місць операторів до центральної мережевої інфраструктури. Для цього персональні комп'ютери підключено до комутатора та налаштовано взаємодію із серверною частиною системи. Кожному робочому місцю призначено мережеві параметри для доступу до ресурсів мережі та можливості керування IoT-пристроями. Проведено налаштування з'єднання між робочими станціями та сервером для забезпечення стабільної передачі даних у межах мережі Smart City. Також виконано перевірку зв'язку між усіма пристроями за допомогою тестових пакетів. Реалізоване підключення дозволяє операторам контролювати роботу мережі, отримувати інформацію від IoT-пристроїв та керувати окремими підсистемами міської інфраструктури. Усі комп'ютери працюють у межах єдиного мережевого середовища та можуть взаємодіяти між собою. Така схема підключення забезпечує зручний обмін інформацією між різними підрозділами. За потреби кількість робочих станцій може бути збільшена без зміни основної топології мережі.

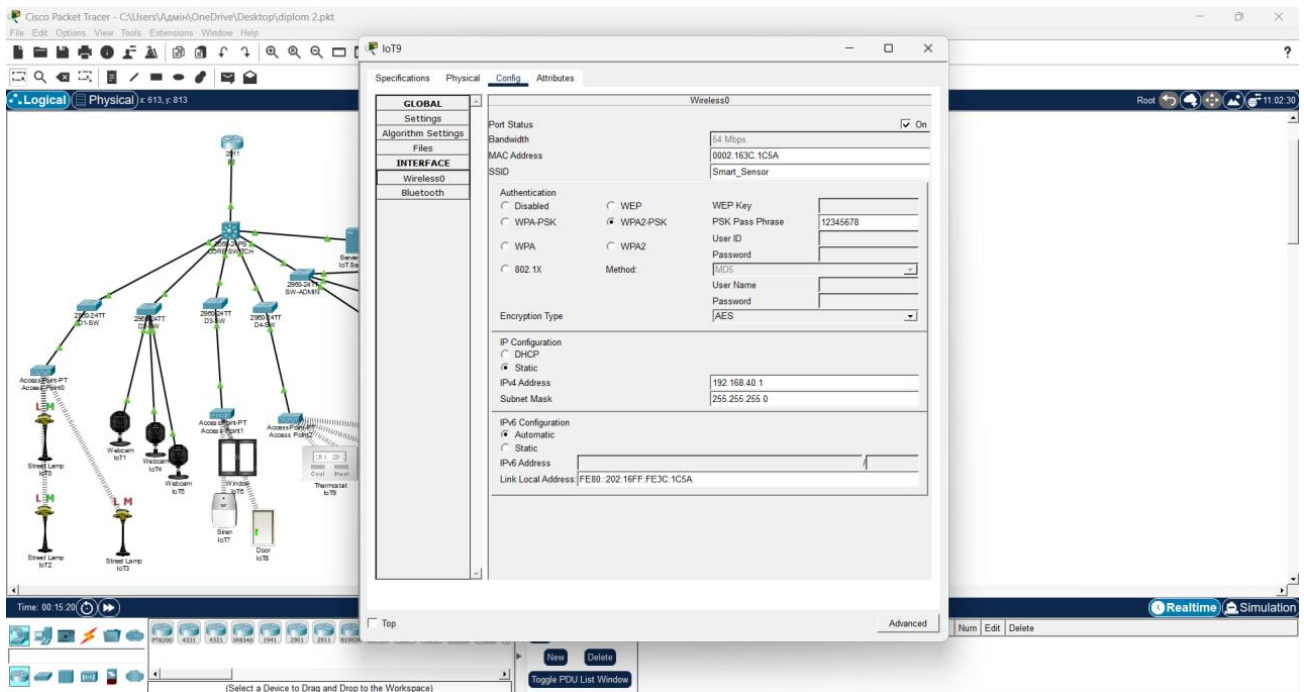


Рисунок 3.10 – Налаштування бездротового мережевого інтерфейсу

Для IoT-пристрою виконано налаштування бездротового мережевого інтерфейсу в середовищі Cisco Packet Tracer. У процесі конфігурації задано назву бездротової мережі, параметри автентифікації та пароль доступу для захисту передачі даних. Для забезпечення безпеки використано протокол WPA2-PSK із шифруванням AES. Також виконано налаштування статичної IP-адреси та параметрів підмережі для стабільного підключення пристрою до мережі Smart City. Після завершення конфігурації перевірено успішне підключення пристрою до бездротового сегмента та передачу даних між IoT-пристроєм і сервером. Реалізоване бездротове підключення дозволяє інтегрувати пристрої в єдину систему Smart City без використання кабельних з'єднань. Налаштоване бездротове з'єднання забезпечує постійний обмін інформацією між пристроєм та іншими компонентами мережі. Це дозволяє оперативно передавати дані для подальшого аналізу та обробки. Крім того, використання бездротових технологій спрощує розгортання нових IoT-пристроїв у різних частинах міської інфраструктури.

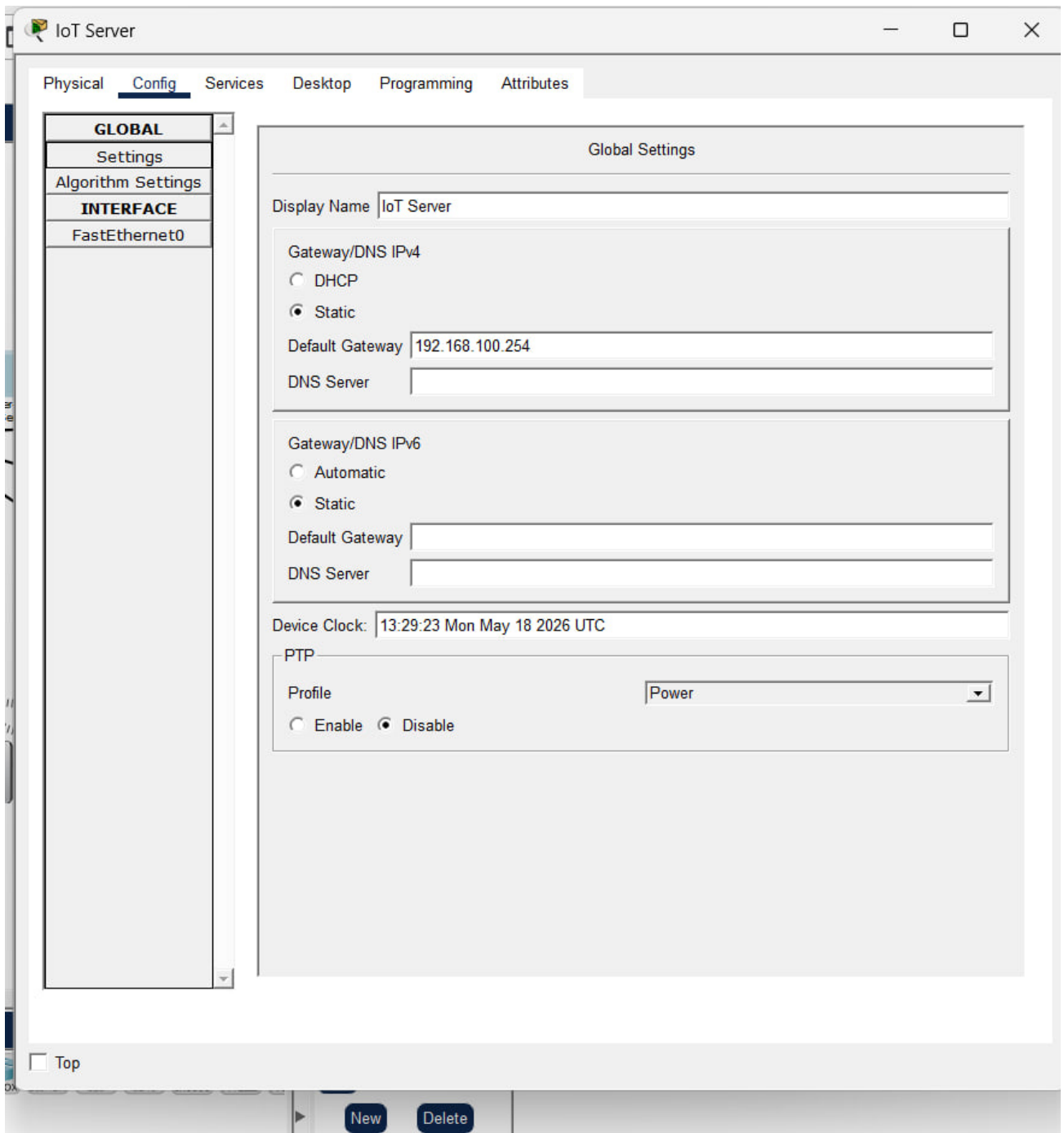


Рисунок 3.11 – Конфігурація серверу

У серверній частині мережі Smart City виконано налаштування основних параметрів сервера для забезпечення стабільної роботи системи. Для сервера задано статичну IP-адресу, маску підмережі та шлюз за замовчуванням, що дозволяє організувати правильну маршрутизацію пакетів між різними

сегментами мережі. Сервер підключено до центрального комутатора та налаштовано взаємодію з IoT-пристроями, робочими станціями та іншими елементами мережі. Також виконано перевірку мережевого з'єднання між сервером та іншими пристроями Smart City. Налаштований сервер забезпечує централізоване керування системою, прийом інформації від датчиків, передачу команд виконавчим пристроям та зберігання даних мережі.

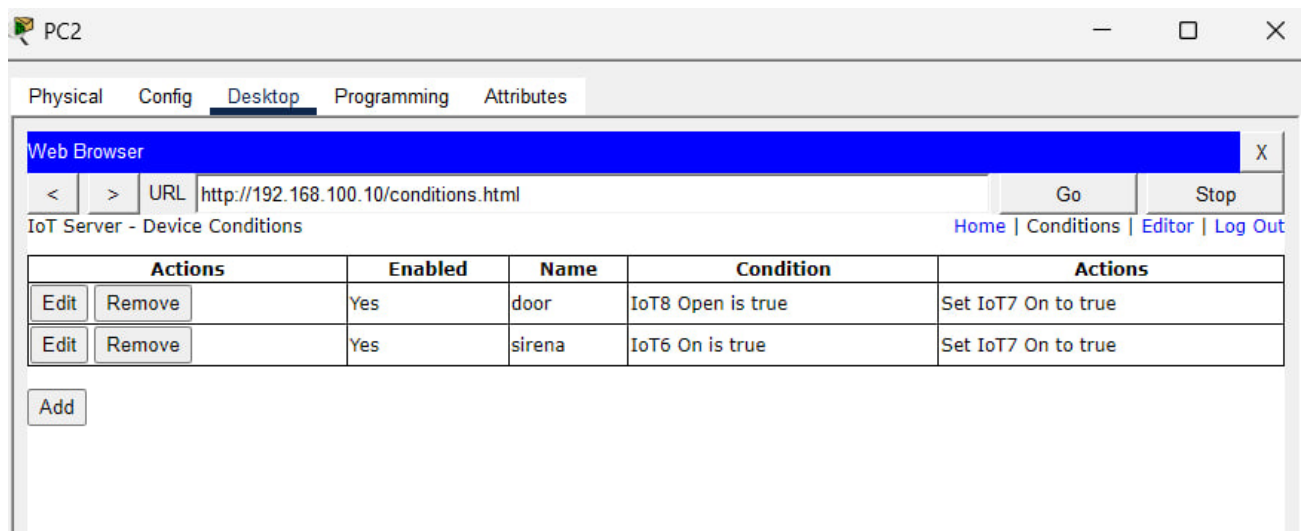


Рисунок 3.12 – Створення автоматизованих правил та логічних умов

У системі Smart City реалізовано автоматичні сценарії взаємодії між датчиками та виконавчими пристроями. Для цього створено логічні правила, які дозволяють системі автоматично реагувати на зміну параметрів середовища або спрацювання окремих датчиків. У процесі налаштування реалізовано сценарії активації сирени та інших пристроїв безпеки у випадку відкриття дверей або отримання сигналу від датчиків. Також виконано налаштування взаємодії між IoT-пристроями та сервером для передачі інформації про події в системі. Після завершення конфігурації проведено тестування автоматичних сценаріїв та перевірено правильність роботи логічних умов. Реалізована система

автоматизації дозволяє зменшити необхідність ручного керування та забезпечує швидке реагування мережі Smart City на різні події.

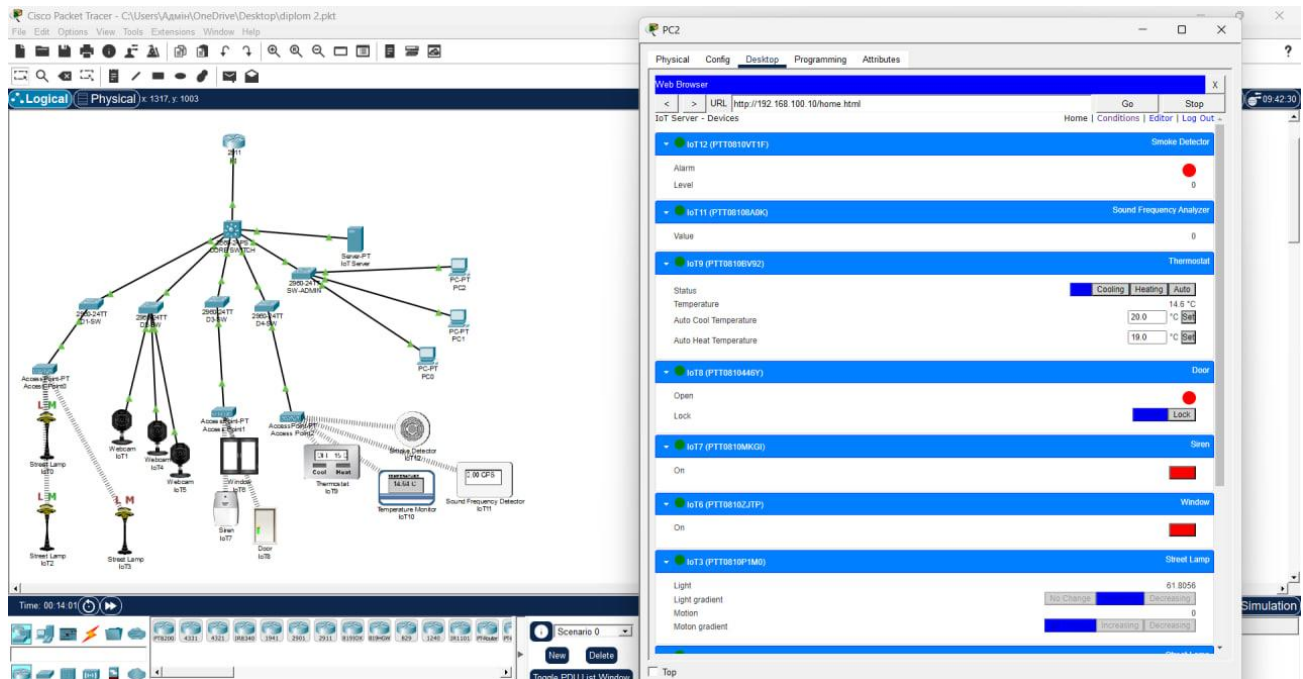


Рисунок 3.13 – Модель розгортання та функціонування системи автоматизації

Після завершення побудови мережевої інфраструктури Smart City проведено комплексне тестування роботи мережі та IoT-пристроїв. Виконано перевірку передачі даних між серверами, комутаторами, маршрутизаторами, робочими станціями та периферійними пристроями. Для тестування використано команду `ping`, за допомогою якої підтверджено стабільне з'єднання між усіма сегментами мережі. Також перевірено роботу автоматизованих сценаріїв, передачу сигналів між датчиками та взаємодію пристроїв із серверною частиною системи. У процесі тестування підтверджено коректну роботу бездротових та дротових підключень, а також стабільність передачі даних між VLAN. Отримані результати показали, що створена модель Smart City працює стабільно, а всі елементи мережі успішно взаємодіють між собою відповідно до виконаних налаштувань.

ВИСНОВКИ

У роботі було розглянуто особливості мережевих технологій у системі «розумного міста». У першому розділі було розглянуто теоретичні основи концепції «розумного міста», визначено його основні складові та принципи функціонування. Було пояснено, що розумне місто являє собою сучасну інформаційно-комунікаційну систему, у якій цифрові технології використовуються для підвищення ефективності управління міською інфраструктурою, покращення якості життя населення та забезпечення комфорту мешканців. Увагу було приділено основним компонентам системи «розумного міста». До них належать датчики та сенсори, які здійснюють збір інформації про стан навколишнього середовища та роботу міських об'єктів; мережеві технології, що забезпечують передачу даних; сервери та хмарні платформи для обробки й зберігання інформації; а також програмні системи керування, за допомогою яких здійснюється моніторинг і автоматизація різних процесів.

Було встановлено, що ключову роль у функціонуванні розумного міста відіграє мережева інфраструктура. Саме мережі забезпечують обмін даними між усіма пристроями системи, включаючи датчики, камери відеоспостереження, системи освітлення, транспортні засоби та центри керування. Завдяки цьому інформація може передаватися в режимі реального часу, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в міському середовищі та автоматизувати значну кількість процесів.

У першому розділі було розглянуто приклади використання технологій розумного міста в сучасних мегаполісах.

У другому розділі було проаналізовано існуючі рішення у світі, зокрема приклади таких міст, як Барселона, Сінгапур та Київ. Було визначено основні вимоги до проєктування мережевої інфраструктури «розумного міста», зокрема

такі характеристики, як масштабованість, надійність, пропускна здатність, низький рівень затримок, сумісність різних пристроїв і технологій.

Також у межах другого розділу було розглянуто особливості проєктування мережевої інфраструктури для «розумного міста». Проаналізовано принципи побудови архітектури мережі, вибір топології, організацію каналів зв'язку між пристроями та серверними вузлами, а також інтеграцію різних підсистем у єдине інформаційне середовище. Було враховано необхідність забезпечення стабільного обміну даними між датчиками, виконавчими пристроями та центральною системою керування. Це дозволяє реалізувати принципи автоматизації міських процесів, підвищити ефективність управління інфраструктурою та забезпечити оперативне реагування на зміни в міському середовищі.

У третьому розділі було реалізовано модель мережі розумного міста в середовищі Cisco Packet Tracer. Було створено структуру мережі, налаштовано обладнання та реалізовано IoT-систему на прикладі розумного освітлення. Проведене тестування розробленої системи показало коректне функціонування всіх компонентів. У процесі перевірки було підтверджено, що система забезпечує передачу даних між пристроями мережі, а також своєчасне реагування на події, що виникають у середовищі «розумного міста».

Крім того, результати тестування засвідчили ефективність взаємодії між датчиками, виконавчими пристроями та центральною системою керування. Усі елементи мережі працювали узгоджено, що дозволило забезпечити безперервний обмін інформацією в режимі реального часу. Це підтверджує правильність обраних рішень щодо архітектури та налаштування мережевої інфраструктури.

Також було встановлено, що система здатна швидко обробляти вхідні дані та виконувати відповідні команди без значних затримок. Отримані результати свідчать про те, що розроблена модель може ефективно використовуватися як

основа для подальшого розширення та впровадження більш складних сценаріїв функціонування «розумного міста»

Отримані результати можуть бути використані для подальшого розвитку систем розумного міста або в навчальних цілях.

Отже, мережеві технології відіграють ключову роль у створенні сучасних міст і мають великі перспективи розвитку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Smart Cities Council. Smart Cities Readiness Guide: веб-сайт. URL: <https://smartcitiescouncil.com> (дата звернення: 11.11.2025).
2. IBM. What is a Smart City?: веб-сайт. URL: <https://www.ibm.com/topics/smart-city> (дата звернення: 08.12.2025).
3. Cisco. Smart Cities Solutions: веб-сайт. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/smart-building/smart-cities.html> (дата звернення: 26.02.2026).
4. IoT For All. What is IoT?: веб-сайт. URL: <https://www.iotforall.com/what-is-iot> (дата звернення: 06.03.2026).
5. LoRa Alliance. About LoRaWAN: веб-сайт. URL: <https://loralliance.org/about-lorawan/> (дата звернення: 09.03.2026).
6. Ericsson. 5G Technology: веб-сайт. URL: <https://www.ericsson.com/en/5g> (дата звернення: 11.03.2026).
7. MQTT Organization. MQTT Protocol: веб-сайт. URL: <https://mqtt.org> (дата звернення: 17.03.2026).
8. Shelby Z., Hartke K., Bormann C. The Constrained Application Protocol (CoAP): веб-сайт. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc7252> (дата звернення: 23.03.2026).
9. Cloudflare. What is HTTP?: веб-сайт. URL: <https://www.cloudflare.com/learning/ddos/glossary/hypertext-transfer-protocol-http/> (дата звернення: 03.04.2026).
10. Cloudflare. What is IPv6?: веб-сайт. URL: <https://www.cloudflare.com/learning/network-layer/what-is-ipv6/> (дата звернення: 10.04.2026).

11. Kaspersky. What is Cyber Security?: веб-сайт. URL: <https://www.kaspersky.com/resource-center/definitions/what-is-cyber-security> (дата звернення: 15.04.2026).
12. Barcelona City Council. Smart City Barcelona: веб-сайт. URL: <https://www.barcelona.cat/en/> (дата звернення: 21.04.2026).
13. Smart Nation Singapore. Smart Nation Initiative: веб-сайт. URL: <https://www.smartnation.gov.sg> (дата звернення: 03.05.2026).
14. Київська міська державна адміністрація. Цифровий Київ: веб-сайт. URL: <https://kyivcity.gov.ua> (дата звернення: 09.05.2026).
15. Cisco. Cisco 2911 Integrated Services Router: веб-сайт. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/routers/2900-series-integrated-services-routers-isr/index.html> (дата звернення: 13.05.2026).
16. Cisco. Catalyst 2960 Switches: веб-сайт. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/switches/catalyst-2960-series-switches/index.html> (дата звернення: 15.05.2026).