

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри автоматики та
телекомунікацій

_____ Валерій ПОЦЕПАЄВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«___» _____ 2022 р.

Випускна кваліфікаційна робота

_____ магістра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка та дослідження інформаційно-комунікаційної системи
моніторингу стану навколишнього середовища»

Виконав студент 2 курсу, групи ТКРМ-21
(шифр групи)

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

_____ Жабко Олександр Сергійович
(Прізвище, Ім'я та По-батькові) (підпис)

Керівник доц. каф. АТ, к.т.н., доц. _____ Анна ВОРОПАЄВА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент проф. каф. ПЗКС НТУ ДП, д.т.н., проф. _____ Іван ЛАКТИОНОВ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент доц. каф. ЕТ, к.т.н., доц. _____ Олександр ШТЕПА
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль:

Дар'я ЖУКОВСЬКА

10.12.2022 р.

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2022 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота
_____ магістра _____

Тема: «Розробка та дослідження інформаційно-комунікаційної системи моніторингу стану навколишнього середовища»

Спецчастина: _____

Виконавець, студент

гр. ТКРМ–21 _____ Олександр ЖАБКО
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник _____ Анна ВОРОПАЄВА
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти: _____ Вікторія ВОРОПАЄВА
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ Валерій ПОЦЕПАЄВ
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ Гліб СТУПАК
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ Олександр ІСАЄНКОВ
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтроль _____ Дар'я ЖУКОВСЬКА
(підпис, дата, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

"Донецький національний технічний університет"

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри АТ
Валерій ПОЦЕПАЄВ

4) Схема моделювання мережі моніторингу

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2	Воропаєва В. Я., проректор з науково-педагогічної роботи, к.т.н., доцент, професор кафедри АТ	16.10.22	19.12.22
3	Ступак Г.В., старший викладач кафедри АТ	20.10.22	01.11.22
4	Поцепаєв В.В, в.о. завідувача кафедри, к.т.н., доцент	02.11.22	09.11.22
5	Ісаєнков О.О., доцент кафедри, к.т.н	06.12.22	08.12.22
Нормо-контроль	Жуковська Д.О., асистент кафедри АТ	—	10.12.22

7. Дата видачі завдання 01.10.22

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Затвердження теми дипломної роботи та наукового керівника	01.10.22	
2	Постановка задачі дослідження (розділ 1)	05.10.22 – 15.10.22	
3	Аналіз технологій (розділ 2)	16.10.22 – 19.12.22	
4	Побудова мережа (розділ 3)	20.10.22 – 01.11.22	
5	Проведення моделювання (розділ 4)	02.11.22 – 09.11.22	
6	Підготовка та оформлення розділів 1-4	10.11.22 – 12.11.22	
7	Виклад теоретичної та практичної частин диплому та додатку	13.11.22 – 20.11.22	
8	Представлення дипломної роботи науковому керівнику	01.12.22	
9	Захист дипломної роботи	22.12.22	

Студент

(підпис)

Олександр ЖАБКО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Анна ВОРОПАЄВА

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Жабко Олександр Сергійович. Розробка та дослідження інформаційно-комунікаційної системи моніторингу стану навколишнього середовища. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 172 «Телекомунікації і радіотехніка». – ДВНЗ Донецький національний технічний університет, Луцьк, 2022.

Робота містить 110 сторінки, складається з вступу та 5 розділів, висновків до розділів, 25 рисунків, 10 таблиць, списку використаних джерел, які містять 24 найменування.

Дана випускна кваліфікаційна робота спрямована на дослідження та розробку архітектури системи збору інформації з метою подальшого впровадження системи моніторингу навколишнього середовища.

В процесі виконання роботи здійснено аналіз існуючих рішень з організації мережі сенсорів, проведено аналіз та дослідження загальної структури, складових елементів та алгоритмів функціонування. В роботі досліджено можливість розгортання системи наземного моніторингу стану навколишнього середовища з використанням технологій хмарних обчислень та mesh, а також архітектура Інтернету речей (IoT). Розробку реалізовано на прикладі бездротової мережі високої надійності. Розглянуто процес побудови системи та її функціонування.

Ключові слова: МЕРЕЖА, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ, НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ, ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ, МЕРЕЖЕВІ ВУЗЛИ, СЕНСори, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, MESH, ZIGBEE, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, CUPCARBONE

Список публікацій здобувача

1. Воропаєва А.О. Алгоритм передачі інформації для інфраструктурних комп'ютерно-інтегрованих систем обробки даних / А.О. Воропаєва, Г.В.

Ступак, О.С. Жабко // Науковий вісник Донецького національного технічного університету. - Покровськ: ДонНТУ, 2021. – Випуск 1(6)-2(7) – С. 14-23.

2. Жабко О.С. Організація систем розумної інфраструктури з використанням вузькосмугових систем / О.С. Жабко // VII Всеукраїнський науково-практичний форум «ТАК». - Покровськ: ДонНТУ, 2021. – С. 38-40.

3. Жабко О.С. Обґрунтування вибору середовища моделювання мереж Інтернету Речей / А.О. Воропаєва, О.С. Жабко // VIII Всеукраїнський науково-практичний форум «ТАК». - Луцьк: ДонНТУ, 2022.

4. Жабко О.С. Аналіз програмно-апаратних компонент побудови інфокомунікаційних мереж екологічного IoT-моніторингу / І.С. Лактіонов, О.С. Жабко // Конференція "АПРІТ-2022". - Дніпро: ДВНЗ "ПДТУ", 2022.

5. Жабко О.С. Аналіз методів та пакетів прикладних програм моделювання бездротових сенсорних мереж / І.С. Лактіонов, О.С. Жабко // XVII Міжнародна науково-практична конференція з проблем використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості. - Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2022.

ABSTRACT

Oleksandr Serhiyevich Zhabko. Development and research of an information and communication system for monitoring the state of the environment. Graduation qualification work for obtaining the Master's degree in the specialty 172 "Telecommunications and radio engineering". - Donetsk National Technical University, Lutsk, 2022.

The work contains 110 a page consisting of an introduction and 5 sections, conclusions to sections, 25 drawings, 10 tables, a list of used ones that contain 24 name.

This final qualification work is aimed at the research and development of the architecture of the information collection system with the aim of further implementation of the environmental monitoring system.

In the course of the work, an analysis of existing solutions for the organization of the sensor network was carried out, an analysis and research of the general structure, constituent elements and functioning algorithms was carried out. The paper explores the possibility of deploying a ground-based environmental monitoring system using cloud computing and mesh technologies, as well as the Internet of Things (IoT) architecture. The development is implemented on the example of a high-reliability wireless network. The process of building the system and its functioning is considered.

Keywords: NETWORK, TELECOMMUNICATIONS, ENVIRONMENT, CLOUD TECHNOLOGIES, NETWORK NODES, SENSORS, INTERNET OF THINGS, MESH, ZIGBEE, SIMULATION MODEL, CUPCARBONE

Publisher publication list:

1. Voropayeva A.O. Information transmission algorithm for infrastructural computer-integrated data processing systems / A.O. Voropaeva, G.V. Stupak, O.S.

Zhabko // Scientific Bulletin of the Donetsk National Technical University. - Pokrovsk: DonNTU, 2021. – Issue 1(6)-2(7) – pp. 14-23.

2. Zhabko O.S. Organization of smart infrastructure systems using narrowband systems / O.S. Zhabko // VII All-Ukrainian Scientific and Practical Forum "YES". - Pokrovsk: DonNTU, 2021. - P. 38-40.

3. Zhabko O.S. Rationale for choosing the Internet of Things network modeling environment / A.O. Voropaeva, O.S. Zhabko // VIII All-Ukrainian Scientific and Practical Forum "YES". - Lutsk: DonNTU, 2022.

4. Zhabko O.S. Analysis of software and hardware components of the construction of information communication networks of environmental IoT monitoring / I.S. Laktionov, O.S. Zhabko // APRIT-2022 Conference. - Dnipro: State Technical University "PDTU", 2022.

5. Zhabko O.S. Analysis of methods and packages of application programs for modeling wireless sensor networks / I.S. Laktionov, O.S. Zhabko // XVII International scientific and practical conference on the problems of using information technologies in education, science and industry. - Dnipro: NTU "Dniprov Polytechnic", 2022.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	12
1	ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	14
	1.1 Характеристика сучасних кліматичних викликів	14
	1.2 Аналіз складових елементів парникових газів	19
	1.3 Класифікація підходів до моніторингу	22
	1.3.1 Супутниковий моніторинг	22
	1.3.2 Моніторинг у атмосфері	23
	1.3.3 Наземний моніторинг	25
	Висновки по розділу 1.....	28
2.	АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ.....	29
	2.1 Вибір методу моніторингу	29
	2.2 Концепція IoT	30
	2.3 Стандарт mesh	46
	2.4 Архітектура системи моніторингу	60
	2.4.1 Сенсорний рівень	62
	2.4.2 Мережевий рівень	63
	2.4.3 Рівень обробки.....	71
	Висновки по розділу 2.....	72
3.	ПОБУДОВА МЕРЕЖІ.....	74
	3.1 Сенсори та мережеві вузли	74
	3.2 Модулі мережевої взаємодії	76
	3.3 Середовища обробки.....	78
	3.4 Узагальнена схема функціонування системи	81
	Висновки по розділу 3.....	83
4.	ПРОВЕДЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ.....	84
	4.1 Аналіз середовищ моделювання.....	84
	4.2 Особливості CupCarbon	86
	4.3 Проведення моделювання.....	88
	Висновки по розділу 4.....	89

5. ОХОРОНА ПРАЦІ	90
5.1 Характеристика умов праці	90
5.2 Вимоги до виробничих приміщень	93
5.2.1. Освітлення	94
5.2.2 Параметри мікроклімату	95
5.2.3 Електромагнітне та іонізуюче випромінювання.....	96
5.3 Заходи щодо поліпшення умов праці.....	97
5.3.1 Мікроклімат робочого місця.....	97
5.3.2 Розрахунок системи загального рівномірного освітлення.....	100
5.4 Пожежна безпека.....	102
5.5 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві	103
Висновки по розділу 5	106
ВИСНОВКИ	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	110

ВСТУП

Актуальність теми. Вирішення проблеми передачі інформації є актуальним викликом в усі часи, починаючи з моменту початку найелементарнішої комунікації між людьми. Здобутки в області інформаційних систем, електроніки та комп'ютерних наук разом надають можливість використання напрямку інфокомунікацій для вирішення великого спектру проблем та викликів. Така конвергенція значно пришвидшила темпи розвитку. І тепер зміни галузі фіксуються щорічно.

У останнє десятиліття спостерігається актуалізація питань збереження та захисту навколишнього середовища. Одним з значних викликів є боротьба з явищем парникового ефекту. На сьогоднішній день одним із найбільш ефективних підходів до вирішення проблеми боротьби зі стрімкою динамікою парникового ефекту є отримання інтелектуально інтерпретованих даних щодо динаміки парникових газів у режимі реального часу.

Зазначений виклик характеризується цілим рядом задач, що необхідні до вирішення: обрання сенсорів для детектування показників навколишнього середовища, вузлів мережі для взаємодії, алгоритм побудови та оптимізації, середовище обробки та, загалом, архітектура такої системи. Саме тому дослідження такої мережі представляє собою комплексне рішення з вирішення актуального завдання, що робить вивчення та розробку надзвичайно важливими на сьогоднішній день та у майбутній перспективі.

Метою кваліфікаційної роботи є проектування комплексної інформаційно-комунікаційної архітектури системи моніторингу стану навколишнього середовища шляхом дослідження складових програмно-апаратної складових принципів та алгоритмів функціонування.

Об'єктом дослідження в даній роботі є архітектура організації систем збору, способів передачі та обробки вимірювальних даних із моніторингу

навколишнього середовища, синтез науково обґрунтованих прийомів із розробки структурно-алгоритмічної організації IoT-технології.

Предмет роботи – інфокомунікаційне програмно-апаратне рішення в галузі моніторингу навколишнього середовища.

Методи дослідження. При виконанні цієї роботи виконувались теоретичні та експериментальні дослідження із використанням методів узагальнюючого аналізу, синтезу та моделювання.

Практична цінність роботи визначено базову архітектуру та особливості впровадження системи моніторингу навколишнього середовища.

Структура та обсяг роботи. Робота містить 110 сторінок, складається з вступу та 5 розділів, висновків до розділів, 25 рисунків, 10 таблиць, списку використаних джерел, які містять 24 найменування.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Характеристика сучасних кліматичних викликів

Парниковий ефект виникає за умови, коли певні гази, також відомі як парникові гази, накопичуються в атмосфері Землі.

У результаті парникові гази дозволяють сонячному світлу світити на поверхню Землі, а потім гази, такі як озон, затримують тепло, що відбивається від поверхні всередині атмосфери Землі. Гази діють як скляні стіни теплиці, тому звідси й походить назва парниковий газ.

За словами вчених, за відсутності парникового ефекту середня температура Землі знизилася б з 14°C (57°F) до -18°C ($-0,4^{\circ}\text{F}$).

Деякі парникові гази надходять із природних джерел, наприклад, випаровування додає водяну пару в атмосферу. Тварини та рослини виділяють вуглекислий газ під час дихання. Метан виділяється природним шляхом в результаті розкладання. Є дані, які свідчать про те, що метан виділяється в середовищах з низьким вмістом кисню, таких як болота або звалища. Вулкани — як на землі, так і під океаном — виділяють парникові гази, тому періоди високої вулканічної активності, як правило, тепліші.

З часів промислової революції кінця 1700-х і початку 1800-х років люди викидають в атмосферу більшу кількість парникових газів. За минуле століття ця сума різко зросла. З 1970 по 2004 рік викиди парникових газів зросли на 70 відсотків. За цей час викиди CO_2 зросли приблизно на 80 відсотків.

Кількість CO_2 в атмосфері значно перевищує природний діапазон, який спостерігається протягом останніх 650 000 років.

Більша частина CO_2 , яку люди викидають в атмосферу, походить від спалювання викопного палива. Автомобілі, вантажівки, потяги та літаки спалюють викопне паливо. Багато електростанцій так само роблять. Ще один

спосіб викиду CO₂ в атмосферу — це вирубування лісів, оскільки дерева містять велику кількість вуглецю.

Люди додають метан в атмосферу через тваринництво, звалища та виробництво викопного палива, наприклад видобуток вугілля та переробку природного газу. Закис азоту походить від сільського господарства та спалювання викопного палива. Фторовані гази включають хлорфторвуглеці (CFC), гідрохлорфторвуглеці (HCFC) і гідрофторвуглеці (HFC). Вони виробляються під час виробництва холодильних і охолоджуючих продуктів і через аерозолі.

Усі ці дії людини додають парникових газів в атмосферу. З підвищенням рівня цих газів зростає і температура Землі. Підвищення середньої температури на Землі внаслідок діяльності людини відоме як глобальне потепління.

Навіть незначне підвищення середньої глобальної температури може мати величезні наслідки.

Мабуть, найбільшим і найочевиднішим ефектом є те, що льодовики та крижані шапки тануть швидше, ніж зазвичай. Тала вода стікає в океани, викликаючи підвищення рівня моря.

Льодовики та крижані шапки покривають близько 10 відсотків земної суші. Вони зберігають від 70 до 75 відсотків світової прісної води. Якщо весь цей лід розтане, рівень моря підніметься приблизно на 70 метрів (230 футів).

Міжурядова група експертів зі зміни клімату стверджує, що глобальний рівень моря підвищувався приблизно на 1,8 міліметра (0,07 дюйма) на рік з 1961 по 1993 рік і приблизно на 3,1 міліметра (0,12 дюйма) на рік з 1993 року.

Підвищення рівня моря викликає повені в прибережних містах, які можуть перемістити мільйони людей у низинні райони, такі як Бангладеш, штат Флорида США та Нідерланди.

Ще мільйони людей у таких країнах, як Болівія, Перу та Індія, залежать від льодовикової талої води для пиття, зрошення та гідроелектроенергії. Швидка втрата цих льодовиків спустошила б ці країни.

Викиди парникових газів впливають не тільки на температуру. Інший ефект включає зміни в опадах, таких як дощ і сніг.

Протягом 20 століття кількість опадів збільшилася в східних частинах Північної та Південної Америки, північній Європі та північній і центральній Азії. Проте в деяких частинах Африки, Середземномор'я та Південної Азії воно зменшилося.

Зі зміною клімату змінюються і середовища проживання живих істот. Тварини, які пристосовані до певного клімату, можуть опинитися під загрозою вимирання. Багато людських суспільств залежать від передбачуваних моделей дощу, щоб вирощувати певні культури для їжі, одягу та торгівлі. Якщо клімат місцевості змінюється, люди, які там живуть, можуть більше не мати змоги вирощувати зернові культури, від яких залежить їх матеріальний та фізичний стан. Деякі вчені також стурбовані тим, що тропічні хвороби розширяють свої ареали на регіони з більш помірним кліматом, якщо температура в цих областях підвищиться.

Більшість кліматологів погоджуються з тим, що є гостра необхідність зменшити кількість парникових газів, що викидаються в атмосферу.

Боротьба зі зміною клімату вимагатиме постійного скорочення викидів, що, у свою чергу, потребуватиме вищої точності моніторингу, звітності та перевірки. Кращий моніторинг прискорить локальне скорочення викидів, а також стане критичним для перевірки міжнародних угод і швидкого виявлення невдалих рішень. Багато джерел парникових газів і забруднювачів розподілені на великих територіях і, отже, краще підходять для моніторингу за допомогою зондування на відкритому шляху. Спектроскопія з подвійною гребінкою відкритого тракту має відкрити нові можливості для точного атмосферного зондування різноманітних компонентів атмосфери, критичних для зміни клімату та якості повітря.

Удосконалений моніторинг клімату вплине на численні економічні сектори, критичні для національної безпеки. Наприклад, сільське господарство є великою рушійною силою зміни клімату, але має також

подвоїти виробництво продуктів харчування протягом наступних тридцяти років, щоб підтримувати глобальну продовольчу безпеку, одночасно справляючись із наслідками зміни клімату. Моніторинг може сприяти більш ефективному використанню добрив і водних ресурсів, зменшуючи викиди парникових газів (ПГ) і споживання ресурсів. Видобуток нафти та газу є джерелом як метану, так і летких органічних сполук (ЛОС), що утворюють озон, але це важливо для енергетичної безпеки країн в найближчій перспективі. Природний газ може служити перехідним паливом від вугілля, але для пом'якшення наслідків зміни клімату знадобиться швидке визначення неконтрольованих викидів метану. Міські райони є одним із головних джерел парникових газів і, отже, знаходяться на передньому краї зусиль щодо скорочення викидів, але важко перевірити будь-яке скорочення лише за допомогою інвентаризації. Супутники можуть забезпечити покриття в усьому світі, але лише якщо їх можна відкалібрувати з безпрецедентною точністю. Нарешті, майбутня геоінженерія вимагатиме ретельного моніторингу слідів атмосферних газів, щоб уникнути ненавмисних впливів.

У останні десятиліття особливо актуальними стають питання збереження та захисту довколишнього середовища. Одним зі значних викликів є боротьба з явищем парникового ефекту. Парниковий ефект виникає у результаті накопичення в атмосфері Землі парникових газів: вуглекислий газ (CO_2), метан (CH_4), оксид азоту (N_2O), озон (O_3) і фторовані гази. До джерел природного походження таких газів відносять: випаровування водяної пари в атмосферу, виділення вуглекислого газу під час дихання, поява метану в результаті розкладання та інше. До джерел штучного походження: спалювання викопного палива різноманітним транспортом, вирубування лісів та викиди промислових підприємств. При цьому незначні підвищення середньої глобальної температури мають значні наслідки, насамперед, це підвищення рівня моря через танення льодовиків. Також підвищення температури впливає на глобальну зміну клімату планети,

що порушує нормальні умови життя для живих істот і руйнує екосистеми. Додатковий негативний ефект включає зміни в рівнях опадів.

Боротьба зі зміною клімату вимагатиме постійного контролю й керування викидами парникових газів у атмосферу, що, в свою чергу, потребуватиме вищої точності та оперативності моніторингу, звітності та перевірки. Реалізація технологій високоефективного інтелектуального моніторингу кліматичних параметрів позитивно впливає на численні критичні для національної безпеки й економіки сектори [1].

На сьогоднішній день одним із найбільш ефективних підходів до вирішення проблеми боротьби зі стрімкою динамікою парникового ефекту є отримання інтелектуально інтерпретованих даних щодо динаміки парникових газів у режимі реального часу. Отже, розробка і впровадження технологій Інтернету речей, які призначено для комп'ютеризованого аналізу концентрацій парникових газів, є актуальною науково-прикладною задачею.

Вимірювання парникових газів, особливо вуглекислого газу (CO_2) і метану (CH_4), є критично важливими для моніторингу, перевірки та звітності, оскільки країни та міста працюють над зменшенням своїх викидів вуглецю. Вимірювання в масштабі міста є критично важливим, оскільки міста спричиняють значну частину глобальних викидів. Однак кількісне визначення міських викидів парникових газів є складним завданням, особливо для вуглекислого газу, оскільки він має високий фон і численні точкові та дифузні джерела, включаючи транспорт, електростанції та дихання тварин і рослин. Викиди забруднюючих речовин зазвичай визначаються за допомогою двох методів: підхід «зверху вниз» з використанням атмосферних вимірювань на певній ділянці чи території для коригування попередньої моделі та інвентаризація «знизу вгору», яка обчислює викиди на основі галузевої діяльності та факторів викидів у секторі.

1.2 Аналіз складових елементів парникових газів

Парниковий газ (GHG або GhG) — це газ, який поглинає та випромінює променисту енергію в тепловому інфрачервоному діапазоні, викликаючи парниковий ефект. Основними парниковими газами в атмосфері Землі є водяна пара (H_2O), вуглекислий газ (CO_2), метан (CH_4), закис азоту (N_2O) і озон (O_3). Без парникових газів середня температура поверхні Землі становила б приблизно $-18\text{ }^\circ\text{C}$ ($0\text{ }^\circ\text{F}$), замість поточного середнього $15\text{ }^\circ\text{C}$ ($59\text{ }^\circ\text{F}$). Атмосфера Венери, Марса і Титана також містить парникові гази у власних пропорціях.

Діяльність людини з початку промислової революції (близько 1750 року) збільшила концентрацію вуглекислого газу в атмосфері більш ніж на 50%, з 280 частин на мільйон у 1750 році до 421 частин на мільйон у 2022 році. Востаннє концентрація вуглекислого газу в атмосфері була такою високою понад 3 мільйони років тому. Це збільшення відбулося, незважаючи на поглинання більше половини викидів різними природними поглиначами вуглецю в циклі вуглецю.

За поточних рівнів викидів парникових газів до 2050 року температура може зрости на $2\text{ }^\circ\text{C}$ ($3,6\text{ }^\circ\text{F}$), що, за словами Міжурядової групи експертів зі зміни клімату ООН (IPCC), є верхньою межею, щоб уникнути «небезпечних» рівнів. Переважна більшість антропогенних викидів вуглекислого газу відбувається від спалювання викопного палива, головним чином вугілля, нафти (включаючи нафту) і природного газу, з додатковим внеском від виробництва цементу, виробництва добрив, вирубки лісів та інших змін у землекористуванні.

Парникові гази – це ті, які поглинають і випромінюють інфрачервоне випромінювання в діапазоні довжин хвиль, що випромінює Земля. Вуглекислий газ (0,04%), закис азоту, метан і озон – це незначні гази, які складають майже 0,1% земної атмосфери і мають відчутний парниковий ефект.

Атмосферні концентрації визначаються балансом між джерелами (викиди газу в результаті людської діяльності та природних систем) і поглиначами (видалення газу з атмосфери шляхом перетворення в іншу хімічну сполуку або поглинання водоймами). Частка викидів, що залишаються в атмосфері після визначеного часу, є «повітряною фракцією» (AF). Річна фракція в повітрі – це відношення збільшення атмосфери за певний рік до загальних викидів за цей рік. Станом на 2006 рік річна частка CO₂ у повітрі становила близько 0,45. За період 1959–2006 рр. частка повітря в повітрі зростала зі швидкістю $0,25 \pm 0,21\%$ на рік. [2]

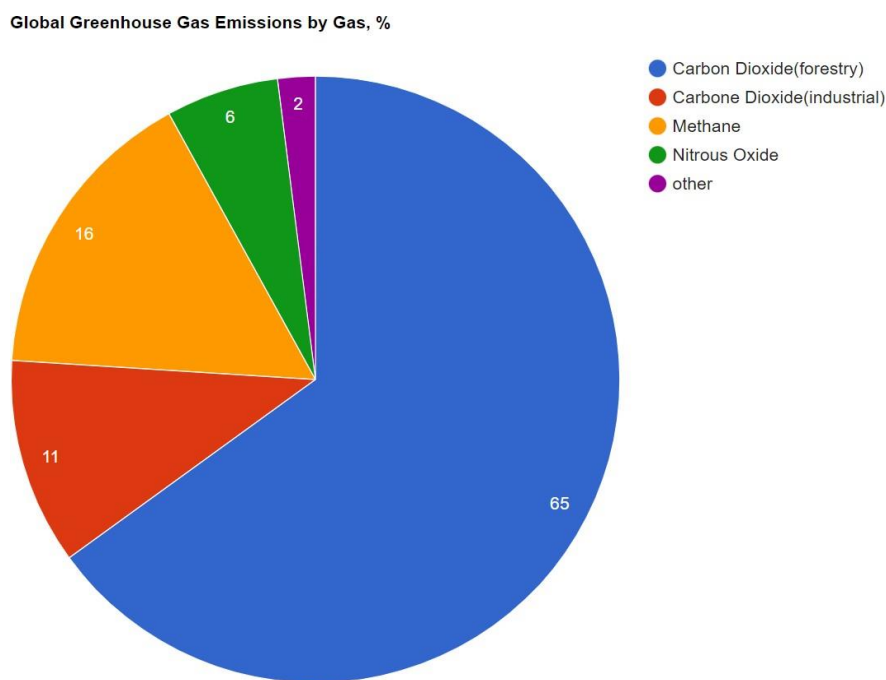


Рисунок 1.1 – Діаграма розподілу співвідношення концентрацій парникових газів у довколишньому середовищі

Таблиця 1.1 – Деталізована інформація щодо розподілу концентрацій парникових газів

Назва	Хімічна формула	Концентрація в атмосфері, ppm	Відсоткове співвідношення, %
Водяна пара і хмари	H ₂ O	від 10 до 50 тис.	від 36 до 72
Вуглекислий газ	CO ₂	приблизно 400	від 9 до 26
Метан	CH ₄	приблизно 1,8	від 4 до 9
Озон	O ₃	від 2 до 8	від 3 до 7

Викиди вуглекислого газу змішуються з атмосферою Землі, якщо половина викидів не поглинається. (Моделювання NASA; листопад 2014).

Потенціал глобального потепління (GWP) залежить як від ефективності молекули як парникового газу, так і від часу її життя в атмосфері. GWP вимірюється відносно тієї самої маси CO₂ та оцінюється за певний часовий масштаб. Таким чином, якщо газ має високий (позитивний) радіаційний вплив, але також короткий термін служби, він матиме великий ПГП у 20-річному масштабі, але малий у 100-річному масштабі. І навпаки, якщо молекула має довший час життя в атмосфері, ніж CO₂, її GWP збільшиться, якщо врахувати шкалу часу. Вуглекислий газ визначено таким, що має GWP 1 за всі періоди часу.

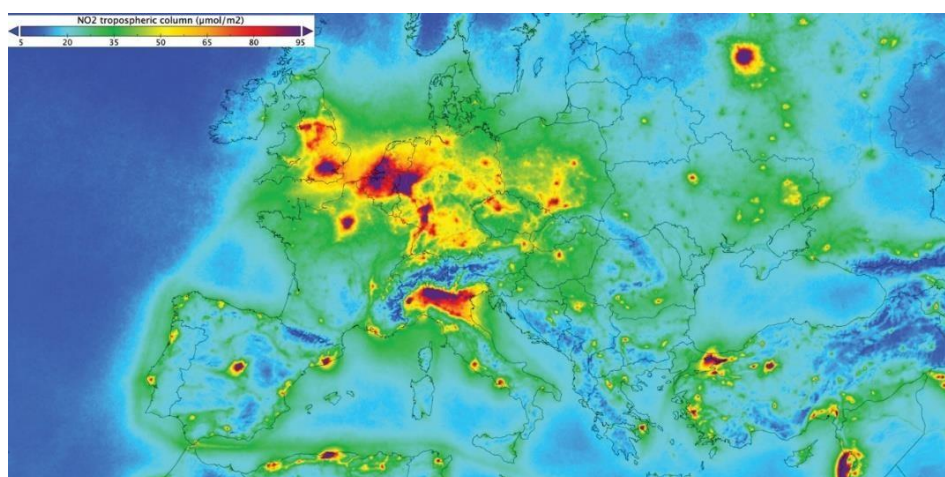
Метан живе в атмосфері 12 ± 2 роки.[2] У звіті IPCC 2021 року GWP перераховується як 83 за часовий масштаб 20 років, 30 за 100 років і 10 за 500 років. Проте в аналізі 2014 року стверджується, що хоча початковий вплив метану приблизно в 100 разів більший, ніж CO₂, через коротший час життя в атмосфері через шість-сім десятиліть вплив двох газів приблизно рівний, і з цього моменту метан відносна роль продовжує знижуватися. Зменшення GWP за більш тривалий час пояснюється тим, що метан розкладається на воду та CO₂ через хімічні реакції в атмосфері.

1.3 Класифікація підходів до моніторингу

Проведений аналіз концепцій щодо моніторингу параметрів довколишнього середовища дозволив виокремити три загальні підходи: за допомогою систем супутникового зв'язку, з використанням атмосферних зондів та розгортання наземних систем збору і передачі даних.

1.3.1 Супутниковий моніторинг

Технології на базі супутникового зв'язку здатні забезпечити покриття в усьому світі з високою точністю й роздільною здатністю як, наприклад, наведено на рисунку 1.2.



According to the Air Quality in Europe report published in 2018 by the European Environment Agency (EEA), 19 EU Member States recorded nitrogen dioxide concentration above the annual permissible limit. Imagery from Sentinel-SP

Рисунок 1.2 – Приклад результату моніторингу викидів парникових газів на території Європи за допомогою супутників [3]

Як показує аналіз сучасних літературних джерел, супутники, що розміщені на орбіті, містять комплекси сенсорів, які детектують відбиту або випромінювану енергію та гази від поверхні Землі. Уряди та державні установи більшості країн світу підтримали програми реалізації моніторингу викидів парникових газів шляхом запуску супутникових систем для

агрегування національних і глобальних баз даних щодо динаміки викидів парникових газів [3]. Завдяки відкритому доступу до цих даних академічні, урядові та комерційні установи отримали змогу надавати важливі функції з оцінки таких даних ширшій спільноті. Прикладами супутникових систем є незалежні та надійні платформи, які можуть опрацьовувати та об'єднувати величезні обсяги даних для створення відповідних баз знань. Ці місії мають потенціал зробити внесок у національні кадастри викидів парникових газів, зосереджуючись на трьох основних газах, перерахованих у Паризької угоді для цілей звітності сторін: вуглекислий газ (CO_2), метан (CH_4) і оксид азоту (N_2O). Реалізація такого підходу дозволила згенерувати загальну карту парникових газів у масштабах планети [4].

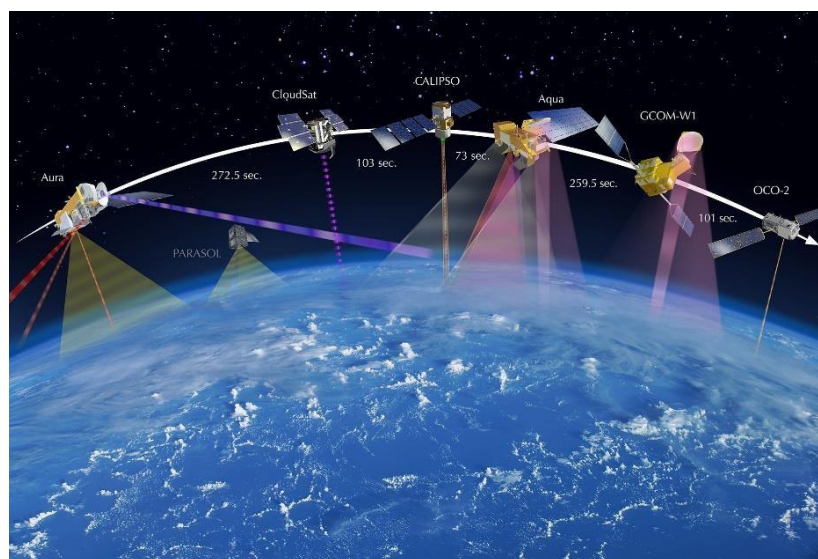


Рисунок 1.3 – Приклад організації процесу моніторингу концентрацій парникових газів за допомогою супутників [5]

1.3.2 Моніторинг у атмосфері

Другим широко апробованим і використовуваним підходом щодо збору інформації відносно динаміки концентрацій парникових газів є застосування безпілотних літальних апаратів із інтегрованими пристроями неруйнівного

інструментального моніторингу. Типовим прикладом такого технічного рішення є Fast Response Atmospheric Turbulence (FRAT) [4]. Цей зонд є автономним програмно-апаратним комплексом, який придатний до використання під час проведення атмосферного вимірювального контролю й надання даних, які можуть бути використані для оцінки потоків детектованих газів та / або інших фізико-хімічних параметрів. Основною характерною особливістю конструкції FRAT є її здатність поглинати навколишнє повітря з рівномірною швидкістю без дестабілізуючого впливу турбулентності. Такий підхід має наступні істотні переваги: підвищення точності вимірювань; економія часу та ресурсів на відносно невеликих відстанях; усунення необхідності виконувати додаткові аналізи з урахуванням руху зонду.

У рік теплових куполів, посухи, рекордних лісових пожеж, повеней і потужних штормів наслідки зміни клімату були неминучими. Нове опитування Єльської програми з комунікацій щодо зміни клімату не тільки показало, що 3 з 4 американців вважають, що глобальне потепління є реальністю, більшість стверджують, що воно вже шкодить людям.

Надіючись запобігти найгіршим наслідкам потепління, Паризька угода 2015 року поставила за мету утримати зростання глобальної температури на 1,5 С вище доіндустріального рівня. Але у звіті за вересень 2021 року Всесвітня метеорологічна організація попередила, що постійне зростання концентрації парникових газів в атмосфері може спричинити перевищення цього порогу протягом п'яти років. Генеральний секретар Організації Об'єднаних Націй Антоніу Гутерріш описав звіт як «тривожну оцінку того, наскільки ми далеко від курсу». Методи моніторингу за допомогою дронів покликані для збору точної інформації локальних масштабів.

1.3.3 Наземний моніторинг

Третім широко розповсюдженим видом технологій моніторингу кліматичного призначення є використання наземних розподілених систем сенсорів і мережевих пристроїв. Існує велика кількість фірмових стандартів, що розроблені саме для впровадження під час наземного моніторингу. Узагальнено наземні системи можна представити трьома ключовими складовими: вузол детектування і агрегування даних, мережа передачі даних та система обробки й аналізу отриманої інформації [7] як, наприклад, показано на рисунку 1.4.

Важливим є зауваження відносно того, що саме якісне обґрунтування компонентної бази і функціонального забезпечення сенсорного і мережевого рівнів у подальшому впливає на якість функціонування всієї технології. Для наземного збору даних необхідним є визначення виду топології мережі, середовища передавання й алгоритму організації взаємодії між вузлами мережі.



Рисунок 1.4 – Приклад мережевої організації наземної технології моніторингу кліматичних даних [7]

Наземні мережеві рішення мають наступні переваги:

- ергономічність під час упровадження та обслуговування у реальних умовах експлуатації;
- висока точність і дискретність детектування;
- здатність до масштабування під час розширення переліку детектованих фізико-хімічних параметрів.

Також можна зазначити основні обмеження, що притаманні для програмно-апаратних рішень таких систем і обумовлюють необхідність проведення додаткових досліджень:

- облік можливості розгортання та стабільного функціонування у різноманітних кліматичних умовах;
- обмеження, що пов'язані з адаптацією мережевих алгоритмів;
- захист цілісності даних під час передачі;
- потреба у розробці моделей обробки значних об'ємів вимірювальних даних у режимі реального часу.

Наступним реалізованим етапом аналізу була деталізація характеристик розповсюджених наземних мережевих технологій кліматичного моніторингу. При цьому для більш ґрунтовного аналізу, окрім систем моніторингу концентрацій парникових газів, були розглянуті аналогічні рішення для інших галузей. Це дозволило більш детально сформулювати основні вимоги до мережевого рівня проєктованої технології. Під час аналізу були розглянуті наступні технології: Tevatronic, WoRShIP та Ribbit Network.

Tevatronic використовується в аграрному секторі та базується на бездротових мережах [7]. Tevatronic – це технологія, яка повністю автоматизує процедури зрошення та внесення добрив, що налаштовані для досягнення бажаної глибини кореневої системи, а також прийняття рішень за вимірювальними даними. Бездротові датчики збирають точні дані щодо стану ґрунту в кожній характерній зоні аграрного підприємства. Мікроконтролерний блок після первинної цифрової обробки відправляє вимірювальну інформацію до хмарного середовища інтелектуального

опрацювання даних, що синхронізовано з циклами зрошення / внесення добрив без втручання людини. Таким чином, Tevatroniv є повністю автономним мережевим рішенням.

WoRShIP є більш глобальним проєктом із програмно-апаратної реалізації задач моніторингу промислового призначення. Це рішення базується на фотоакустичному принципі дії щодо виявлення газів від фірми-розробника WoePal. Така система спроможна виявляти низку парникових газів і забруднювачів повітря, а також аналізувати потоки та концентрації парникових газів на рівні мікроконцентрацій у режимі онлайн. Ця технологія узгоджена з протоколами зв'язку Bluetooth і Wi-Fi. Програмна компонента такого рішення може бути адаптована під різні сценарії функціонування мереж динамічного моніторингу детектування й аналізу потоків парникових газів.

Одним із альтернативних напрямків є створення некомерційних проєктів на базі концепції Інтернету речей як, наприклад, мережа Ribbit, що являє собою значну мережу бюджетних сенсорів парникових газів із відкритим кодом [8]. Цей науковий проєкт має на меті створити найбільшу в світі базу даних щодо викидів парникових газів, що дасть змогу будь-кому приєднатися до роботи над задачами аналізу змін клімату та надавати обґрунтовані рекомендації з поліпшення глобальної кліматичної ситуації.

Таким чином, на підставі деталізованого аналізу вищенаведених рішень із кліматичного моніторингу було сформовано основні вимоги до IoT-технології моніторингу, яка розробляється і досліджується в даній роботі, а саме:

- автономність мережевого рішення;
- інтеграція датчиків з існуючими стандартами побудови інфокомунікаційних мереж;
- побудова бездротової мережі сенсорів із доступом до глобальної мережі обміну й трансформації даних;

- розробка алгоритмів адаптивного обміну даними в складних кліматичних умовах;
- використання моделей штучного інтелекту для аналізу даних від розподілених сенсорів.

Висновки до розділу 1

Перший розділ кваліфікаційної роботи було присвячено стислому огляду сучасного кліматичного стану та підходів до моніторингу, проаналізовано основні елементи парникових газів, джерела появи та вплив на середовище, зроблено висновки про необхідність контролю стану навколишнього середовища. Надалі наведено класифікацію основних методів моніторингу з послідовним представленням: супутниковий, атмосферний та наземний. Супутниковий характеризується охопленням великих масштабів територій та наданням загальних показників з метою відслідковування змін стану планети в цілому. У свою чергу атмосферний моніторинг є можливим за допомогою різноманітних літальних засобів та здійснюється з метою аналізу територій середніх масштабів, має багато розробок на рівні прототипів. Останнім є наземний принцип. Такий підхід дозволяє збирати великий обсяг інформації з території малих та середніх масштабів, що сприяє більш глибокому аналізу метрик та, як наслідок, більш якісних висновків. Встановлення таких систем є можливим у різноманітних умовах і потребує попереднього вивчення середовища розгортання. Надалі важливим є вибір методу та аналіз технологій.

2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ

2.1 Вибір методу моніторингу

Під час проведення порівняльного аналізу технологій комп'ютеризованого моніторингу концентрацій парникових газів, які деталізовано вище, було зроблено проміжні висновки, які наведено в таблиці 2.1. Якісні градації параметрів «високий», «середній» та «низький» є результатами співставлення технологій одна з одною на якісному рівні.

Таблиця 2.1 – Результати порівняння технологій кліматичного моніторингу

Параметр	Супутники	Зонди	Наземні мережі
Покриття	Високе	Низьке	Високе
Точність	Середня	Середня	Висока
Складність технології	Висока	Середня	Середня
Мобільність	Низька	Висока	Середня
Масштабованість	Висока	Низька	Висока
Вартість	Висока	Середня	Середня

Таким чином, під час аналізу відомих результатів у досліджуваній предметній області було встановлено, що організація системи моніторингу парникових газів із використанням наземних сенсорних і мережевих технологій є на даний момент оптимальним рішенням із точки зору інтегральних техніко-економічних показників. Пояснюється це тим, що супутникові системи загалом використовуються для отримання більш глобальної картини відносно парникових газів та їх впливу на планету, тобто відображають інтегральну тенденцію, що не є таким актуальним, із точки зору, організації інфокомунікаційного рішення для локальних завдань моніторингу, а атмосферні зонди наразі мають велику кількість варіантів

реалізацій і у багатьох випадках реалізуються не за рахунок утворення стабільної мережі. Наземні мережеві рішення мають наступні переваги:

- зручність упровадження та подальшого обслуговування у реальних умовах застосування системи;
- висока рівень точність вимірювань при детектування;
- властивість масштабування при розширенні переліку детектованих параметрів.

Також можна зазначити обмеження, що є притаманними для подібних рішень й систем і обумовлюють необхідність проведення додаткових досліджень:

- дослідження особливостей розгортання та роботи у різноманітних умовах;
- обмеження на рівні мережевих алгоритмів;
- збереження інформації при передачі;
- потреба у розробці середовища обробки значних об'ємів вимірювальних даних [7].

2.2 Концепція IoT

Спостерігається тенденція активної розробки рішень Всеосяжного Інтернету. Постає питання про використання готових систем уже сьогодні. Водночас активно мають розвиток кілька основних напрямів Всеосяжного Інтернету: промисловий Інтернет речей (IIoT) та побутовий Інтернет речей (IoT). Реалізації відрізняються в першу чергу особливостями умов роботи на різноманітних підприємствах: потреба у високому рівні якості зв'язку, надійність передачі, стійкість до специфічних факторів промислового середовища та багато іншого. З цієї точки зору побутові системи відрізняються нижчими запитами до показників роботи.

Але, незважаючи на варіант, загальні принципи функціонування зберігаються незмінними: необхідним є досягнути такої системи, що здатна взаємодіяти з будь-якими пристроями, що виступають у ролі умовних датчиків, провести попередню обробку, передати цю інформацію до інфраструктури загального аналізу та обробки, повинен також існувати підхід для оптимальної роботи з даними. Усі зазначені складові є необхідними [11]. Вибір же способу розробки покладається на розробників. Загальна схема має наступний вигляд:

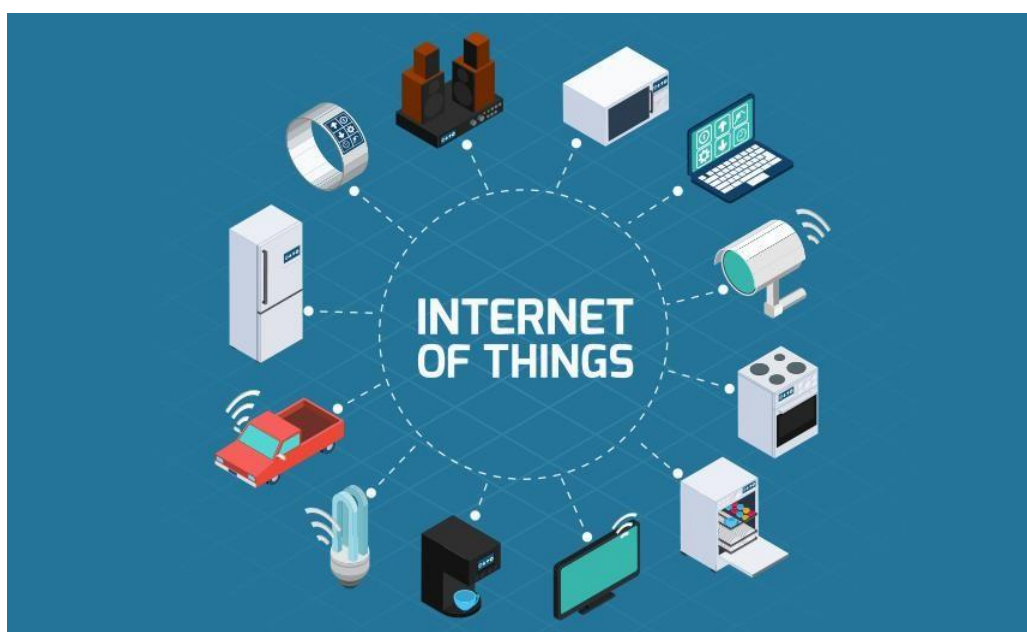


Рисунок 2.1 – Загальне представлення IoT

З інженерної точки зору, систему Інтернету речей можна представити у вигляді чотирьох складових частин: мережа кінцевих сенсорів, вузли передачі даних до середовища аналізу та обробки, власне середовище аналізу та обробки інформації. У класичному представленні мережу можна розділити на три рівні: доступу, розподілу та ядра. У схемі Інтернету речей у якості доступу виступають користувачі та датчики, розподілом займаються ланки передачі, а ядром є система обробки. Така тривірнева модель дуже зручно розподіляє області розробки [11].

Активізацією розвитку Інтернету речей вважається 2009 рік. За відносно недовгий час технології Інтернету речей демонструє високі темпи розповсюдження:

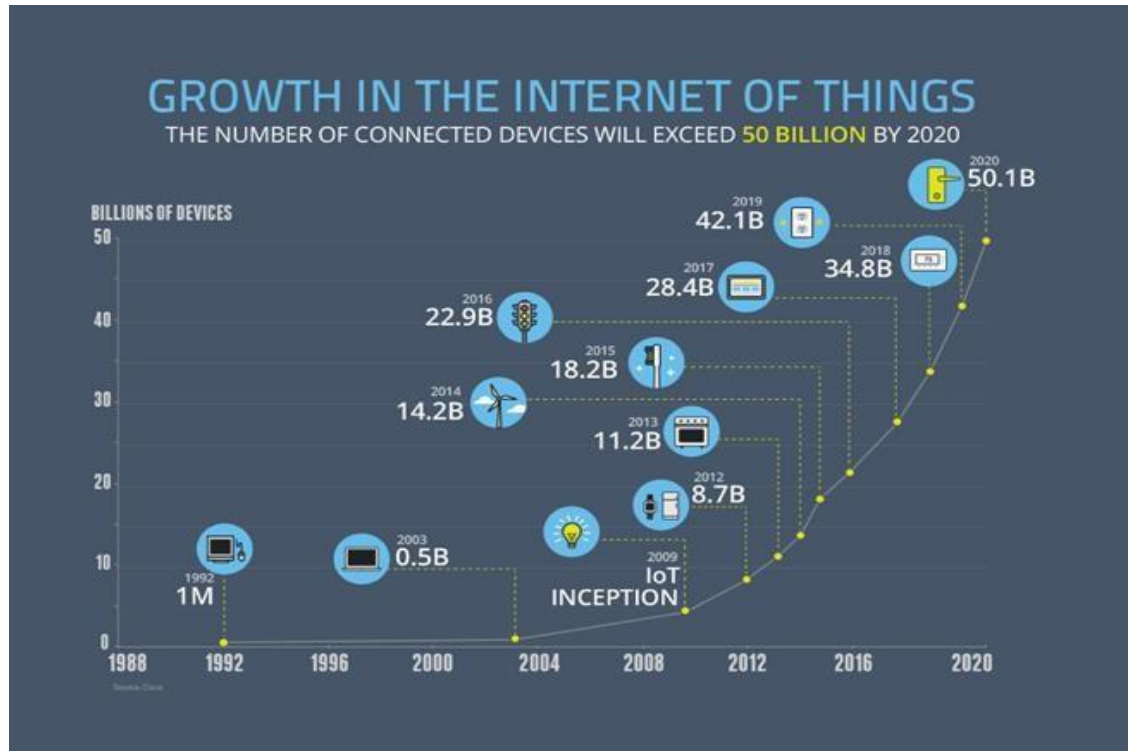


Рисунок 2.2 – Зростання обсягів пристроїв IoT

За графіком можна бачити точки початку виготовлення деяких пристроїв, а також динаміку зростання активного виробництва. Також за графіком можна бачити експоненціальну залежність розвитку, отже вже можна стверджувати, що технологія має високий потенціал та є висока актуальність. Загальні показники розвитку технології демонструють наступне:

- світові витрати у 2021 році склали один трильйон доларів;
- автоматизація будинків зросла на 52%;
- за рік в усьому світі Інтернет речей заробив приблизно 300 мільярдів доларів;
- на 2021 рік кількість активних пристроїв Інтернету речей складає від 20.4 до 31 мільярдів;

– до 2025 року планується зростання кількості пристроїв до 75 мільярдів зі зростанням прибутків до 1.3 трильйони доларів.

Надзвичайного поширення набула ідея Розумного міста (SmartCity). Цей напрямок заслуговує додаткової уваги. Розумне місто є концепцією міста, що представляє загальну мережу, до якої під'єднано решту складових. Одночасно з цим важливим є поява зазначених під'єднань у побуті користувачів: будинки, авто, домашні речі та інше. Взаємодія між зазначеними приладами утворюють загальну систему. Разом з під'єднанням усіх складових сучасного міста можна досягнути: високого рівня охорони здоров'я, дотримання права, якісне реагування на інциденти, оптимальна побудова шляхів, попередження аварійних ситуацій, агрегація даних про різноманітні параметри міста за допомогою мереж датчиків та багато іншого. Можна казати, що впровадження системи SmartCity сьогодні є одним з провідних напрямків Інтернету речей.

Інтернет речей (IoT) має бути здатний прозоро та безперервно об'єднувати велику кількість різних і гетерогенних кінцевих систем, водночас забезпечуючи відкритий доступ до вибраних підмножин даних для розробки безлічі цифрових послуг. Тому побудова загальної архітектури для IoT є дуже складним завданням, головним чином через надзвичайно велику різноманітність пристроїв, технологій канального рівня та послуг, які можуть бути задіяні в такій системі. В межах дослідження увагу буде приділено саме на міській системі IoT, яка, хоча й є досить широкою категорією, характеризується специфічною сферою застосування. Міські IoT, по суті, розроблені для підтримки бачення Smart City, яке спрямоване на використання найпередовіших комунікаційних технологій для підтримки додаткових послуг для адміністрації міста та для громадян. Таким чином, ця стаття містить вичерпний огляд базових технологій, протоколів і архітектури для міського IoT.

Інтернет речей (IoT) — це нещодавня комунікаційна парадигма, що передбачає найближче майбутнє, у якому об'єкти повсякденного життя

будуть оснащені мікроконтролерами, трансиверами для цифрового зв'язку та відповідними стеками протоколів, які дозволять їм спілкуватися один з одним. і з користувачами, стаючи невід'ємною частиною Інтернету. Отже, концепція IoT спрямована на те, щоб зробити Інтернет ще більш захоплюючим і всепроникним. Крім того, забезпечуючи легкий доступ і взаємодію з широкою різноманітністю пристроїв, таких як, наприклад, побутова техніка, камери спостереження, датчики моніторингу, приводи, дисплеї, транспортні засоби тощо, IoT сприятиме розробці ряду додатків які використовують потенційно величезну кількість і різноманітність даних, створених такими об'єктами, для надання нових послуг громадянам, компаніям і державним адміністраціям. Ця парадигма справді знаходить застосування в багатьох різних сферах, таких як домашня автоматизація, промислова автоматизація, медична допомога, мобільна охорона здоров'я, допомога людям похилого віку, інтелектуальне управління енергією та розумні мережі, автомобільна промисловість, управління дорожнім рухом та багато інших.

Однак така гетерогенна сфера застосування робить пошук рішень, здатних задовольнити вимоги всіх можливих сценаріїв застосування, серйозною проблемою. Ця складність призвела до поширення різних і, іноді, несумісних пропозицій щодо практичної реалізації систем IoT. Таким чином, з системної точки зору, реалізація мережі IoT разом із необхідними серверними мережевими службами та пристроями все ще не має встановленої найкращої практики через її новизну та складність. Окрім технічних труднощів, прийняття парадигми IoT також заважає відсутність чіткої та загальновизнаної бізнес-моделі, яка може залучити інвестиції для сприяння розгортанню цих технологій [12].

У цьому складному сценарії застосування парадигми IoT до міського контексту становить особливий інтерес, оскільки це відповідає сильному поштовху багатьох національних урядів до впровадження ІКТ-рішень в управлінні державними справами, таким чином реалізуючи так зване розумне

місто. Хоча офіційного та загальноприйнятого визначення «розумного міста» ще немає, кінцева мета полягає в тому, щоб краще використовувати державні ресурси, підвищуючи якість послуг, що пропонуються громадянам, одночасно зменшуючи експлуатаційні витрати населення. адміністрації. Цю мету можна досягти шляхом розгортання міського Інтернету речей, тобто комунікаційної інфраструктури, яка забезпечує уніфікований, простий і економічний доступ до великої кількості державних послуг, таким чином розкриваючи потенціал синергії та підвищуючи прозорість для громадян. Міський IoT справді може принести низку переваг в управлінні та оптимізації традиційних громадських послуг, таких як транспорт і паркування, освітлення, спостереження та обслуговування громадських місць, збереження культурної спадщини, збір сміття, санітарний стан лікарень та школа. Крім того, доступність різних типів даних, зібраних за допомогою поширеного міського Інтернету речей, також може бути використана для підвищення прозорості та сприяння діям місцевої влади щодо громадян, підвищення обізнаності людей про статус їх міста, стимулюють активну участь громадян в управлінні державним управлінням, а також стимулюють створення нових послуг на основі тих, що надаються IoT. Таким чином, застосування парадигми IoT до Smart City є особливо привабливим для місцевих і регіональних адміністрацій, які можуть стати першими запроваджувачами таких технологій, таким чином діючи як каталізатори для прийняття парадигми IoT у більш широкому масштабі.

Smart City базуються на централізованій архітектурі, де щільний і неоднорідний набір периферійних пристроїв, розгорнутих у міській зоні, генерує різні типи даних, які потім доставляються через відповідні комунікаційні технології до центру управління, де здійснюється зберігання та обробка даних.

Таким чином, основною характеристикою міської інфраструктури Інтернету речей є її здатність інтегрувати різні технології з існуючими комунікаційними інфраструктурами для підтримки прогресивної еволюції

Інтернету речей із взаємозв'язком інших пристроїв і реалізацією нових функцій і послуг. Іншим фундаментальним аспектом є необхідність зробити частину даних, зібраних міським Інтернетом речей, легкодоступними для влади та громадян, щоб підвищити реакцію влади на проблеми міста та сприяти обізнаності та участі громадян у громадських справах [13].

Стандарти IETF для IoT охоплюють архітектуру веб-сервісів для IoT-сервісів, яка широко описана в літературі як дуже перспективний і гнучкий підхід. Насправді, веб-сервіси дозволяють реалізувати гнучку та взаємодіючу систему, яка може бути розширена до вузлів IoT, шляхом прийняття веб-парадигми, відомої як Representational State Transfer (ReST). Сервіси IoT, розроблені відповідно до парадигми ReST, демонструють дуже велику схожість із традиційними веб-сервісами, таким чином значно полегшуючи прийняття та використання IoT як кінцевими користувачами, так і розробниками послуг, які зможуть легко повторно використовувати багато знань, отриманих із традиційного Інтернету. технології в розробці сервісів для мереж, що містять розумні об'єкти. Підхід до веб-сервісів також пропагують міжнародні органи стандартизації, такі як IETF, ETSI та W3C, а також європейські дослідницькі проекти з IoT, такі як SENSEI,⁵ IoT-A,⁶ та SmartSantander.

Протоколи, які наразі є фактичними стандартами для Інтернет-комунікацій і зазвичай використовуються звичайними Інтернет-хостами, наприклад XML, HTTP та IPv4. Ці протоколи віддзеркалюються в обмеженому стеку протоколів їхніми аналогами низької складності, наприклад, ефективним обміном XML (EXI), протоколом обмежених додатків (CoAP) і 6LoWPAN, які підходять навіть для дуже обмежених пристроїв.

Як уже згадувалося, міська парадигма IoT встановлює особливі вимоги щодо доступності даних. В архітектурах, заснованих на веб-сервісах, обмін даними зазвичай супроводжується описом переданого вмісту за допомогою мов семантичного представлення, з яких розширена мова розмітки (XML),

ймовірно, є найпоширенішою. Тим не менш, розмір XML-повідомлень часто занадто великий для обмеженої ємності типових пристроїв для IoT. Крім того, текстова природа представлення XML робить розбір повідомлень пристроями з обмеженим ЦП більш складним порівняно з двійковими форматами. З цих причин робоча група Консорціуму Всесвітньої павутини (W3C)⁷ запропонувала формат EXI, який дозволяє навіть дуже обмеженим пристроям підтримувати та генерувати повідомлення за допомогою формату відкритих даних, сумісного з XML.

EXI визначає два типи кодування, а саме: без схеми та з інформацією про схему. У той час як кодування без схеми генерується безпосередньо з XML-даних і може бути декодовано будь-яким об'єктом EXI без будь-яких попередніх знань про дані, кодування на основі схеми припускає, що два процесори EXI спільно використовують XML-схему до фактичного кодування та декодування. Ця спільна схема дає змогу призначати числові ідентифікатори тегам XML у схемі та створювати граматики EXI на основі такого кодування. Процесор EXI загального призначення з інформацією про схему можна легко інтегрувати навіть у пристрої з дуже обмеженими можливостями, дозволяючи їм інтерпретувати формати EXI і, отже, роблячи можливим створення багатоцільових вузлів IoT навіть із пристроїв із дуже обмеженими можливостями. Проте використання підходу на основі схеми вимагає додаткової обережності при розробці додатків вищого рівня, оскільки розробникам необхідно визначити XML-схему для повідомлень, задіяних у додатку, і використовувати процесори EXI, які підтримують цей режим роботи.

Інтеграція багатьох джерел даних XML/EXI в систему IoT може бути досягнута за допомогою баз даних, які зазвичай створюються та підтримуються програмами високого рівня. Насправді програми IoT зазвичай створюють базу даних вузлів, які контролюються програмою, і, часто, даних, створених такими вузлами. База даних дає змогу інтегрувати дані, отримані будь-яким пристроєм IoT, щоб надати певну послугу, для якої розроблено

додаток. Загальну структуру для створення веб-додатків IoT відповідно до вказівок, описаних у цьому розділі, де також пропонується використовувати можливості асинхронного JavaScript і XML (AJAX) сучасних веб-браузерів, які дозволяють прямий зв'язок між браузер і кінцевий вузол IoT, що демонструє повну взаємодію стека протоколів і природу відкритих даних запропонованого підходу.

Більшість трафіку, який зараз перетинає Інтернет, передається на прикладному рівні через HTTP використовуючи в якості транспортного протоколу TCP. Однак багатослівність і складність HTTP роблять його непридатним для прямого розгортання на обмежених пристроях IoT. Для такого середовища фактично зрозумілий людині формат HTTP, який був однією з причин його успіху в традиційних мережах, виявляється обмежуючим фактором через велику кількість сильно корельованих (і, отже, зайвих) даних. Крім того, HTTP зазвичай покладається на транспортний протокол TCP, який, однак, погано масштабується на обмежених пристроях, що призводить до низької продуктивності для невеликих потоків даних у середовищах із втратою даних.

Протокол CoAP долає ці труднощі, пропонуючи двійковий формат, що транспортується через UDP, обробляючи лише повторні передачі, суворо необхідні для забезпечення надійного обслуговування. Крім того, CoAP може легко взаємодіяти з HTTP, оскільки: він підтримує методи ReST HTTP (GET, PUT, POST і DELETE) та існує однозначна відповідність між кодами відповідей двох протоколів та параметри CoAP можуть підтримувати широкий спектр сценаріїв використання HTTP.

Незважаючи на те, що звичайні хости в Інтернеті можуть нативно підтримувати CoAP для прямого зв'язку з пристроями IoT, найбільш загальне та легко сумісне рішення вимагає розгортання посередника HTTP-CoAP, також відомого як крос-проксі, який може прямо транслювати запити/відповіді між двома протоколами, таким чином забезпечуючи прозору взаємодію з рідними пристроями та програмами HTTP.

IPv4 — це провідна технологія адресації, яка підтримується хостами Інтернету. Проте IANA, міжнародна організація, яка призначає IP-адреси на глобальному рівні, нещодавно оголосила про вичерпання блоків адрес IPv4. Очікується, що мережі IoT, у свою чергу, включатимуть мільярди вузлів, кожен з яких (в принципі) має бути унікально адресованим. Рішення цієї проблеми пропонує стандарт IPv6, який надає 128-бітове поле адреси, що дозволяє призначити унікальну адресу IPv6 будь-якому можливому вузлу в мережі IoT.

Хоча, з одного боку, величезний адресний простір IPv6 дозволяє вирішити проблеми адресації в IoT. З іншого боку, це вводить накладні витрати, які не сумісні з обмеженими можливостями обмежених вузлів. Цю проблему можна подолати, прийнявши 6LoWPAN, який є усталеним форматом стиснення для заголовків IPv6 і UDP у мережах з обмеженим енергоспоживанням. Прикордонний маршрутизатор, який є пристроєм, безпосередньо підключеним до мережі 6LoWPAN, прозора виконує перетворення між IPv6 і 6LoWPAN, перетворюючи будь-який пакет IPv6, призначений для вузла в мережі 6LoWPAN, у пакет із форматом стиснення заголовка 6LoWPAN і керуючи зворотним перекладом у зворотному напрямку.

Хоча розгортання прикордонного маршрутизатора 6LoWPAN забезпечує прозору взаємодію між вузлами IoT і будь-яким хостом IPv6 в Інтернеті, взаємодія з хостами, які підтримують лише IPv4, залишається проблемою. Якщо говорити точніше, то проблема полягає в пошуку способу адресації певного хосту IPv6 за допомогою адреси IPv4 та інших метаданих, доступних у пакеті. Нижче буде представлено різні підходи до досягнення цієї мети.

Трансляція адрес порту v4/v6 (v4/v6 NAT). Цей метод відображає довільні пари адрес IPv4 і портів TCP/UDP на адреси IPv6 і порти TCP/UDP. Він нагадує класичну службу трансляції мережеских адрес і портів (NAPT), яка зараз підтримується в багатьох локальних мережах, щоб забезпечити

доступ до Інтернету для кількох хостів у приватній мережі шляхом спільного використання загальнодоступної адреси IPv4, яка використовується для адресації пакетів через загальнодоступний Інтернет. Коли пакет повертається на загальну адресу IPv4, периферійний маршрутизатор, який підтримує службу NATP, перехопить пакет і замінить загальну адресу призначення IPv4 на (приватну) адресу призначеного одержувача, яка визначається шляхом пошуку в NATP таблиця адреси хоста, пов'язаного з конкретним портом призначення, який переносить пакет. Цю ж техніку можна використати для відображення кількох адрес IPv6 в одну публічну адресу IPv4, що дозволяє пересилати дейтаграми в мережі IPv4 і правильно керувати нею на хостах, які використовують лише IPv4. Застосування цієї техніки вимагає невеликої складності, і, справді, зіставлення портів є усталеною технікою для переходу v4/v6. З іншого боку, такий підхід створює проблему масштабованості, оскільки кількість хостів IPv6, які можна мультиплексувати в одну адресу IPv4, обмежена кількістю доступних портів TCP/UDP (65535). Крім того, цей підхід вимагає, щоб з'єднання було ініційоване вузлами IPv6, щоб створити правильні записи в таблиці пошуку NATP. З'єднання, починаючи з хмари IPv4, також можуть бути реалізовані, але для цього потрібна складніша архітектура з локальним DNS, розміщеним у мережі IPv6 і статично пов'язаним із загальнодоступною адресою IPv4 у таблиці трансляції NATP.

Перетворення доменних імен v4/v6. Цей метод, вперше запропонований у, схожий на техніку, яка використовується для надання послуг віртуального хостингу в HTTP 1.1, що дає змогу підтримувати декілька веб-сайтів на одному веб-сервері, які спільно використовують ту саму адресу IPv4, використовуючи інформацію, що міститься у заголовку HTTP Host для ідентифікації конкретного веб-сайту, який запитує користувач. Подібним чином можна запрограмувати DNS-сервери таким чином, щоб після DNS-запиту на доменне ім'я веб-сервісу IoT DNS повертав адресу IPv4 крос-проксі HTTP-CoAP, з яким потрібно зв'язатися для доступу

до IoT-вузол. Після адресації HTTP-запиту проксі-серверу потрібно розв'язати доменне ім'я, що міститься в заголовку HTTP Host, на DNS-сервер IPv6, який відповідає IPv6-адресою, яка ідентифікує кінцевий вузол IoT, задіяний у запиті. Після цього проксі-сервер може переслати повідомлення HTTP до потрібного IoT через CoAP.

Відображення URI. Техніка відображення універсального ідентифікатора ресурсу (URI). Ця техніка включає в себе певний тип крос-проксі HTTP-CoAP, зворотний крос-проксі. Цей проксі поводить себе як кінцевий веб-сервер для клієнта HTTP/IPv4 і як вихідний клієнт для веб-сервера CoAP/IPv6. Оскільки цю машину потрібно розмістити в частині мережі, де є з'єднання IPv6, щоб забезпечити прямий доступ до кінцевих вузлів IoT, перетворення IPv4/IPv6 вирішується внутрішньо за допомогою застосованої функції зіставлення URI.

Міська система Інтернету речей, завдяки своїй притаманно великій зоні розгортання, вимагає набору технологій канального рівня, які можуть легко охоплювати широку географічну територію та, в той же час, підтримувати, можливо, великий обсяг трафіку, що є результатом агрегування надзвичайно високого рівня кількості менших потоків даних. З цих причин технології канального рівня, що дозволяють реалізувати міську систему IoT, класифікуються на необмежені та обмежені технології. Перша група включає всі традиційні комунікаційні технології LAN, MAN і WAN, такі як Ethernet, WiFi, волоконно-оптичний зв'язок, широкосмуговий зв'язок по лініях живлення (PLC) і стільникові технології, такі як UMTS і LTE. Зазвичай вони характеризуються високою надійністю, низькою затримкою та високою швидкістю передачі (порядку Мбіт/с або вище), і через притаманну їм складність і енергоспоживання зазвичай не підходять для периферійних вузлів IoT.

Натомість обмежені технології фізичного та канального рівня зазвичай характеризуються низьким споживанням енергії та відносно низькою швидкістю передачі, як правило, меншою за 1 Мбіт/с. Найбільш помітними

рішеннями в цій категорії є IEEE 802.15.4 Bluetooth і Bluetooth Low Energy, IEEE 802.11 Low Power, PLC, NFC і RFID. Ці канали зв'язку зазвичай демонструють тривалу затримку, в основному через два фактори: власне низьку швидкість передачі на фізичному рівні та політику енергозбереження, реалізовану вузлами для економії енергії, яка зазвичай включає циклічність роботи з короткими активними періодами.

Нарешті зазначено пристрої, необхідні для реалізації міського IoT, класифіковані на основі позиції, яку вони займають у комунікаційному потоці.

У корені системи знаходяться внутрішні сервери, розташовані в центрі керування, де дані збираються, зберігаються та обробляються для створення додаткових послуг. В принципі, внутрішні сервери не є обов'язковими для належної роботи системи IoT, хоча вони стають фундаментальним компонентом міського IoT, де вони можуть полегшити доступ до послуг розумного міста та відкритих даних через застарілу мережеву інфраструктуру. Серверні системи, які зазвичай розглядаються для взаємодії з джерелами даних IoT, включають наступне.

Системи керування базами даних: ці системи відповідають за зберігання великого обсягу інформації, створеної периферійними вузлами IoT, такими як датчики. Залежно від конкретного сценарію використання, навантаження на ці системи може бути досить великим, тому потрібно правильно визначити розміри серверної системи.

Веб-сайти: широке знайомство людей з веб-інтерфейсами робить їх першим варіантом для забезпечення взаємодії між системою IoT і «споживачами даних», наприклад, державними органами, операторами послуг, постачальниками комунальних послуг і звичайними громадянами.

Системи планування ресурсів підприємства (ERP): Компоненти ERP підтримують різноманітні бізнес-функції та є цінними інструментами для керування потоком інформації в складній організації, наприклад міській адміністрації. Інтерфейс компонентів ERP із системами керування базами

даних, які збирають інформацію, створену Інтернетом речей, дозволяє спростити керування потенційно величезною кількістю даних, дозволяючи розділити інформаційні потоки на основі їх характеру та актуальності та спростити створення нових послуг.

Рухаючись до «краю» IoT, варто відмітити шлюзи, роль яких полягає у з'єднанні кінцевих пристроїв з основною комунікаційною інфраструктурою системи. З огляду на концептуальну архітектуру протоколу, шлюз, таким чином, потрібен для забезпечення перекладу протоколу та функціонального відображення між необмеженими протоколами та їхніми обмеженими аналогами, тобто XML-EXI, HTTP-CoAP, IPv4/v6- 6LoWPAN.

Однак, незважаючи на те, що всі ці переклади можуть знадобитися для забезпечення взаємодії з периферійними пристроями та станціями керування IoT, немає необхідності зосереджувати їх усі в одному шлюзі. Навпаки, можливо, а іноді й зручно, розподілити завдання перекладу між різними пристроями в мережі. Наприклад, один проксі HTTP-CoAP можна розгорнути для підтримки кількох прикордонних маршрутизаторів 6LoWPAN.

Шлюзові пристрої також повинні забезпечувати взаємозв'язок між необмеженими технологіями канального рівня, які в основному використовуються в ядрі мережі IoT, і обмеженими технологіями, які натомість забезпечують зв'язок між периферійними вузлами IoT. Нарешті, на периферії системи IoT знаходяться пристрої, відповідальні за створення даних для доставки до центру керування, які зазвичай називаються периферійними вузлами IoT або, простіше кажучи, вузлами IoT. Загалом вартість цих пристроїв дуже низька, починаючи від 10 доларів США або навіть менше, залежно від типу та кількості датчиків/виконавчих механізмів, встановлених на платі. Вузли IoT можна класифікувати на основі великої кількості характеристик, таких як режим живлення, мережева роль (ретрансляція або аркуш), обладнання датчиків/виконавців і підтримувані технології канального рівня. Найбільш обмеженими вузлами IoT є, ймовірно,

радіочастотні мітки (RFtags), які, незважаючи на свої дуже обмежені можливості, все ще можуть відігравати важливу роль у системах IoT, головним чином через надзвичайно низьку вартість і пасивний характер їх комунікаційного обладнання, що не вимагає внутрішнього джерела енергії. Типовим застосуванням радіоміток є ідентифікація об'єктів за допомогою зчитування наближення, що може використовуватися для логістики, технічного обслуговування, моніторингу та інших послуг.

Мобільні пристрої, такі як смартфони, планшетні ПК або ноутбуки, також можуть бути важливою частиною міського IoT, надаючи інші способи взаємодії з ним. Наприклад, трансивер NFC, вбудований у смартфони останнього покоління, можна використовувати для ідентифікації позначених об'єктів, тоді як служба геолокації, що надається більшістю поширених операційних систем для мобільних пристроїв, може збагатити контекстну інформацію, пов'язану з цим об'єктом. Крім того, мобільні пристрої можуть надавати доступ до IoT різними способами, наприклад, через IP-з'єднання, що забезпечується службою стільникового зв'язку даних, або встановлюючи пряме з'єднання з деякими об'єктами за допомогою бездротових технологій малого радіусу дії, таких як Bluetooth Low Energy, Wi-Fi із низьким споживанням енергії або IEEE 802.15.4. Крім того, можна розробляти спеціальні програми для мобільних пристроїв, які можуть полегшити взаємодію з об'єктами IoT і системою в цілому.

Як вже було зазначено вище, побудова мереж Інтернету речей зводиться до вирішення проблеми побудови архітектури з трьох рівнів: доступу, розподілу та ядра. Рівень доступу представлено власне великою кількістю різноманітних пристроїв, що можуть виконувати різні завдання. Однією з особливостей є краєві розрахунки (edge intelligence), основна мета яких – проведення попередньої обробки даних за рахунок власних ресурсів. Цей підхід допомагає знизити кількість обчислень у центрах обробки, тобто заощаджує ресурс. На цьому рівні важливим є вирішення задачі енергоспоживання. У свою чергу рівень ядра має два глобальних рішення:

умовно децентралізоване на базі серверів хмарних обчислень та децентралізоване на основі технології блокчейн. Наразі частіше використовується підхід з організацією хмарних обчислень за допомогою виділених серверних систем обробки даних. Мережева ж складова для рівня розподілу виконує завдання взаємодії хмарних систем та кінцевих пристроїв. Саме цей рівень є найбільшим за своїми масштабами та потребує знаходження оптимального рішення при розробці й проектуванні, тому саме цей рівень активно розробляється великою кількістю компаній, що займаються питаннями Інтернету речей [13].

При розгортанні мережі одним з основних викликів є вибір оптимальної топології. У глобальному сенсі можна представити мережі для покриття обраної території (point-to-multipoint) та систем передачі між двома точками з метою утворення каналу передачі (point-to-point). Другий тип стосується ситуацій, коли у наявним є фізичний канал між вузлів, тобто у ситуаціях зв'язку між віддаленими регіонами або при організації певних магістральних ділянок. У той же час перший варіант є більш оптимальним для взаємодії з великою кількістю кінцевих пристроїв.

Вибір певного підходу залежить від ряду обставин. Можна зазначити найбільш розповсюджені:

- відстань між вузлами;
- енергоспоживання;
- показник затримок;
- організація ділянок обробки.

Якщо оцінювати мережу Інтернету речей, користуючись зазначеними параметри, то маємо висновок: система характеризується високою щільністю розподілу пристроїв, необхідним є мінімізація затримок, надійний контроль передачі інформації та здатність побудови оптимальних маршрутів передачі даних, що унеможлиблює втрати з'єднання за рахунок можливості швидкого перемикавання, тобто необхідним є певна надлишковість вузлів системи передачі.

Існують кілька основних топологічних рішень для організації передачі першого виду: кільцева, зірка, спільна шина, mesh, деревовидна, гібридна. Кожна зазначена топологія має свої сильні та слабкі сторони. При виборі слід зазначити важливу особливість: система Інтернету речей повинна мати динамічну перебудову шляхів, як наслідок мати високий рівень доступності та надійності для кінцевих пристроїв мережі. Це пов'язано з тим, що системі при цьому бажано мати безперервне функціонування, і кінцеві пристрої повинні взаємодіяти з декількома вузлами передачі даних для уникнення втрати даних при виході з ладу основних вузлів мережі. Таким чином, найбільш оптимальним вибором з точки зору доступності та якості мережі є стандарт mesh для організації мережевих систем.

2.3 Стандарт mesh

У процесі розгортання мережі ключова проблема полягає у виборі найбільш оптимальної топології. У загальному сенсі виділяють системи для масштабного покриття території (point-to-multipoint), а також мережі передачі між двома вузлами з метою утворення каналу передачі (point-to-point). Другий вид застосовується за умов, коли є наявним один канал між вузлами, тобто за умов зв'язку між віддаленими локаціями або при організації певних магістральних ділянок. Паралельно з цим перший варіант є оптимальним при взаємодії зі значною кількістю кінцевих пристроїв.

Вибір того чи іншого підходу залежить від певних обставин. Можна зазначити наступні:

- відстань між вузлами;
- енергоспоживання системи;
- рівень затримок;
- розподіл пристроїв на обраній ділянці.

Можна зазначити кілька варіантів топології для побудови мережі першого виду: кільцева, зірка, спільна шина, mesh, деревовидна, гібридна. Кожна з показаних топологій має свої недоліки та переваги. Для вибору слід визначити ключові умови: мережа Інтернету речей повинна мати можливість динамічної зміни маршрутів, як наслідок надавати високий рівень доступності та надійності для кінцевих користувачів. Це пов'язано з тим, що система має функціонувати безперебійно, і кінцеві вузли мають взаємодіяти з декількома вузлами передачі даних, щоб уникнути втрат інформації при виході зі стану надійності певної ланки систем. Таким чином, найоптимальнішою за вибором з точки зору доступу та якості мережі є стандарт mesh для організації мережі. Інші варіанти в тому чи іншому вигляді мають певні недоліки, що сприяють виникненню втрат при роз'єднанні [14].

Зазначаються наступні основні сильні сторони mesh топології:

- можливість підтримки великої кількості вузлів у мережі;
- найбільш оптимальна маршрутизація даних у мережі;
- низький рівень затримок;
- гарантія доставки даних до центрів обробки;
- можливість побудови альтернативних маршрутів;

Узагальнений стандарт організації та побудови mesh-систем описано у 802.11s організації IEEE. Можна зазначити наступні елементи мережі: точки доступу (AP) для організації локальних доменів кінцевих пристроїв, термінальні абонентські кінцеві станції (STA) для організації взаємодії з вузлами та, як наслідок, зв'язку з загальною мережею передачі даних. Узагальнено, ці складові у різноманітних фірмових стандартах і формують мережу топології mesh.

Можна спостерігати ще одну складову, а саме: вузли mesh-мережі (MP), що організують локальні mesh-мережі. Останні представлені у вигляді mesh роутерів, контролери ж є точками доступу до глобальної мережі та(або) між локальними мережами. Локальні мережі об'єднуються у кластери, число

кінцевих пристроїв, що залежить від параметрів устаткування та доступних ресурсів для організації передачі даних. Такі мережі легко інтегрують додаткові вузли, в результаті чого отримується спрощена процедура розгортання, що є одним з найбільш виграних параметрів mesh. Основним же викликом для таких мереж є підвищення рівня затримок та часу виконання обчислень всередині вузлів розподілу через більш складні алгоритми побудови оптимальних шляхів та великої кількості трафіку. На певному рівні це впливає на масштабованість, проблема вирішується за допомогою оптимізації алгоритмів.

Виходячи з даної схеми можна бачити, що саме mesh є найкращим рішенням для Всеосяжного Інтернету в силу того, що повністю повторює концепцію рівня розподілу.

Коли мова йде про взаємодію великої кількості приладів у великому місті, у промисловості або аграрному секторі стає очевидним, що перевагу слід надавати бездротовому варіанту через економічну доцільність вибору або взагалі не можливості реалізації дротової інфраструктури у силу певних обставин: рельєф місцевості, стан будівлі, відсутність місця тощо.

Тому подальший опис проводиться відносно бездротових технологій. У свою чергу бездротові технології теж умовно поділяються на мережі з використанням базових станцій мобільного зв'язку та без їх використання. Саме ці два параметри у більшості випадків відіграють ключову роль. Порівняльна характеристика деяких найбільш популярних рішень:

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика стандартів

Параметри	EC-GSM	LTE-M	NB-IoT	Sigfox	LoRa
Спектр	Чарунки	Чарунки	Чарунки	Без чарунок	Без чарунок
Рік створення	2017	2015	2016	2009	2015
Стандартизація	3GPP	3GPP	3GPP	Фірмова	Відкрита
Полоса пропускання каналу	200 кГц	1.4 МГц	180 кГц	100 Гц	7.8-500 кГц
Полоса пропускання системи	200 кГц	1.4 МГц	180 кГц	100 кГц	125 кГц

Таблиця 2.2 – Продовження

Пікові обсяги даних	DL: 74 kbps UL: 74 kbps	DL: 800 kbps UL: 1 kbps	DL: 235 kbps UL: 205 kbps	DL: 100 kbps UL: 600 kbps	180 bps-37.5 kbps
---------------------	----------------------------	----------------------------	------------------------------	------------------------------	-------------------

Зазначені параметри характеризують найбільш загальні показники. Користуючись ними, можливо обрати технологію відповідно до вихідних потреб у швидкості, полосі пропускання та типу устаткування. Коли ж мова йде про вибір одного з двох підходів без подібних вихідних параметрів, важливим є зазначити сильні та слабкі сторони за певними спільними критеріями. Більш загальне представлення за допомогою якісного порівняння:

Таблиця 2.3 – Загальне представлення

Критерій	Без базових станцій	З базовими станціями
Покриття	Базова станція	Умовний радіус дії Wi-Fi
Безпека	Високий пріоритет	Низький пріоритет
Енергоспоживання	Відносно високий рівень	Відносно низький рівень
Полоса пропускання	Стільникові стандарти	Залежить від стандарту
Ціна	Висока вартість	Низька вартість

Стандарт mesh-мереж описано у документі 802.11s організації IEEE, що є частиною загального сімейства стандартів 802.11. Зазначено загальні переваги порівняно з іншими рішеннями та актуальність розгортання саме бездротових мереж. Останнє потребує більш детального опису. Почати необхідно з загальної характеристики можливих видів устаткування [14].

Можна визначити два основні напрямки з точки зору типу устаткування: гомогенні (Full Mesh) та гетерогенні (Partial Mesh):

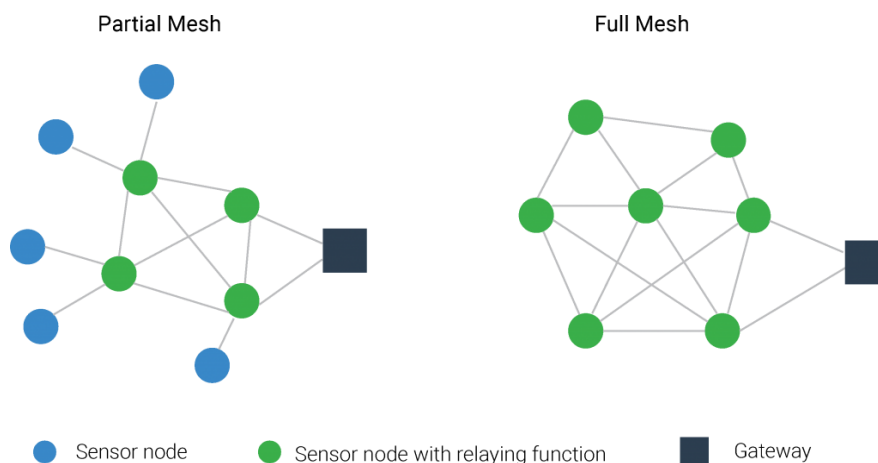


Рисунок 2.3 – Два варіанти реалізації топологій

У першому випадку найчастіше спостерігаються закриті фірмові стандарти компаній. Така мережа складається з однорідних вузлів, які виконують як функції датчиків, так і виступають у ролі вузлів для формування маршрутів просування трафіку до шлюзу. Наприклад, рішення компанії Digi. Алгоритм функціонування та структура вузлів відповідно є закритими:

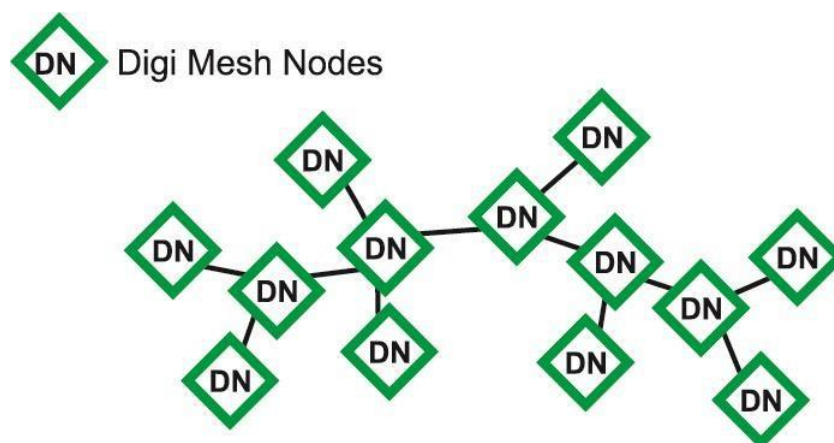


Рисунок 2.4 – Гомогенна топологія

У другому випадку найчастіше спостерігається цілий відкритих стандартів з вихідними даними щодо архітектури та функціонування. У такій мережі спостерігається більша кількість спеціалізованого устаткування. Необхідними є кінцеві пристрої для взаємодії з датчиками та подальшій передачі даних до мережі. Вузли маршрутизації трафіку, що утворюють

множину можливих маршрутів залежно від ряду параметрів, зазначених у алгоритмі маршрутизації. Координатори контролюють функціонування решти елементів, а також можуть виконувати функції маршрутизації трафіку крізь себе:

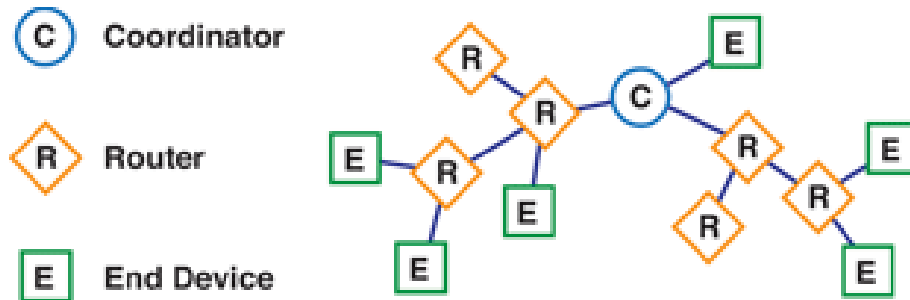


Рисунок 2.5 – Гетерогенна топологія

Незважаючи на різні підходи, в середині mesh-мережі так само зберігається трирівнева ієрархія:

- перший рівень – кінцеві пристрої, які повинні передавати та(або) отримувати певний трафік;
- другий рівень – бездротові маршрутизатори, необхідні для транспортування та маршрутизації потоків між кінцевими пристроями (можуть виступати лише у якості передавачів від кінцевих пристроїв);
- третій рівень – точки доступу до сегменту загальних мереж передавання даних.

Виходячи з описаних вище особливостей можна зазначити більш складну структуру побудови мережі, що, як наслідок, говорить про наступні особливості при реалізації:

- вразливість доступу до інформації через відсутність загальних підходів до безпеки;
- відсутність універсального найбільш оптимального протоколу маршрутизації;
- гнучка реалізація політики QoS.

Побудова mesh-мереж залежно від подальшого сценарію використання може поділятися за масштабами. Також з точки зору роботи трафіком мережа здатна виконувати в одному з двох напрямів: точки доступу з високим рівнем мобільності або магістральні мережі. Відповідні комбінації зазначених вище умов і формують тип мережі та є засадами для подальшої побудови.

Бездротові мережі будь-яких стандартів мають певні недоліки на фізичному рівні. Пов'язано це з середовищем передавання даних, у якому відбувається втрата частини енергії відповідно до діаграми направленості антен. Також спостерігаються явища відбиття, дифракції та інтерференції між частотами. Мережі типу mesh дозволяють розгортання на великих відстанях за відносно до решти технологій невеликі кошти, проте можливість зміни топології каналів між вузлами призводить до необхідності ретельного розподілу частотного ресурсу через високу імовірність інтерференційних завад.

На каналному рівні постають наступні задачі: зниження затримок за рахунок більш якісної обробки на каналному рівні. Важливо зазначити, що проблема затримок змушує формувати кластери mesh-мереж через обмеження кількості вузлів між кінцевими пристроями. Вирішенням є використання новітніх методів обробки та підвищення швидкодії апаратної складової з одного боку та використання оптимальних алгоритмів з іншого. Одне з розповсюджених рішень: технологія MIMO, яка дозволяє значно підвищити продуктивність.

Швидка маршрутизація та пріоритезація трафіку необхідні складові мережного рівня. Зазначені проблеми мають вирішення у вигляді вже існуючих протоколів, таких як IP. При аналізі мереж типу mesh необхідно зазначити один важливий момент: у мережах передачі даних загального вжитку частіше за все вирішення проблеми маршрутизації трафіку реалізовано на третьому рівні. Для вдалого використання алгоритму має бути відома інформація про колізії, викривлення, організацію кодування та модуляцію для кожного з теоретично можливих з'єднань між деякими

довільними вузлами системи. Відповідно до зазначених властивостей найбільш вдалим можна вважати другий рівень, який часто має назву МАС-рівень. Саме це й робить можливим інтелектуальність мережі: завдяки роботі на другому рівні є можливість більш якісної адаптації та самовідновлення за рахунок налаштувань між інтерфейсами. Необхідним залишається наявність загального шлюзу для передачі даних до загальної мережі передачі даних.

З точки зору моделі взаємодії відкритих систем (OSI) можна представити наступну узагальнену архітектуру (вибір протоколу прикладного рівня є довільним):

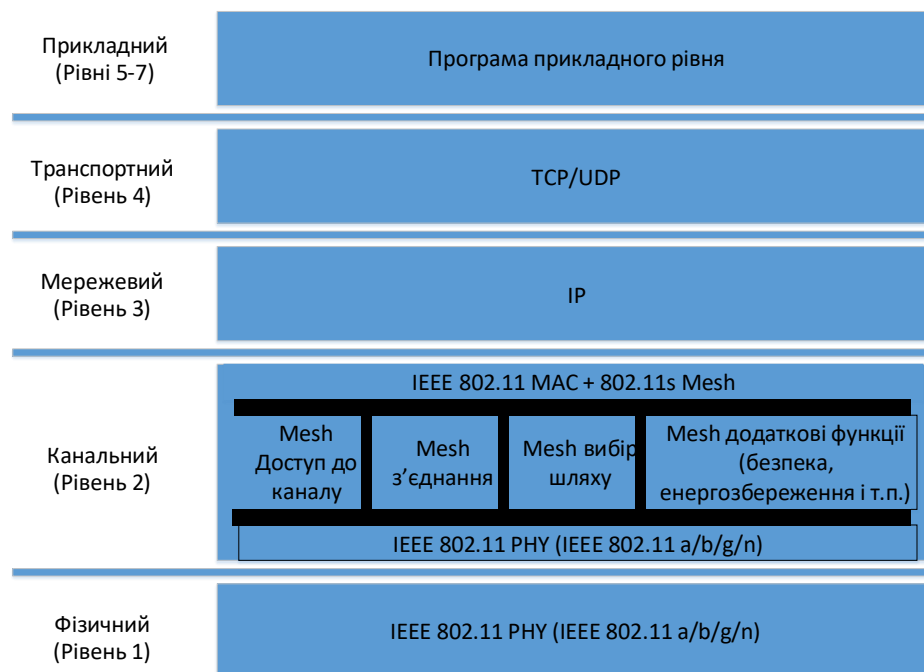


Рисунок 2.6 – Представлення відповідно до моделі OSI

Виходячи з опису моделі OSI, детально слід зупинитись саме на канальному рівні:

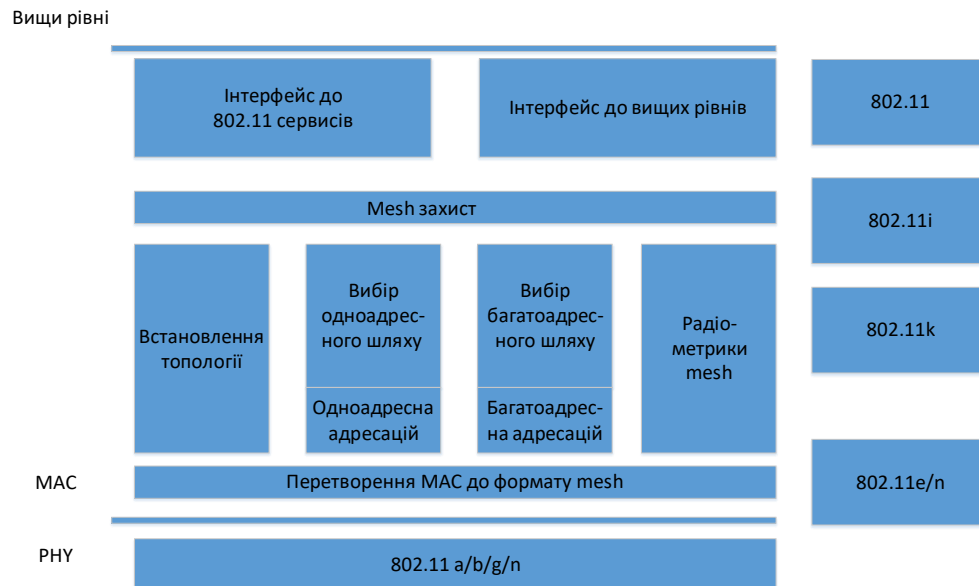


Рисунок 2.7 – Архітектура mesh

Відповідно до останньої схеми можна бачити певні складові у вигляді загального випадку (сімейство стандартів 802.11) та спеціалізовані (802.11i, 802.11k, 802.11e/n).

Таким чином, подібна архітектура здатна забезпечити найбільший ступінь захищеності та продуктивності роботи. Важливо зауважити, що не кожна з означених складових є необхідною. Конфігурація залежить від специфічних умов, висунутих до мережі. Загалом, для подальшого розуміння особливостей проектування треба виділити три складові, які потребують докладнішого розбору. Ці три складові є трьома першими рівнями відповідно до моделі OSI. Цікавими є наступні особливості:

- організація топології з врахуванням можливої дії завад;
- розбір MAC-рівня, як ключового для mesh-мереж;
- процес маршрутизації.

Однією з важливих складових є вирішення питань завад, основним джерелом яких у системах mesh виступає інтерференція між антенами. Таким чином необхідним є коректний розподіл ресурсу системи.

Паралельно з вже існуючими різноманітними фірмовими рішеннями, формат пакету для mesh-мережі має уніфікований вид і виглядає наступним чином [15]:

2	2	6	6	6	2	6	2	4-16	0	4
Преамбула	Тип	Адреса 1	Адреса 2	Адреса 3	Контроль послідовності	Адреса 4	QoS	Заголовок mesh	Зарезервовано	Перевірка цілісності

1		2	2	2	
Mesh прапори		Mesh E2E послідовність	Час життя	Додаткові адреси	
Прапори	Зарезервовано			Адреса 5	Адреса 6

Рисунок 2.8 – Формат MAC-пакету

При порівнянні пакетів MAC-рівня в mesh-мережах зі стандартом 802.11 можна зробити один важливий висновок, а саме: вони є аналогічними, тобто такими що все ще відповідають стандартам, встановленим організацією IEEE. Зазначене стосується формату заголовку. Винятком є лише поле HT Control (High Throughput Control). При цьому такі поля, як: перші три службові поля заголовку та FCS (поле контрольної суми) є загальними. Основна ж функціональна відмінність полягає у mesh-заголовку перед початком поля даних. Він присутній в пакетах даних при взаємодії між двох кінцевих приладів, яким необхідний маршрут крізь розгорнуту мережу. Наявність даного пакету є обов'язковою при передачі між вузлом-відправником та вузлом-приймачем по встановленому з'єднанню.

Останнім та найбільш важливим є поле розширення mesh-адреси (Mesh Address Extension). Воно може включати додаткові адреси, розміром по 6 байт, що дозволяє звичайному mesh-пакету містити до 6 адрес. Адреса 4 задіяна при естафетній передачі всередині самою мережі, оскільки керуючий пакет працює лише з 5 та 6 адресами, що зазначені у пакеті. Адреси ж 5 та 6

служать для взаємодії між кінцевими пристроями у тому випадку, коли один з них або обидва не є вузлами даної mesh-мережі:

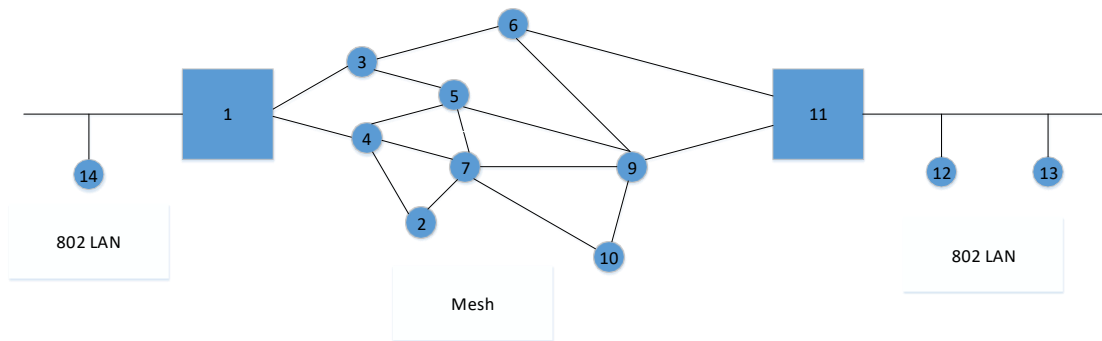


Рисунок 2.9 – Приклад мережі на основі mesh

Для прикладу, при необхідності передачі даних між вузлами 14 та 12 буде проведено інкапсуляцію пакетів на вузлах 1 та 11 з наданням mesh-формату для канального рівня. При цьому у даному випадку необхідним є використання розширення адресної області у якості адрес 5 та 6 для вузлів мережі 14 та 12. У свою чергу пакетні поля адрес під номерами 3 та 4 використовуються для взаємодії двох крайніх точок мережі 1 та 11. Поля адрес 1 та 2 для взаємодії між проміжними вузлами системи на другому рівні.

Подальший опис протоколів та стандартних рішень зводиться до вирішення ключових проблем mesh-мереж. До них можна занести наступні:

- вирішення проблеми доступу до середовища;
- мобільність;
- синхронізація системи;
- енергозбереження;
- взаємодія службового трафіку;
- взаємодія із завадами;
- маршрутизації системи на канальному рівні.

Це однією з важливих особливостей стандарту 802.11s є функція детермінованого доступу. Детермінований доступ у mesh-мережі (Mesh Deterministic Access – MDA) – механізм (у свою чергу не обов'язковим для

використання), який дозволяє одержання доступу до середовища передавання у зарезервованій заздалегідь проміжок часу. Таким чином досягається зниження конкуренції між вузлами. Однак при роботі з трафіком, що чутливий до затримок, відмічається збільшення імовірності затримок та втрату актуальності таких даних (аудио- і відеопотоки, дані з високим пріоритетом і т.д.). MDA-з'єднання встановлюється лише між вузлами, що підтримують цей режим роботи. У процесі функціонування задаються інтервали часу для певних каналів, після подібного резервування решта вузлів-передавачів не намагаються передавати інформацію, вузол приймач не реагує на запити відповідно до зайнятих каналів:



Рисунок 2.10 – Детермінований доступ

Ініціювання має наступну послідовність: вузол-джерело ініціює з'єднання, після чого вузол-адресат даних приймає рішення про прийняття або відхилення даних. Пристрій обирає інтервал часу для встановлення MDA-з'єднання з врахуванням ще не зайнятих, про які йому відомо. Якщо період резервування перевищує певний закладений інтервал, то ініціалізація MDA-з'єднання розривається.

При встановленні з'єднання:

- джерело надсилає запит з інформацією про необхідний проміжок часу та довжину інтервалу;
- одержувач аналізує інформацію, що прийшла із запитом;
- якщо параметри не перетинаються з існуючими MDA-з'єднання, то надсилається позитивна відповідь та встановлюється режим передачі даних;

- у разі накладання декількох MDA-з'єднання, може бути надіслано негативну відповідь або одержувач може запропонувати альтернативні параметри, якщо джерело це влаштовує, то відбувається перехід до режиму передавання даних;
- для завершення процесу передавання одержувач або відправник можуть надіслати спеціальний інформаційний елемент (MDAOP Set Tear down information element).

Маршрутизація завжди є невід'ємною складовою системи передачі даних зі складною структурою та(або) системою взаємодії вузлів між собою. При цьому передавання може здійснюватися як між вузлами всередині, так і зовнішнім передавачем/приймачем. Також можливі функції трансляції та багатоадресної передачі даних. Для mesh-мережі окрім просування трафіку між мережами додається ще необхідність у побудові саме оптимального маршруту. Можна виділити декілька складових, які складають протокол маршрутизації за замовчуванням об'єднують гнучке виявлення маршрутів за запитами та пошук шляху до шлюзу системи. Перше забезпечується за допомогою маршрутизацією за запитом та є корисним для мереж з динамічними кінцевими пристроями, а друга за допомогою маршрутизації на основі побудови дерева. Комбіноване використання доповнює можливості використання. До того ж врахована гнучка метрика вибору шляху. Перший вид маршрутизації засновано на радіо-відслідковуванні переміщення кінцевого пристрою з можливістю перемикачів між вузлами. Вузли, що не використовуються при побудові шляхів ігноруються. При побудові маршруту будується умовне кільце у двох напрямках з метою обміну службовою інформацією. Загальні перекриття дають змогу більш якісно переключатись з однієї точки на іншу із дотриманням закладених показників якості QoS:

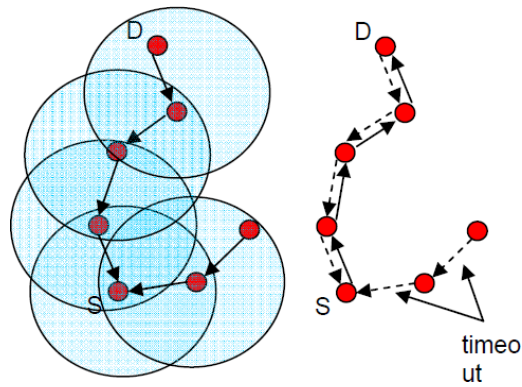


Рисунок 2.11 – Гнучка маршрутизація

У свою чергу маршрутизація на основі дерев дозволяє працювати зі статичними структурами мережі. Структура побудови дозволяє уникнути лавинного ефекту при виявленні та відновленні кінцевого пристрою. Усі вузли відслідковують статус функціонування мережі та діляться інформацією про цей стан (помилка при передачі, обрив тощо). Також деревовидна структура гарантує відсутність петель на усіх маршрутах. Зміна шляхів призводить до оновлення відомостей про структуру, що передається усім складовим гілки. Приклад мережі можна представити наступним чином:

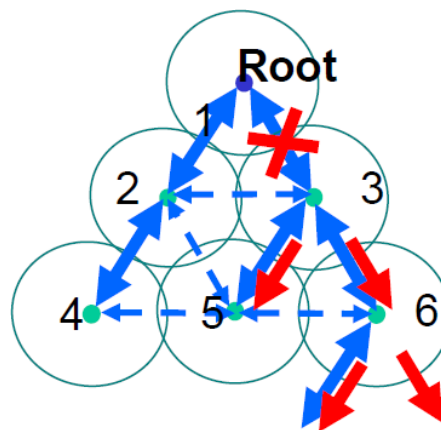


Рисунок 2.12 – Статична маршрутизація

Загалом можна виділити наступні види взаємодій між вузлами:

- широкомовне оголошення root-вузла (повідомлення про наявність у системі);

- широкомовний (може бути адресним) запит маршруту (запит до вузлів про можливість під'єднання до маршруту);
- маршрут відповіді (зворотній процес відповіді на запит можливості під'єднання, є адресним);
- помилка маршруту (повідомлення, що вузол більше не підтримує певний маршрут, є широкомовним повідомленням).

2.4 Архітектура системи моніторингу

За результатами критичного аналізу систем та логічного узагальнення наукових досліджень і прикладних технічних рішень [15] було розроблено узагальнену структурну схему інфокомунікаційної системи моніторингу концентрацій парникових газів, яку наведено на рисунку 2.13.

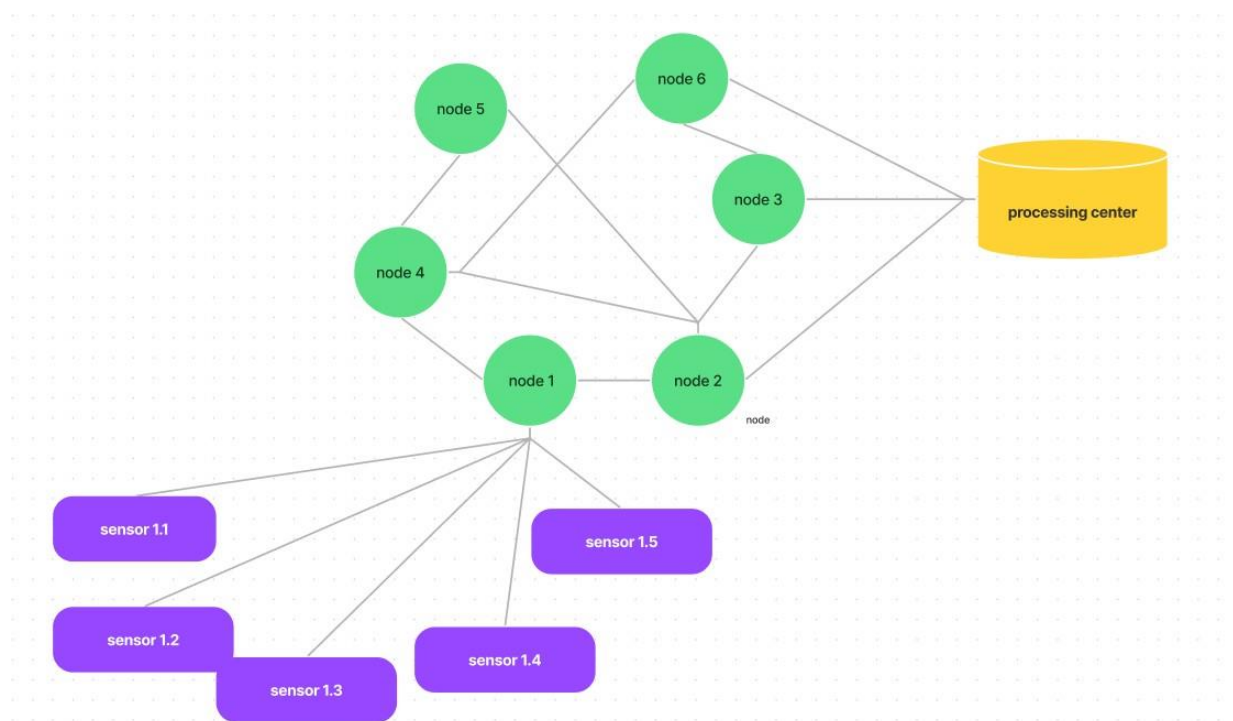


Рисунок 2.13 – Структурна схема інфокомунікаційної мережі моніторингу концентрацій парникових газів

На рисунку введено такі позначення:

- processing center – центр обробки отриманої інформації (аналітичний рівень);
- node – вузли мережі передачі даних (мережевий рівень);
- sensor – сенсори збору вимірювальних даних (польовий рівень).

Інфраструктура для обробки даних представляє собою певне серверне середовище для отримання, обробки та зберігання даних, надання доступу до інформації для користувачів із різними правами, оновлення вузлів мережі та датчиків за необхідності.

Основні функції вузлів передачі полягають в маршрутизації трафіку в напрямку до середовища обробки та спеціальної інформації до давачів моніторингу, побудові стабільної топології мережі за допомогою резервних маршрутів та обміні службовою інформацією між собою.

Датчики представляють собою кінцеві технічні пристрої, які під час взаємодії з навколишнім середовищем передають дані до мережі та обмінюються службовою інформацією з вузлами мережі.

Виходячи з поставлених у попередніх розділах вимог було встановлено, що необхідним є задоволення умові автономності інфокомунікаційної мережі. Для цього запропоновано три основні види алгоритмів взаємодії:

- алгоритм базового налаштування технології;
- алгоритм збору та передачі інформації;
- алгоритм оновлення системи.

Алгоритм базового налаштування спрацьовує у випадку першого встановлення технології або її повного перезавантаження. У такому випадку послідовність дій після фізичного з'єднання та активації усіх складових системи є наступним:

- ініціалізація давачів та обмін службовою інформацією з вузлами входу до мережі;

- налаштування маршрутів між мережевими вузлами та побудова статичної топології;
- перевірка зв'язку між вузлами мережі та середовищем обробки інформації;
- передача тестової послідовності від давачів до середовища передавання та очікування відповіді.

Алгоритм збору та передачі інформації виконується впродовж всього активного сеансу використання технології моніторингу та складається з реалізації процедур:

- обміну та маршрутизації пакетів вимірювальних даних;
- налаштування динамічної топології між вузлами мережі.

2.4.1 Сенсорний рівень

IoT спрямований на поєднання фізичних пристроїв світу, таких як системи вентиляції, освітлення, вентилятори, датчики, смарт-годинники, фітнес-браслети, телевізори тощо, за допомогою мережі, щоб вони могли комунікувати один з одним і приймати оптимальні рішення.

Таким чином, IoT змінює погляд на повсякденну зручність і взаємодію з речами або, радше, як вони взаємодіють один з одним, щоб спростити життя.

Важливим є зауваження відносно якісного обґрунтування програмно-апаратних рішень та функціонального забезпечення сенсорного і мережевого рівнів, що обумовлює кінцеву оперативність всієї комунікаційної технології. Для наземного вимірювального детектування парникових газів необхідним є визначення виду топології мережевого рівня, встановлення й обґрунтування параметрів і характеристик середовища передавання та алгоритму організації взаємодії між мережевими вузлами. На підставі обліку результатів аналізу та інтеграції

відомих наукових досліджень та прикладних рішень було розроблено узагальнену структуру інфокомунікаційної мережі моніторингу концентрацій парникових газів. Запропонована структурна організація інфокомунікаційної мережі містить три основні рівні взаємодії: «processing center» – інфраструктура для інтелектуальної обробки інформації (рівень обробки даних); «node» – комунікаційні вузли бездротової мережі передачі даних (мережевий рівень); «sensor» – цифрові бездротові давачі (польовий рівень збору) [16].

Додатково варто зазначити, що кожен мережевий вузол такої інфокомунікаційної технології може бути побудовано на базі мікрокомп'ютеру Raspberry Pi та підключеного до нього модуля ZigBee. Мікрокомп'ютерна платформа Raspberry Pi має достатні обчислювальні потужності для вирішення задач агрегування даних із Arduino з подальшим інтелектуальним опрацюванням вимірювальних даних і паралельної діагностики топології мережі та ретрансляції інтерпретованої інформації до хмарного центру аналітичної обробки.

2.4.2 Мережевий рівень

Алгоритм передачі даних залежить від стандарту побудови мережі. Серед відомих і розповсюджених протоколів налаштування оптимальної топології одним із найкращих є принцип побудови mesh-мережі [17]. Такий бездротовий стандарт mesh-мережі може розгортатися на основі технічних рішень.

Основні ж вимоги до мережі: якість, надійність, та швидкість. У сучасних умовах бездротові технології вже не поступаються за цими параметрами дротовим, якщо йдеться не про основні магістральні лінії. Для початку проєктування мереж передачі даних, що базуються на транспортуванні інформації, важливим є дотримання надійності та

доступності. Тому витримування високого рівня QoS бездротових інфокомунікаційних технологій є можливим з точки зору локальних мереж та мереж міст. Особливо це стосується мереж, що функціонують зі спеціальними даними: контроль міської інфраструктури, збір інформації про навколишнє середовище, контроль права, медична сфера, використання у промисловості та аграрному напрямках. Тому вузли повинні бути спроектовані таким чином, щоб мати можливість пропустити крізь себе трафік усієї системи в певний момент часу. Такий стан є малоімовірним, але неврахування призведе до втрати чутливих даних. Надійність досягається також за допомогою дублювання певних блокових структур вузла, які дають змогу проводити якісніше обслуговування приладів. Резервування ресурсів робить вищим рівень доступності на випадок аварійного виходу з ладу основних компонентів системи.

Ще один критерій полягає в оптимальному проектуванні та побудові мережеві. Тут мова йде про забезпечення рівноваги між показниками вузлів, що є задіяними у мережі. Проблема полягає у пошуках оптимального співвідношення топології. У якості вирішення було використано теореми про видалення вершини певного графа. Використання теореми базується на системному виникненні двох подій: вихід вузла з ладу або необхідність тимчасового припинення функціонування.

Необхідними для наступних висновків є ряд спостережень: будь-які два вузли системи здатні передавати дані один одному, при цьому видалення одного певного вузла не обов'язково веде до розділення мережі системи на кілька незв'язних між собою підсистем. Для такого графа Френком та Фришем доведено теорему [17]: якщо до кожної гілки зв'язною мережею приписати пропускну здатність 1, то максимальний потік між парою вузлів дорівнює мінімальному числу гілок, видалення яких призводить до розриву усіх шляхів з одного вузла до іншого. Тобто, якщо до кожної пари вузлів знайдено максимальну величину потоку, то такий потік, що заздалегідь нормований, то число гілок, яке приводить до розриву мережі дорівнює

мінімальному з максимальних потоків. Така задача має вирішення за допомогою алгоритму Гоморі-Ху. У алгоритмі виділяються наступні кроки:

1. Знаходиться ребро з мінімальною вагою, що відповідатиме потоку з мінімальною інтенсивністю W .
2. Віднімається W від всіх ребер, вага яких більша за нуль.
3. Створюється кільце, в яке входять всі невідокремлені вершини, і присвоюємо кожному ребру кільця вагу, що дорівнює $W/2$.

Кроки 1 – 4 повторюють, доки є зв'язані вершини. Якщо зв'язаних вершин немає, то вихідна матриця відповідає найбільш оптимальній мережі.

Друга задача полягає у знаходження мінімальної кількості вузлів, видалення яких не призводить до роз'єднання усіх пар вузлів, які залишились. За умов, що є можливим вихід вузла мережі зі стаціонарного стану, така задача вирішується за методом про найкоротший шлях з фіксованою вартістю. З точки зору оптимального алгоритму використано ефективний алгоритм Клейтмана: обирається певні два вузли та між ними відбувається пошук максимальної кількості шляхів, які не перетинаються, якщо пошук вдалий, то обирається наступна пара, а кількість шляхів зменшується на один, за умови доходження до значення шляхів 1, робиться висновок про можливість збереження з'єднання мережі між активними вузлами. Таким чином є можливість автоматизації процесу проектування системи за умов наявності вимог до вузлів такої мережі.

Відносно типу врахування навантаження та топології обрано динамічний підхід, тому що мережа з критичними даними потребує постійного обміну та зміни показників вузлів. Це робить необхідним більш високу швидкості обробки, але значно покращує надійність, яка відіграє головну роль у мережі. Так як система має легкою для масштабування, дистанційно-векторний метод не є дієвим. Обрано підхід протоколів станів лінії, що є корисним для отримання інформації про стан мережі за рахунок комунікації сусідніх вузлів один з одним. З точки зору математичного підходу використано графокомбінаторний метод. Маємо реалізацію методів

пошуку найкоротшого маршруту та проектування мережі, які використано для обслуговування та перемикання вузлів системи. По типу резервування обрано метод резервування маршрутів без використання виділеного шляху. Це пов'язано з важливістю надання більшої гнучкості. Виходячи з останнього: тип балансування трафіку є зважений з використанням параметрів затримки, потужності каналу та кількості хопів між джерелом даних та кінцевим вузлом призначення, за типом використання компонентів мережі використано принцип спільних вузлів для передачі даних з метою оптимального розподілу та своєчасної зміни шляхів. З точки зору вузла пошуку маршруту обрано покроковий підхід через його здатність масштабувати мережу, що нелегко реалізується у випадку від джерела.

На каналному рівні є ряд основних цілей з метою урахування стану лінії та подальшим процесом передачі:

- Визначення працездатності вузла каналу;
- Визначення величини затримки;
- Визначення потужності;
- Проведення синхронізації системи;
- Проведення сеансу передачі даних;
- Визначення цілісності даних та проведення за необхідності повторної передачі;

Зазначений вище алгоритм формується з використанням спеціального формату пакетів, які є одною з базових складових, що необхідні для систем з пакетною комутацією. Відповідно до потреб мережі можна виділити наступні основні елементи:

- Преамбула;
- Вид пакету (дані чи керування);
- Складова з інформацією (службові дані або інформація для передавання)
- Контроль цілісності даних;

– Хвостовик;

Схематично маємо наступний формат пакету:

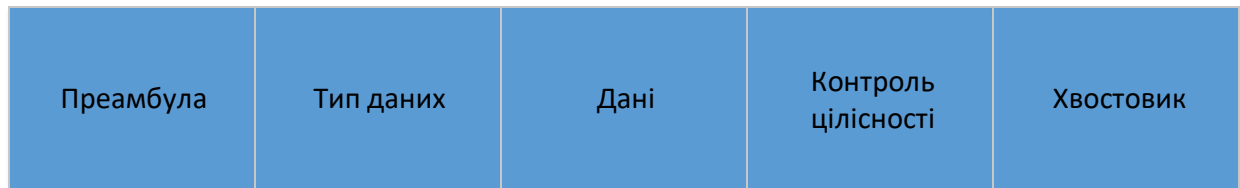


Рисунок 2.14 – Узагальнена класифікація багатомаршрутної маршрутизації

Інформаційна складова для пакету з даними складається з адреси кінцевого вузла та власне даних для передачі, пакет для керування використовує власну інформацію про тип службових даних, власне службову інформацію та у певних випадках додаткові прапори. Решта частина пакету є аналогічною.

Преамбула та хвостовик використані з метою синхронізації системи на бітовому рівні з метою коректної обробки даних. Контроль цілісності показує наявність помилок у прийнятих пакетах.

Тип даних ідентифікує вид інформації. Можна виділити:

- Дані для обробки;
- Службові дані про ввімкнення/вимкнення системи (1-й тип);
- Службові дані про затримку (2-й тип);
- Службові дані про запит на повторне відправлення (3-й тип)

Процес розробки мережі починається на етапі проектування майбутньої системи. Саме в цей момент використано алгоритми Гоморі-Ху та Клейтмана. За основну умову взято зв'язність графу та, як наслідок, теорему Френка і Фришема. Для автоматизованого проектування інфокомунікаційних мереж важливим є наявність наступних параметрів: кількість вузлів та можливі кількості вершин у вигляді радіоканалів на кожному з вузлів. Використання алгоритмів дозволяє спроектувати оптимальну мережу з наступними граничними показниками: така мережа (при

парній кількості вузлів) зберігає 50% працездатної інфраструктури у вигляді з'єднання точка-точка між вузлами, при втраті 25% залишається розгалуженою. Останній показник дозволяє зберегти необхідний рівень надійності при плановому обслуговуванні мережі. Зазначені вище показники говорять про можливість масштабування мережі та об'єднання мереж саме шляхом попереднього налаштування систем частинами без втрати надійності. Процес розробки мережі починається на етапі проектування майбутньої системи. Саме в цей момент використано алгоритми Гоморі-Ху та Клейтмана. За основну умову взято зв'язність графу та, як наслідок, теорему Френка і Фришема. Для автоматизованого процесу проектування мереж зазначеної системи важливим є наявність наступних параметрів: кількість вузлів та можливі кількості вершин у вигляді радіоканалів на кожному з вузлів. Використання алгоритмів дозволяє спроектувати оптимальну мережу з наступними граничними показниками: така мережа (при парній кількості вузлів) зберігає 50% працездатної інфраструктури у вигляді з'єднання точка-точка між вузлами, при втраті 25% залишається розгалуженою. Останній показник дозволяє зберегти необхідний рівень надійності при плановому обслуговуванні мережі. Зазначені вище показники говорять про можливість масштабування мережі та об'єднання мереж саме шляхом попереднього налаштування систем частинами без втрати надійності.

Для прикладу візьмемо мережу, що складається з восьми вузлів, які представлені відповідно вершинами графу А, В, С, D, E, F, G та H. Кожний вузол має фіксовану кількість каналів зв'язку для взаємодії. Кількість каналів на вузол змінюється від 3 до 6. Приклад виключення вузлів:

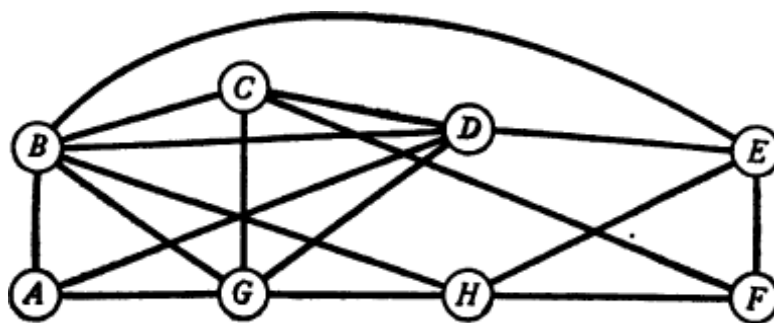


Рисунок 2.15 – Повна мережа

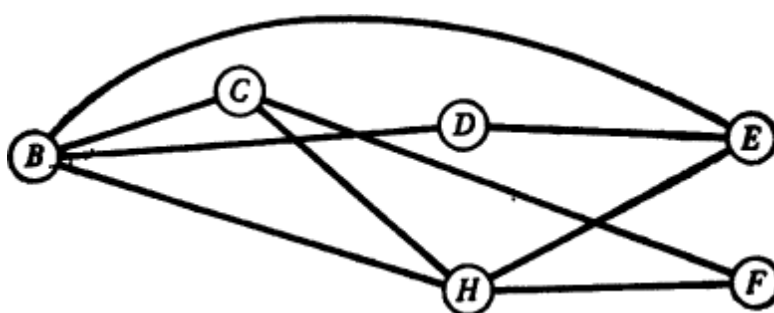


Рисунок 2.16 – Мережа без 25% вузлів

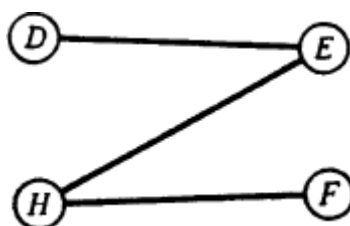


Рисунок 2.17 – Мережа без 50% вузлів

Наступним є врахування пікового навантаження. Для систем з критичною інформацією втрати або затримки є недопустимими. Друга проблема вирішується за допомогою апаратної реалізації та алгоритмічної складових системи, тобто потребують певних мінімальних граничних показників швидкодії. Втрати ж говорять про наявність слабких ланок.

Можна прийти до висновку, що для передачі критичної інформації кожен вузол повинен мати можливість обробляти та передавати увесь трафік решти вузлів за певний такт дії системи. Для формалізації пікових значень використано формули:

$$U_{\text{до в.}} = N_{\text{д.уз.}} + K_{\text{с.ин.}} + \sum_{i=1}^{X-1} N_i \quad (2.1)$$

$$U_{\text{з в.}} = 1 + N_{\text{д.уз.}} + \sum_{i=1}^{X-2} (N_i - N_j) \quad (2.2)$$

(за формулами: $U_{\text{до в.}}$ – навантаження за такт до вузла, $U_{\text{з в.}}$ – навантаження за такт з вузла, $N_{\text{д.уз.}}$ – навантаження певного вузла, $K_{\text{с.ин.}}$ – службова інформація, X – кількість вузлів мережі)

За формулами можна бачити, що при побудові мережі необхідно враховувати: кількість вузлів при проектуванні та навантаження відповідно від кожного вузла у вигляді інформаційного та службового трафіку. З рівнянь можна зробити наступні висновки:

- Обсяг вхідного до вузла трафіку завжди потенційно більше вихідного, тож розрахунок апаратного ресурсу проводиться саме за першим показником.
- Так як система базується на передачі критичних даних, необхідним є дотримання зазначеного у формулі (2.1) показника для кожного вузла у кожний момент часу для унеможливлення виникнення слабких місць системи та затримки трафіку на вузлах. Для випадку рисунку 2.22 це є вузли А, С та F, тобто пропускна здатність має верхню границю відповідно до вузлів з мінімальною кількістю інтерфейсів та навпаки. Таким чином саме вузли А, С та F мають бути розраховані на більшу завантаженість при обробці та передачі даних.

Відповідно до двох зазначених висновків проводиться налаштування устаткування за результатами побудованої оптимальної топології та досягається стабільність функціонування системи.

2.4.3 Рівень обробки

Пристрій IoT з'єднується з іншими пристроями IoT, надаючи дані через протоколи передачі Інтернету. Таким чином, два основних підрозділи в системі IoT — це мережа та платформа IoT на серверній частині та датчики та виконавчі механізми на передній частині.

Більшість платформ IoT залежать від датчиків. Існує багато доступних платформ IoT, але виділяються дві основні платформи IoT: промислова та споживча. Обидві ці платформи дещо відрізняються за програмами та вимогами. Промислова платформа IoT має бути стабільною, надійною та безпечною, оскільки збій платформи може коштувати мільйони доларів або навіть життя. З іншого боку, збій споживчої платформи IoT може бути лише незручністю для вас.

Однак є деякі загальні параметри, які слід враховувати при виборі найкращої платформи IoT для вашої програми. Деякі з цих параметрів включають надійність, підтримку мобільних/веб-додатків, стабільність, гнучкість, підтримку безпеки, здатність працювати з кількома підключеними продуктами, модель ціноутворення, збереження або резервне копіювання даних у разі збою живлення чи з'єднання з мережею, а також швидкість і час запуску продукт.

AWS IoT надає хмарні сервіси та підтримку пристроїв, які можна використовувати для впровадження рішень IoT. AWS надає багато хмарних сервісів для підтримки додатків на основі Інтернету речей [19].

Хмарні сервіси — це розподілені, великомасштабні сервіси зберігання й обробки даних, підключені до Інтернету. Приклади:

- AWS IoT є прикладом служби підключення та керування IoT;
- Обчислювальні сервіси, такі як Amazon Elastic Compute Cloud;
- Служби баз даних, наприклад Amazon DynamoDB;
- Пристрої спілкуються з хмарними службами за допомогою різних технологій і протоколів;

- Wi-Fi / широкосмуговий Інтернет;
- Широкосмугові та вузькосмугові стільникові дані;
- Мережа великого радіусу дії (LoRaWAN);
- Власний радіочастотний зв'язок.

Пристрій – це тип обладнання, яке керує інтерфейсами та зв'язком. Пристрої зазвичай розташовані в безпосередній близькості від реальних інтерфейсів, за якими відбувається відстеження та контроль. Пристрої можуть включати обчислювальні ресурси та ресурси зберігання, такі як мікроконтролери, процесори, пам'ять. Приклади:

- Raspberry Pi;
- Arduino;
- LoRaWAN і пристрої;
- Пристрої Amazon Sidewalk;
- Спеціальні пристрої IoT;
- Інтерфейс користувача;
- Датчики.

Висновки до розділу 2

У другому розділі магістерської роботи проаналізовано основні технології, що використовуються при побудові архітектури мережі моніторингу навколишнього середовища. Обрано метод моніторингу відповідно до якісного порівняльного аналізу, зазначених у попередньому розділі способів моніторингу навколишнього середовища. За результатами обрано наземний метод детектування інформації. Надалі з метою формування архітектури використано концепцію Інтернету речей (IoT). Основна ідея концепції полягає у побудові трирівневої структури, яка складається з датчиків, вузлів, що утворюють мережу, та центр обробки. У

свою чергу обробка може бути як централізованою, так і децентралізованою, датчики залежать від, попередньо проведеного, аналізу складових парникових газів. Побудова мережі відбувається з використанням стандарту mesh. Проведено його детальне дослідження, аналіз та розбір особливостей використання стандарту на основних рівнях для мережі відповідно до класичної моделі: фізичний (розподіл середовища), каналний (побудова пакетів) та мережевий (маршрутизація). На засадах отриманих результатів було запропоновано архітектуру системи моніторингу з описом складових елементів. Розібрано три рівні архітектури: сенсорний рівень з датчиками, мережевий з вузлами передачі та рівень обробки інформації. Наведено аналіз устаткування, алгоритмів функціонування та схеми рівнів. Надалі важливим є вибір устаткування та алгоритм функціонування системи загалом.

3 ПОБУДОВА МЕРЕЖІ

3.1 Сенсори та мережеві вузли

Алгоритм передачі пакетів зводиться до стандарту побудови мережі. Серед найбільш відомих серійних стандартизованих протоколів налаштування оптимальної топології одним із кращих є принцип побудови mesh-мережі [21]. Бездротовий стандарт mesh-мережі може розгортатися на базі декількох технічних рішень, які було проаналізовано в цій статті та наведено в таблиці 3.

Проаналізувавши дані, які наведено в таблиці 3, у якості вузлів передачі вимірювальної інформації було обрано модулі ZigBee [22]. Такі модулі (див. рис. 3.1) є оптимальними з точки зору часу автономності роботи і характеризуються достатніми показниками якості та швидкості передачі даних невеликих обсягів. ZigBee-пристрої суміжні з більшістю серійних мікроконтролерів на апаратному, програмному і конструктивному рівнях.

Таблиця 3.1 – Результати порівняння бездротових мережевих технологій

Характеристика технології (стандарту)	ZigBee (IEEE 802.15.4)	WI-FI (IEEE 802.11b)	Bluetooth (BLE) (IEEE 802.15.1)
Частотний діапазон, ГГц	від 2,4 до 2,483		
Пропускна здатність, Кбіт/сек	250	11000	723,1
Розмір стеку протоколу, Кбайт	від 32 до 64	понад 1000	понад 250

Таблиця 3.1 – Продовження

Час безперервної автономної роботи від акумулятора, дні	від 100 до 1000	від 0,5 до 5	від 1 до 10
Максимальна кількість вузлів у мережі	65536	10	7
Діапазон дії, м	від 10 до 100	від 20 до 300	від 10 до 100



Рисунок 3.1 – Типовий вигляд модуля ZigBee

Алгоритм оновлення полягає в постійному самонавчанні та корегуванні технології під час її роботи. Такий підхід стає можливим за рахунок розробки та інтегрування до архітектури досліджуваної технології моделей нейронних мереж та нечіткої логіки. Нейронні мережі під час впровадження в якості алгоритму побудови топології сприяють пришвидшенню первинної побудови системи та оперативної її перебудови у випадках аварійних ситуацій. Апарат нечіткої логіки задіяний на кінцевих пристроях із метою більш якісного збору й аналітики вимірювальних даних у реальному часі під час протікання процесу роботи системи. Загальне оновлення алгоритмів та відповідних їм

програмних компонент реалізується через центр обробки і має дискретний характер.

Під час обґрунтування вимог до апаратних засобів досліджуваної IoT-технології моніторингу концентрацій парникових газів була встановлена сукупність придатних за метрологічними і функціональними параметрами бюджетних давачів, а саме: озон – MQ131, метан – MQ-4, водяна пара – YL-83, вуглекислий газ – MH-Z19B. Зазначені сенсори обрані на підставі міркувань із можливості їх інтеграції з бюджетними мікроконтролерними платформами сімейства Arduino, на які у поєднанні з додатковими модулями розширення, покладаються функції збору, первинної цифрової трансформації та передачі даних на мережеві вузли.

Кожен мережевий вузол представляє собою мікрокомп'ютер на базі Raspberry Pi і підключеного до нього модуля ZigBee. Мікрокомп'ютерна платформа Raspberry Pi має достатні обчислювальні потужності для вирішення задач агрегування даних із Arduino, інтелектуального опрацювання вимірювальних даних і паралельної діагностики топології мережі та ретрансляції інформації до центру аналітичної обробки.

3.2 Модулі мережевої взаємодії

У процесі вибору стандарту для мережі було обрано підхід, що базується на встановленні розподіленої мережі без базових станцій. Це аргументується запитом на автономність від мобільної інфраструктури та впровадженні вже існуючої мережі сенсорів у якості основи для розгортання. Вибір протоколу залежить від базових функцій, що повинні виконувати вузли система. Тобто вибір залежить від інфраструктури. З точки зору розгортання мережі обрано три основні варіанти [20]:

- ZigBee;
- Thread;

- Bluetooth Mesh.

Основні розбіжності у процесі проектуванні:

- різноманітні підходи до організації топології;
- метрики при побудові маршрутів;
- вплив зовнішніх факторів при функціонуванні;
- вплив конфігурації мережі та вузлів.

Технологія ZigBee розроблена однією з найперших для розгортання mesh-мережі. Рішення є оптимальним для: освітлення, різноманітних лічильників ресурсів та автоматизації. Одна з особливостей при виборі протоколу є обмеженість при функціонуванні, тобто надавало лише базову сумісність між системами. Останнє стало засадою для розробки рішення Thread, розробленого IETF. Це рішення показує високий рівень універсальності та загальнодоступності. Тому можливе легке поєднання зі стандартами мережі Інтернет MQTT та COAP. При цьому шлюз має лише провести операцію перетворення різноманітних IP інтерфейсів. Останнім є технологія на основі Bluetooth, що представлена Bluetooth Mesh. Унікальністю, яка відрізняє від двох попередніх рішень, є керування затопленням (Managed Flooding). Такий підхід дозволяє збільшити кількість учасників мережі і при цьому знизити ступень навантаження. Узагальнити аналіз можна наступною порівняльною таблицею:

Таблиця 3.2 – Порівняння протоколів Zigbee, Thread та Bluetooth Mesh

Порівняльний Параметр	Zigbee	Thread	Bluetooth Mesh
Використання	Освітлення, лічильники, автоматизація	Промислові, комерційні проекти, універсальні рішення	Домашня автоматизація
Основна ідея	Масові стільникові мережі	IPv6	Легка інтеграція через кінцевих користувачів
Маршрутизація	Повна	Повна	Керування
Спосіб підключення	Шлюз	Граничний шлюз	Смартфон

3.3 Середовища обробки

Інфраструктура центру обробки виноситься до хмарного середовища. Для цього може бути використана комерційна публічна хмара AWS, яка надає інструменти для організації серверного середовища, реалізації моделей автоматизованої обробки інформації, вирішення проблем зберігання даних, оновлення алгоритмів мережі та генерування й підтримки рішень. Аналогічними за своїм функціоналом також є платформи Google Cloud та Microsoft Azure, які також можуть бути використанні під час реалізації досліджуваної прикладної IoT-технології.

Окрім середовища обробки, необхідним є надання можливості постійної розробки та оновлення системи. Для цього використовується побудова процесу CI/CD з використанням GitLab. Основні переваги наступні:

- Зручна система з чудовою підтримкою Docker/Kubernetes;
- Система контролю версій та система безперервної інтеграції в одному інструменті;
- Легко налаштувати та масштабувати власний сервер збірок, тобто GitLab-Runner;
- Безкоштовна система з відкритим кодом;
- Паралельне виконання Jobs;
- Легко вирішувати конфлікти;
- Підтримка хмарного рішення і власного сервера;
- Код і Pipeline в одному місці. Зручне оформлення Pipeline.

Зазначені особливості є важливим, бо для керування кластером обробки обрано оркестратор Kubernetes.

Kubernetes, також відомий як K8s, — це система з відкритим кодом для керування контейнерними програмами на кількох хостах. Він надає основні механізми для розгортання, обслуговування та масштабування програм.

Kubernetes ґрунтується на півтора десятиліттях досвіду роботи Google із виконанням виробничих робочих навантажень у масштабі за допомогою

системи під назвою Borg у поєднанні з найкращими у своєму роді ідеями та практиками спільноти. Kubernetes використовується для розгортання додатків і більш ефективного використання контейнерної інфраструктури, яка забезпечує роботу додатків. Kubernetes може заощадити гроші організацій, оскільки для управління ІТ потрібно менше робочої сили; це робить програми більш стійкими та продуктивними. Також може запускати Kubernetes локально або в загальнодоступній хмарі. AWS, Azure та GCP пропонують керовані рішення Kubernetes, які допомагають клієнтам швидко розпочати роботу та ефективно працювати з програмами K8s. Kubernetes надає:

- Виявлення сервісів та балансування навантаження Kubernetes може надавати доступ до контейнера, використовуючи DNS-ім'я або його власну IP-адресу. Якщо контейнер зазнає занадто великого мережевого навантаження, Kubernetes здатний збалансувати та розподілити його таким чином, щоб якість обслуговування залишалась стабільною;
- Оркестрація сховища інформації Kubernetes дозволяє вам автоматично монтувати системи збереження інформації на ваш вибір: локальні сховища, рішення від хмарних провайдерів тощо;
- Автоматичне розгортання та відкатування. За допомогою Kubernetes ви можете описати бажаний стан контейнерів, що розгортаються, і він регульовано простежить за виконанням цього стану. Наприклад, ви можете автоматизувати в Kubernetes процеси створення нових контейнерів для розгортання, видалення існуючих контейнерів і передачу їхніх ресурсів на новостворені контейнери;
- Автоматичне розміщення задач Ви надаєте Kubernetes кластер для запуску контейнеризованих задач і вказуєте, скільки ресурсів ЦПУ та пам'яті (RAM) необхідно для роботи кожного контейнера. Kubernetes розподіляє контейнери по вузлах кластера для максимально ефективного використання ресурсів;

- Самозцілення Kubernetes перезапускає контейнери, що відмовили; замінює контейнери; зупиняє роботу контейнерів, що не відповідають на задану користувачем перевірку стану, і не повідомляє про них клієнтам, доки ці контейнери не будуть у стані робочої готовності;
- Управління секретами та конфігурацією Kubernetes дозволяє вам зберігати та керувати чутливою інформацією, такою як паролі, OAuth токени та SSH ключі. Ви можете розгортати та оновлювати секрети та конфігурацію без перезбирання образів ваших контейнерів, не розкриваючи секрети в конфігурацію стека.

Схема взаємодії з середовищем обробки наступна:

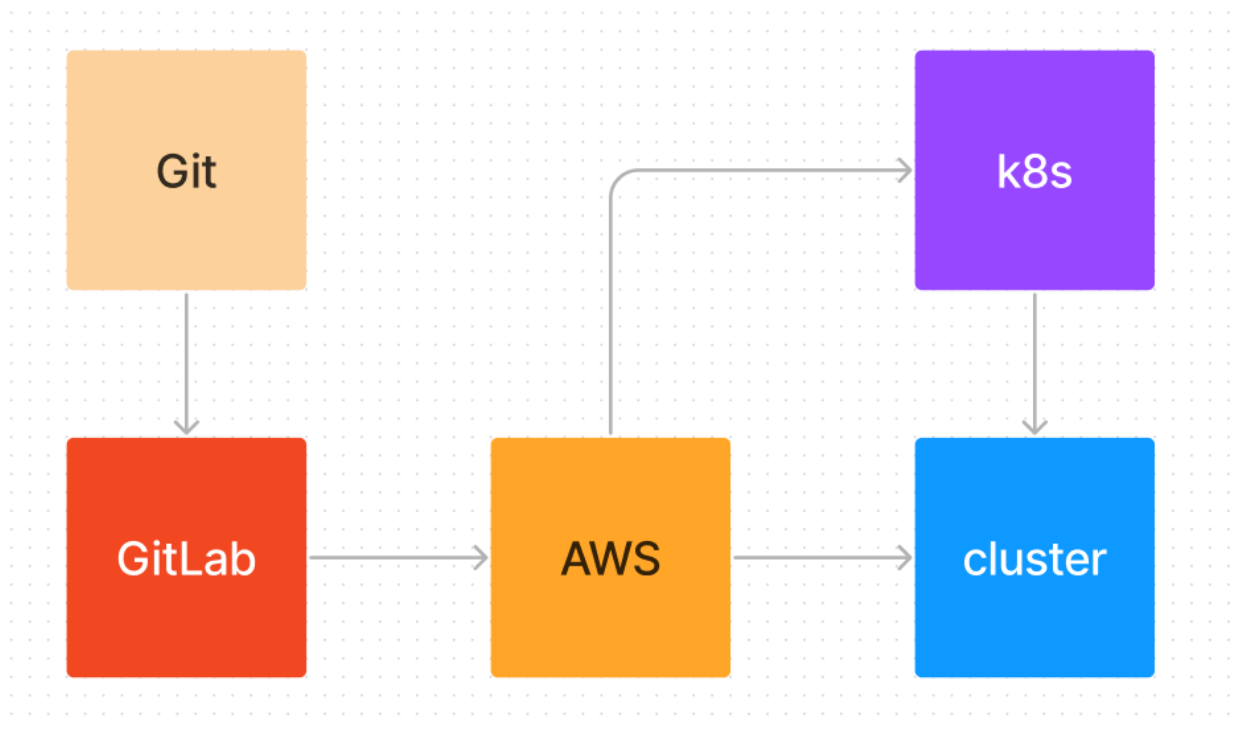


Рисунок 3.2 – Схема функціонування системи обробки

Алгоритм взаємодії наступний:

- Розробка оновлення за допомогою системи контролю версії Git;
- Перенесення артефакту та запуск конвеєру у GitLab;

- Отримання змін та налаштувань у AWS з перенесенням до серверного середовища;
- Додаткові налаштування та контроль кластеру за допомогою k8s.

3.4 Узагальнена схема функціонування системи

Основні виконувані технологією функції, яку у вигляді функціональної схеми наведено на рисунку 8, є наступними:

- детектування вихідних сигналів бездротової мережі давачів парникових газів;
- організація послідовної передачі вимірювальних даних на мікроконтролерний вузол на базі Arduino;
- приймання та передача інформації за допомогою бездротової технології ZigBee;
- побудова маршрутів та організація топології на базі мікрокомп'ютерного пристрою Raspberry Pi;
- хмарна інтелектуальна обробка інформації та оновлення системи за допомогою середовища AWS.

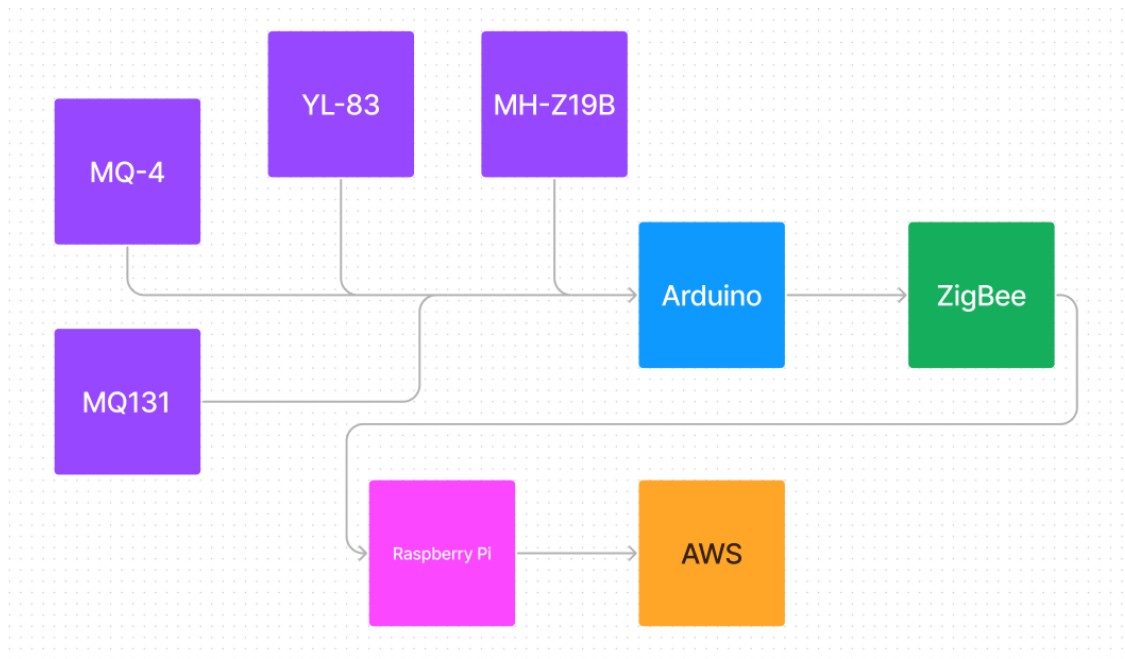


Рисунок 3.3 – Узагальнена функціональна схема IoT-технології моніторингу концентрацій парникових газів

Отже, на підставі проведених досліджень було встановлено, що зазначена структурно-алгоритмічна організація IoT-технології моніторингу концентрацій парникових газів корелює з загальними концептуальними тенденціями в галузі інформаційних технологій за критеріями масштабності, адаптивності й комплексності агрегування й трансформації вимірювальних даних.

За результатами аналізу та формування основних вимог подальшими кроками є вирішення трьох ключових задач:

- розробка і моделювання мережі, що здатна якісно, надійно та продуктивно виконувати покладені на неї функції й утворювати стабільну інфокомунікаційну інфраструктуру обміну вимірювальною інформацією;
- експериментальні випробування давачів для детектування концентрацій парникових газів та вирішення проблеми їх синтезу зі загальною мережею, а також оптимізація алгоритмів взаємодії компонентів інфокомунікаційної мережі;
- розробка програмних компонент хмарних обчислень на основі

інтелектуальних алгоритмів трансформації вимірювальних даних та тестування сценаріїв обробки потенційно великих обсягів фізичних даних, що надходять від розподілених засобів інструментального комп'ютеризованого моніторингу.

Висновки до розділу 3

Третій розділ магістерської роботи складається з побудови мережі системи моніторингу навколишнього середовища. Обрано устаткування у вигляді сенсорів для отримання інформації та подальшої передачі даних на наступні рівні архітектури. Надалі вирішено питання вузлів мережі. Серед наведених варіантів обрано модулі ZigBee. Останні є найбільш вдалим рішенням з точки зору універсальності, автономності та достатнього рівня якості передачі інформації між вузлами з метою утворення стабільної мережі. Обрано основні компоненти середовища обробки, а саме: хмарне середовище AWS для розгортання кластера та оркестратор Kubernetes для керування та автоматизації підтримки. Оновлення та контроль вихідних даних відбувається з використанням системи контролю версії GitLab з підтримкою процесу CI/CD для безперешкодного оновлення системи. Завершено розділ наведення узагальненої схеми та алгоритму функціонування. Останнім кроком є перевірка мережевої складової системи шляхом моделювання.

4 ПРОВЕДЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ

4.1 Аналіз середовищ моделювання

Основними частинами бездротового сенсорного вузла є: мікроконтролер, ряд датчиків, батарея та радіомодуль з низьким енергоспоживанням, оскільки це частина, яка споживає найбільше. Одним із способів знизити це споживання є зменшення діапазону радіозв'язку, як у випадку зі стандартом ZigBee 802.15.4 [24], розробленим спеціально для програм бездротової сенсорної мережі (WSN). Оскільки радіус дії невеликий, необхідно використовувати багато сенсорних вузлів, щоб направляти інформацію до координатора або до базової станції. Оскільки ці вузли спілкуються бездротовим способом, пропонується використовувати недорогий алгоритм зв'язку. У літературі описано багато протоколів, як-от Leach, багато до одного, AODV тощо. Альтернативним способом є маршрутизація повідомлень безпосередньо до базової станції лише за один стрибок. Це можливо завдяки використанню недорогих модулів бездротового зв'язку на великі відстані, як у випадку з протоколами LoRa та SigFox.[24]

При проектуванні зазначених вище мереж датчиків необхідне проведення експериментальних досліджень перед розгортання діючої системи. Одним з найбільш розповсюджених підходів є моделювання у спеціальних середовищах: Matlab, CupCarbon, Cisco Packet Tracer, Opnet та інші. Кожне середовище має свої особливості та спектр можливостей, тому актуальним стає вибір найбільш вдалого.

При моделюванні мережі датчиків, з яких складається мережа Інтернету речей важливими є наступні параметри:

- розгортання бездротових сенсорних мереж з урахуванням мобільності та доступності спектру,

- симуляція продуктивності та послуг бездротової сенсорної мережі в реалістичному середовищі,
- доцільність зв'язку, надійність мережі та її вартість,
- виявлення зон перешкод, щоб покращити якість розгортання,
- моделювання точного та швидкого поширення радіохвиль у реальному міському середовищі.

У таблиці 4.1 наведено порівняльну характеристику, зазначених середовищ моделювання:

Таблиця 4.1 – Порівняльна характеристика

Назва середовища	MATLAB	Cisco Packet Tracer	CupCarbon
Направленість системи	Моделі у вигляді логічних блоків	Імітаційна мережа на логічному рівні	Побудова мережі на базі геолокації
Деталізація вузлів	Висока	Середня	Середня
Ступінь декомпозиції мережі	Високий	Низький	Середній
Розробка для Вузлів	Загальної системи передачі	Комп'ютерні мережі	Мережі датчиків
Ступінь інтуїтивності	Низький	Високий	Високий
Ступінь інтеграції	Високий	Низький	Низький
Універсальність моделювання	Висока	Середня	Середня

Відповідно до описаних вище умов для мережі сенсорів та порівняльної характеристики, найбільш оптимальним є використання середовища моделювання CupCarbon. Воно надає достатній рівень деталізації та інструменти моніторингу за кожним вузлом системи, дозволяє проводити дослідження мережі загалом та придатне для наближення мережі до природніх умов розгортання системи.

4.2 Особливості CupCarbon

CupCarbon — це багатоагентний симулятор бездротової мережі датчиків із дискретними подіями, який базується на геолокації. Це дозволяє моделювати та імітувати сенсорні мережі в цифровому географічному інтерфейсі OpenStreetMap. Для цієї мети CupCarbon надає набір простих у використанні об'єктів, які можна налаштувати. Використання багатоагентних систем дозволяє краще оптимізувати час моделювання, використовуючи переваги паралелізму агентів і подій. CupCarbon складається з трьох основних компонентів: багатоагентного середовища моделювання, мобільного моделювання та, нарешті, симулятора WSN (WiSen). Ці три компоненти зараз будуть описані.

CupCarbon забезпечує середовище для багатоагентного моделювання, яке дозволяє запускати моделювання та контролювати різні

Використання багатоагентної системи дозволяє відтворити середовище, схоже на систему реального світу, де кожен об'єкт у системі працює автономно, спілкуючись з іншими об'єктами в тому самому середовищі. Інтеграція OpenStreetMap у це середовище забезпечує інтерфейс і базу даних оцифрованих даних, пов'язаних із геолокацією, таких як дороги, положення будівель тощо. Серед основних агентів у системі можна знайти датчики для надсилання та отримання пакетів. Також є газ, комахи та мобільні телефони. Вони не обов'язково спілкуються між собою, але вони взаємодіють із цими

датчиками. У наступних версіях агенти зможуть взаємодіяти з навколишнім середовищем, таким як будівлі та метеорологічні події (наприклад, вітер, температура тощо).

CupCarbon пропонує можливість створювати шляхи, вільні або пов'язані з реальними дорогами, і призначати їм агентів, щоб зробити їх мобільними. Кожен шлях визначається набором опорних точок на карті OSM, і кожна точка пов'язана з датою, що відповідає точній даті прибуття об'єкта до неї. Існує два способи створення траєкторій у цьому середовищі: 1. Генерація вручну: можна генерувати траєкторії, вибираючи вручну точки (x, y) на карті та вказуючи дати прибуття в кожную точку. 2. Автоматична генерація: також можна автоматично генерувати траєкторії на карті OSM, вказуючи основні точки траєкторії. Шляхи необхідно зберегти. З міркувань оптимізації пам'яті до завантаження надаються лише траєкторії, пов'язані з об'єктами, включеними в симуляцію. За кожен хід завантажується лише одне очко. Координати (x, y) заданих об'єктів будуть оновлені в певну дату для кожної точки на шляху під час моделювання. Одна траєкторія може бути пов'язана з декількома об'єктами різних типів. Він представлений у файлі aGPS, у якому кожен рядок описує дату, GPS-координати, логічний параметр і радіус точки, яку потрібно намалювати на карті. Логічний параметр використовується для визначення того, чи малювати рухомі об'єкти, з'єднані в цій точці, чи просто імітувати без малювання. Він розрізняє симуляцію для цілей візуалізації та моделювання для розрахунку енергетичної діаграми.

CupCarbon розроблено на Java. Його архітектура складається з двох рівнів: перший рівень стосується модулів, які використовуються для створення симуляції. Другий рівень стосується самої симуляції. Можна виділити чотири основні модулі: Модуль агентів: він містить пристрої та події, необхідні для прототипування мереж бездротових датчиків, а також для підготовки та налаштування симулятора. Модуль OpenStreetMap дозволяє проектувати бездротові датчики на карті OSM. Модуль симулятора WiSen дозволяє імітувати бездротові сенсорні мережі. Цей модуль

підключається до агентів симулятора. Модуль розв'язувача інтегрує набір алгоритмів оптимізації, таких як маршрутизація, покриття тощо. Поточна версія інтегрує алгоритм для розв'язання проблеми покриття набору, що використовується для визначення мінімальної кількості датчиків, які виявити максимальну кількість цілей. Ця частина не буде представлена, тому що вона не є частиною цілей цієї дипломної роботи. Для моделювання бездротових сенсорних мереж потрібні два основних типи учасників: агенти та планувальник. Після створення та ініціалізації симулятор запускає агентів і планувальник і синхронізує всі критичні розділи між цими агентами. Кожен агент датчика виконує свій пов'язаний сценарій зв'язку після кроку ініціалізації та починає рухатися, використовуючи свій пов'язаний файл `gps`.

4.3 Проведення моделювання

У процесі моделювання обрано модулі ZigBee у якості вузлової складової мережі. Саме цей вид модулів є одним з варіантів застосування у середовищі CupCarbon на рівні з модулями LoRaWAN. Надалі представлено приклад функціонування мережі у середовищі моделювання на території міської інфраструктури. За результатами проведеного моделювання отримано стійку мережу з якісним покриттям, що дозволяє у поєднанні з алгоритмом оптимальної побудови отримати якісне рішення мережевого рівня архітектури системи моніторингу. Відповідно до кожного вузла мережі під'єднано сукупність сенсорів для аналізу стану навколишнього середовища, що виконують роль сенсорного рівня. На схемі також зазначено місця потенційно більш вразливі у випадку переривань, а також точки виходу до загальної мережі для подальшого транспортування інформації до середовища аналізу та обробки.

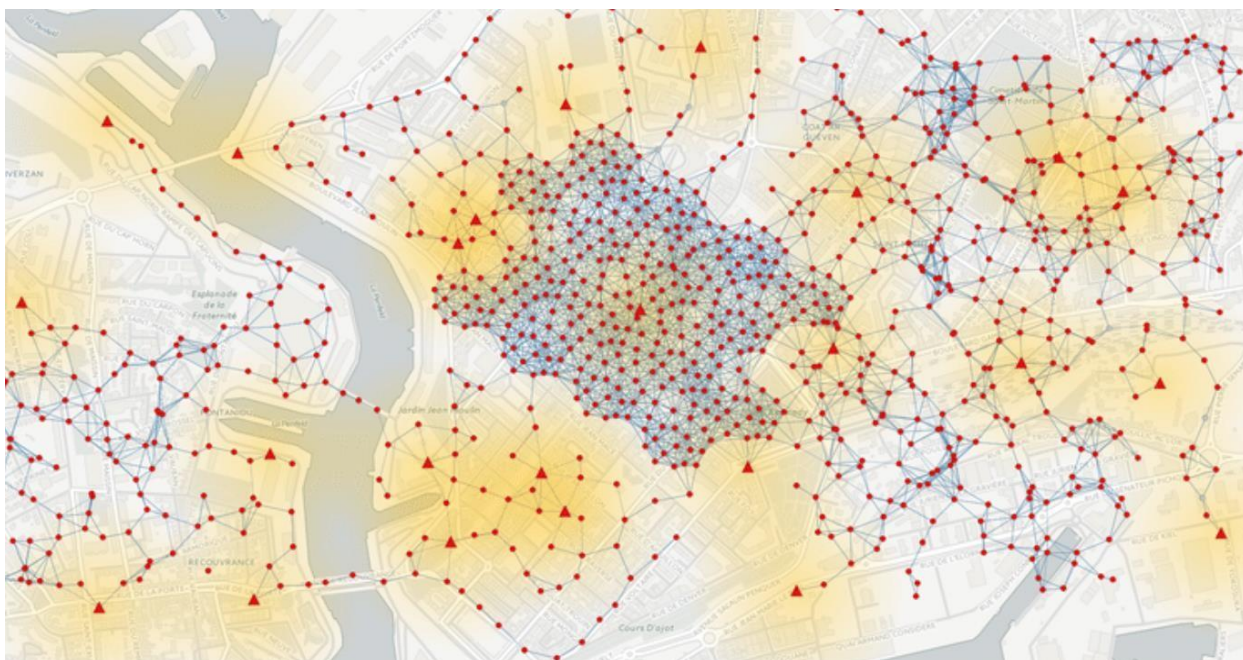


Рисунок 4.1 – Схема моделювання мережі моніторингу

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі магістерської роботи проведено моделювання системи. Проведено аналіз середовищ з метою вибору найбільш оптимальної для моделювання та моніторингу бездротової мережі. З наявних, найбільш розповсюджених та якісних обрано CupCarbon, що надає необхідний рівень моделі для якісної оцінки найбільш вагомих метрик та моніторингу функціонування мережі загалом. Проведено опис особливостей CupCarbon з подальшим моделюванням та представленням результатів потенційної роботи мережевої складової системи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Характеристика умов праці

Об'єктом магістерської роботи є дослідження способів проектування систем моніторингу стану навколишнього середовища на основі мереж специфікації 802.11s. Для вирішення технічних питань роботи мережі, проблем користувачів мережі з комп'ютерним обладнанням (як апаратним так і програмним забезпеченням) та оргтехнікою, які виникають у ході експлуатації є відділ технічної підтримки. У цій сервісній структурі діяльність працівників пов'язана з роботою на комп'ютерному обладнанні (ноутбук або стаціонарний персональний комп'ютер).

Основними шкідливими факторами, зв'язаними з роботою на ПК є:

- напруга зорових органів та пов'язане з цим стомлення, захворювання і побічні ефекти;
- значне навантаження на пальці та кисті рук, що при відсутності профілактики та медичного контролю можуть викликати професійні захворювання;
- тривале перебування в одній і тій самій позі, що викликає застійні явища в організмі, та може сприяти різним захворюванням;
- випромінювання різного виду при використанні відеомоніторів на електронно-променевих трубках (м'яке рентгенівське випромінювання, ультрафіолетове випромінювання, видиме випромінювання, інфрачервоне випромінювання, низько і високочастотне електромагнітне випромінювання, електростатичні полюси);
- механічні шуми, що пов'язані з роботою електронно-механічного друкуючого пристрою (принтера), вентиляторів системи

охолодження, приводів читання CD та DVD дисків та вібрація;
іонізація повітря;

- наявність шкідливих хімічних речовин.

Дослідження науково-дослідного інституту гігієни праці і профзахворювань вказали на зміни у функціональному стані зорового аналізатора в ході виробничої діяльності фахівців, що працюють з відеотерміналами, наприкінці 4 години роботи.

Професійні захворювання при роботі з персональним комп'ютером:

- комп'ютерний зоровий синдром. Вплив роботи з монітором зазвичай залежить від віку користувача, від стану зору, а також від інтенсивності роботи з дисплеєм та організації робочого місця. В результаті тривалої роботи дуже великий ризик появи, або прогресивності вже наявної короткозорості.
- проблеми, що пов'язані з м'язами і суглобами. Нерухома напружена поза оператора, протягом тривалого часу прикутого до екрану монітора, призводить до втоми і виникнення болю в хребті, шиї, плечових суглобах, а також розвивається м'язова слабкість і відбувається зміна форми хребта. Інтенсивна робота з клавіатурою викликає больові відчуття в ліктьових суглобах, передпліччях, зап'ястях, в кистях і пальцях рук. Зазвичай присутні скарги на оніміння шиї, біль у плечах і попереку або поколювання в ногах. Але бувають, проте, і більш серйозні захворювання. Найбільш поширений кистьовий тунельний синдром, при якому нерви руки пошкоджуються внаслідок частоті і тривалої роботи на комп'ютері. У найбільш важкій формі цей синдром проявляється у вигляді болісних відчуттів, що позбавляють людину працездатності.
- синдром комп'ютерного стресу. Постійні користувачі ПК зазвичай піддаються психологічним стресам, функціональних

порушень центральної нервової системи, хвороб серцево-судинної системи.

- вплив на імунну систему. При впливі електромагнітного випромінювання (ЕМВ) порушуються процеси імуногенезу, опромінених ЕМВ, змінюється характер інфекційного процесу – протягом інфекційного процесу обтяжується. ЕМВ можуть сприяти неспецифічному пригніченню імуногенезу, посилення утворення антитіл до тканин плоду і стимуляції аутоімунної реакції в організмі вагітної самки.
- вплив на ендокринну систему і нейрогуморальну реакцію. При дії ЕМВ, як правило, відбувається стимуляція гіпофізарно-адреналінової системи, що супроводжується збільшенням вмісту адреналіну в крові, активацією процесів згортання крові.
- вплив на статеву функцію. Порушення статевої функції зазвичай пов'язані зі зміною її регуляції з боку нервової та нейроендокринної систем.

Симптоми захворювання різноманітні і численні. Зазвичай, на відмінність єдиного симптому малоімовірно, оскільки всі функціональні органи людини взаємопов'язані.

1. Фізичні нездужання: сонливість, непроходяча втома; головний біль після роботи; болі в нижній частині спини, в ногах, відчуття поколювання, оніміння, болі в руках; напруженість м'язів верхньої частини тулуба.
2. Захворювання очей: відчуття гострого болю, печіння, свербіння.
3. Порушення візуального сприйняття: неясність зору, яка збільшується протягом дня; виникнення подвійного зору.
4. Погіршення зосередженості і працездатності: зосередженість досягається за працею; дратівливість під час і після роботи; повітря робочої точки на екрані; помилки при друкуванні.

5.2 Вимоги до виробничих приміщень

До приміщення офісу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з однобічним розміщенням світопрорізів, площа освітленості яких не повинна перевищувати 25% від площі стіни світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м², об'єм – 20 м³. Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали, що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

В офісі робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м. Екрани відео моніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

5.2.1. Освітлення

Правильно спроектоване та виконане освітлення покращує умови зорової роботи, знижує втому, сприяє підвищенню продуктивності праці, оказує благотворний вплив на виробниче середовище, надаючи позитивний психологічний вплив на працівника, підвищує безпеку праці та знижує травматизм.

Недостатнє освітлення призводить до напруження зору, послаблює увагу, призводить до передчасної втоми. Надмірна яскравість викликає осліплення, роздратування та різь в очах. Неправильний напрям освітлення на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, дезорієнтованість працівника. Всі ці причини можуть призвести до нещасного випадку або профзахворюванню цьому важливий правильний розрахунок освітлення.

Згідно з СНиП II-4-79 в приміщенні необхідно застосовувати систему комбінованого освітлення.

При виконанні робіт категорії високої зорової точності (найменший розмір об'єкта розрізнення 0,3...0,5 мм) величина коефіцієнта природного освітлення (КПО) повинна бели не нижче 1,5%, а при зорової роботі середньої точності (найменший розмір об'єкта розрізнення 0,5... 1,0 мм) КПО повинен бути не нижче 1%. В якості джерел штучного освітлення зазвичай використовуються люмінесцентні лампи типа ЛБ або ДРЛ, які попарно об'єднуються до світильників, які повинні розташовуватися над робочими поверхнями рівномірно.

Вимоги до освітлення у приміщеннях, де встановлені комп'ютерна техніка, наступні: при виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість повинна складати 400 лк, а комбінована – 750 лк; аналогічні вимоги при виконанні робіт середньої точності – 200 и 300 лк відповідно.

Крім того все поле зору повинно бути освітлене достатньо рівномірно – це основна гігієнічна вимога. Іншими словами, степінь освітлення

приміщення та яскравість екрану комп'ютера повинні бути приблизно однаковими.

5.2.2 Параметри мікроклімату

Параметри мікроклімату можуть змінюватися в широких межах, в той час як необхідною умовою життєдіяльності людини є підтримка постійності температури тіла завдяки терморегуляції, тобто здатності організму регулювати віддачу тепла до навколишнього середовища. Принцип нормування мікроклімату – створення оптимальних умов для теплообміну тіла людини з навколишнім середовищем.

Комп'ютерна техніка є джерелом суттєвих тепловиділень, що може призвести до підвищення температури та зниженню відносної вологості в приміщенні. У приміщенні, де встановлені комп'ютери, повинні дотримуватися певні параметри мікроклімату. В санітарних нормах СН 245-71 встановлені величини параметрів мікроклімату, які створюють комфортні умови. Ці норми встановлюються залежно від пори року, характеру трудового процесу та характеру виробничого приміщення.

Об'єм приміщень, в яких розташовані робочі місця працівників офісу, не повинен бути менш ніж $19,5 \text{ м}^3/\text{людину}$ з урахуванням максимального числа одночасно працюючих за зміну.

Таблиця 5.1 – Параметри мікроклімату

Пора року	Параметри мікроклімату	Величина
Холодна	Температура повітря	22...24°C
	Відносна вологість	40...60%
	Швидкість руху повітря	До 0,1 м/с
Тепла	Температура повітря	23...25°C
	Відносна вологість	40...60%
	Швидкість руху повітря	0,1...0,2 м/с

Таблиця 5.2 – Норми подачі свіжого повітря в приміщення

Характеристика приміщення	Об'ємні витрати свіжого повітря, що подається в приміщенні м ³ /на одну людину в годину
Об'єм до 20 м ³ на людину	Не менш ніж 30
20.. 40 м ³ на людину	Не менш ніж 20
Більш ніж 40 м ³ на людину	Природня вентиляція

Для забезпечення комфортних умов використовуються як організаційні методи (раціональна організація проведення робіт в залежності від пори року та доби, чергування праці та відпочинку), так й технічні засоби (вентиляція, кондиціонування повітря, опалювальна система).

5.2.3 Електромагнітне та іонізуюче випромінювання

Максимальний рівень рентгенівського випромінювання взагалі не перевищує 10 мкбер/г., інтенсивність ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювань від екрану монітору лежить у межах 10... 100 мВт/м².

Таблиця 5.3 – Показники допустимих значень параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань (згідно з СанПиН 2.2.2.542-96)

Параметр	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні монітору	10 В/м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні монітору	0,3 А/м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати для дорослих користувачів	20 кВ/м

Для зниження дії цих видів випромінювань рекомендується застосовувати монітори з пониженим рівнем випромінювань, встановлювати

захисні екрани, а також дотримуватися регламентованих режимів праці та відпочинку.

5.3 Заходи щодо поліпшення умов праці

5.3.1 Мікроклімат робочого місця

Приміщення має площину $24,75\text{ м}^2$ ($4,5\text{ м} \cdot 5,5\text{ м}$); висота усередині $2,5\text{ м}$, об'єм становить $61,875\text{ м}^3$. У приміщенні розташовані: 2 системних блока, 2 монітори, 1 багатофункціональний пристрій (БФП), 1 кондиціонер.

У приміщенні офісу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентилявання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (5.1)$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год;

c – теплоємність повітря ($0,237\text{ ккал/кг}$);

p – обсягова вага повітря ($1,226\text{ кг/м}^3$);

t_B – температура витяжного повітря (30°C);

t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (5.2)$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками;

$Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_{\theta} \cdot 860, \quad (5.3)$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_{θ} – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$Q_{\text{УСТ}} = [(x_1 \cdot k_1) + (x_2 \cdot k_2) + (x_3 \cdot k_3) + (x_4 \cdot k_4)] \cdot K_a \cdot K_{\theta} \cdot 860, \quad (5.4)$$

де x_1, x_2, x_3, x_4 – кількість системних блоків, моніторів, принтерів, кондиціонерів відповідно;

k_1, k_2, k_3, k_4 – їх потужність.

Розрахуємо:

$$Q_{\text{УСТ}} = [(2 \cdot 0,45) + (2 \cdot 0,1) + (1 \cdot 0,25) + (1 \cdot 1,5)] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 2328,45 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{\text{ПЕР}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (5.5)$$

де n – кількість працюючих;

g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.)

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{OCB} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 400 \cdot 0,05 \cdot 24,75 = 495 \text{ ккал/год}, \quad (5.6)$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 400 лк;

g_1 – питома тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.)

S – площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{CP} = F \cdot g_2 \cdot K_{OCL} = 2,3 \cdot 65 \cdot 0,4 = 59,8 \text{ ккал/год}, \quad (5.7)$$

де F – площа віконних прорізів (2,3 м²);

g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.);

K_{OCL} – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{НАД} = Q_{УСТ} + Q_{ПЕР} + Q_{OCB} + Q_{CP} = 2328,45 + 200 + 495 + 59,8 = 3083,25 \text{ ккал/год.}$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{НАД}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{3083,25}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 1063,19 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Існуюча в наявності система кондиціонування і вентилявання має продуктивність 2000 м³/годину, що задовольняє необхідним нормативам.

5.3.2. Розрахунок системи загального рівномірного освітлення

Розміри приміщення: довжина ($a=4,5\text{м}$), ширина ($b=22\text{м}$), висота ($h=3\text{м}$). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{\text{стелі}} = 70 \%$, $P_{\text{стін}} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7 \text{ м}$. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c=0,4 \text{ м}$. Мінімальна освітленість за нормами $E=200 \text{ лк}$.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3 - 0,4 = 2,6 \text{ м.} \quad (5.8)$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. В офісі відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 2,6 - 0,7 = 1,9 \text{ м.} \quad (5.9)$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 1,9 = 1,33 \text{ м.} \quad (5.10)$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{4,5 \cdot 5,5}{1,33^2} \approx 14 \quad (5.11)$$

Приймаємо 14 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 7 штук.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_z \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta}, \quad (5.12)$$

де E – нормативна освітленість, лк;

K_z – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп;

S – площа приміщення, що освітлюється, м²;

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15);

N – кількість світильників;

n – кількість ламп у світильнику;

η – коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{4,5 \cdot 5,5}{3 \cdot (4,5 + 5,5)} = 2,475. \quad (5.13)$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,56$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,475$ $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 24,75 \cdot 1,15}{14 \cdot 1 \cdot 0,56} = 726,08 \text{ лм.} \quad (5.14)$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 750 лм. Хоча це значення на 3% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{CB}} = P \cdot N = 150 \cdot 176 = 26400 \text{ Вт.} \quad (5.15)$$

5.4 Пожежна безпека

Найважливішою умовою роботи будь-якого підприємства є дотримання правил пожежної охорони. У приміщенні офісу основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає «Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень (офісів)». Вона є обов'язковою для використання всіма співробітниками відділу. У згідності з цією інструкцією, у кожному приміщенні повинний бути призначений відповідальний за пожежну безпеку, вивішена на видному місці табличка з указівкою його посади та прізвища.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи та виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захащувати. По мірі нагромадження та

закінчення роботи пальні відходи варто збирати в спеціально відведених сміттєзбиральників.

Електромережі, електроприлади й апаратура повинна експлуатуватися тільки в справному стані, з урахуванням рекомендацій підприємства-виготовлювачів. У випадку виявлення ушкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів варто негайно відключи їх та вжити необхідних заходів до приведення в пожежобезпечний стан. Документи папір та інші горючі матеріали варто зберігати на відстані не менш 1 м від електрощитів, електрозбірок та електрокабелів, 0,5 м від світильників та 0,25 м від приладів опалення.

Засоби протипожежного захисту (пожежні крани, пожежна й охоронно-пожежна сигналізація, первинні засоби пожежогасіння і т.п.), що мають у приміщеннях, варто тримати в справному стані.

Усі працівники повинні пройти протипожежний інструктаж, уміти користатися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння та знати місце їхнього перебування. Відстань від найбільш віддаленого місця приміщення до місця розміщення вогнегасника не повинне перевищувати 20 м.

5.5 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Об'єктом розгляду на предмет визначення надзвичайних небезпек та їх наслідків є офіс. Однією із вірогідних загроз може бути раптове виникнення пожежі внаслідок короткого замикання в електромережах або розрядів статистичної електрики, що може привести до пошкодження і руйнування будівлі, устаткування, комунікацій, виділення токсичних продуктів горіння.

Тому в офісі розроблено оперативний план гасіння пожежі, який визначає порядок дії персоналу при пожежі, порядок її гасіння в електроустановках, взаємодію з власним складом пожежних підрозділів, а

також застосування схем и засобів пожежогасіння з урахуванням заходів безпеки.

Будівля повинна бути обладнана мережею протипожежного водозабезпечення, установками виявлення та гасіння пожеж відповідно вимогам нормативно-технічних документів. Кожний працівник повинен чітко знати та виконувати вимоги ППБ та протиаварійний режим на об'єкті, уміти користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння і знати місце їхнього перебування.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи і виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захащувати. Засоби протипожежного захисту в приміщеннях потрібні триматися у справному стані.

У випадку виявлення пожежі слід: негайно повідомити державну пожежну охорону за телефоном «101», вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, своє прізвище; повідомити про пожежу керівництву, а в нічний час черговому охоронцю; у разі можливості почати гасіння пожежі наявними засобами, організувати зустріч пожежних підрозділів.

При виникненні пожежі у початковій стадії його розвитку випромінюється тепло, накопичуються токсичні продукти згоряння, імовірні руйнування будівельних споруд. Тому слід як можна швидше провести евакуацію людей із палаючої будівлі. Показником ефективності евакуації є час, протягом якого працівники можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будівлю в цілому. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує час настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення граничних для людини впливів факторі пожежі (критичних температур, ступені задимлення, зниження концентрації кисню и т.п.). Число евакуаційних виходів повинно бути не менш двох. Вони повинні розташовуватися розосереджено. Мінімальна

відстань між найбільш віддаленими один від одного евакуаційними виходами із приміщення визначається за формулою:

$$l = 1,5 \cdot \sqrt{P} = 1,5 \cdot \sqrt{20} = 6,7 \text{ м}, \quad (5.16)$$

де P – периметр приміщення, м.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу із будівлі. У кожному приміщенні на видному місці повинен бути вивішений план евакуації при пожежі.

При пожежі обов'язково необхідно враховувати небезпечні чинники і механізм їх дії на людину. При виникненні пожежі, після виклику пожежної охорони, необхідно попередити про це усіх, хто знаходиться поруч, після чого евакуюватися самому і по можливості допомогти евакуюватися іншим, особливо особам літнього віку і дітям, попереджаючи при цьому виникнення паніки.

З метою обмеження циркуляції повітря, яке здатне збільшувати швидкість

горіння, покидаючи приміщення, закрийте за собою усі двері, якщо це можливо. Якщо пожежа виникла в приміщенні над вами і безпосередньої загрози для вас не спостерігається, то бажано виконати заходи по зниженню можливих втрат від води яку проливають при гасінні пожежі. Для цього необхідно відключити всі електроприводи та прикрити їх поліетиленовою плівкою. Значно гірше, якщо пожежа виникла в приміщенні під вами – потрібно оцінити обстановку и якщо є впевненість, що ще не має сильної задимленості з високою температурою, потрібно негайно покинути приміщення, рухаючись до виходу по коридорам і сходовим кліткам. Користуватися ліфтом категорично забороняється, за винятком ліфтів, які спеціально призначені для транспортування пожежної охорони. Шахта ліфта є шляхом для поширення диму і отруйних продуктів горіння, до того ж при пожежі ліфт часто відключають і можна опинитися в пастці при пожежі.

Якщо ви знаходитесь в приміщенні де немає пожежі, але відрізани вогнем, димом, високою температурою від головних шляхів евакуації, то в першу чергу необхідно заважити доступу диму и продуктів горіння в це приміщення. Для чого необхідно негайно закрити усі щілини у дверях та під ними змоченими водою ганчірками, рушниками, робочими халатами та ін. Якщо приміщення все ж заповнено димом, необхідно підповзти до вікна, закрити при цьому рот та ніс змоченою тканиною, яка грає роль фільтру та в певній мірі захищає від продуктів горіння.

Рухатись у задимленій зоні поповзом або максимально пригнувшись, необхідно тому що більшість нагрітих газоподібних отруйних речовин та дим збираються у верхній зоні приміщення, окрім цього, в приміщенні при горінні температура на рівні очей людини у 6 разів вище за температуру на рівні полу, до того ж внизу завжди зберігається більша концентрація кисню. Коли ви опинились біля вікна трохи відкрийте його та дихайте через щілину, очікуючи прибуття пожежників. При їх прибутті негайно зверніть на себе увагу. Ніколи не стрибайте через вікно без відомої на це необхідності (кожний другий стрибок з 4-го поверху при пожежі смертельний).

Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі магістерської роботи проведено опис основних моментів стосовно охорони праці у середовищі обробки та аналізу інформації. Зазначено особливості основних вимог: освітлення, параметрів мікроклімату, випромінювання на робочому місці. А також заходи стосовно поліпшення умов праці та пожежної безпеки.

ВИСНОВКИ

В ході виконання випускної кваліфікаційної роботи за рівнем «магістр», було виконано дослідження та синтез архітектури системи моніторингу навколишнього середовища. Виходячи з даних, отриманих при дослідженні, також після побудови інформаційної мережі, є можливим подальше вивчення та покращення системи.

Перший розділ магістерської роботи було присвячено стислому огляду сучасного кліматичного стану та підходів до моніторингу, проаналізовано основні елементи парникових газів джерела появи та вплив на середовище, зроблено висновки про необхідність контролю стану навколишнього середовища. Надалі наведено класифікацію основних методів моніторингу з послідовним представленням: супутниковий, атмосферний та наземний.

У другому розділі магістерської роботи проаналізовано основні технології, що використовуються при побудові архітектури мережі моніторингу навколишнього середовища. Обрано метод моніторингу відповідно до якісного порівняльного аналізу, зазначених у попередньому розділі способів моніторингу навколишнього середовища. За результатами обрано наземний метод детектування інформації. Надалі з метою формування архітектури використано концепцію Інтернету речей (IoT). Основна ідея концепції полягає у побудові трирівневої структури, яка складається з датчиків, вузлів, що утворюють мережу, та центр обробки. У свою чергу обробка може бути як централізованою, так і децентралізованою, датчики залежать від, попередньо проведеного, аналізу складових парникових газів.

Третій розділ магістерської роботи складається з побудови мережі системи моніторингу навколишнього середовища. Обрано устаткування у вигляді сенсорів для отримання інформації та подальшої передачі даних на наступні рівні архітектури. Надалі вирішено питання вузлів мережі. Серед

наведених варіантів обрано модулі ZigBee. Останні є найбільш вдалим рішенням з точки зору універсальності, автономності та достатнього рівня якості передачі інформації між вузлами з метою утворення стабільної мережі. Обрано основні компоненти середовища обробки, а саме: хмарне середовище AWS для розгортання кластера та оркестратор Kubernetes для керування та автоматизації підтримки. Оновлення та контроль вихідних даних відбувається з використанням системи контролю версії GitLab з підтримкою процесу CI/CD для безперешкодного оновлення системи. Завершено розділ наведення узагальненої схеми та алгоритму функціонування. Останнім кроком є перевірка мережевої складової системи шляхом моделювання.

У четвертому розділі магістерської роботи проведено моделювання системи. Проведено аналіз середовищ з метою вибору найбільш оптимальної для моделювання та моніторингу бездротової мережі. З наявних, найбільш розповсюджених та якісних обрано CupCarbon, що надає необхідний рівень моделі для якісної оцінки найбільш вагомих метрик та моніторингу функціонування мережі загалом. Проведено опис особливостей CupCarbon з подальшим моделюванням та представленням результатів потенційної роботи мережевої складової системи.

За результатами роботи отримано архітектурне рішення системи, а також встановлено подальші три ключові задачі, необхідні для розвитку потенційного проекту:

- розробка і моделювання мережі, що здатна якісно, надійно та продуктивно виконувати покладені на неї функції й утворювати стабільну інфокомунікаційну інфраструктуру обміну вимірювальною інформацією;
- експериментальні випробування давачів для детектування концентрацій парникових газів та вирішення проблеми їх синтезу зі загальною мережею, а також оптимізація алгоритмів взаємодії компонентів інфокомунікаційної мережі;
- розробка програмних компонент хмарних обчислень на основі інтелектуальних алгоритмів трансформації вимірювальних даних та

тестування сценаріїв обробки потенційно великих обсягів фізичних даних, що надходять від розподілених засобів інструментального комп'ютеризованого моніторингу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стаття Climate Change Indicators: Greenhouse Gases організації USEPA. URL: epa.gov/climate-indicators/greenhouse-gases (дата звернення: 12.10.2022).
2. Althor G. et al. Global mismatch between greenhouse gas emissions and the burden of climate change. Sci. Rep. 2016. Vol. 6 (20281). P. 1 – 6.
3. Shindell D.T. et al. Improved attribution of climate forcing to emissions. Science. 2009. Vol. 326. P. 716 – 718.
4. Стаття Eye from the Sky: Satellites to pinpoint greenhouse emissions and air pollution сайту Geospatial world. URL: geospatialworld.net/article/satellites-greenhouse-emissions/ (дата звернення: 11.10.2022).
5. Стаття Earth Science Missions сайту NASA. URL: climate.nasa.gov/nasa_science/missions/ (дата звернення: 11.10.2022).
6. Стаття Greenhouse Gas (GHG) Management Program сайту NASA. URL: nasa.gov/emd/ghg (дата звернення: 12.10.2022).
7. Telionis D. Et al. A Fast-Response Probe Capable of Atmospheric Sampling in Harsh Conditions. In: AIAA Infotech@Aerospace. Ohio, 2013. P. 1 – 23.
8. Elzain H., Wu Y. Software Defined Wireless Mesh Network Flat Distribution Control Plane. Future Internet, 2019. Vol. 11 (166). P. 1 – 17.
9. Стаття IoT and Autonomous Irrigation with Tevatronic сайту Open Learning Campus. URL: olc.worldbank.org/content/iot-and-autonomous-irrigation-tevatronic (дата звернення: 14.10.2022).
10. Головна сторінка проєкту Ribbir Network. URL: ribbitnetwork.org/ (дата звернення: 14.10.2022).
11. Стаття IoT. URL: <https://www.networkworld.com/article/3207535/what-is-iot-the-internet-of-things-explained.html?page=2> (дата звернення: 11.10.2022).

12. Wi-Fi [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://wikipedia.org/wiki/Wi-Fi> – Дата доступу: Жовтень 2022. – Назва з титул. Екрана
13. Мережі WiFi. Стандарти та технології. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://getwifi.com/p_standarts.html – Дата доступу: Жовтень 2022. – Назва з титул. екрана.
14. Устройство и принцип работы Wi-Fi сети (преимущества и недостатки). [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://hobbyits.com/ustrojstvo-i-princip-raboty-wi-fi-seti/> – Дата доступу: Жовтень 2022. – Назва з титул. екрана.
15. Saha S., Acharjee U., Tahzib-Ul-Islam Md. A Survey on Wireless Mesh Network and its Challenges at the Transport Layer. International Journal of Computer Engineering and Technology, 2014. Vol. 5 (8). P. 169 – 177.
16. Стаття Overview of Greenhouse Gases USEPA. URL: epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases (дата звернення: 15.09.2022).
17. Стаття Mesh Networking сайту IEEE. URL: standards.ieee.org/ieee/802.11s/4243/ (дата звернення: 12.10.2022).
18. Стаття Mesh networks. URL: <https://www.counterpointresearch.com> (дата звернення: 11.10.2022).
19. Стаття. IEEE mesh URL: <https://standards.ieee.org/standard> (дата звернення: 11.10.2022).
20. Стаття. URL: <https://docs.aws.amazon.com/aws-iot-how-it-works.html> (дата звернення: 11.10.2022).
21. Стаття Digi Blog. URL: <https://www.digi.com/blog> (дата звернення: 11.10.2022).
22. Стаття ZigBee сайту CSA. URL: csa-iot.org/all-solutions/zigbee/ (дата звернення: 11.09.2022).
23. IEEE Std 802.11-2007. Wireless LAN Medium AccessControl (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. –IEEE, June 2007.

24. Стаття Agent_and_Discrete_Event_Wireless_Sensor_Network. URL: <https://www.researchgate.net/publication/260877305> (дата звернення: 11.10.2022).