

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

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ” 20_ р.

Випускна кваліфікаційна робота

бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка проекту IoT-мережі для контролю та управління системою
вуличного освітлення»

Виконав: студент 4 курсу, групи ТКР-17
(шифр групи)

спеціальності 172
телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Жабко Олександр Сергійович

Керівник ст.викл.каф АТ Ступак Г.В.
(прізвище та ініціали) (підпис)

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Покровськ – 2021 р.

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

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____
секретар ДЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота
бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка проекту IoT-мережі для контролю та управління системою
вуличного освітлення»

Виконав студент групи ТКР-17 _____ О.С. Жабко
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Керівник _____ Г.В. Ступак
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Зав. каф. автоматики та телекомунікацій _____ І.С. Лактіонов
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Консультанти

_____ (підпис, дата) (ініціали, прізвище)

_____ (підпис, дата) (ініціали, прізвище)

_____ (підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Нормоконтролер _____ Д.О. Жуковська
(підпис, дата) (ініціали, прізвище)

Покровськ – 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації
електроінженерії та радіоелектроніки

Кафедра автоматика та телекомунікації

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 172 телекомунікації та радіотехніка (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

/_____/

“ ”

_____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Жабка Олександра Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка проекту IoT-мережі для контролю та управління
системою вуличного освітлення»

керівник роботи: Ступак Гліб Володимирович, ст. викл. каф. АТ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від “ ” року №

2. Строк подання студентом роботи 15 червня 2021р

3. Вихідні дані до роботи: схема об'єкту, матеріали курсового
проектування, звіт з практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які
потрібно розробити):

1) Аналіз об'єкту проектування

2) Дослідження протоколів

3) Побудова мережі та вибір устаткування

4) Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень): структурна, функціональна, топологічна, СКС схема, інформаційна
модель.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		видав	прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання	25.04.2021	
2	Аналіз об'єкту	28.04.2021	
3	Дослідження підходів	30.04.2021	
4	Аналіз технології	04.05.2021	
5	Топологічне рішення	07.05.2021	
6	Розрахунок трафіку	10.05.2021	
7	Дослідження протоколу	13.05.2021	
8	Схема сегменту мережі	18.05.2021	
9	Апаратний синтез, вибір обладнання	22.05.2021	
10	Принцип керування	26.05.2021	
11	Охорона праці	28.05.2021	
12	Оформлення	31.05.2021	

Студент

_____ (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ (підпис) (прізвище та ініціали)

Лист зауважень

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Жабко О.С. Розробка проекту IoT-мережі для контролю та управління системою вуличного освітлення / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 172 телекомунікації та радіотехніка. – ДВНЗ ДонНТУ, Покровськ, 2021.

Робота містить 86 сторінки, складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліка використаних джерел з 18 найменувань, 30 рисунків, 5 таблиць.

У дипломній роботі проводиться розробка сегменту телекомунікаційної мережі на основі технології mesh на території скверу Соборного в місті Покровськ. Дана мережа надає можливість збору інформації та контролю стану міської інфраструктури вуличного освітлення. У роботі проведено аналіз технічних рішень, детальне дослідження технології mesh та надано опис побудови мережі, вибору протоколу та устаткування, необхідних для функціонування системи.

Ключові слова: МЕРЕЖА, ІНТЕРНЕТ, MESH, ТРАФІК, ЧАСТОТНИЙ РЕСУРС, МАРШРУТИЗАЦІЯ, ФОРМАТ ДАНИХ, ПРОТОКОЛ, УСТАТКУВАННЯ, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ, ТРАФІК

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	12
1.1 Характеристика об'єкту	12
1.2 Варіант організації мережі.....	14
1.3 Порівняльна характеристика та вибір оптимального рішення ..	21
Висновки до розділу 1	24
2 ОПИС ПРОТОКОЛУ MESH.....	25
2.1 Архітектура топології mesh	25
2.2 Технологія mesh відносно моделі OSI	27
2.3 Реалізація MAC-рівня.....	29
2.3.1 Особливості фізичного рівня.....	30
2.3.2 Канальний рівень та відповідні протоколи.....	33
2.3.3 Маршрутизація у mesh-мережі.....	39
2.4 Проблема розподілу каналів.....	41
Висновки до розділу 2	47
3 АНАЛІЗ РІШЕНЬ ТА РОЗРОБКА МЕРЕЖІ	49
3.1 Вибір протоколу.....	49
3.2 Розробка схеми для ділянки мережі.....	52
3.3 Вибір апаратної реалізації.....	56
Висновки до розділу 3	61
ВИСНОВКИ.....	62

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	65
Додаток А. Охорона праці, безпека в надзвичайних ситуаціях	67

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПК – персональний комп'ютер;

ISO – модель взаємодії відкритих систем;

IoT – Інтернет Речей;

3GPP – консорціум розробників специфікацій для систем мобільного зв'язку;

AP – точка доступу;

STA – абонентські кінцеві станції;

USG – єдиний граф каналу;

БД – база даних;

ДСТУ – державний стандарт України.

ВСТУП

Вирішення проблеми передачі інформації є актуальним викликом в усі часи, починаючи з моменту передачі першого набору даних між двома людьми. З плином історії змінювалися та модифікувалися існуючі, а також з'являлися нові підходи до організації цього процесу. Особливо чітко це можна спостерігати останні пів століття. Здобутки в області електроніки та комп'ютерних наук разом з існуючими на той момент ідеями телекомунікацій зробили можливим появу напряду інфокомунікацій. Така конвергенція значно пришвидшила темпи розвитку. І тепер зміни галузі вимірюються вже роками, а не десятиліттями чи століттями.

Поява нових технічних рішень сприяє зростанню попиту. Тож на сьогоднішній день можна стверджувати, що інформаційні технології поступово стають частиною майже усіх галузей життя. Це сприяло активній розробці побутових, промислових та спеціалізованих пристроїв, здатних взаємодіяти з мережами, паралельно з цим створювалися різноманітні фірмові технології систем передачі і з плином часу найкращі ставали загальноприйнятими стандартами зв'язку. Чотири десятиліття можна спостерігати еволюцію мереж передачі даних, стільникового зв'язку та супутникових систем. У певний час кожний тип мережі виконував спеціальну роль, тобто представляли собою або мережу транспортування певного типу інформації, або системи спеціального призначення, наприклад, лише для мобільних дзвінків. Але подібно до об'єднання різноманітних галузей знань, які сприяли появі сучасних телекомунікацій, розпочався процес інтеграції вже існуючих рішень.

Тому не дивно, що у процесі розвитку мережевих технологій останні три десятиріччя активно ведеться дискусія на тему створення Всеосяжного Інтернету. Основа концепції полягає у впровадженні мережі, елементами якої виступають будь-які пристрої, що використовуються людиною, усі вони в свою чергу мають загальне мережеве рішення. Таким чином можна

досягнути високого рівня автоматизації, починаючи побутом і закінчуючи інфраструктурою міст та промисловістю. Слід зазначити важливу деталь: Всеосяжний Інтернет у тому сенсі, що описано вище є лише ідеєю, можливою до реалізації лише з деяким плином часу, коли найбільш вигідне з точки зору організації мережі рішення буде обрано та стандартизовано. А так як активна фаза розробок триває менше десяти років, можна спостерігати великий спектр рішень від провідних світових компаній у цій галузі: Softeq, Oxagile, Style Lab IoT Software Company, HQ Software Industrial IoT Company та багато інших. Усі вони використовують власні підходи та стандарти. Таким чином можна говорити про високу актуальність розробок та впровадження технології у сучасне життя.

Завданням даної бакалаврської роботи полягає у дослідженні методів організації мережі масштабів міста з метою збору ключових параметрів, автоматизації та контролю міської інфраструктури. Сегмент мережі було розроблено для скверу Соборний міста Покровськ.

Мета – дослідження та розробка мережної інфраструктури, що самоорганізується, для системи вуличного освітлення з застосуванням технології IoT.

Актуальність роботи полягає у необхідності впровадження сучасного телекомунікаційного рішення до міської інфраструктури, що сприяє більш оптимальному використанню ресурсів, контролю процесів та збору необхідних даних для подальшої обробки.

Предмет – система вуличного освітлення скверу Соборний.

Об'єкт – IoT-інфраструктура для вирішення задач керування.

Задачі:

- аналіз існуючих технічних підходів;
- аналіз mesh та протоколів передачі даних;
- розробка рішення для обраної території;
- вибір та налаштування устаткування;
- охорона праці.

Результатом бакалаврської роботи є пояснювальна записка, що містить обґрунтування, опис протоколів та досліджень, надання рішення. За результатами роботи можливим є розробка плану з подальшого розгортання мережі на базі описаних програмних та апаратних рішень.

Методи дослідження – аналітичні методи, проектування.

Структура та обсяг роботи – 86 сторінки, 5 таблиць, 30 рисунків, 18 використаних джерел.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Характеристика об'єкту

При розробці систем збору, автоматизації та контролю однією з ключових складових є вибір точок розгортання та основної направленості системи, що розробляється. З цієї точки зору можна виділити основні вимоги для вузлів розгортання, на базі яких формується мережеве рішення: вони повинні бути рівномірно розподілені у масштабах обраної локації, мати однорідну структуру та призначення, а також бажаним є наявність певних закладених функцій. Виконання цих пунктів та знаходження подібної інфраструктури значно спрощує побудову системи та планування необхідного набору послуг.

При аналізі міської інфраструктури до зазначених вище критеріїв підходить система вуличного освітлення. Така система є важливою складовою організації будь-якого міста. На рисунку можна бачити високий ступінь покриття міста даною мережею:



Рисунок 1.1 – Схема розподілу освітлення

Умовно таку систему можна розподілити на декілька складових, що класифікуються за метою:

- освітлення транспортних магістралей;
- освітлення пішохідних зон та жилих районів;
- архітектурне та декоративне освітлення.

Два перших напрями є найбільш актуальними з точки зору міської інфраструктури. Перший напрям має наступні завдання:

- досягнення рівня освітлення, необхідного для достовірного і своєчасного сприйняття дорожньої ситуації;
- забезпечення рівномірності освітлення;
- забезпечення необхідних спектральних характеристик джерел світла;
- визначення напрямку руху транспорту та пішоходів.

Другий напрям має наступні завдання:

- забезпечення безпечного руху транспорту і пішоходів;
- безперешкодне орієнтування на місцевості;
- створення візуального і психологічного комфорту, надання.

Таким чином система освітлення є найбільш оптимальною мережною структурою міста з точки зору двох ключових напрямів: повне покриття, що створює можливість розгортання додаткових мереж датчиків й автоматизованих систем у масштабах міської інфраструктури.

Для проектування мережі необхідним є розуміння обсягів трафіку, що використовується. Система освітлення з можливістю керування використовує: сигнали керування ліхтарями та дані про стан. Таким чином можна говорити про невеликі обсяги трафіку, необхідні для коректного функціонування. Важливо зазначити, що система не потребує керування та опитування у режимі реального часу, що ще більше зменшує обсяг даних для комунікації. З цього випливає недоцільність використання існуючих рішень у вигляді базових станцій через високі витрати на взаємодію з системою.

Наступним зауваженням є дотримання певного рівня якості, тобто наявність резервних маршрутів проходження даних та відповідного механізму маршрутизації. Одним з варіантів є підхід, у якому дані передаються за допомогою силових ліній. Такий сучасний підхід повної заміни інфраструктури енергопостачання через високі вимоги до якості ліній, а саме: тонке налаштування розподілу ємності та опору у системи. У іншому ж випадку, передачі стає неможливою через викривлення інформації. Наявні ж міські рішення не є спроможними для таких цілей, отже має високі економічні витрати.

Вирішенням зазначених викликів можливе за допомогою використання підходу мережі Всеосяжного Інтернету на території міста. Такі системи розгортаються над певною вже існуючою інфраструктурою, є більш економічно вигідними та при правильному розрахунку задовольняють необхідному рівню надійності, якості та швидкості передачі даних.

1.2 Варіант організації мережі

Знаючи про активну роботу з розробки рішень Всеосяжного Інтернету, може постати питання: “Де саме вже використовуються готові системи?”. Сьогодні водночас активно розвиваються два основні напрями Всеосяжного Інтернету, а саме: промисловий Інтернет речей (IIoT) та побутовий Інтернет речей (IoT). Реалізація відрізняється на сам перед через особливі умови 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 мають більш низькі критерії якості роботи.

Але, незважаючи на реалізацію, загальний принцип функціонування залишається незмінним: необхідно досягнути такої системи, що здатна взаємодіяти з будь-яким пристроєм, який виступає у ролі умовного датчика,

проводити попередню обробку, передавати цю інформацію до інфраструктури загальної обробки, повинен існувати підхід до оптимальної роботи з даними. Усі зазначені складові є необхідними. Вибір же способу реалізації на цю мить покладається на розробників. Загальна схема умовно має наступний вигляд:

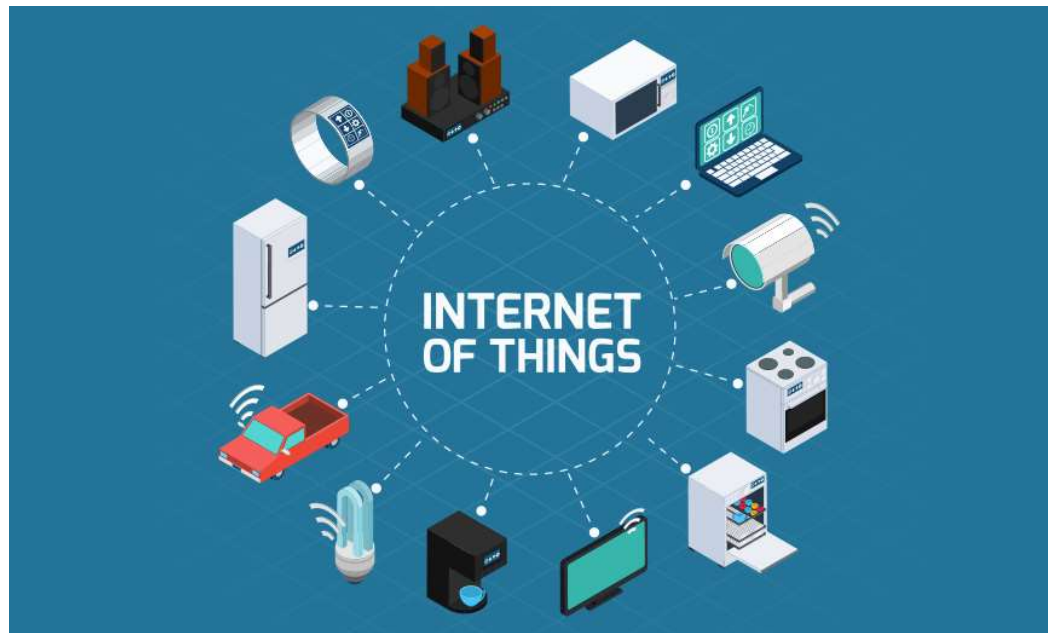


Рисунок 1.2 – Загальне представлення IoT

З технічної точки зору, будь-яку систему Інтернету речей можна поділити на чотири складові частини: мережа кінцевих пристроїв, ланки передачі даних до середовища аналізу та обробки, власне середовище та засоби подання інформації. З точки зору ж класичного представлення будь-якої мережі можна виділити 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 трирівнева модель дуже зручно розподіляє границі розробки [1].

Активною фазою початку розвитку Інтернету речей можна вважати 2009 рік. За відносно короткий час свого існування технології Інтернету речей демонструють високі темпи зростання:

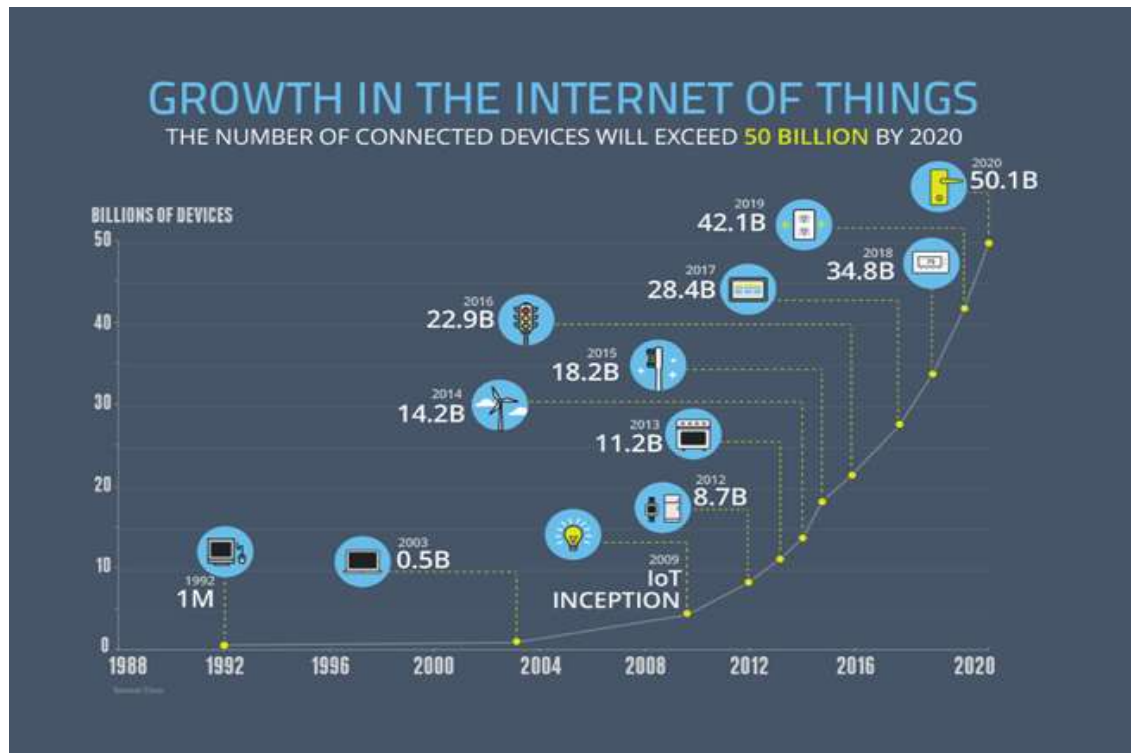


Рисунок 1.3 – Зростання обсягів пристроїв IoT

За графіком можна бачити обсяги виготовлення лише деяких пристроїв, а також моменти їх появи та активної розробки. Також за графіком можна бачити експоненціальну залежність розвитку, отже вже можна стверджувати, що технологія має високий потенціал та є надзвичайно актуальною. Найбільш загальні минулорічні показники розвитку говорять наступне:

- світові витрати у 2020 році склали один трильйон доларів;
- автоматизація будинків зросла на 42%;
- за рік в усьому світі Інтернет речей заробив приблизно 212 мільярдів доларів;
- на 2020 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 [2].

Надзвичайного поширення набула ідея Розумного міста (SmartCity). Останній напрямок заслуговує особливої уваги. Розумне місто – це концепція мегаполісу, у якому кожна складова під'єднана до загальної мережі. Паралельно з цим важливим є поява подібних під'єднань у побуті користувачів: будинки, авто, домашні речі та інше. Взаємодія між зазначеними приладами і утворює загальну систему. Разом з під'єднанням решти складових будь-якого сучасного міста можна досягнути: високого рівня охорони здоров'я, дотримання порядку, швидке реагування на інциденти, оптимальна побудова маршрутів, попередження аварій, агрегація даних про різноманітні параметри міста за допомогою мереж датчиків та багато іншого. Можна стверджувати, що розробка системи SmartCity сьогодні є однією з провідних у концепції Інтернету речей [3].

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 різноманітні 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.

При розгортанні будь-якої мережі одна з основних проблем полягає у виборі оптимального топологічного рішення. У глобальному сенсі можна виділити мережі для покриття певної території (point-to-multipoint) та систем передачі між двома точками для утворення каналу передачі (point-to-point). Другий тип стосується ситуацій, коли у наявності є один фізичний канал між вузлами, тобто у ситуаціях зв'язку між географічно віддаленими регіонами або при організації певних магістральних ділянок. У той же час перший варіант є оптимальним для взаємодії з великою 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.

Якщо оцінювати мережу SmartCity, використовуючи зазначені вище параметри, то можна зробити висновок: мережа має високу щільність розподілу пристроїв, необхідним є мінімізація затримок, тобто необхідним є надійний контроль передачі даних і можливість оптимізації маршрутів просування даних, для унеможливлення втрати з'єднання необхідно забезпечити можливість швидкого перемикавання, тобто певна надлишковість вузлів передачі даних [4].

Існує декілька варіантів топології для організації передачі першого типу: спільна шина, кільцева, зірка, mesh, деревовидна, гібридна. Кожна зазначена топологія має свої недоліки та переваги. Для вибору слід зазначити важливу умову: система 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 мережа бажано має функціонувати безперервно, і кінцеві пристрої повинні комунікувати з декількома вузлами передачі даних для уникнення втрати даних при виході з ладу певної ланки мережі. Таким чином, найбільш

оптимальним вибором з точки зору доступності та якості мережі є mesh підхід до організації системи. Решта ж варіантів в тому чи іншому вигляді мають слабкі місця, які сприятимуть виникненню втрат при роз'єднанні [5].

Можна виділити наступні основні переваги 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 побудови та організації mesh-мереж описано у 802.11s організації IEEE. Можна виділити наступні складові 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. Загалом, саме ці дві складові у різноманітних фірмових реалізаціях і складають мережу топології mesh. На рівні організації рівня розподілу мережу можна представити наступним чином:

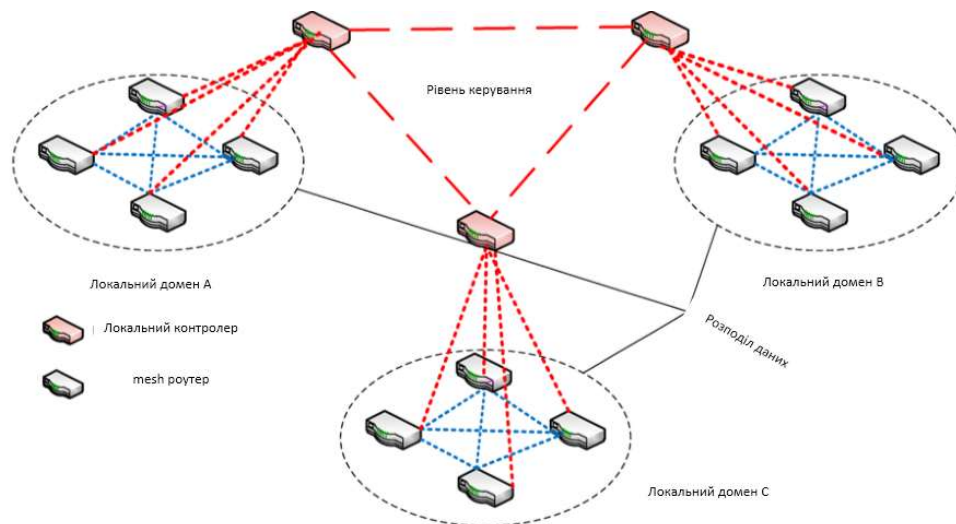


Рисунок 1.4 – Узагальнена схема mesh-мережі

Можна спостерігати ще одну складову, а саме: вузли mesh-мережі (MP), що організують локальні mesh-мережі. На рисунку останні представлені у вигляді mesh роутерів, контролери ж є точками доступу до глобальної мережі та(або) між локальними мережами. Локальні ж мережі можуть об'єднуватись до кластерів, кількість кінцевих пристроїв у яких залежить від параметрів устаткування та доступних ресурсів для організації передачі даних. Такі мережі легко інтегрують додаткові вузли, тобто маємо спрощену процедуру розгортання, що є одним з найбільш виграшних 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, проте така проблема вирішується за допомогою оптимізації алгоритмів та розвитку мікропроцесорної техніки і наразі не є вагомою. Якщо ж додавати рівень обчислень, то можна бачити наступну структуру:

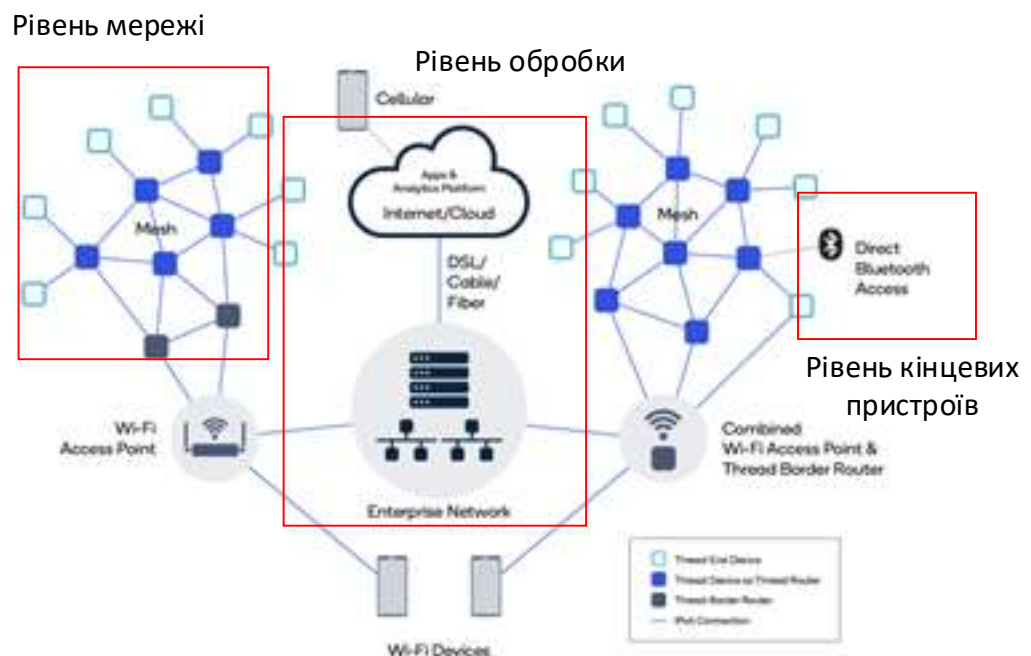


Рисунок 1.5 – Три складові мережі IoT

Виходячи з даної схеми можна бачити, що саме mesh є найкращим рішенням для Всеосяжного Інтернету в силу того, що повністю повторює концепцію рівня розподілу. Таким чином, систему вже можна організовувати на рівнях міст та великих підприємств, після чого утворювати магістральні зв'язки між утвореними покриттями [6]. За інформацією сайту www.grandviewresearch.com останні десять років спостерігається зростання ринку mesh-мереж серед країн розвиненої економіки [7]:

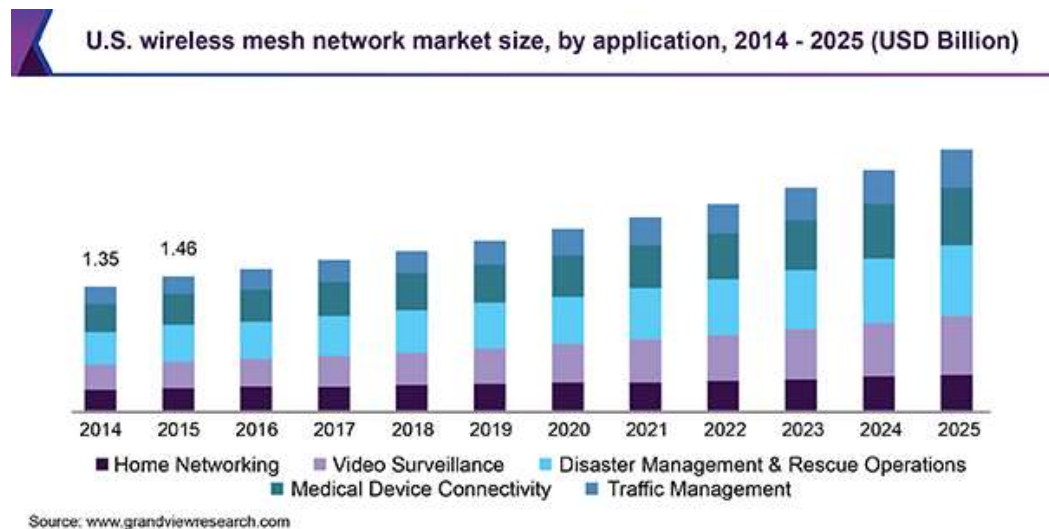


Рисунок 1.6 – Ріст попиту на пристрої технології mesh

1.3 Порівняльна характеристика та вибір оптимального рішення

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 1.1 – 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
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 1.2 – 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

Можна зазначити діаграму, яка показує розподіл технічних рішень відповідно одне до одного. Найбільш відомі на сьогодні технології можна представити наступним чином [8]:



Рисунок 1.7 – Розподіл стандартів

З правого боку відносно вертикальної координати можна бачити системи без використання базових станцій. Помітним є факт, що вони мають більше варіантів для реалізації мереж різних масштабів, в цей же час технології базових станцій націлені лише на мережі великих масштабів. Важливо зазначити, що системи на основі базових станцій та без у широкому сенсі можуть бути взаємозамінними і остаточний вибір технології залежить від специфічних умов розгортання. Останнє говорить про необхідність детального вивчення обраної місцевості. Можна зробити висновок, що розвиток телекомунікаційних технологій останні декілька десятиліть призвів до появи ідеї Всеосяжного Інтернету, яка реалізувалась у цілому ряді концепцій, таких як Розумне Місто. Актуальність останньої підтверджується зростанням глобального інтересу та активне фінансування світових компаній у цей напрям. На цю мить не існує єдиного стандарту, тож становлення

продовжується за рахунок фірмових рішень, проте в цей самий час існує глобальне розуміння архітектури системи. Найчастіший підхід при проектуванні – побудова mesh-мережі. Вирішення проблеми розробки такої мережі сьогодні є одним з ключових завдань даного напрямку.

Висновки до розділу 1

Перший розділ бакалаврської роботи було присвячено стислому огляду основних концепцій Всеосяжного Інтернету, сформовано задачу для подальшої реалізації та проведено опис основ mesh підходу до організації систем передачі даних з метою подальшого розвитку теми та дослідження. Зазначено актуальність розгортання мереж на основі існуючої міської інфраструктури. Було встановлено основні критерії, особливості роботи та результати, що очікуються. Опис проведено відносно інфраструктури міського освітлення з можливістю подальшого покращення та встановлення додаткових елементів: датчиків, камер тощо. Проведено опис концепції Всеосяжного Інтернету, зазначено основні переваги та актуальність. Наведено дві основні гілки розвитку: Інтернет Речей та Промисловий Інтернет Речей. Обидва напрями показують значне зростання темпів впровадження та зацікавленість світових лідерів у галузі інформаційних технологій. Особливу увагу приділено ідеї SmartCity, на базі якої можливим є реалізація сучасної системи контролю та автоматизації міської інфраструктури. У подальшому розглядається підхід до організації мереж на базі трирівневої архітектури: точки доступу, розподіл та ядро з описом складових. Рівень розподілу в свою чергу є найбільшим за масштабами та представляє собою мережне рішення, тож надалі проведено роботу саме з ним. Для цього порівняно декілька підходів до організації мереж та обрано mesh підхід, опис якого й проведено у завершені. Проведено огляду технічних mesh рішень та надано порівняльний аналіз найбільш розповсюджених фірмових технологій. Відповідно до результатів можна

зазначити, що вибір необхідного рішення повністю залежить від результатів аналізу локації для встановлення системи. Тож наступний розділ присвячено детальному опису мереж mesh та аналізу інфраструктуру з метою побудови найбільш оптимального рішення. Також необхідним є обробка трафіку на рівні доступу та балансування й просування трафіку від шлюзів mesh-мережі.

2 ОПИС ПРОТОКОЛУ MESH

2.1 Архітектура топології mesh

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 [9].

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

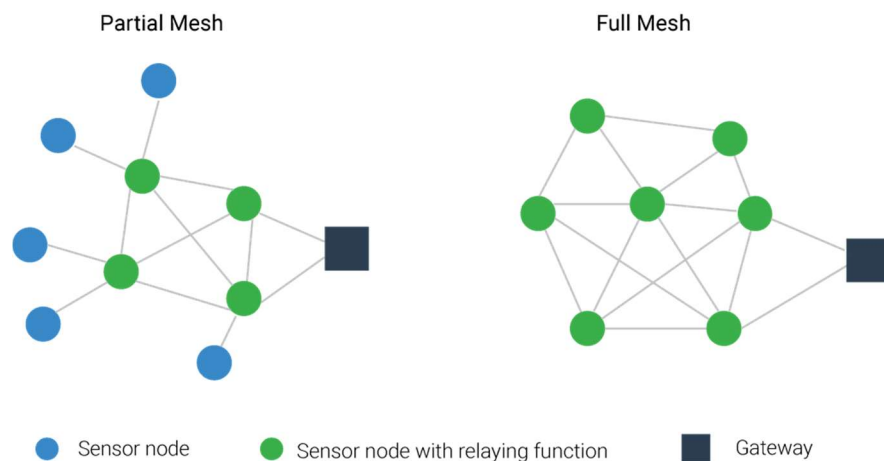


Рисунок 2.1 – Два варіанти реалізації топологій

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 [10]:

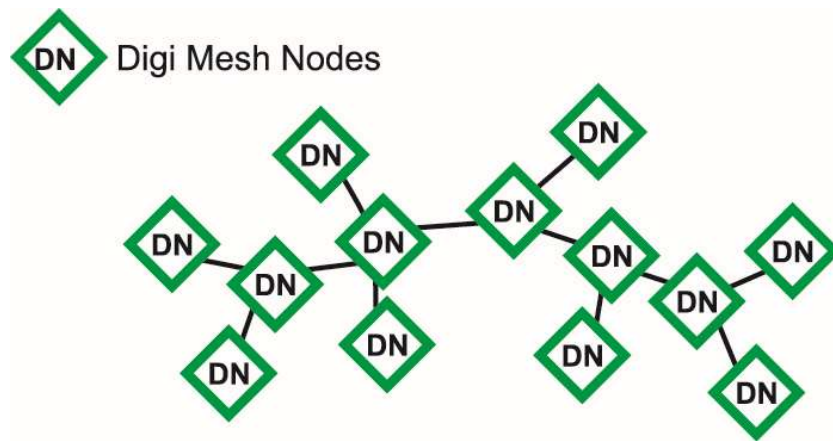


Рисунок 2.2 – Гомогенна топологія

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:

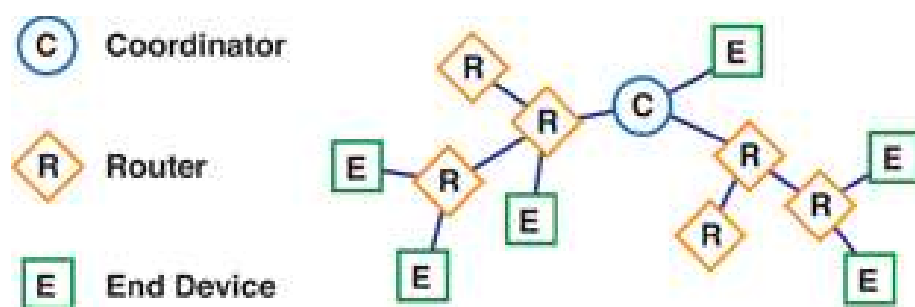


Рисунок 2.3 – Гетерогенна топологія

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.

2.2 Технологія mesh відносно моделі OSI

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 змушують 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 МІМО, 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 MAC-рівень. Саме це й робить можливим інтелектуальність мережі: завдяки роботі на другому рівні є можливість більш якісної самоадаптації 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) [11]:



Рисунок 2.4 – Представлення відповідно до моделі OSI

2.3 Реалізація MAC-рівня

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

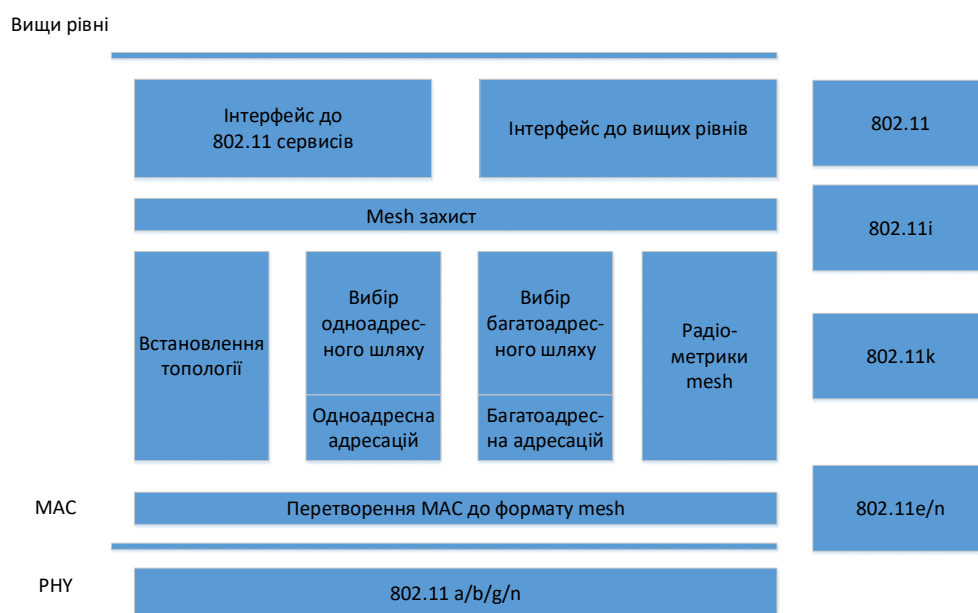


Рисунок 2.5 – Архітектура mesh

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 [12]. 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.

2.3.1 Особливості фізичного рівня

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.

При роботі з mesh-мережами наразі використовуються аналогічні підходи та схеми організації, що й у решті стандартів 802.11. Важливим є правильний розподіл на діапазони, у яких працює кожний з потенційних каналів передачі даних. Як вже зазначалося вище, можна виділити стандарти IEEE 802.11a/b/g/n. Саме кожний з цих варіантів має власний розподіл ресурсу. Найбільш необхідним є визначення кількості каналів, що не перетинаються. Наприклад, відомо, що для IEEE 802.11b/g у смузі частот 2.4 ГГц маємо 14 каналів, центральні призначаються з частотним інтервалом у 5 МГц, з яких лише 3 не перекриваються [13]:

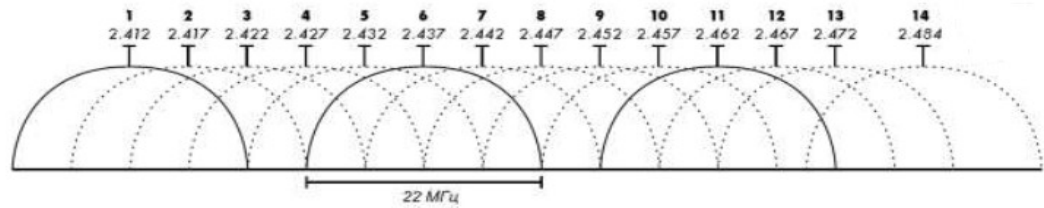


Рисунок 2.6 – Розподіл частотних каналів

Тобто при плануванні систем необхідним є розуміння розподілу каналів відповідно до кожного зі стандартів та знання задовільних рівнів потужності каналів, що не мають перекриватись.

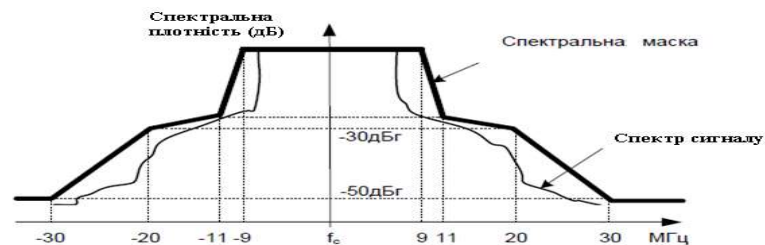


Рисунок 2.7 – Спектральний розподіл

Можна бачити закладений діапазон для одного каналу у 802.11 b/g. Саме через проведення порівняння спектрального ресурсу та порядку використання відбувається вибір найбільш вдалих каналів. Він полягає у використанні декількох радіоінтерфейсів на вузлі мережі, що сприяє більш повному використанню можливостей частотного планування, а також задіянню паралельної обробки декількох потоків даних. Схематичне порівняння має наступний вигляд [14]:

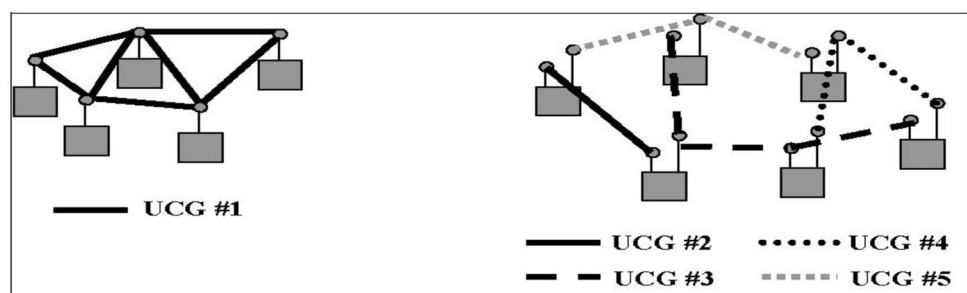


Рисунок 2.8 – Організація каналів

Єдиний граф каналу (Unified Channel Graph, UCG) представляє сукупність пристроїв, що у сукупності утворюють один канал. За другою схемою видно, що один вузол належить декільком системам. Суть полягає у тому, що за наявності двох вузлів, які знаходяться поряд один з одним та обмінюються даними з рештою мережі є імовірність прийняття чужої інформації. Проблема стане зрозумілою на наступному рівні, після чого пакет буде відкинутий, проте буде задіяний ресурс обчислення. При збереженні єдиного каналу необхідно встановити фільтри та антени певної направленості. При використанні багатоканального підходу достатньо лише налаштувати направленість антен, при чому перетини є допустимими.

Альтернативою є поєднання одноканального передавання/прийому даних з можливістю зміни направленості антени. Один з варіантів для таких систем полягає у встановленні просторового фільтру. При цьому час роботи поділяється на наступні періоди:

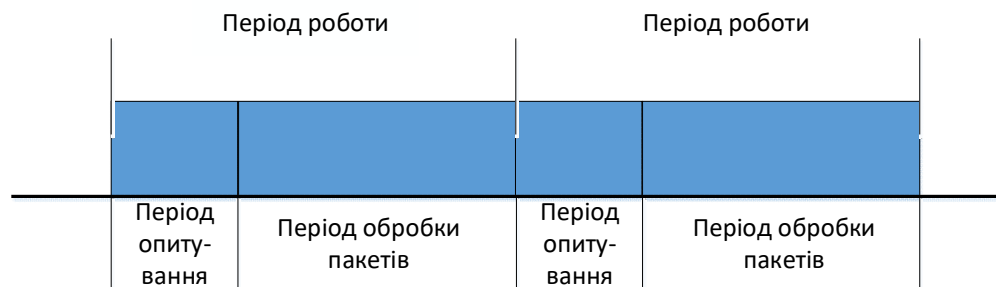


Рисунок 2.9 – Діаграма аналізу простору

У перший період система прослуховує весь трафік та формує “чорний список” для усіх антен, які взаємодіють з випадковим трафіком, який було проаналізовано на вищих рівнях і який надіслано іншому вузлу. У другий період відбувається блокування антен з “чорний список” та перехід до прийому й обробки саме даних, адресованих вузлу. Також взаємодія відбувається з широкомовним трафіком.

2.3.2 Канальний рівень та відповідні протоколи

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 6	Адреса 6

Рисунок 2.10 – 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.

Можна зазначити чотири поля у mesh-заголовку. Перше поле – байт з прапорами, що виконує регулювання. Поле часу життя пакета у мережі (Mesh Time To Live - MTL) містить у собі максимальне значення вузлів передачі, через які пакет може проходити, після чого відбувається його знищення. Така

можливість є поширено серед систем з комутацією пакетів та дозволяє обмежити багатокрокове пересилання, що сприяє вирішенню проблеми циклічних маршрутів. Подібна технологія реалізована на третьому рівні стеку TCP/IP для загальноприйнятих мереж передачі пакетних даних. Поле номера пакета послідовності (Mesh Sequence Number) сприяє коректному передаванню пакетів без їх дублювання.

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

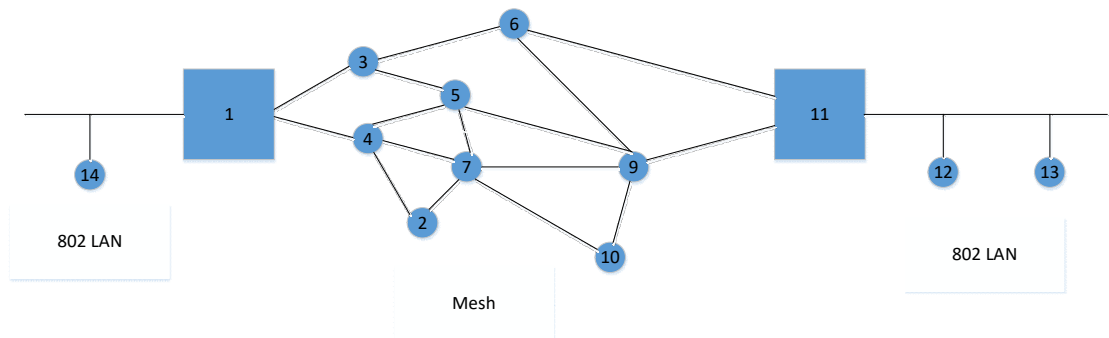


Рисунок 2.11 – Приклад мережі на основі mesh

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, маємо 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 2.12 – 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).

Усі вузли мережі, що підтримують MDA-резервування повідомляють про це решті вузлам-сусідам за допомогою спеціальних службових кадрів (MDA actionframe) або спеціальних інформаційних елементів (MDAOP Advertisements information element). Кожен вузол з підтримкою MDA зберігає таблицю з усіма зарезервованими каналами, що утворені власне вузлом у якості передавача або приймача трафіку або отримані як інформація від сусідніх вузлів за допомогою рекламних повідомлень.

Незважаючи на можливості резервування, слід зазначити: показники пріоритетів трафіку не ігноруються. Це означає, що доступ до джерела виконується на певних характеристиках трафіку. Тож паралельно з

утворенням MDA-з'єднань враховується якості обслуговування, що реалізується за допомогою показника якості обслуговування (Enhanced Distributed Channel Access, EDCA) [16]. Стандарт 802.11s має декілька основних процедур встановлення та керування з'єднаннями. Це дає можливість взаємодії пристроям різних виробників. Можна виділити наступні дані, що повинні бути зазначені у профілі:

- ідентифікатор профілю;
- ідентифікатор протоколу маршрутизації;
- ідентифікатор метрики протоколу маршрутизації.

Основа механізму встановлення з'єднання полягає у періодичній посиленні стандартного повідомлення, що має запит на відкриття з'єднання. У відповідь на нього може бути надіслано повідомлення формату підтвердження з'єднання, після чого починається режим передавання даних. Важливим є наступне: обидва вузли повинні прийняти запит та надіслати відповіді для продовження процесу взаємодії. Режим встановлення має певний закладений проміжок часу.

Одним з важливих питань є проблема синхронізації вузлів для систем передавання. Тут важливо провести опис можливих стандартів. Основна відмінність полягає у реалізації вузлів: стандарт IEEE 802.11 підтримує два основних режими роботи бездротових мереж: hotspot й adhoc.

У режимі hotspot точка доступу з певною періодичністю надсилає решті станцій спеціальні кадри, що мають назву бекони (beacon). Останні займаються синхронізацією режимів роботи вузлів мережі, а також основних сервісів, які вони надають і підтримуються заданою точкою доступу. Для цього у кожному біконі розташовано поле Timestamp, що зберігає час передачі першого біта бікону через інтерфейс передавання станції. Є декілька основних причин використання синхронізації. Першою є встановлення коректного з'єднання. Другою є енергозбереження, що досягається за допомогою обрання точних моментів передавання даних.

У режимі *ad hoc* використано ті ж функції. При цьому станції передають бікони розподіленим чином і в цьому процесі приймають участь усі вузли мережі. Станція, що контролює певну мережу задає інтервали у вигляді моментів часу, які мають назву очікуваний час передачі бікона (Target Beacon Transmission Time, TBTT). Ці моменти відділені один від одного бікон-інтервалами. У кожен такий інтервал TBTT на початку виділено так зване АТІМ-вікно (Announcement Traffic Indication Message - повідомлення про трафік), за час цього вікна можуть передаватись лише бікони або АТІМ-кадри (задіяно при використанні механізму енергозбереження), у той же самий час трансляція інших пакетів заборонена, що знижує ймовірності колізій.

Реалізацію біконів з виділенням часових інтервалів можна представити наступним чином:

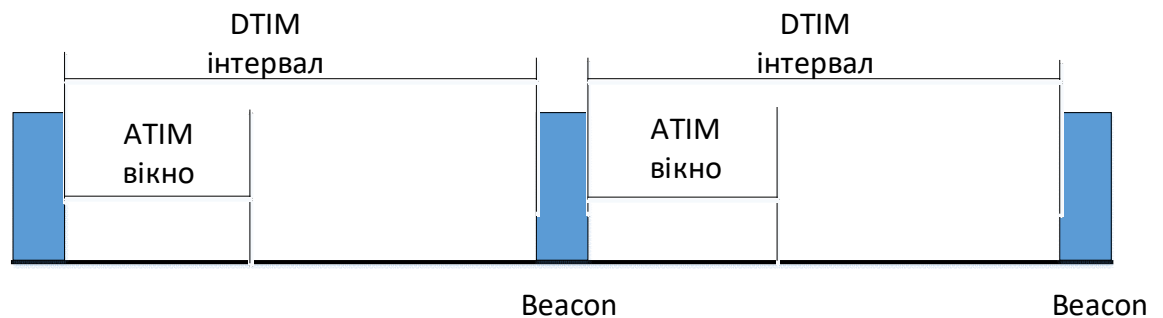


Рисунок 2.13 – Приклад АТІМ-вікна

За умови, що значення таймера станції дорівнює нулю, починається передача бікона. При отриманні бікона від будь-якої зі станцій всі інші станції скасовують передачу власних біконів.

Глобальна синхронізація мережі не є обов'язковою для *mesh*-мереж. Відповідно до виду підтримки даної технології можна виділити асинхронні та синхронні вузли. Асинхронний варіант реалізації полягає в тому, що мережеві вузли функціонують подібно до *hotspot* принципу, тобто через

точку доступу. При такій реалізації станції функціонують незалежно одна від одної передають серії моментів ТВТТ, не підводячи власні внутрішні годинники під загальний еталон при отриманні біконів. У свою чергу синхронна реалізація ставить за мету підтримання загального для усіх вузлів часу Mesh TSF. Процес є аналогічним до класичної реалізації алгоритму для adhoc мереж за одним виключенням: mesh-вузли мають більшу гнучкість при отриманні біконів від сусідніх вузлів мережі adhoc скасовують надсилання власних, але у 802.11s є можливість нехтувати цим правилом. Це пояснюється тим, що подібної умови може бути недостатньо для алгоритму.

2.3.3 Маршрутизація у mesh-мережі

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 обміном службовою

інформацією. Загальні перекриття дають змогу більш якісно переключатись з однієї точки на іншу із дотриманням закладених показників якості QoS:

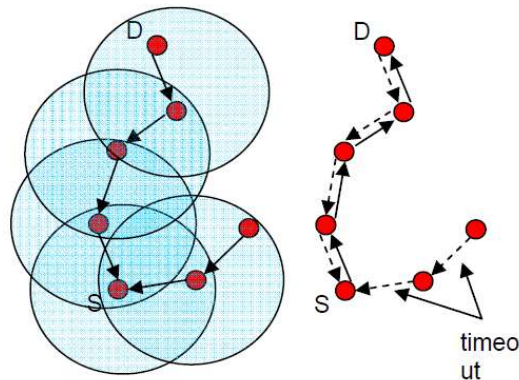


Рисунок 2.14 – Гнучка маршрутизація

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:

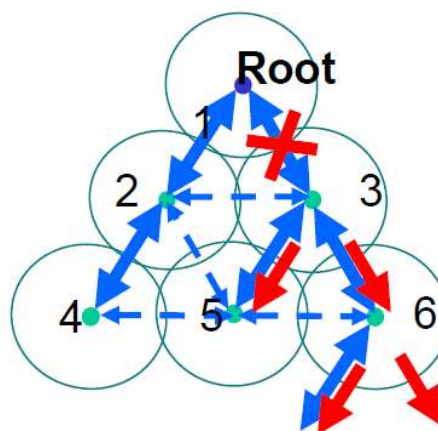


Рисунок 2.15 – Статична маршрутизація

Загалом можна виділити наступні види взаємодій між вузлами:

- ширококомове оголошення root-вузла (повідомлення про наявність у системі);
- ширококомовний (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 ширококомовним повідомленням).

2.4 Проблема розподілу каналів

Окресливши усі існуючі особливості та характеристики трьох перших рівнів моделі OSI необхідно вивести ще розповсюджену задачу, яка пов'язана з проектування, а саме: підхід до призначення каналів та, як наслідок, до організації зон мережі. Тож для продовження роботи необхідним є окреслення основних підходів та порівняльний аналіз [17].

Наразі у 802.11s мережах можна виділити три основні загальноприйняті методи розподілу каналів:

- централізований–алгоритм C- Hyacinth;
- розподілений – алгоритм D- Hyacinth;
- метод CoMTaC.

Одним з найбільш розповсюджених методів є метод призначення каналів C-Hyacinth. Цей підхід не залежить від методу маршрутизації, який прийнято у мережі. При використанні двох радіо-інтерфейсів є можливість отримання 6-кратного підвищення продуктивності системи. Розглянемо типову mesh-мережу, в якій кожен з вузлів може одночасно виконувати роль і точки доступу для кінцевих пристроїв, і функції mesh-станції. Певна

кількість є шлюзами до загальних мереж. Кожен з mesh-пристроїв містить в собі кілька радіоінтерфейсів, що мають довгострокове налаштування. Можна виділити наступні пункти при функціонуванні:

- визначити, за допомогою якого інтерфейсу вузол спілкується з кожним з своїх сусідів;
- з'ясувати, який канал використовує кожен з інтерфейсів.

Спосіб призначення каналів з урахуванням навантаження на з'єднання виглядає наступним чином. Передбачається, що кожен вузол взаємодіє з усіма станціями, які знаходяться в його області стійкого прийому. Можна виділити наступну закономірність: алгоритм маршрутизації залежить від пропускної здатності кожного з'єднання, які, в свою чергу, залежать від способу призначення каналів, а спосіб призначення каналів залежить від очікуваного навантаження на з'єднання, яке залежить від маршрутизації. Таким чином, маємо цикл налаштувань. Тобто необхідно обрати один з критеріїв та підлаштовувати систему, користуючись зворотнім зв'язком, з ітеративним повторенням операції (у якості початкового критерію обирається початкове завантаження).

Алгоритм пропонує два способи початкової оцінки очікуваного навантаження на з'єднання. По-перше, можна зробити припущення, що всі станції в області інтерференції рівномірно розділяють пропускну здатність каналу. Пропускна здатність з'єднання I обчислюється, враховуючи тільки число доступних каналів, пропускну здатність окремого каналу і число з'єднань усередині області інтерференції розглянутого з'єднання. Далі пропускні спроможності надходять на вхід алгоритму маршрутизації, після чого на виході буде очікуване навантаження на з'єднання. За відсутності спільних каналів обирається по одному каналу з кожного вузла й вони замінюються загальним таким чином, щоб досягнути мінімальної інтерференції.

Другий підхід має назву D-Нусінт і полягає у децентралізованому розподілі. На початку процесу будується топологія дерево. Кожний корінь є

шлюзом, що під'єднано до загальної мережі. Кожен вузол функціонує лише з однією мережею та взаємодіє з нею і в випадку відмов або підключення. Решта дерев може бути використана при відновленні системи у випадку відмови.

Нехай вузол X вже знайшов шлях до шлюзу. Тоді з періодичністю в декілька одиниць часу він робить трансляцію своїм сусідам пакета ADVERTISE, в якому міститься “ціна” досягнення провідної мережі через вузол X. При отриманні пакета ADVERTISE вузол Y вирішує приєднатися до X, якщо він в поточний момент не має шляхів до провідної мережі або нова «ціна» виявляється менше вже існуючої. Для приєднання вузол Y посилає пакет JOIN вузлу X. При отриманні пакета JOIN вузол X додає Y в свій список нащадків і висилає пакет ACCEPT вузлу Y з інформацією про канали і IP- адресу для пересилання трафіку від Y до X. Далі Y посилає пакет LEAVE своєму попередньому батькові V. Потім Y може робити трансляцію кадрів ADVERTISE. Всі вищі відносно X вузли інформуються про додавання нового вузла. Всі вищі вузли від V інформуються про те, що Y і всі його нащадки покинули дерево.

Основна проблема розподіленого призначення каналів полягає в тому, що якщо прийнято рішення про зміну каналу на одному із з'єднань, то ця зміна може торкнутися і сусідні з'єднання (в силу обмеженого числа інтерфейсів). Один з таких випадків зображений на рисунку:

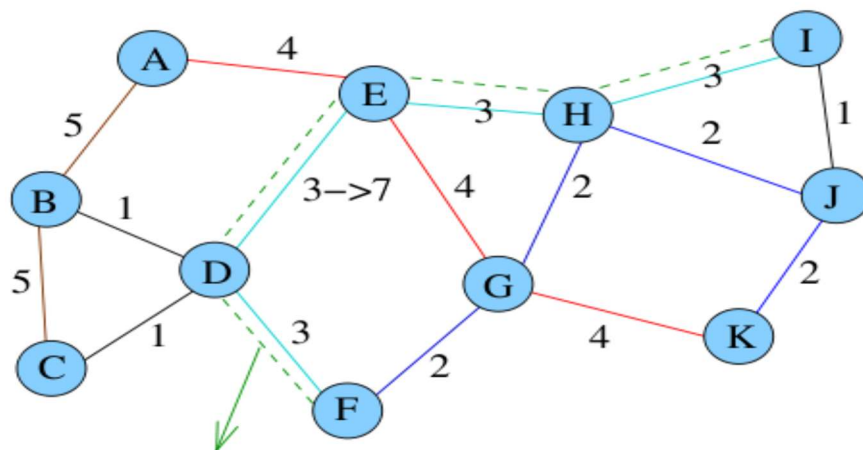


Рисунок 2.16 – Приклад призначення каналів

Тут можна бачити, що зміна каналу на з'єднанні DF спричиняє послідовну зміну каналів на з'єднаннях DE, EH, HI. З метою запобігання виникнення такої ситуації всі інтерфейси вузла поділяються на дві непересічних множини : UP- NICs для спілкування з батьківським вузлом і DOWN-NICs для спілкування з вузлами нащадками. Кожен вузол відповідальний за призначення каналів для всіх своїх інтерфейсів з DOWN-NICs. Кожен з інтерфейсів з UP-NICs взаємодіє з єдиним інтерфейсом DOWN-NIC свого батька і йому призначено той самий канал, що й інтерфейсу батька. Кожен вузол спочатку намагається розподілити інтерфейси між зазначеними двома множинами рівномірно, проте з метою підвищення пропускну здатності інтерфейси можуть бути переведені з однієї множини в іншу.

Після того як кожному сусідові призначений свій інтерфейс, необхідно призначити кожному інтерфейсу свій канал. Призначення каналу для інтерфейсу UP-NIC відбувається батьком. З метою призначення каналів для своїх інтерфейсів DOWN-NICs вузлу необхідно визначити міру використання кожного з каналів у своїй області інтерференції. З цією метою вузол обмінюється інформацією про індивідуальне використання каналів за допомогою кадрів CHNL_USAGE з усіма своїми $(k + 1)$ - кроковими сусідами, де k є відношенням радіуса області інтерференції до радіусу області стійкого прийому. Сумарна завантаженість певного каналу обчислюється як сума всіх навантажень на цей канал вузлами в області інтерференції. Для обліку накладних витрат MAC-рівня також враховується число станцій, які використовують цей канал. Крім цього вводиться пріоритет вузлів, що дорівнює відстані (в кроках) від шлюзу. При призначенні каналів вузол не може використовувати канали, які вже використовуються вузлами з більш високим пріоритетом. Оскільки навантаження на з'єднання може з часом змінюватися, то перепризначення каналів відбувається кожен певну одиницю часу, заздалегідь зазначену. Якщо вузол знаходить менш використовуваний канал, то він перемикає один зі своїх інтерфейсів DOWN-NICs на цей канал і

посилає кадр CHNL_CHANGE з інформацією про новий каналі нащадку, який має змінити канал на своєму інтерфейсі UP-NIC. Вузол також розсилає оновлену інформацію про використання каналів своїм кроковим сусідам. Якщо менш навантажений канал недоступний, то вузол може перерозподілити канали між своїми інтерфейсами DOWN-NICs для більш збалансованого навантаження на інтерфейси. Обмін службовими повідомленнями використовує додатковий CONROL-NIC інтерфейс.

Третім варіантом призначення є алгоритм CoMTaC, що було представлено у 2008 р. Він дозволяє використання одразу кількох шляхів для передачі даних між станціями, в деякому сенсі він нагадує пакетну комутацію звичайних IP-мереж.

Мережа представляється у вигляді графа, де V - безліч вузлів (mesh-станцій), а E - безліч можливих з'єднань між цими вузлами. Кожен вузол має default-інтерфейс (інтерфейс за замовчуванням). Всі інтерфейси, що відмінні від інтерфейсів за замовчуванням, зветься non-default-інтерфейсами. Перший етап полягає у розбитті усієї мережі на кластери, після чого призначаються канали. Розбивка відбувається за наступною процедурою: на вхід алгоритму поступає граф (до того ж кожний з вузлів знає відстань до шлюзу), а також безліч усіх шлюзів. На початковому етапі кожний зі шлюзів призначається лідером свого кластера, а всі вузли, які приєднано до даного лідера, автоматично стають частиною кластера. Через обмежене число шлюзів створені кластери можуть мати занадто великі розміри. Через це процедура побудови кластерів повторюється до того часу, поки не отримано кластери потрібних розмірів. При побудові нового кластера, найбільш віддалений від лідера кластера вузол, обирається у якості нового лідера кластера. Кластер будується навколо знову обраного лідера з вузлів, що мають меншу відстань до поточного лідера, ніж до попереднього.

Після того, як обрані сусіди для кожного з вузлів, необхідно кожному з'єднанню призначити інтерфейси на обох станціях. Через те, що кількість інтерфейсів обмежена, при перемиканні довільного інтерфейсу на інший

канал може знадобитися змінити канали на ланцюжку станцій, причому цей ланцюжок може досить бути великий. Для запобігання таких ситуацій прийняті наступні обмеження:

- non-default інтерфейс, що зв'язує вузли з різних кластерів, не повинен бути використаний для зв'язку з вузлами з того ж самого кластера;
- non-default інтерфейс, що служить для зв'язку з більш близькими до лідера кластера вузлами, не повинен бути використаний для зв'язку з вузлами, що перебувають далі від лідера, ніж розглянутий вузол.

Спочатку призначаються канали для default-інтерфейсів кожного із кластерів. Один з інтерфейсів, що не є default-інтерфейсом, кожного з вузлів сконфігуровано таким чином, що він періодично (кожні певні T одиниць часу) слухає середовище на кожному з каналів. Прийняті в такий спосіб пакети служать для визначення навантаження, які діє на канал. Оскільки число прийнятих пакетів може бути низьким через поганий стан каналу за виникнення інтерференції, то також використовується параметр якості каналу. Якість каналу може бути обчислено на основі FER (frame error rate, імовірність втрати кадру), рівня прийнятого сигналу. Вся зібрана вузлами інформація передається лідеру кластера. Завантаженість й якість каналу використовується як метрики для вибору найбільш вдало і його призначення у якості default-інтерфейсу.

Для призначення каналів типу non-default-інтерфейсів також необхідно враховувати інтерференцію. Для цього пропонується використовувати розмір черги вузла (більший розмір черги говорить про більший ступінь інтерференції). Періодично кожний з вузлів передає інформацію про канал і розмір черги лідеру кластера. Спочатку відбувається призначення граничних вузлів, потім канали призначаються в порядку видалення від лідера кластера.

При порівнянні вже існуючих алгоритмів видно, що використання схеми призначення каналів в CoMTaC дозволяє підвищити продуктивність мережі в 2 рази в порівнянні зі схемою C- або D-Hyacinth. Це може

пояснюватись наявністю множинних шляхів саме для певного обраного каналу, а не лише співіснуванню декількох інтерфейсів на одному з вузлів мережі. Також важливим є можливість підвищення якості та керування політикою QoS з'єднання. Також метод частково вирішує проблему контролю стану за допомогою детектування рівня сигналу на співвідношення помилок.

Висновки до розділу 2

Другий розділ бакалаврської роботи було присвячено детальному аналізу технології mesh. Запропоновано опис з точки зору моделі взаємодії відкритих систем (OSI) з описом складових та стандартів, які використовуються при розробці рішень з їх описом та характеристиками. Надалі проведено розбір трьох перших рівнів моделі з зазначенням ключових моментів, які стосуються mesh-мереж. Першим наведено фізичний рівень. Основний виклик – це завади. При цьому саме взаємодія антен є основним їх джерелом, тож описано можливі рішення у вигляді просторової фільтрації трафіку, одноканального та багатоканального підходів до реалізації мережі. Останній надає найбільшу ступінь продуктивності та оптимальності мережі, однак потребує вибору оптимального алгоритму призначення. Важливо, що вибір з трьох перелічених підходів потребує вивчення умов розгортання. Наступним проведено детальний опис канального рівня. Для технології mesh канальний рівень відіграє ключову роль. Саме на ньому реалізовано процеси детермінованого доступу, синхронізації та частково перенесено функції маршрутизації. Описано склад MAC-паketу і його особливості для mesh. Надалі проаналізовано алгоритми маршрутизації системи. Існує два основні підходи: для рухомих об'єктів та для фіксованих систем. Відповідно до цілей маємо більший рівень гнучкості роботи для першого та більш стабільну систему для другого. Наприкінці приділено увагу питанням розподілу

каналів на прикладах трьох найбільш розповсюджених алгоритмів. Перші два відрізняються за ознакою розподілена або централізована система. При цьому обидва будують деревовидні топології від шлюзів доступу до загальних мереж. Третій алгоритм направлений на утворення кластерів для рівномірного розподілу вузлів та подальшої роботи всередині, а також налагодженню зв'язків між кластерами.

3 АНАЛІЗ РІШЕНЬ ТА РОЗРОБКА МЕРЕЖІ

3.1 Вибір протоколу

При з'ясуванні стандарту для мережі було обрано підхід, що базується на розгортанні мережі без використання базових станцій. Це пояснюється запитом на незалежність від мобільної інфраструктури міста та використанні вже існуючої мережі освітлення у якості основи для розгортання. Вибір мережі залежить від основних функцій, що повинна виконувати система. Тобто усе залежить від інфраструктури. З точки зору розгортання мережі освітлення можна виділити три основні підходи [18]:

- ZigBee;
- Thread;
- Bluetooth Mesh.

Основні розбіжності при 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 даного стандарту – це обмеженість при використанні, тобто надавало лише формальну сумісність між системами. Що стало засадою для розробки рішення Thread, розробленого IETF. Таким чином, останнє рішення показує високий рівень універсальності та загальнодоступності. Тому можлива легка інтеграція зі стандартами мережі Інтернет MQTT та COAP. При цьому шлюз має лише провести операцію перетворення різноманітних IP інтерфейсів. Третім є

варіант на основі технології Bluetooth, представлений Bluetooth Mesh. Особливістю, що 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 3.1 – 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 з перетворенням	Граничний шлюз	Смартфон

Для проведення тестування роботи стандартів необхідним є інтеграція до єдиної апаратної бази. Порівняння ускладнено необхідністю врахування параметрів: зовнішніх завад, середовища передавання, розташування вузлів один відносно одного. Вирішенням проблеми моделювання та перевірки займається компанія Nordic Semiconductor, що використала єдину плату для тестування, а саме: nRF52840-DK. Експеримент проведено на базі трьох плат з трьома режимами вихідної потужності та антеною нульового підсилення.

Таблиця 3.2 – Порівняння радіусу дії протоколів

Протокол	0 дБм	+4 дБм	+8 дБм
Zigbee	196	231	280
Thread	209	270	328
BLE @ 1Mbps (mesh)	248	276	345
BLE @ 2Mbps	238	273	333
BLE @ 125kbps	—	—	756

(long-range)			
--------------	--	--	--

Можна бачити, що BLE Long Range показує найменшу дальність передавання, Thread – відстає лише на 2-5%, Zigbee показує найменшу дальність передавання на 16-18%.

Пропускна здатність від кількості вузлів для швидкості 100 байт:

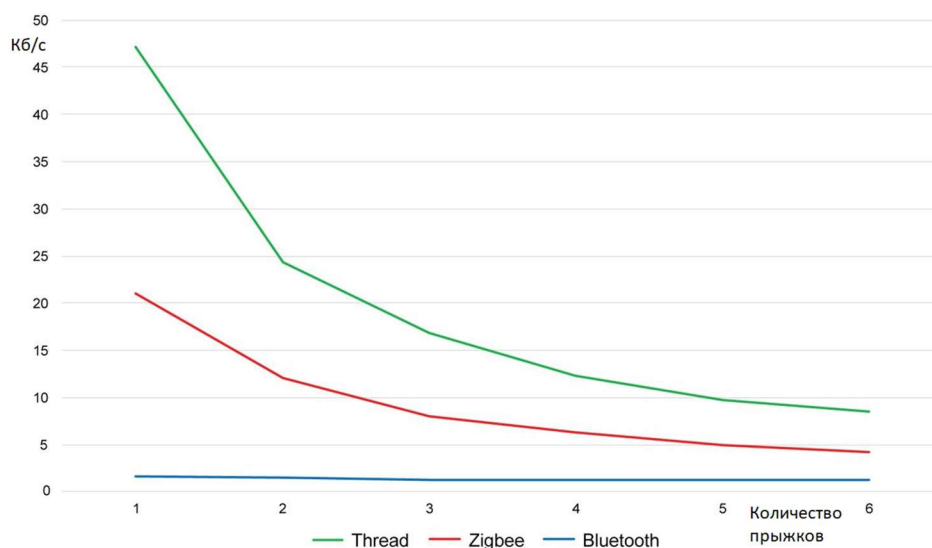


Рисунок 3.1 – Пропускна здатність для швидкості 100 байт

Показники затримок для мережі з чотирьох стрибків:

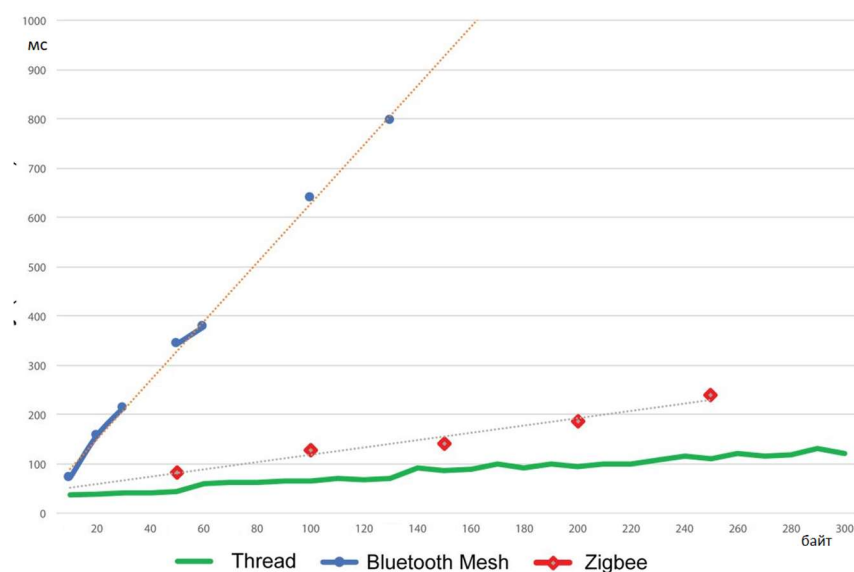


Рисунок 3.2 – Показники затримок

Один з методів боротьби з затримками є стиснення заголовків та фрагментація у пакетах. Даний метод реалізовано у Thread, що є наслідком протоколу IP і дозволяє стискати заголовкові дані у пакетах для досягання найбільш оптимального рівня радіоефіру. Таким чином є можливість досягнути двократного підвищення ефективності. Реалізація 6LoWPAN відбувається на вищому підрівні, тому легко інтегрується до системи.

За результатами моделювання можна бачити, що технологічне рішення Thread надає найбільш вдалі показники затримок поміж порівнюваних стандартів. При цьому спостерігається стабільне значення Zigbee та рух Bluetooth Mesh у бік збільшення показника затримок.

Таким чином Thread є універсальним рішенням з найкращими показниками за параметрами затримок та швидкістю, до того ж таке рішення найкраще інтегрується до IP мереж у якості мережі Інтернету Речей. BLE Mesh ідеально підходить для легкої інтеграції зі смартфоном або подібних кінцевих пристроїв. Zigbee найбільш вигідно інтегрувати до вже існуючих мереж, побудованих на даному протоколі. За результатами проведеної порівняльної характеристики було прийнято рішення використовувати технологію Thread.

3.2 Розробка схеми для ділянки мережі

У якості ділянки системи освітлення для розгортання mesh-мережі в даній роботі обрано сквер Соборний міста Покровськ, Сквер знаходиться у районі перетину вулиці Центральна, проспекту Миру, провулку Університетський та вулиці маршала Москаленка. Проведено оцінку площі скверу. Останній утворює квадрат з відповідними сторонами 210, 209, 232 та 250 метрів. Кількість кінцевих пристроїв складає 81. Уся інфраструктура функціонує:

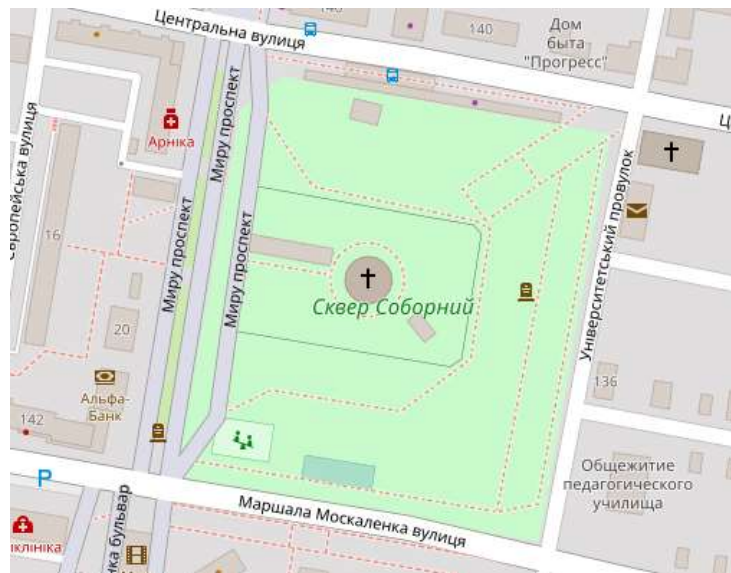


Рисунок 3.3 – План скверу Соборний

При розробці рішення слід зазначити декілька моментів:

- у системі циркулюють невеликі обсяги трафіку від кінцевих пристроїв;
- спостерігається велика щільність кінцевих пристроїв;
- дана мережа є транспортною;
- найбільшим за обсягом є саме вертикальний трафік.

Відповідно до схеми освітлення можна представити систему у вигляді наступної спрощеної структурної схеми:

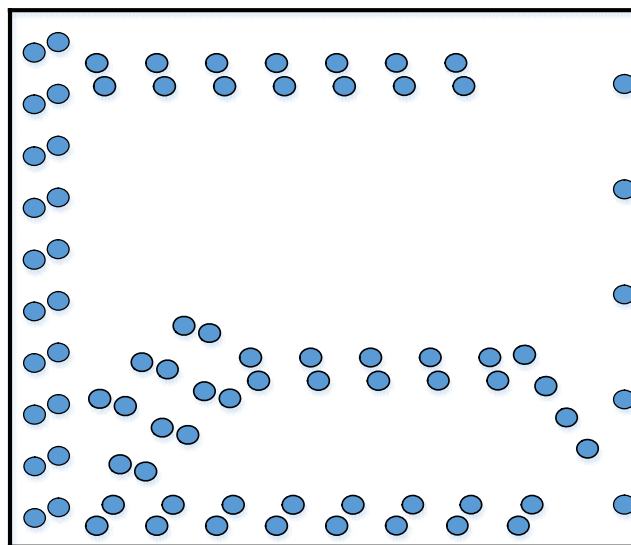


Рисунок 3.4 – Представлення мережі освітлення

Провівши розподіл отримано наступну схему розподілу:

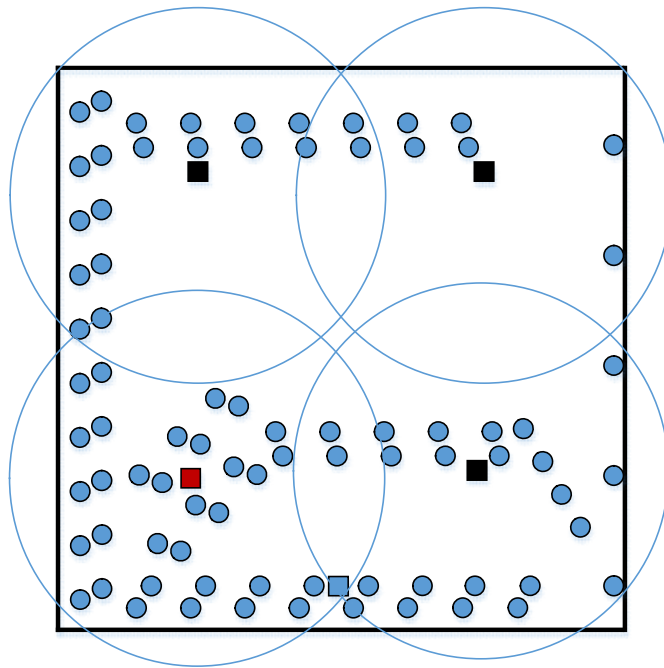


Рисунок 3.5 – Схема встановлення вузлів

Взаємодія між маршрутизаторами та контролером з функціями маршрутизації будується відповідно до протоколу HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol) за принципом побудови статичних маршрутів деревовидної структури від кореня, яким виступає шлюз за замовчуванням.

Описаний вище підхід розглядає випадок з облаштуванням зон, що за областю розташування зводяться до квадрату. У попередній частині проведено аналіз технологій та обрано системне рішення Thread. Відповідно до проведеного вище опису діапазону роботи відомо, що Thread має можливість взаємодії між вузлами на відстані до 300 метрів. Тож подібне встановлення системи надає запас до існуючого діапазону (радіус покриття складає 100-150 метрів). Вузол, що виконує функції контролера утворює собою кластер, решта вузлів мають змогу взаємодіяти у якості граничних вузлів з системами решти кластерів. Для систем освітлення необхідно зазначити кількість трафіку, що може проходити між кінцевим пристроєм та

вузлом доступу до загальної мережі обрано обсяг трафіку 0,5 Мбіт/с. Обсяг обрано з великим запасом з метою можливості подальшого вертикального масштабування системи кінцевих пристроїв. Розрахунок проведено відповідно на кожному з вузлів мережі та сумарний для вузла доступу. Важливо, що статистичний розподіл системи освітлення у міській інфраструктурі є подібним.

Мережа, що розробляється повинна забезпечити наступні послуги:

- інформація про стан системи;
- передача службових даних для керування пристроями.

Навантаження на кожний корпус можна визначити за формулою:

$$Y = \frac{V \times N \times T \times f}{3600 \times P}, \quad (3.1)$$

де V – швидкість;

N – кількість пристроїв;

T – тривалість сеансу зв'язку;

f – інтенсивність викликів за годину;

P – пачечність (для конкретного випадку $P=1$).

В середньому розмір інформаційного повідомлення менше 1 Кбайт. Отже, значення T дорівнюватиме приблизно 3 мс. Значення f можна трактувати, як кількість оновлень інформації за годину. Для системи спостереження необхідним є періодичне опрацювання протягом кожних декількох хвилин, тож маємо 30 викл/год.

Тоді отримано наступний розподіл для кожного з вузлів:

Таблиця 3.3 – Розподіл навантажень

Вузол	Кількість кінцевих пристроїв	Навантаження
Вузол маршрутизації 1	8	100 біт/с

Вузол маршрутизації 2	18	225 біт/с
Вузол маршрутизації 3	23	287 біт/с
Вузол доступу	32	400 біт/с

3.3 Вибір апаратної реалізації

При розгортання mesh-необхідним є встановлення найбільш оптимального устаткування відповідно до умов розгортання системи.

При розробці рішення використовується зазначена вище структурна схема mesh-мережі. Виходячи з поставлених умов необхідним є дотримання умови розподілу різних частотних каналів.

За результатами наведених особливостей функціонування вузлів можна зробити висновок, що Zyxel Multy X – найбільш оптимальна система, яка забезпечує максимальну швидкість мережі, великий радіус охоплення, легка інтеграція та налаштування. Можна виділити три радіодіапазону роботи: два на 5 ГГц та один на 2.4 ГГц. Швидкість обміну даними у мережі між вузлами в часи пікового навантаження складає швидкість 1733 Мбіт/с, що дозволяє обслуговувати велику кількість кінцевих пристроїв та зробити можливим стабільну роботу каналу передачі. Використання технології MU-MIMO в поєднанні з направленим передаванням при підтримці на стороні клієнта 802.11ac в теорії дає швидкість до 866 Мбіт/с. За обробку даних відповідає потужний 4-х ядерний процесор і великий буфер пам'яті. Керування може здійснюватись за допомогою хмарного сервісу ZyxelCloud.

Таким чином, у якості пристроїв, засобами яких буде організована mesh-мережа виступають точки доступу ZyxelNWA 3560, які мають в своєму складі два незалежних радіоінтерфеси. Даний продукт підтримує стандарти IEEE 802.11 і здатний працювати в таких режимах:

- автономна точка доступу;
- контролер бездротової мережі, керуючий роботою до 24 точок доступу ZyXEL серії NWA3000-N;

- резервування основного контролера;
- режим WDS.

Завдяки підтримці технології 2x2 MIMO точки доступу ZyXEL серії NWA3000-N пропонують продуктивність й якість рівня стандарту 802.11n. Два незалежних радіо інтерфейси, реалізованих в одному корпусі точки доступу NWA3560-N, дозволяють розгорнути бездротову мережу Wi-Fi відразу у двох частотних діапазонах 2,4 й 5 ГГц.

При побудові розподілених корпоративних мереж один радіоінтерфейс NWA3560-N можна настроїти в режим моста офісом, а другий - у режим точки доступу для підключення мобільних співробітників. Тим самим досягається ефективність і збільшення пропускної здатності бездротової мережі.

Таким чином можна зробити висновок, для реалізації mesh-мережі сегменту на базі існуючої схеми розташування системи вуличного освітлення достатнім є встановлення описаних вище вузлів, налаштування частотного плану та каналів відповідно до обраної методити призначення каналів, що було зазначено у попередньому розділі та описано у вигляді особливостей побудови алгоритму наданому вище у даному розділі, також налаштування статичного варіанту протоколу маршрутизації для мереж 802.11s. Для виконання цих вимог необхідно реалізувати розроблений метод безпосередньо в програмному забезпеченні обраного типу точок доступу ZyXelNWA 3560. Важливим є, що розроблене рішення виступає у вигляді базової системи. Параметри пропускної здатності, можливості алгоритмічних та апаратних рішень дають змогу подальше додавання різноманітних систем автоматизації міських процесів та датчиків збору й обробки інформації з одного боку, а також масштабування мережі через інтеграцію додаткових вузлів. Таким чином отримано можливість подальших вертикального та горизонтального масштабувань системи. Під'єднання до загальної мережі передачі даних відбувається за допомогою волокно-оптичної лінії зв'язку. У свою чергу вузли обмінюються службовими даними для налаштування та

даними з датчиків за допомогою радіо-інтерфейсів, які підтримують стандарт 802.11s та реалізовані на двох перших рівнях моделі. До кінцевих приладів висувається вимога у підтримці радіо-інтерфейсу стандартів 802.11 a/b/g/n.:

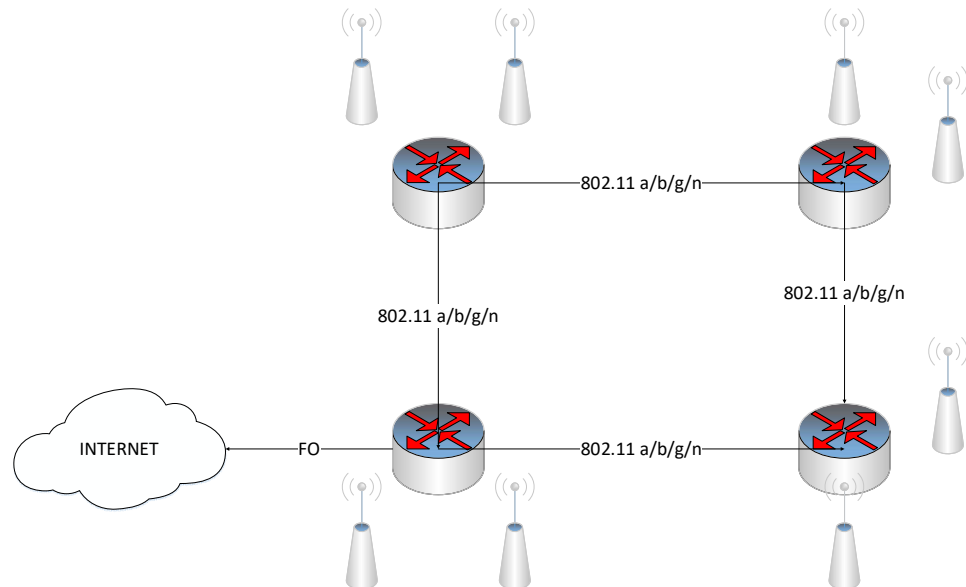


Рисунок 3.6 – Схема підключення вузлів до загальної мережі

Для взаємодії між кінцевим пристроєм та системою керування інфраструктурою запропоновано алгоритм, що реалізується на трьох верхніх рівнях моделі OSI. Це дає змогу користуватись рішеннями стеку протоколів TCP/IP, а також застосовувати mesh-пакети на каналному рівні. Команди керування інкапсулюються до поля даних каналного рівня та мають наступну систему:

- запит перевірки роботи кінцевого приладу;
- збір спеціальних даних про стан;
- команди керування залежно від виду кінцевого пристрою.

Відповідно можна зазначити наступний алгоритм:

- 1) Пристрій керування надсилає запит на перевірку функціонування;
- 2) Якщо відповідь відсутня, то обирається псевдовипадковий проміжок часу та проводиться повторний запит (пункт 1), інакше отримано відповідь;

3) За умови отримання відповіді від кінцевого пристрою система надсилає запит на отримання інформації про стан системи/передача команд керування;

4) Відповідно до виду системи починається відправлення спеціальних даних/команд керування;

5) При отриманні помилкової інформації пристрій керування надсилає інформацію з даними про неправильно отриманий (не отриманий) пакет;

6) Наприкінці, пристрій керування закриває сеанс;

7) Кінцевий пристрій надсилає підтвердження;

8) Кінцевий пристрій переходить до стану очікування, після отримання запиту повертається до кроку 1).

Необхідним є розбір трьох типових моментів функціонування адаптивної мережі, а саме:

- вихід з ладу вузлів мережі;
- підключення нових кінцевих пристроїв до мережі;
- зміна розподілу каналів мережі.

Останній випадок не є актуальним через статичний стан пристроїв мережі. У свою чергу зміна каналів та перерозподіл ресурсів відбувається саме за умови переходу кінцевих пристроїв між декількома вузлами mesh-мережі. На перших двох випадках слід зупинитись більш детально.

Для більшої наочності використаємо раніше зазначену схему із зазначенням номерів кожного вузла:

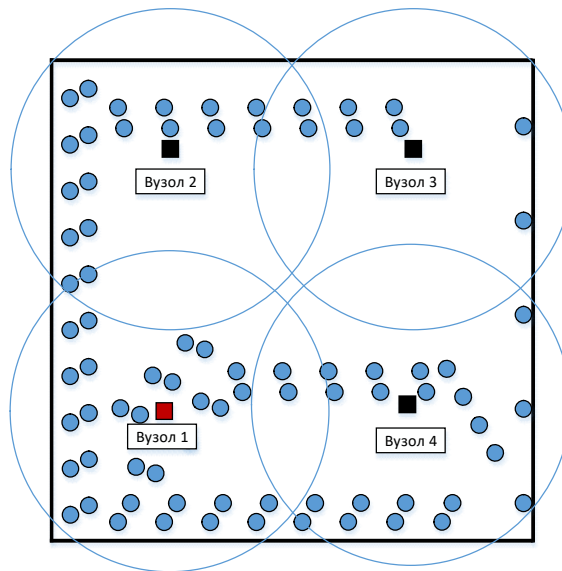


Рисунок 3.7 – Сеанс взаємодії з кінцевим пристроєм

Для прикладу маємо вихід з ладу вузла 3 вузол, через який відбувалася передача даних з кореневим (той, що підключено до загальної мережі) припиняє розсилати інформацію до відімкнутого та оновлює таблиці маршрутизації, останнім кроком є надсилання оновлення даних до кореневого вузла та, як наслідок, усіх вузлів між даним та кореневим. На схемі маємо вузол 2(або 4), який побудував відповідно до алгоритму статичної маршрутизації оптимальний шлях. Припустимо, що це вузол 2. Вузол 2 може передавати дані вузла 3 через вузол 4 або напряму до вузла 1. У момент виходу з ладу вузла 3 відбувається припинення обміну службовою інформацією між 2 та 3, через що вузол 2 проводить оновлення таблиць та стає крайнім вузлом своєї ланки. Після передачі оновлених таблиць вузол знову починає процес пошуку вузлів. Якщо вузол 3 буде відновлено можливим є або відновлення маршруту, або ж перемикання до вузла 4. У момент вимикання вузла 3 усі кінцеві прилади починають пошук нових вузлів для підключення. На схемі можна бачити зони перетину вузлів. Пристрої, що входять до них можуть змінювати власника і в момент коректної роботи усіх вузлів. Решта ж (ті, що не перетинаються) залежать від вузлів зони. При цьому мережне устаткування обрано таким чином, щоб забезпечити можливість покриття радіусу, що вдвічі більший за позначений.

Тож у випадку виходу з ладу вузла 3 відбудеться перепризначення кінцевих приладів до решти вузлів за показниками метрик, що раніше було описано у алгоритмі маршрутизації. У випадку ввімкнення вузла 3 до топології відбудеться зворотній процес перерозподілу пристроїв.

Таким чином є можливість врахувати вихід з ладу вузлів системи за рахунок властивостей маршрутизації та побудови маршрутів адаптивної мережі.

Другим є процес підключення нових кінцевих пристроїв до системи. При цьому важливим є досягнення достатнього рівня захищеності передачі даних. Технологія 802.11i дозволяє досягнути бажаного результату. Процес є можливим за рахунок вбудованого механізму чотирьох рукостискань. За допомогою зазначених вище переліків дій є можливим узгодження роботи системи у випадках порушення топології або необхідності масштабування mesh-мережі.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі бакалаврської роботи проведено пошук та розробку рішення для побудови mesh-мережі. Проаналізовано особливості функціонування трьох протоколів для організації системи передавання даних. Поміж них обрано Thread через високий рівень інтеграції до існуючих IP-мереж, відкритість протоколу та взаємодію з великою кількістю пристроїв автоматизації. Також показав найкращі параметри стосовно рівня швидкості, затримок та якості даних, які передаються. Надалі обрано певну ділянку міської інфраструктури та проведено побудову структурної схеми з варіантом встановлення устаткування та обрано принцип розподілу ресурсу каналів передачі. На основі схеми проведено розрахунок навантаження з використанням типових параметрів трафіку. У заключній частині розділу проведено аналіз можливої апаратної реалізації з найбільш вживаних рішень.

Обрано варіант реалізації за допомогою ZyxelNWA 3560 через ряд переваг, що надає технологія порівняно з рештою. За результатами розробленої системи є можливим об'єднання алгоритмів каналного та мережевого рівня у вигляді програмної реалізації, особливості побудови та встановлення системи, а також обрані вузли для розгортання автоматизованої мережі контролю освітлення. Важливим є великий запас ресурсів системи, що дає привід для масштабування системи з додаванням більш складних датчиків та систем автоматизації міської інфраструктури надалі.

ВИСНОВКИ

Перший розділ бакалаврської роботи було присвячено стислому огляду основних концепцій Всеосяжного Інтернету, сформовано задачу для подальшої реалізації та проведено опис основ mesh підходу до організації систем передачі даних з метою подальшого розвитку теми та дослідження. Зазначено актуальність розгортання мереж на основі існуючої міської інфраструктури. Було встановлено основні критерії, особливості роботи та результати, що очікуються. Опис проведено відносно інфраструктури міського освітлення з можливістю подальшого покращення та встановлення додаткових елементів: датчиків, камер тощо. Проведено опис концепції Всеосяжного Інтернету, зазначено основні переваги та актуальність. Наведено дві основні гілки розвитку: Інтернет Речей та Промисловий Інтернет Речей. Обидва напрями показують значне зростання темпів впровадження та зацікавленість світових лідерів у галузі інформаційних технологій. Особливу увагу приділено ідеї SmartCity, на базі якої можливим є реалізація сучасної системи контролю та автоматизації міської інфраструктури. У подальшому розглядається підхід до організації мереж на базі трирівневої архітектури: точки доступу, розподіл та ядро з описом складових. Рівень розподілу в свою чергу є найбільшим за масштабами та представляє собою мережне рішення, тож надалі проведено роботу саме з ним. Для цього порівняно декілька підходів до організації мереж та обрано mesh підхід, опис якого й проведено у завершені. Проведено огляду технічних mesh рішень та надано порівняльний аналіз найбільш розповсюджених фірмових технологій. Відповідно до результатів можна зазначити, що вибір необхідного рішення повністю залежить від результатів аналізу локації для встановлення системи. Тож наступний розділ присвячено детальному опису мереж mesh та аналізу інфраструктуру з метою побудови найбільш оптимального рішення. Також необхідним є обробка трафіку на рівні доступу та балансування й просування трафіку від шлюзів mesh-мережі.

У другому розділ бакалаврської роботи було присвячено детальному аналізу технології mesh. На початку наведено загальні особливості топологічного виконання системи, проведено опис вузлів та наведено перелік можливих умов використання рішень. Надалі запропоновано опис з точки зору моделі взаємодії відкритих систем (OSI) з описом складових та стандартів, які використовуються при розробці рішень з їх описом та характеристиками. Надалі проведено розбір трьох перших рівнів моделі з зазначенням ключових моментів, які стосуються mesh-мереж. Першим наведено фізичний рівень. Основний виклик – це завади. При цьому саме взаємодія антен є основним їх джерелом, тож описано можливі рішення у вигляді просторової фільтрації трафіку, одноканального та багатоканального підходів до реалізації мережі. Останній надає найбільшу ступінь продуктивності та оптимальності мережі, однак потребує вибору оптимального алгоритму призначення. Важливо, що вибір з трьох перелічених підходів потребує вивчення умов розгортання. Наступним проведено детальний опис каналного рівня. Для технології mesh каналний рівень відіграє ключову роль. Саме на ньому реалізовано процеси детермінованого доступу, синхронізації та частково перенесено функції маршрутизації. Описано склад MAC-паketу і його особливості для mesh. Надалі проаналізовано алгоритми маршрутизації системи. Існує два основні підходи: для рухомих об'єктів та для фіксованих систем. Відповідно до цілей маємо більший рівень гнучкості роботи для першого та більш стабільну систему для другого. Наприкінці приділено увагу питанням розподілу каналів на прикладах трьох найбільш розповсюджених алгоритмів. Перші два відрізняються за ознакою розподілена або централізована система. При цьому обидва будують деревовидні топології від шлюзів доступу до загальних мереж. Третій алгоритм направлений на утворення кластерів для рівномірного розподілу вузлів та подальшої роботи всередині, а також налагодженню зв'язків між кластерами.

У завершальному розділі бакалаврської роботи проведено пошук та розробку рішення для побудови mesh-мережі. Проаналізовано особливості функціонування трьох протоколів для організації системи передавання даних. Кожен має власні особливості побудови топології, маршрутизації та кінцевих пристроїв, що виступають у якості основи мережі. Поміж них обрано Thread через високий рівень інтеграції до існуючих IP-мереж, відкритість протоколу та взаємодію з великою кількістю пристроїв автоматизації. Також показав найкращі параметри стосовно рівня швидкості, затримок та якості даних, які передаються. Надалі обрано певну ділянку міської інфраструктури та проведено побудову структурної схеми з варіантом встановлення устаткування та обрано принцип розподілу ресурсу каналів передачі. Важливо, що розробка плану для ділянки є типовою, тож є основою для повного покриття міської системи. На основі схеми проведено розрахунок навантаження з використанням типових параметрів трафіку. У заключній частині розділу проведено аналіз можливої апаратної реалізації з найбільш вживаних рішень. Обрано варіант реалізації за допомогою ZyxelNWA 3560 через ряд переваг, що надає технологія порівняно з рештою. За результатами розробленої системи є можливим об'єднання алгоритмів каналного та мережевого рівня у вигляді програмної реалізації, особливості побудови та встановлення системи, а також обрані вузли для розгортання автоматизованої мережі контролю освітлення. Важливим є великий запас ресурсів системи, що дає привід для масштабування системи з додаванням більш складних датчиків та систем автоматизації міської інфраструктури надалі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.networkworld.com/article/3207535/what-is-iot-the-internet-of-things-explained.html?page=2>
2. <https://www.ncta.com/whats-new/behind-the-numbers-growth-in-the-internet-of-things>
3. <https://blog.bismart.com>
4. <https://www.digi.com/blog/post/iot-architecture-topology-and-edge-compute>
5. Олифер Б.В., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы (4-е издание) / Учебное пособие. Питер.: 2010г., 943с.
6. IEEE P802.11s/D1.08. Amendment: Mesh Networking. –IEEE, January 2008.
7. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/wireless-mesh-network-wmn-market>
8. <https://www.counterpointresearch.com>
9. <https://standards.ieee.org/standard>
10. <https://www.digi.com/blog>
11. https://www.cwnp.com/uploads/802-11s_mesh_networking_v1-0.pdf
12. https://www.ieee802.org/802_tutorials/06-November/802.11s_Tutorial_r5.pdf
13. IEEE Std 802.11-2007. Wireless LAN Medium AccessControl (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. –IEEE, June 2007.
14. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.Л. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005.
15. IEEE Std 802.11, 1999 Edition. Wireless LAN MediumAccess Control (MAC) and Physical Layer (PHY)
16. Лемешко А.В., Гоголева М.А. Модель распределения частотных каналов с учетом территориальной удаленности станций в многоканальных

mesh-сетях // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. – Х.: ХУ ПС, 2009. – Вип. 4(22). – С. 38–41.

17. Raniwala A. Architecture and algorithms for an IEEE 802.11-based multi-channel wirelessmesh network // Proc. of INFOCOM '05 – Vol. 3. – 2005. – P. 2223–2234.

18. <https://www.nordicsemi.com>

ДОДАТОК А

Охорона праці, безпека в надзвичайних ситуаціях

А.1 Характеристика умов праці

Об'єктом бакалаврської роботи є дослідження способів проектування систем керування вуличними датчиками на основі мереж специфікації 802.11s в умовах міста Покровськ. 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 грубках (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 друкуючої 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, шії, 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 шії, 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.

А.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.

А.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.

А.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 А.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 А.2 – Норми подачі свіжого повітря в приміщення

Характеристика приміщення	Об'ємні витрати свіжого повітря, що подається в приміщенні м ³ /на одну людину в
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).

А.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 А.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.

А.3 Заходи щодо поліпшення умов праці

А.3.1 Мікроклімат робочого місця

Приміщення має площину $24,75\text{ м}^2$ ($4,5\text{ м} \times 5,5\text{ м}$); 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:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (\text{A.1})$$

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:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{уст}$ – виділення тепла від устаткування;

$Q_{пер}$ – виділення тепла робітниками;

$Q_{осв}$ – надходження тепла від електричного освітлення;

$Q_{сп}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{уст} = P \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860, \quad (A.3)$$

де P – сумарна потужність устаткування, кВт/год;

K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_o – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$Q_{уст} = [(x_1 \cdot k_1) + (x_2 \cdot k_2) + (x_3 \cdot k_3) + (x_4 \cdot k_4)] \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860, \quad (A.4)$$

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:

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

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{пер} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год,} \quad (A.5)$$

де n - кількість працюючих;

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

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{OCB} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 400 \cdot 0,05 \cdot 24,75 = 495 \text{ ккал/год}, \quad (A.6)$$

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

g_1 – питоме 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:

$$Q_{CP} = F \cdot g_2 \cdot K_{OCL} = 2,3 \cdot 65 \cdot 0,4 = 59,8 \text{ ккал/год}, \quad (A.7)$$

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:

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

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

А.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

$$h_0 = H - h_c = 3 - 0,4 = 2,6 \text{ м.} \quad (\text{А.8})$$

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:

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

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

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 1,9 = 1,33 \text{ м.} \quad (\text{A.10})$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{4,5 \cdot 5,5}{1,33^2} \approx 14 \quad (\text{A.11})$$

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:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta}, \quad (\text{A.12})$$

де E – нормативна освітленість, лк;

K_3 – 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:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{4,5 \cdot 5,5}{3 \cdot (4,5 + 5,5)} = 2,475. \quad (\text{A.13})$$

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:

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

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:

$$P_{\text{CB}} = P \cdot N = 150 \cdot 176 = 26400 \text{ Вт.} \quad (\text{A.15})$$

А.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 маютьесь в 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.

А.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:

$$l = 1,5 \cdot \sqrt{P} = 1,5 \cdot \sqrt{20} = 6,7 \text{ м}, \quad (\text{A.16})$$

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 певної 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).