

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій  
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
(рівень вищої освіти)

Побудова і дослідження Wi-Fi мережі високої  
щільності міжнародного аеропорту  
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи ІМІМ-19-2  
Шевченко К. Л.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальності 172 Телекомунікації та  
радіотехніка  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-наукова  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційно-мережна  
інженерія  
(повна назва освітньої програми)

Керівник д.т.н., проф. Рапін В. В.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Безрук В. М.  
(прізвище, ініціали)

2021 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет ІнфокомунікаційКафедра Інформаційно-мережної інженеріїРівень вищої освіти другий (магістерський)Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(код і повна назва)Тип програми Освітньо-наукова  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)Освітня програма Інформаційно-мережна інженерія  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри ІМІ \_\_\_\_\_  
(підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Шевченку Костянтину Леонідовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)1. Тема роботи Побудова і дослідження Wi-Fi мережі високої щільності міжнародного аеропортукерівник роботи Рапін Володимир Васильович, проф., д.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)затверджені наказом університету від «12» березня 2021 року № 350Ст2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 17 травня 2021 р.3. Вихідні дані до роботи Розробити та дослідити Wi-Fi мережу високої щільності залу очікування міжнародного аеропорту з розміщенням на одному поверху площею близько 3000 квадратних метрів, який розрахований на обслуговування до 300 користувачів. Окрім основного залу приміщення повинно мати усі додаткові сервіси такі як кафе, бар, службове відділення..

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

Вступ1. Аналіз побудови та функціонування Wi-Fi мереж високої щільності2. Проектування мережі аеропорту та аналіз особливостей засобів їх дослідження3. Розробка моделі Wi-Fi мережі високої щільності та дослідження її основних характеристикВисновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Слайди у форматі Power Point (назва роботи, вступ та мета роботи, план приміщення, організація досліджуваної мережі, інструментальні засоби імітаційного моделювання, інструментальні засоби моделювання зони покриття точками доступу, розробка імітаційної моделі мережі, дослідження зони покриття точками доступу, з спрямованими антенами, прогнозування продуктивності мережі, висновки).

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів атестаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.	14.03.21	
2	Підбір літератури за темою роботи.	15.03-25.03	
3	Виконання розділу 1	26.03-09.04.21	
4	Виконання розділу 2	10.04-19.04.21	
5	Виконання розділу 3	20.04-07.05.21	
6	Оформлення пояснювальної записки	08.05-11.05.21	
7	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту у ЕК	12.05-17.05.21	

Дата видачі завдання 12 березня 2021 р.

Студент

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Шевченко К. Л.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ ( підпис )

проф. Рапін В. В.

(посада, прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 61 с., 24 рис., 3 табл., 11 джерел, 2 додатки.

Об'єкт дослідження – Wi-Fi мережі високої щільності в міжнародному аеропорту.

Мета роботи – максимально надійно спроектувати мережну частину, а також контролювати і розуміти усі змінні.

Розглянуто вимоги, що пред'являються до Wi-Fi мереж високої щільності, а також особливості побудови і функціонування подібного роду пристроїв. Показані і їх відмінності від звичайних офісних мереж.

Представлена основна проблема реалізації мережі, її специфічна характеристика і доцільність її використання. Перераховано підходи, які повинні бути реалізовані при проектуванні бездротових мереж високої щільності для забезпечення високої пропускної здатності.

Перераховано способи підключення і методи моделювання - як аналітичним методом, так і симуляторами.

МЕРЕЖІ ВИСОКОЇ ЩІЛЬНОСТІ, WI-FI МЕРЕЖА, СТІЛЬНИКИ,  
АНТЕНА, ІНТЕРНЕТ, СИМУЛЯТОРИ, АНАЛІЗ

## THE ABSTRACT

Explanatory note: 61p., 24 fig., 3 tabl., 11 sources, 2 app.

The object of research is high-density Wi-Fi networks at an international airport.

Research focus – designing the most reliable Wi-Fi networks and making opts more understandable and under control.

This abstract examines requirements for high-density Wi-Fi networks, features and functioning such kind of systems. The differences from conventional office networks are shown.

The main problem of network implementation, its unique features, expediency of use are presented. Lists approaches that must be taken into account when implementing in design high-density Wi-Fi networks for ensuring high throughput.

Through both analytical method and simulators are found out connection methods and ways of design.

HIGH DENSITY NETWORKS, WI-FI NETWORK, CELLULARS, ANTENNA, INTERNET, SIMULATORS, ANALYSIS

## ЗМІСТ

	С.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ WI-FI МЕРЕЖ ВИСОКОЇ ЩІЛЬНОСТІ.....	9
1.1 Особливості побудови мереж високої щільності.....	9
1.2 Проблеми мереж високої щільності та шляхи їх рішення.....	11
1.3 Міжканальна інтерференція та динамічний вибір частоти.....	14
1.4 Варіанти розміщення точок доступу.....	17
1.5 Аналіз програмних засобів проектування Wi-Fi мереж.....	23
1.6 Висновки до розділу 1 .....	25
2 ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ АЕРОПОРТУ ТА АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСОБІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	26
2.1 Організація мережі високої щільності.....	26
2.1.1 Планування мережі високої щільності.....	26
2.1.2 Основні параметри проекрованої мережі .....	27
2.1.3 Вибір мережевого обладнання та його розміщення.....	28
2.1.4 Розробка структурної схеми мережі на базі стандарту 802.11n.....	31
2.2 Основні характеристики симулятора Wi-Fi Planner Pro.....	33
2.3 Особливості використання симулятора Cisco Packet Tracer .....	34
2.4 Висновки до розділу 2.....	35
3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ WI-FI МЕРЕЖІ ВИСОКОЇ ЩІЛЬНОСТІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	36

3.1	Дослідження зони покриття точок доступу за допомогою симулятора Wi-Fi Planner Pro .....	36
3.2	Розробка імітаційної моделі мережі в симуляторі Cisco Packet Tracer .....	38
3.3	Прогнозування продуктивності мережі .....	43
3.4	Висновки до розділу 3.....	47
	ВИСНОВКИ.....	48
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	49
	ДОДАТОК А ПУБЛІКАЦІЯ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ .....	50
	ДОДАТОК Б СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	54

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- WLAN – (Wireless Local Area Network) Бездротова локальна мережа
- WH – (Waiting hall) Зал очікування
- BH – (Business hall) Бізнес зал
- IP – (Internet Protocol) Інтернет протокол
- TTL – (Time to live) Час життя пакету даних
- ТД – точка доступу
- ВСШ – Відношення сигнал-шум
- ВПС – Висока пропускна здатність
- МКІ – Міжканальна інтерференція
- ОЧК – Оцінка чистого каналу
- ДВЧ – Динамічний вибір частоти
- ОВОВ – Один вхід - один вихід
- ДВДВ – Декілька входів - декілька виходів
- ВПЗ – Відношення передніх до задніх частин

## ВСТУП

В даній роботі буде розглянуто принцип роботи бездротовий мереж, проблеми та шляхи вирішення, можливості та особливості розміщення і підключення точок доступу, методи моделювання.

Вимоги до бездротових локальних мереж щодо функціональності і масштабованості зростають через швидке поширення нових мережевих пристроїв і додатків. Кількість пристроїв і підключень на користувача неухильно зростає.

На додаток до цього швидкого збільшення попиту на і без того перевантажений спектр, нові мережеві пристрої часто розробляються для використання в домашніх умовах. Це часто не підходить для оптимальної ефективності в спроектованому громадському бездротовому просторі.

Нажаль просте додавання додаткових ТД часто не покращує якість обслуговування. У цій роботі з проектування розглядаються проблеми, з якими стикаються при розгортанні мереж WLAN. У той час як керівництво в першу чергу фокусується на вимогах для великого, підключеного до мережі залу, обговорювані принципи надають інструменти, необхідні для успішного збільшення щільності в великій кількості інших загальних мережевих середовищ, наприклад мереж аеропортів.

Таким чином застосування Wi-Fi мереж високої щільності в міжнародному аеропорту являється актуальною задачкою.

Об'єктом дослідження є Wi-Fi мережа високої щільності залу очікування аеропорту.

Предметом дослідження є зона покриття точок доступу та пропускна спроможність мережі.

Метою дослідження є забезпечення максимальної якості зв'язку в усіх частинах приміщення залу очікування аеропорту.

Задачі дослідження:

1. Планування мережі
2. Розробка мережі та її моделі
3. Дослідження зони покриття точок доступу

#### 4. Дослідження впливу навантаження на пропускну здатність мережі

##### 1 АНАЛІЗ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ WI-FI МЕРЕЖ ВИСОКОЇ ЩІЛЬНОСТІ

###### 1.1 Особливості побудови мереж високої щільності

Конструкція WLAN з високою щільністю розміщення відноситься до будь-якому середовищі, в якій клієнтські пристрої будуть розташовуватися з щільністю, що перевищує очікувану для покриття нормального розгортання підприємства, в даному випадку аеропорту.

Щільність користувачів - критичний фактор в дизайні. Сумарна доступна смуга пропускання доставляється на кожен радіо осередок, а кількість користувачів і їх характеристики з'єднання (такі як швидкість, робочий цикл, тип радіозв'язку, діапазон, сигнал), що займають цю соту, визначають загальну пропускну здатність, доступну для кожного користувача [1].

При плануванні і розгортанні такої WLAN точка доступу зазвичай розміщується в зоні, де очікується більш висока щільність користувачів, наприклад, в залі очікування, в той час як зони загального користування залишаються з меншим покриттям. Таким чином, очікується попереднє планування ділянок з високою щільністю забудови.

Найбільшим джерелом перешкод в приміщенні є самі клієнтські пристрої. Для кожного користувача, який сидить в залі очікування відстань становить приблизно один метр при середній ширині сидіння 60 сантиметрів. Це дає те, що визначається як середовище з високою щільністю розміщення, з менш ніж 1 квадратним метром на кожне розгорнуте пристрій, за умови, що на одне робоче місце підключено один або декілька пристроїв.

Що в кінцевому підсумку вплине на клієнтські пристрої більше, ніж будь-який інший фактор, так це погіршення ВСШ через перешкоди як в суміщеному, так і в сусідньому каналі, що створюються спільно розташованими пристроями.

Робочі області стають більш критичними, оскільки простір ущільнюється, і поганий радіозв'язок або режим роботи в сукупності можуть мати великий вплив на соту. Поведінка клієнтів в цих умовах буде широко варіюватися, також повідомлялося про тенденції в залежності від середовища і типу події. З конкретним набором або поведінкою клієнтів можна зробити небагато [1].

Процес проектування WLAN може починатися у різний спосіб, але зазвичай він починається з вираженого бажання забезпечити підключення до певної області, де декілька користувачів братимуть участь в цілеспрямованій діяльності.

При розрахунку сукупної пропускної здатності в якості основи для розрахунку використовувалися з'єднання, а не робочі місця. Кількість підключень в осередку - це те, що визначає загальну пропускну здатність, яка буде реалізована для кожного підключення, а не кількість робочих місць. Більшість користувачів сьогодні мають як основне обчислювальний пристрій (наприклад, смартфон, планшет або ноутбук), так і другий пристрій (наприклад, смартфон). Кожне з'єднання, яке працює в WLAN високої щільності, споживає ефірний час і мережеві ресурси і, отже, буде частиною розрахунку сукупної пропускної здатності. Збільшення числа підключень пристроїв - одна з основних причин, по якій в старих проектах WLAN сьогодні спостерігається перевищення ліміту підписки.

Користувачі і додатки також мають тенденцію бути переривчастими (міра нерівномірності або варіацій в потоці трафіку) за своєю природою, і часто мережі рівня доступу проектуються з перепідпискою 20:1 для обліку цих відмінностей. Необхідно визначити і враховувати передбачувані шаблони використання додатків і кінцевих користувачів. Деякі додатки, такі як потокова передача багатоадресного відео, зменшують цей коефіцієнт перепідписання, в той час як інші можуть підвищувати цей коефіцієнт, щоб визначити прийнятне ВСШ для проектної ємності кожного осередку.

Для бездротових мереж 802.11 або будь-радіомережі в цілому повітря є середовищем поширення. Незважаючи на те, що було багато досягнень в

ефективності, неможливо логічно обмежити фізичну трансляцію і конфліктну область радіочастотного сигналу або відокремити його площа спектра від інших радіостанцій, які працюють в тому ж діапазоні. З цієї причини Wi-Fi використовує тарифний план, який розбиває доступні спектри на групу неперекриваючих каналів. [1].

## 1.2 Проблеми мереж високої щільності та шляхи їх рішення

У реальних WLAN фактична пропускна здатність має значення для кінцевого користувача, а вона відрізняється від швидкості передачі сигналів. Швидкості передачі даних є швидкість, з якою пакети даних будуть передаватися по середовищі. Варіанти комплектації включають певну кількість службових даних, необхідних для адресації пакетів і управління ними. Пропускна здатність передається у вигляді даних корисного навантаження в межах цих службових даних. У табл. 1.1 показана середня пропускна здатність додатків по протоколам в хороших радіочастотних умовах.

Таблиця 1.1 – Середня пропускна здатність додатків по протоколам

Протокол	Пропускна здатність (Мбіт/с)
802.11b	7,2
802.11b/g	13
802.11g	25
802.11a	25
802.11n	70

З огляду на те, що інші фактори, такі як кількість підключень, також можуть змінюватися з часом, і з цих причин часто рекомендується створити деякий буфер для згладжування довгострокових результатів. Чисту перевагу швидкості 802.11n з ВПС вражає і підвищує загальну ефективність і пропускну здатність проекту, дозволяючи реалізувати більшу кількість користувачів або більш високі швидкості на одному і тому ж каналі. На рис. 1.1 показані можливості змішаного клієнтського протоколу для даної комірки [1].

### Рисунок 1.1 – Продуктивність змішаного протоколу бездротового клієнта

Теоретично, якщо три радіостанції можна було розмістити на одному полюсі, обслуговуючи всі три неперекриваючі канали в одному і тому стільнику, можна було б створити стільник, який матиме в три рази більшу смугу пропускання в 2,4 ГГц і в 20 разів більше, ніж в 5 ГГц (рис. 1.2) [1].

### Рисунок 1.2 – Загальна ємність трьох радіо модулів 2,4 ГГц на одному стільнику.

На частоті 5 ГГц спектр більше, і результуюча смуга пропускання для теоретичної одиночного стільника різко збільшується (рис. 1.3).

### Рисунок 1.3 – Ємність на 21 канал одного стільника 5 ГГц и результативна ємність

З сьогоденнішніми конструкціями радіоприймачів радіостанції можна було майже розмістити один на одному, але це не підійшло б для конструкції з високою щільністю розміщення. Це призведе до тієї ж зоні покриття, що і для однієї стільники, і, ймовірно, не покриває необхідну зону навіть у відносно невеликому лекційному залі [1].

Швидкість передачі даних залежить від рівня сигналу і ВСШ в приймачі. Блокувати радіостанцію на певній швидкості передачі даних непрактично або неефективно, оскільки радіостанція приймає рішення про ефективність на основі доступних умов зв'язку. Не кожен клієнт буде однаково реагувати в

статичної середовищі. Чим вище середній рівень сигналу і чим краще ВСШ, тим вище буде швидкість передачі даних.

### 1.3 Міжканальна інтерференція та динамічний вибір частоти

Міжканальна інтерференція – критично важлива концепція, яку необхідно зрозуміти, коли справа доходить до розуміння поведінки і продуктивності мереж WLAN 802.11. Це явище, коли передача від одного пристрою 802.11 перетинається в діапазоні прийому інших пристроїв 802.11 на тому ж каналі, викликаючи перешкоди і зменшуючи доступний спектр і, як наслідок, продуктивність. МКІ може викликати затримки доступу до каналу, а також колізії при передачі, які ушкоджують передані кадри. На рис. 1.4 показано, як ТД на одному каналі заважають один одному.

#### Рисунок 1.4 – Приклад міжканальної інтерференції

Мережі 802.11 засновані на конкуренції і покладаються на механізми ОЧК для визначення стану середовища (якщо зайнято, ми чекаємо, коли вільний, ми передаємо). Для каналу передачі обох точок доступу будуть сприйматися клієнтом як зайнятий канал, і клієнт буде просто чекати можливості передачі. Що ще гірше, в спадному каналі передачі від будь-якої точки доступу потенційно можуть конфліктувати, і повторні спроби збільшать конкуренцію за середовище і продовжать знижувати швидкість передачі даних в цілому. Ефекти МКІ не обмежуються тільки осередком ТД. У середовищі з високою щільністю відвідувачів самі клієнти збільшують загальний розмір осередків [1].

ОЧК заснований на порозі прийому, який оцінює активність оператора зв'язку. Зазвичай гарним вибором вважати порогом  $-85\text{дБм}$ . На рис. 1.5 показано модель покриття, заснована на швидкостях передачі даних. Більш високі швидкості передачі даних не поширюються так далеко. Якщо відстані в цій моделі виглядають великими, це тому, що вона була розрахована з

використанням моделі відкритого простору на відкритому повітрі, а не внутрішньою моделі, яка передбачає фактори ослаблення в навколишньому середовищі. У більшості розгортання з високою щільністю не так багато стін між точками доступу і клієнтами. [1].

Рисунок 1.5 – Модель покриття WLAN на основі швидкості передачі даних.

У будь-якому проекті Wi-Fi вплив МКІ може бути обмежена шляхом ізоляції окремих осередків один від одного за рахунок використання неперекриваючих каналів і ослаблення природного середовища (стіни, стелі, картотеки і куби). Ми не будемо навмисно розміщувати дві точки доступу на одному каналі безпосередньо поруч один з одним. У нормальному дизайні довкілля і відстані, які покриваються, зазвичай забезпечують адекватне покриття без великої кількості МКІ. Але в конструкції мережі з високою щільністю розміщення відстані будуть обмежені, а поширення буде хорошим, оскільки таке поєднання осередків і результуючий МКІ стануть набагато більш ймовірними.

На відміну від 2,4 ГГц, в 5 ГГц набагато більше каналів, з якими можна працювати. У світі - від 5 до 21. У більшості регіонів є від 19 до 21 каналу. Але не всі канали 5 ГГц створені однаково. Обмеження максимальної потужності для частин діапазону не викликають занепокоєння, але канали з ДВЧ представляють собою деякі проблеми, які необхідно вирішити [1].

ДВЧ була реалізована таким чином, щоб точки доступу і клієнти могли спільно використовувати смугу частот з радарними пристроями. Точки доступу, що працюють на каналах ДВЧ, повинні спочатку прослухати канал протягом 60 секунд, щоб визначити, чи присутній радар, перш ніж передавати будь-яку енергію. Якщо точка доступу працює на каналі ДВЧ і виявляє радар

(реальний або помилковий), він повинен припинити операції на цьому каналі і відмовитися від нього на 30 хвилин, перш ніж цей канал можна буде знову оцінити для використання.

Однак клієнтська підтримка каналів ДВЧ була непослідовною. Клієнтські пристрої не можуть виявляти радар і покладаються на інфраструктуру, встановленим сертифікованим ДВЧ точкою доступу.

Дводіапазонні адаптери вже деякий час поставляються з більшістю ноутбуків. Це не означає, що кожен ноутбук є дводіапазонним клієнтом, але багато хто з них. Просте наявність дводіапазонного клієнта не гарантує, що він обере 5 ГГц замість 2,4 ГГц. Операційна система Microsoft Windows за замовчуванням використовує пошук каналів Wi-Fi, який починається з найвищого каналу 5 ГГц і продовжує пошук по всіх каналах 5 ГГц, на які здатний клієнт. Якщо точка доступу 5 ГГц не знайдено, пошук буде продовжено на частоті 2,4 ГГц, починаючи з каналу 1. Якщо значення за замовчуванням в системі Windows не буде змінено або користувач не вибрав сторонню утиліту Wi-Fi для установки частотного переваги на 2,4 ГГц, клієнтське радіо спочатку спробує підключитися до точки доступу 5 ГГц [1].

Планшетні комп'ютери і смартфони почали надходити на ринок приголомшуючими темпами. Переважна більшість поставляються сьогодні смартфонів працюють тільки на частоті 2,4 ГГц. Хоча багато хто з них є клієнтами стандарту 802.11n, в більшості з них реалізований ОВОВ, а не ДВДВ. Пристрій ОВОВ здатне підтримувати тільки швидкість передачі даних MCS7 або 54 Мбіт/с.

Якщо дивитися строго на 5 ГГц і припускати, що на цьому етапі повторне використання каналів не буде, стає ясно, що можна легко підтримувати 1 Мбіт/с на користувача з 15 каналами і 15 осередками.

#### 1.4 Варіанти розміщення точок доступу

Рекомендується використовувати точку доступу з приєднаною всеспрямованою НВНВ-антенною з низьким коефіцієнтом посилення, якщо установка повинна проводитися на стелі приміщення невеликого розміру (в середньому 5 метрів або нижче) без необхідності повторного використання каналів на частотах 2,4 або 5 ГГц. Всеспрямовані антени забезпечують краще покриття від стелі до підлоги, тим самим знижуючи ймовірність того, що пакет, що йде до клієнта або від нього, відіб'ється від будь-якого об'єкта (зазвичай стіни або стелі) до того, як досягне прийомної антени. Це знижує можливість виникнення багатопроменевих перешкод [1].

Слід уникати використання всеспрямованої антени з високим коефіцієнтом посилення. Цей тип антени збільшить розмір стільника і кількість користувачів, які будуть спільно використовувати смугу пропускання. Більш високий коефіцієнт посилення всеспрямованої антени зазвичай означає збільшення ширини сигналу по горизонталі зі зменшенням ширини сигналу по вертикалі. Цей ефект буде більш вираженим при збільшенні висоти стелі.

Всеспрямована антена з низьким коефіцієнтом посилення має меншу горизонтальне покриття і в приміщенні матиме менший покриття підлоги, ніж антена з високим коефіцієнтом посилення. Це підтримує мету невеликого каналу і невеликого розміру майданчика і буде служити для обмеження кількості користувачів в зоні покриття, ефективно керуючи міжканальними перешкодами на рівні клієнта. Антена з низьким коефіцієнтом посилення також забезпечує більш якісний сигнал [1].

Використання радіомодулів з підтримкою 802.11n є фундаментальним міркуванням при проектуванні сучасних середовищ з високою щільністю клієнтів. Вищезазначені переваги, особливо в змішаному середовищі, добре підходять для розгортання з високою щільністю.

Не завжди вдасться вирішити проблеми в середовищі з високою щільністю відвідувачів, використовуючи строго всеспрямованими антенами. Якщо WLAN вимагає повторного використання каналу в межах однієї і тієї ж площі або якщо потрібно покриття для нестандартних областей, таких як

внутрішні або зовнішні арили, варіанти монтажу для використовуваної конструкції можуть бути обмежені. Тому спрямовані антени мають безліч схем покриття, які більше підходять для складних умов, в яких всеспрямована не підходить [1].

Коли середовище вимагає використання спрямованих антен, складність конструкції і реалізації відповідно зростає. Однак слід також відзначити, що видатні результати можуть бути досягнуті.

При установці на стелі приміщення з високими стелями більше 5 метрів рекомендується використовувати спрямовані патч-патч з високим коефіцієнтом посилення або антени ДВДВ, оскільки ці антени забезпечують:

- Краще покриття від стелі до підлоги, якщо він встановлений на стелі або на містках з антенами, орієнтованими прямо вниз. Це створює менші осередки покриття безпосередньо під точками доступу і дозволяє краще ізолювати канал між сусідніми осередками, зберігаючи при цьому рівні потужності і чутливість в напрямку охоплених клієнтів.

- Охоплення у великих приміщеннях з дуже високими стелями або, можливо, там, де немає доступу до стелі. Розміщення спрямованих антен на середньому рівні з боків або ззаду зони покриття і використання нахилу вниз може забезпечити контрольовані зони покриття і кращі варіанти установки в складних умовах.

- Набагато більш вузький пелюстка або промінь покриття, що дозволяє створювати осередки меншого розміру, тому кількість осередків і каналів як для 2,4 ГГц, так і для 5 ГГц може займати загальне приміщення, забезпечуючи підвищену ізоляцію осередків і зменшуючи МКІ. Це критично в будь-якому середовищі, де проектне рішення вимагає повторного використання каналу для будь-якого діапазону.

Відношення передніх до задніх частин – це ще один вимір, яке зазвичай забезпечується специфікаціями спрямованої антени. Оскільки посилення збільшується в одному напрямку, воно зменшується в іншому. Коефіцієнт ВПЗ визначає ступінь ізоляції, яка може бути досягнута в напрямку, протилежному

передбачуваному охопленням антени. У поєднанні з щільністю середньої несучої стіни це дорівнює мінімальній витоку на іншу сторону або з іншого боку [1].

Одна з проблем, з якою часто стикаються - це необхідність забезпечити більшу смугу пропускання, ніж дозволяє одноразове використання каналів, доступних в діапазоні 2,4 ГГц. Використання спрямованої антени може забезпечити ізоляцію між осередками, якщо вони правильно розміщені, встановлені і відрегульовані. Одним з аспектів використання спрямованих антен є концепція механічного нахилу вниз. Нахил вниз включає в себе регулювання антени вниз для зміни створюваної діаграми покриття.

Схему покриття можна відрегулювати, змінивши монтажну висоту або механічний кут нахилу (рис. 1.6).

Рисунок 1.6 – Регулювання направленої антени за допомогою нахилу  
вниз

Регулюючи нахил антени, можна «додзвонитися» - або додати покриття WLAN - в певні області в зоні покриття. Точки доступу і радіочастотна енергія працюють так само, як світло, що випромінюється освітлювальними приладами. Можна висвітлити весь склад голою лампочкою на стелі, але в результаті в деяких місцях буде мало світла. Але якщо є кілька освітлювальних приладів, в тому числі деякі з більш високою яскравістю для освітлення більшого розміру, результатом буде всеосяжне загальне освітлення [1].

Для кожного розміщення антени, необхідно просто пройти по області під нею і відрегулювати антену для зміни діаграми спрямованості на основі рівнів індикації потужності сигналу відповідно до вимог покриття - це зазвичай все, що потрібно при першій установці. Антени чують те саме, що і передають.

Якщо вимірювання і регулювання виконуються обережно, з використанням послідовних вимірювань і інструментів, можна досягти хороших результатів.

Найбільш поширений метод досягнення рівномірного покриття - рівномірний розподіл точок доступу безпосередньо над клієнтами, яких вони будуть обслуговувати. Є кілька варіантів ненав'язливого розміщення точок доступу над головою. У цих випадках антена для прихованого монтажу може бути набагато менш помітною.

Зовнішні антени трохи збільшують вартість і складність установки, але можуть бути виправдані, якщо кінцевим результатом є можливість покрити приміщення з достатньою щільністю і відповідати вимогам автентифікації. Після того, як прийнято рішення про включення зовнішніх антен, відкриваються численні можливості для формування радіочастотної осередки за допомогою спрямованих антен. Повторне використання каналу в діапазоні 2,4 ГГц може бути досягнуто в невеликих приміщеннях за рахунок використання спрямованих антен нагорі. Висота стелі і вибір антени визначають межі осередків, тому потрібні вимірювання [1].

Залежно від габаритів приміщення, можливо, вдасться охопити все приміщення з боків. Якщо приміщення ширше, ніж можуть вмістити два осередки, необхідно буде використовувати спрямовані антени і механічний нахил вниз, щоб охопити окремі ділянки приміщення для кожного радіо. У великих приміщеннях будуть проходи, що розділяють зони для сидіння, і це простір можна використовувати для проектування зон перекриття осередків. Якщо для цього використовуються механічні похилі і спрямовані антени, чим вище може бути встановлена антена, тим більше буде отримана осередок. Хороших результатів можна досягти, встановивши антени на стіні на висоті до 2,5 м з кутом нахилу 30-60 градусів.

Передня і задня частини приміщення - це інші області, де зазвичай є відкритий простір між краєм приміщення і користувачами. У приміщенні можна розмістити точки доступу в обох місцях, використовуючи нижнє положення на підлозі або поруч з ним, а також антени для покриття перших

рядів. Цей візерунок можна повторити з заднього боку приміщення, і це забезпечить безліч каналів по периметру [1].

На рис. 1.7 точки доступу встановлені низько до підлоги, забезпечуючи осередок, яка буде використовувати користувачів для зменшення відстані поширення. ТД також були встановлені біля стелі з механічним нахилом вниз для управління розміром осередків.

Рисунок 1.7 – Точки доступу, які встановлені низько до підлоги

Один з оптимальних способів прикрити велику щільну область - знизу користувача. Це дає дві переваги. По-перше, користувачі самі послаблюють сигнали (так що з повторним використанням каналів може бути розміщено більше точок доступу, ніж дозволяють інші більш відкриті методи). По-друге, як правило, це відмінний спосіб приховати точки доступу. Щоб зробити це успішно, необхідно провести кілька експериментів, щоб оцінити характеристики поширення в місці установки.

Важливо відзначити, що металеві ніжки стільців і компоненти столу будуть взаємодіяти з антеною ТД і змінювати діаграму спрямованості випромінювання. Перед прийняттям рішення про постійний монтаж необхідно вивчити результати рішень про розміщення за допомогою хорошого інструменту. Це можна зробити, вибравши репрезентативну частину приміщення і тимчасово розмістивши мінімум 4 точки доступу (краще навіть більше). Аналіз декількох варіантів кріплення дасть порівняльні дані, які допоможуть прийняти остаточне рішення [1].

#### 1.5 Аналіз програмних засобів проектування Wi-Fi мережі

GNS3: це одна з найпопулярніших програм емуляції мережі, яка дозволяє спостерігати взаємодію мережевих пристроїв в різних топологіях мереж. Це

програмне забезпечення, яке є інтегрованим сегментом в міжнародній мережі навчання сертифікації. Одного такого факту досить, щоб показати, наскільки сучасним і всеосяжним є цей програмний інструмент, коли мова заходить про успішне моделюванні мережі [2].

Cisco Packet Tracer: крос-платформний інструмент моделювання мережі, розроблений CISCO systems. Цей унікальний інструмент моделювання допоможе не тільки побудувати топологію мережі, але і відтворити її в сучасних комп'ютерних мережах. Cisco Packet Tracer дозволяє імітувати відповідну конфігурацію через CLI, а ще відмінно підходить для VoIP [2].

EVE-NG: Emulated Virtual Environment Next Generation or EVEN-NG- це єдиний в своєму роді на багато користувачів мережевий симулятор, призначений для невеликих підприємств і приватних осіб. Реалізація цього інструменту моделювання віртуальної мережі є як платним, так і безкоштовним. Безкоштовна версія має обмеження в 63 вузла на лабораторію. Для віртуалізації, зв'язування і налаштування мережевих пристроїв немає необхідності завантажувати та встановлювати додаткове додаток крім сервера. Всі проектування, підключення і управління мережевою топологією можна легко виконати за допомогою інтегрованого HTML5- клієнта [2].

Boson NetSim: це додаток, що імітує мережеві комутатори і маршрутизатори Cisco. Одна з ключових особливостей цього інструменту моделювання полягає в тому, що він поставляється разом з усіма лабораторними роботами від Boson, і немає необхідності завантажувати окремі файли і імпортувати їх пізніше в NetSim. Весь процес завантаження, обробки і сортування лабораторних робіт здійснюється в самому додатку. Побудова і завантаження топології мереж можуть бути легко виконані за допомогою програми. І навпаки, ви також можете переглядати топології, завантажені іншими учасниками спільноти, і завантажувати їх в додаток [2].

VIRL: Virtual Internet Routing Lab або VIRL – це емулятор віртуальної мережі від Cisco, який був спеціально розроблений для задоволення потреб освітніх установ і приватних осіб. Він поставляється в високо масштабованих

варіантах, спеціально розроблених для середніх і великих підприємств. VIRT, що підтримує клієнт-серверну модель і сервер, можуть бути легко встановлені на віртуальній машині під управлінням ESXi від VMware або навіть на "голому залозі" сервера. Використання інструменту моделювання VIRT дозволяє вам отримати доступ до цілого ряду ліцензованих образів програмного забезпечення Cisco, таких, як NX-Osv, IOS-Xrv, ASA v і IOSv (як другого рівня, так і третього рівня). Добре те, що ці образи можна легко витягти з сервера VIRT і встановити поверх інших емуляторів, таких як EVE-NG і GNS3. Крім того, VIRT ввела функцію, відому як AutoNetKit, яка полегшує базові функції конфігурації на вузлах для автоматичного заповнення всієї топології мережі. Ця функція дуже ефективна в тому випадку, якщо вам необхідно швидко оцінити модель поведінки конкретної технології або, практично відтворити всю існуючу мережу [2].

Планувальник бездротових мереж Wi-Fi Planner PRO забезпечує комплексну візуалізацію покриття бездротової мережі перед її фактичним розгортанням. Використання Wi-Fi Planner PRO значно спрощує процес проектування і побудови мережі WLAN [3].

Цей онлайн сервіс для планування розгортання WLAN мереж всередині приміщень на основі Wi-Fi обладнання від компанії D-Link. Wi-Fi Planner PRO дозволяє легко розрахувати зону радіопокриття для точки доступу Wi-Fi і зробити комплексну візуалізацію покриття бездротової мережі перед її фактичним розгортанням [4].

## 1.6 Висновки до розділу 1

В даному розділі було виконано:

- 1) Аналіз Wi-Fi мережі високої щільності, поняття щільності користувачів та перешкод, які спричиняють згасання сигналу;
- 2) Визначення проблем підключення, пропускну здатності та факторів, які впливають на підключення;
- 3) Аналіз Wi-Fi мережі з частотами 2,4 ГГц та 5 ГГц, та залежності швидкості передачі даних від відстані для кожної з частот;
- 4) Порівняння можливостей розміщення ТД, які мають спрямовану антену або всеспрямовану, та особливості її монтажу;
- 5) Порівняння популярних програмних засобів для проектування Wi-Fi мережі.

## 2 ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖІ АЕРОПОРТУ ТА АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСОБІВ ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Організація мережі високої щільності

#### 2.1.1 Планування мережі високої щільності

Як було зазначено раніше, за основу взято міжнародний аеропорт. Найбільше навантаження на мережу очікується в залі очікування, бізнес залі та зоні кафе, який знаходяться на другому поверсі (рис. 2.1), приміщення проектувалося з урахуванням розміщення мереж зв'язку.

Рисунок 2.1 – План 2 поверху міжнародного аеропорту

Приміщення має нестандартну форму, довжиною 100м і шириною 26м (в залі очікування) і 22м (в лівій і правій частині поверху), стіни якого складаються з бетону. Зал очікування розрахований на 224 посадочних місця, зона кафе – 33 місця, бізнес зал – 35 місць. Також зали обладнані підвісною стелею. Також на поверсі є скляні перегородки в металевому каркасі (між зоною кафе і залом очікування, між залом очікування і бізнес залом) і цегляна стіна (між кафе і оглядової зоною з чистою зоною). Це потрібно враховувати, тому що через властивості матеріалу відбувається загасання сигналу, що проходить через них.

Згідно з планом приміщення зрозуміло, що в зал очікування можна умовно розбити на 4 стільника. Виходить, що в одному стільнику знаходиться 56 пасажирів. Якщо взяти відстань між сусідніми сидіннями 1м (з урахуванням додаткового відстані для комфортного очікування), то отримуємо, що ширина  $S_c$  стільника 7м. Для відстані довжини  $L_c$  візьмемо відстань сидіння 65-75см

(1,5м в парі сидінь) і відстань між сидіннями 2м (також береться до уваги відстань від крайніх сидінь на 1м), то виходить, що стільник має довжину 14м.

Шляхом математичного розрахунку можна визначити, що площа стільника  $S_c$  буде 98 м<sup>2</sup>, за допомогою формули (3.1):

$$, \quad (3.1)$$

де,  $L_c$  – довжина стільника;

$B_c$  – ширина стільника.

### 2.1.2 Основні параметри проекрованої мережі

Мережевий трафік - обсяг інформації, яка передається за певний період часу через комп'ютерну мережу [5]. Але спочатку треба знайти щільність мережі.

Щільність мережі  $\rho$  можна визначити за формулою (3.2):

$$, \quad (3.2)$$

де,  $S_c$  – площа стільника;

$n$  – кількість місць (пасажирів).

При розрахунку формули (3.2) отримуємо щільність 1,75 м<sup>2</sup>/пасажир, що підходить під критерій «мережі високої щільності».

Кожна інтернет послуга вимагає певну швидкість передачі даних (табл. 2.1). Орієнтуючись на середню швидкість споживання послуги і кількість користувачів, можна визначити потрібну кількість ТД.

Таблиця 2.1 – Швидкість інтернету, залежно від послуги

Послуги	Необхідна пропускна здатність
Перегляд веб-сторінок / електронної пошти	500 Кбіт/с – 1 Мбіт/с
Відео-конференція	384 Кбіт/с – 1 Мбіт/с

Потокове SD-відео	1 – 1,5 Мбіт/с
Потокове HD-відео	2 – 5 Мбіт/с
Потокове відео на YouTube	3 – 4 Мбіт/с
Друк	1 Мбіт/с
Обмін файлами	5 Мбіт/с
Електронні навчальні курси та онлайн-тестування	2 – 4 Мбіт/с
Резервування копій пристроїв	Використовується доступна пропускна здатність
Запит голосового виклику	5 Кбіт/с
Потік голосового виклику	27 – 93 Кбіт/с

Для розрахунку навантаження на стільнику, необхідно брати максимально можливий варіант навантаження - зайняті всі 56 місць і кожен використовує максимальне навантаження. Згідно табл. 3.1 користувач використовує в середньому трафік в 3,5 Мбіт/с, тобто навантаження на соту становить:

$$3,5 * 56 = 196 \text{ Мбіт/с.}$$

Загальне навантаження на етажі усіх стільників становить:

$$3,5 * 292 = 1022 \text{ Мбіт/с.}$$

### 2.1.3 Вибір мережевого обладнання та його розміщення

Використання радіопередавачів завжди вважалося менш захищеним способом комунікації в порівнянні з кабельними каналами зв'язку, тому що перехопити дані, що передаються через ефір, набагато легше, ніж підключитися до кабелю або комутаційної панелі, особливо якщо використовуються засоби забезпечення безпеки на рівні портів. Для вирішення проблем, пов'язаних із самою суттю бездротового зв'язку, потрібно шифрувати дані, щоб навіть при їх перехопленні можна було легко отримати вихідну інформацію в зрозумілій формі [6].

Початкові специфікації WEP, що визначають механізм шифрування даних в бездротових мережах, погано справлялися зі своїм завданням, і для виправлення ситуації як тимчасовий захід був розроблений стандарт WPA, що є підмножиною специфікації 802.11i, яка в той час ще не була затверджена. Трохи пізніше був розроблений стандарт WPA2 - повна реалізація став на той

час офіційним стандарту 802.11i. Головна відмінність між стандартами WPA і WPA2 - метод шифрування даних. У стандарті WPA використовується протокол TKIP, а в WPA2 - стандарт AES-CCMP, що забезпечує більш надійний захист [6].

Спрямовані антени зазвичай мають набагато більш високу посилення, ніж антена, яка класифікується як всеспрямована. Наприклад, бездротова ТД DAP-3310 (рис. 2.2 а) має спрямовану антену, з ширину променя по горизонталі  $60^\circ$  і по вертикалі  $60^\circ$  (рис. 2.2 б). Це дуже корисно для ізоляції точки доступу і антени від навколишньої енергії і забезпечення кращого покриття в наміченій зоні.

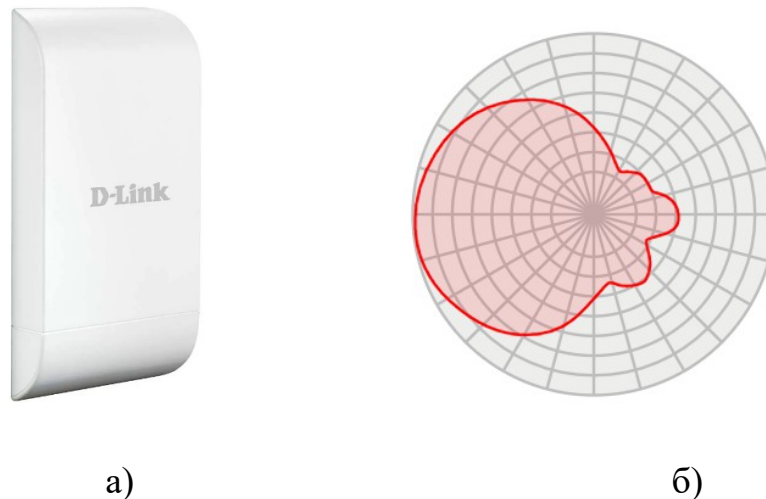


Рисунок 2.2 – ТД D-Link DAP-3310:

а) загальний вид; б) діаграма спрямованості антени

Таблиця 2.2 – Характеристики D-Link DAP-3310

Стандарт бездротового зв'язку	802.11b/g/n
Пропускна здатність	до 300 Мбіт/с
Діапазон	2.4 ГГц
Захист інформації	WEP, WPA, WPA2 802.1x
Потужність передавача	28 дБм
Швидкість портів	100/1000 Мбіт/сек
Антенa	Вбудована
Діаграма спрямованості	$60 \times 60^\circ$
Коефіцієнт посилення	28 дБі
Розміри	118 x 56 x 195 мм

За умови максимального навантаження виходить, що усього знадобиться 6 ТД, для покриття пасажирських місць, а саме:

- для зони кафе оптимальним буде 1 ТД з спрямованої антеною;
- для залу очікування оптимальним буде 4 ТД з спрямованої антеною;
- для бізнес залу оптимальним буде 1 ТД з спрямованої антеною.

Для підключення ТД необхідний комутатор, який буде справлятися з навантаженням і забезпеченням зв'язку з сервером. Хорошим варіантом буде комутатор D-Link DMS-1100-10TS (рис. 2.3), який містить 2 порти 10GBase-X SFP + для підключення до високошвидкісної оптичної магістралі і 8 портів 2.5GBase-T для підключення по кручений парі (табл. 2.3).



Рисунок 2.3 – Коммутатор DMS-1100-10TS

Таблиця 2.3 – Характеристики D-Link DMS-1100-10TS

Процесор	Marvell 98DX3236 (800 МГц)
Оперативна пам'ять	256 МБ
Інтерфейси	8 портів 100/1000/2.5GBase-T 2 порти 10GBase-X SFP+
Комутаційна матриця	80 Гбіт/с
Метод комутації	Store-and-forward
Розмір таблиці MAC-адресів	16К записів
Розміри	440 x 210 x 44 мм

#### 2.1.4 Розробка структурної схеми мережі на базі стандарту 802.11n

Основною причиною зниження продуктивності обміну даними в бездротових мережах є інтенсивне використання частотного діапазону

клієнтами бездротової мережі і точками доступу, що організують доступ клієнтів до мережі. Чим більше пристроїв буде використовувати один частотний діапазон, тим нижче буде швидкість обміну. Тому пропонується в приміщеннях використовувати точки доступу, налаштовані на різні частотні діапазони [7].

DAP-3310 сумісний з Wi-Fi IEEE 802.11n, що означає, що він може підключатися і взаємодіяти з іншими бездротовими клієнтськими пристроями, сумісними з 802.11n. Як стандартна бездротової ТД DAP-3310 може підключатися до широкого спектру пристроїв, сумісних зі стандартом 802.11 n/g/b [7].

На рис. 2.4 показано передбачуване розміщення ТД і можливі зони покриття мережі. Як видно, покриваються всі місця в залі очікування, бізнес залі і зоні кафе, значить розташування ТД задовольняють вимогам.

Рисунок 2.4 – Розташування точок доступу і розподіл сигналу

Комутатор дозволяє об'єднати точки доступу з серверами, що забезпечують безпеку бездротових клієнтів, та іншою провідною інфраструктурою локальної мережі (рис. 2.5).

Рисунок 2.5 – Реалізація з'єднання ТД і комутатора

Як згадувалося раніше, поверх має підвісну стелю, завдяки якому можна протягнути мідний кабель по ньому. Даний метод прокладки скорочує витрати як людські, так і матеріальні, і не кидається в очі відвідувачам.

## 2.2 Основні характеристики симулятора Wi-Fi Planner Pro

Планувальник бездротових мереж Wi-Fi Planner PRO забезпечує комплексну візуалізацію покриття бездротової мережі перед її фактичним розгортанням. Використання Wi-Fi Planner PRO значно спрощує процес проектування і побудови мережі WLAN [3].

Цей онлайн сервіс для планування розгортання WLAN мереж всередині приміщень на основі Wi-Fi обладнання від компанії D-Link. WiFi Planner PRO дозволяє легко розрахувати зону радіопокриття для точки доступу WiFi і зробити комплексну візуалізацію покриття бездротової мережі перед її фактичним розгортанням [4].



Рисунок 2.6 – інтерфейс симулятора Wi-Fi Planner Pro

Планувальник бездротових мереж WFP надає результати у вигляді файлу в двох форматах: PDF і Word. Даний файл містить наступні основні параметри:

- Список точок доступу
- Детальна інформація про точках доступу
- Карта розміщення точок доступу
- Двомірна колірна карта, яка відображає радіус дії бездротової мережі

Дана програма дуже добре підходить для симуляції покриття сигналу мережі від ТД, з урахуванням різновидів стін, дверей, скла і загасання сигналу, що проходить [4].

### 2.3 Особливості використання симулятора Cisco Packet Tracer

Даний симулятор дозволяє робити працездатні моделі мережі, налаштовувати (командами Cisco IOS) маршрутизатори і комутатори, взаємодіяти між декількома користувачами (через хмару) [8].

Програма дозволяє будувати і аналізувати мережі на різноманітному обладнанні в довільних топологіях з підтримкою різних протоколів. У ній можна отримувати можливість вивчати роботу різних мережевих пристроїв: маршрутизаторів, комутаторів, точок бездротового доступу, персональних комп'ютерів, мережевих принтерів і т.д. Цей додаток є найбільш простим і ефективним серед своїх конкурентів. Так, наприклад, створення нового проекту мережі в Cisco Packet Tracer займає істотно менше часу, ніж в аналогічній програмі - GNS3 [8].

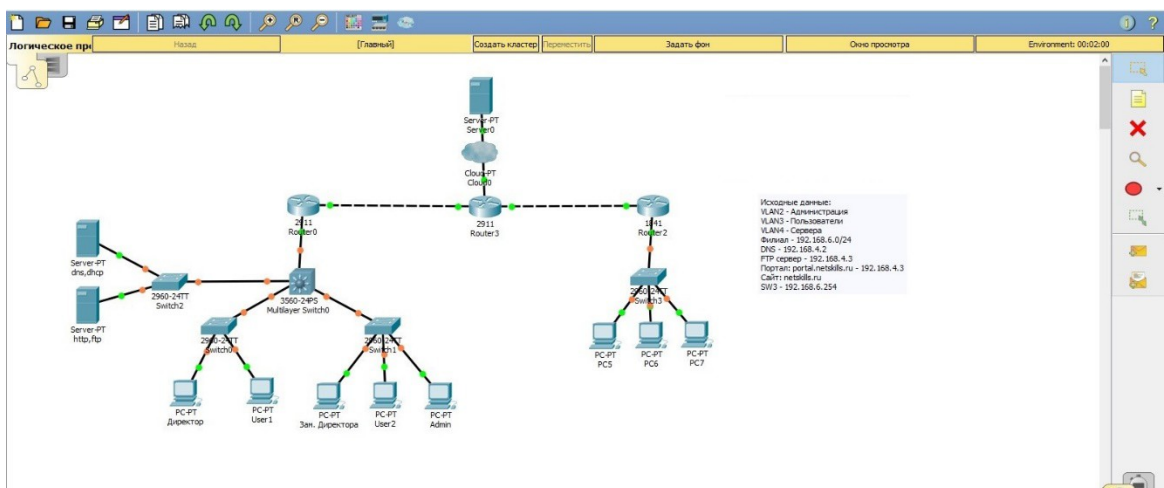


Рисунок 2.7 – Інтерфейс симулятора Cisco Packet Tracer

У симуляторі реалізовані серії маршрутизаторів Cisco 800, 1800, 1900, 2600, 2800, 2900 і комутаторів Cisco Catalyst 2950, 2960, 3560, а також міжмеревий екран ASA 5505. Бездротові пристрої представлені маршрутизатором Linksys WRT300N, точками доступу і стільниковими вишками. Крім того є сервери DHCP, HTTP, TFTP, FTP, DNS, AAA, SYSLOG, NTP і EMAIL, робочі станції, різні модулі до комп'ютерів і маршрутизаторів, IP-фони, смартфони, хаби, а також хмара, що симулює WAN. Об'єднувати мережеві пристрої можна за допомогою різних типів кабелів, таких як прямі і зворотні пасивне, оптичні і коаксіальні кабелі, послідовні кабелі та телефонні пари [9].

Дана програма дуже добре підходить для симуляції топології мережі, способів підключення і дослідження трафіку і можливостей підключення.

## 2.4 Висновки до розділу 2

В даному розділі було виконано:

- 1) Планування Wi-Fi мережі в залі очікування міжнародного аеропорту, з урахуванням всіх архітектурних характеристик і щільності розміщення пасажирів по залах;
- 2) Підбір обладнання для Wi-Fi мережі в залежності від швидкості послуги для кожного пасажирів;
- 3) Визначені характеристики симуляторів Wi-Fi Planner PRO та Cisco Packet Tracer, які необхідні для моделювання мережі;
- 4) Визначення теоретичного методу моделювання швидкості передачі даних в мережі Wi-Fi.

### 3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ WI-FI МЕРЕЖІ ВИСОКОЇ ЩІЛЬНОСТІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

#### 3.1 Дослідження зони покриття точок доступу за допомогою симулятора Wi-Fi Planner Pro

Як згадувалося раніше, для симуляції зон покриття добре підходить симулятор Wi-Fi Planner Pro, тому що в ньому є можливість використовувати карту як підкладку з відповідним масштабом, вільним розміщенням ТД зі списку і демонстрацією зони покриття мережі.

Для початку роботи в програмі необхідно завантажити карту в симулятор, і вказати розмір приміщення, яке відоме (довжину, ширину і т.д.), щоб симулятор зміг підігнати план під відповідний масштаб. Також позначаються матеріали стін, скла, і зони, які потрібно покрити Wi-Fi (рис. 3.1).

Рисунок 3.1 – План поверху аеропорту в симуляторі Wi-Fi Planner Pro

Спираючись на рис. 3.1 вибираються і розміщуються в симуляторі ТД, які були обрані. Оскільки ТД мають спрямовану антену, то необхідно інструменту протягом необхідну соту, з урахуванням діаграми спрямованості антени (рис. 3.2).

Рисунок 3.2 – Розміщення і напрямок ТД на плані

Щоб уникнути плутанини в пристроях і МКІ необхідно на кожній ТД вказати умовне ім'я, місце знаходження і канал (для даного пристрою є до 13 каналів). Шляхом підбору потужність передавача ТД встановлюється до рівня «мінімальний» (рис. 3.3).

<input type="checkbox"/>	Name	Model Name	Radio Band	Channel	Power(dBm)	Location
<input type="checkbox"/>	BH	DAP-3310	2.4G On	11	Minimum (17)	Business hall
<input type="checkbox"/>	Cafe	DAP-3310	2.4G On	10	Minimum (17)	Cafe
<input type="checkbox"/>	WH-1	DAP-3310	2.4G On	8	Minimum (17)	Waiting hall
<input type="checkbox"/>	WH-2	DAP-3310	2.4G On	3	Minimum (17)	Waiting hall
<input type="checkbox"/>	WH-3	DAP-3310	2.4G On	1	Minimum (17)	Waiting hall
<input type="checkbox"/>	WH-4	DAP-3310	2.4G On	6	Minimum (17)	Waiting hall

Total 6 Access Points

Рисунок 3.3 – Список і параметри ТД на поверсі

Запустивши симуляцію мережі, з урахуванням підібраних параметрів, добиваємося необхідне покриття Wi-Fi мережі (рис. 3.4).

Рисунок 3.4 – Зони покриття мережі

Згідно з аналізом видно, що зона покриття влаштовує, тому що видно явне ділення мережі на стільники і мала ймовірність виникнення перешкод.

### 3.2 Розробка імітаційної моделі мережі в симуляторі Cisco Packet Tracer

Для симуляції моделі мережі добре підійде симулятор Cisco Packet Tracer, тому що в ньому є можливість вибору апаратури, зміна вмісту пристроїв, способи підключення та перевірка стану підключення.

Для початку роботи в програмі необхідно вибрати обладнання: роутер для підключення до інтернету, комутатори і ТД для підключення пасажирів. Для зручності і простоти в роботі моделі, ТД і пристрої пасажирів були згруповані в кластери. Результат топології мережі надано в рис. 3.5.

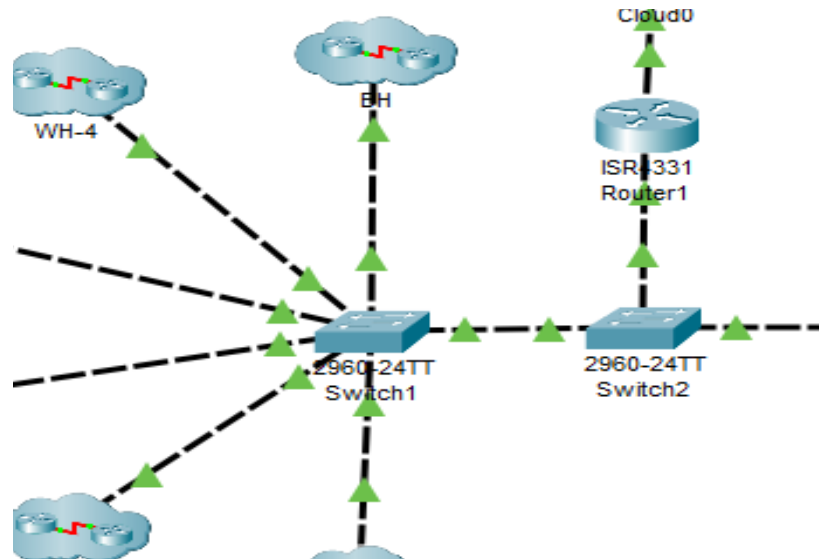


Рисунок 3.5 – Топологія мережі поверху аеропорту

Для зручності розглянемо кластер WH-1, який вміщує 1 ТД і до 56 пасажирів, які підключені по Wi-Fi мережі. Розробимо модель кластера, додавши на схему 56 пристроїв з доступом Wi-Fi і підключені до потрібної ТД (рис. 3.6).

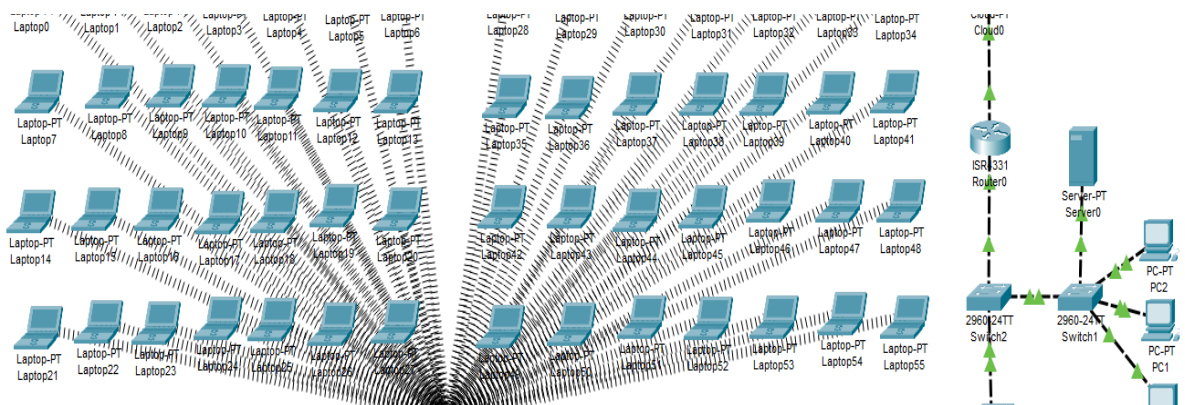


Рисунок 3.6 – Топологія мережі кластера WH-1

Далі необхідно налаштувати роутер. Для початку потрібно встановити IP-адресу, наприклад 31.24.1.1, і відповідну маску 255.255.0.0. Оскільки планується аеропорт і йому характерний високий пасажиропотік, то налаштування під статичні адреси не підходить, саме тому застосовується налаштування під призначення динамічних IP-адрес. Результат налаштування роутера вказані на рис. 3.7.

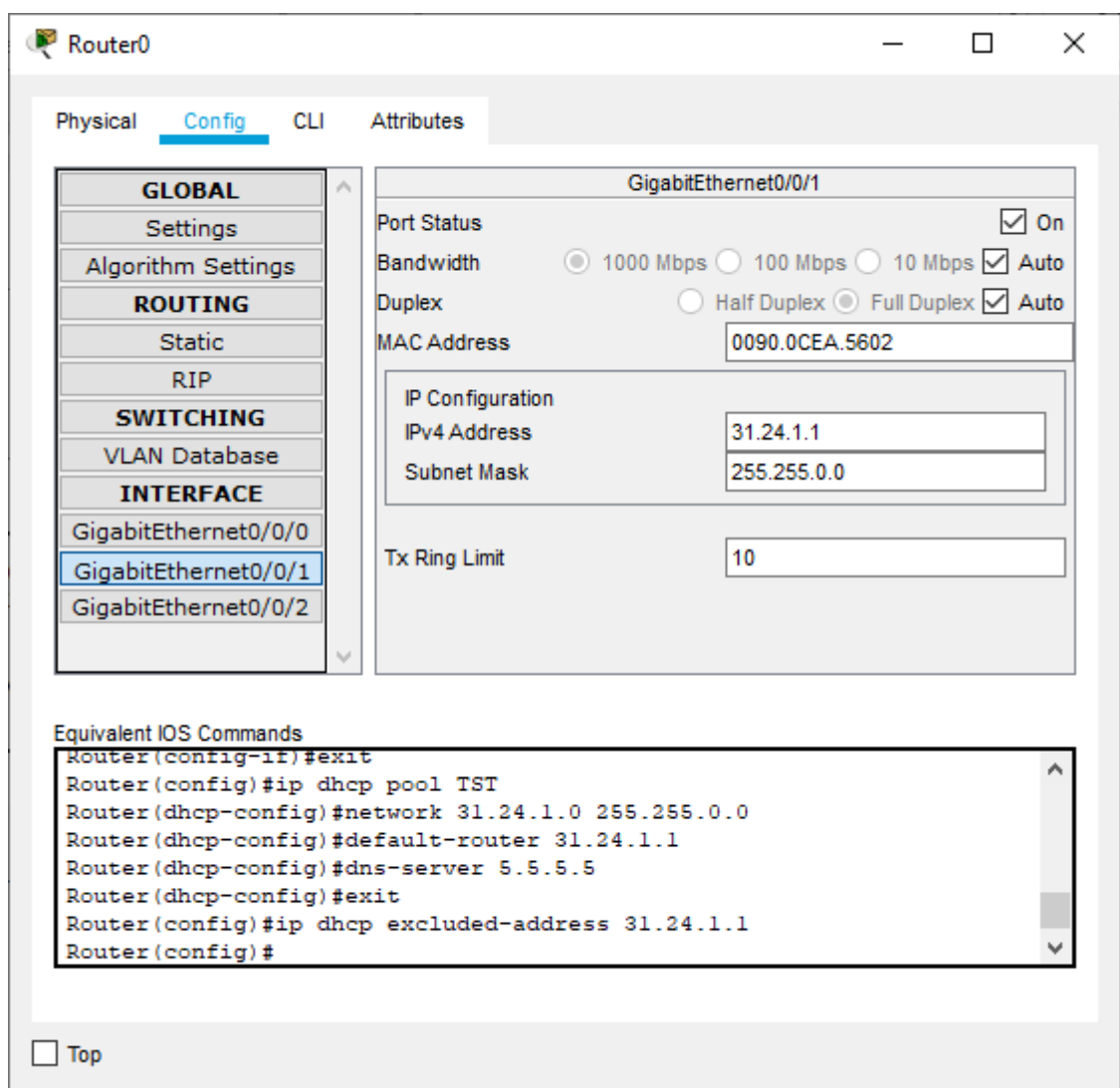
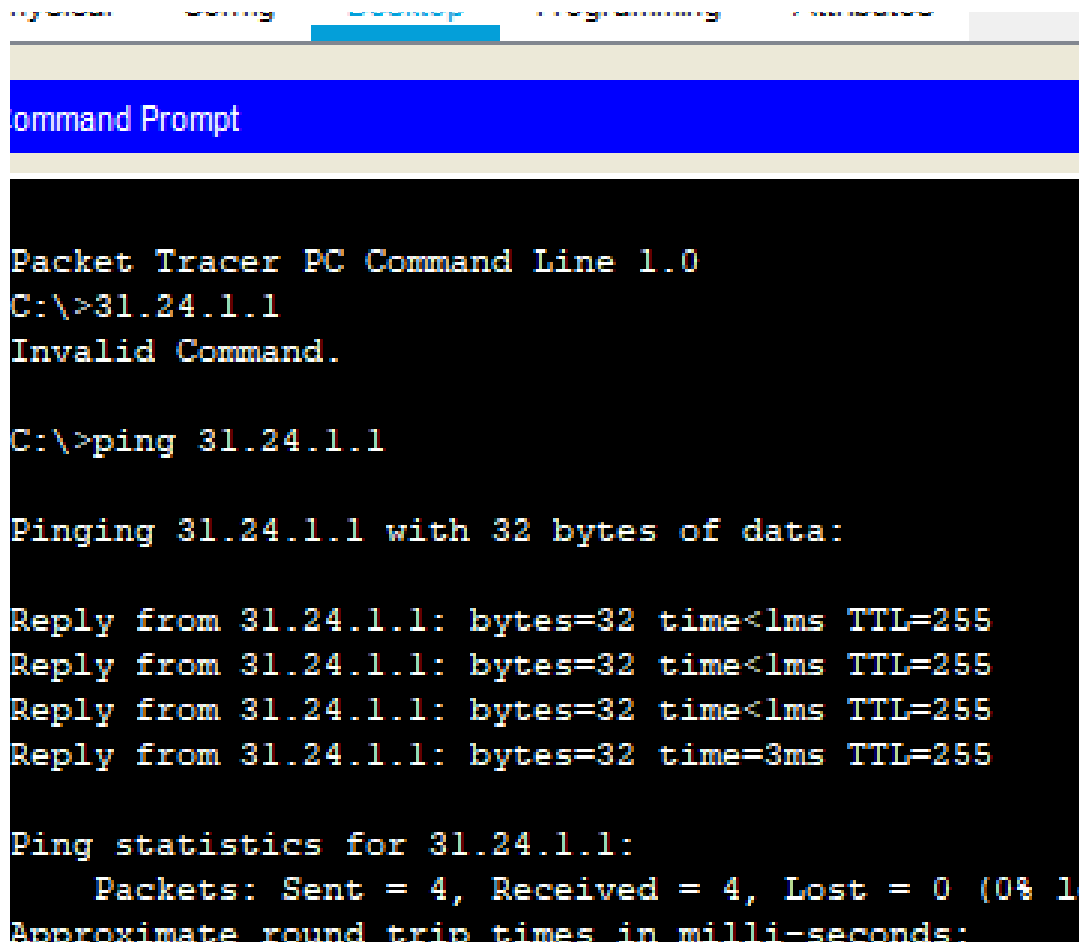


Рисунок 3.7 – Налаштування роутера

Застосувавши параметри, зазначені раніше, можна помітити, що кінцеві пристрої взяли динамічні IP-адреси, отже роутер налаштований правильно.

Необхідно перевірити з'єднання пристроїв з роутером, тому що при непрохідності пакетів буде відсутній інтернет з'єднання. Для цього з комп'ютера, який знаходиться у службовому приміщенні, в командному рядку пропишемо команду «ping 31.24.1.1», де 31.24.1.1 - IP-адреса роутера, налаштований раніше. Результат перевірки вказано на рис. 3.8.



```
Packet Tracer PC Command Line 1.0
C:\>31.24.1.1
Invalid Command.

C:\>ping 31.24.1.1

Pinging 31.24.1.1 with 32 bytes of data:

Reply from 31.24.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=255
Reply from 31.24.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=255
Reply from 31.24.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=255
Reply from 31.24.1.1: bytes=32 time=3ms TTL=255

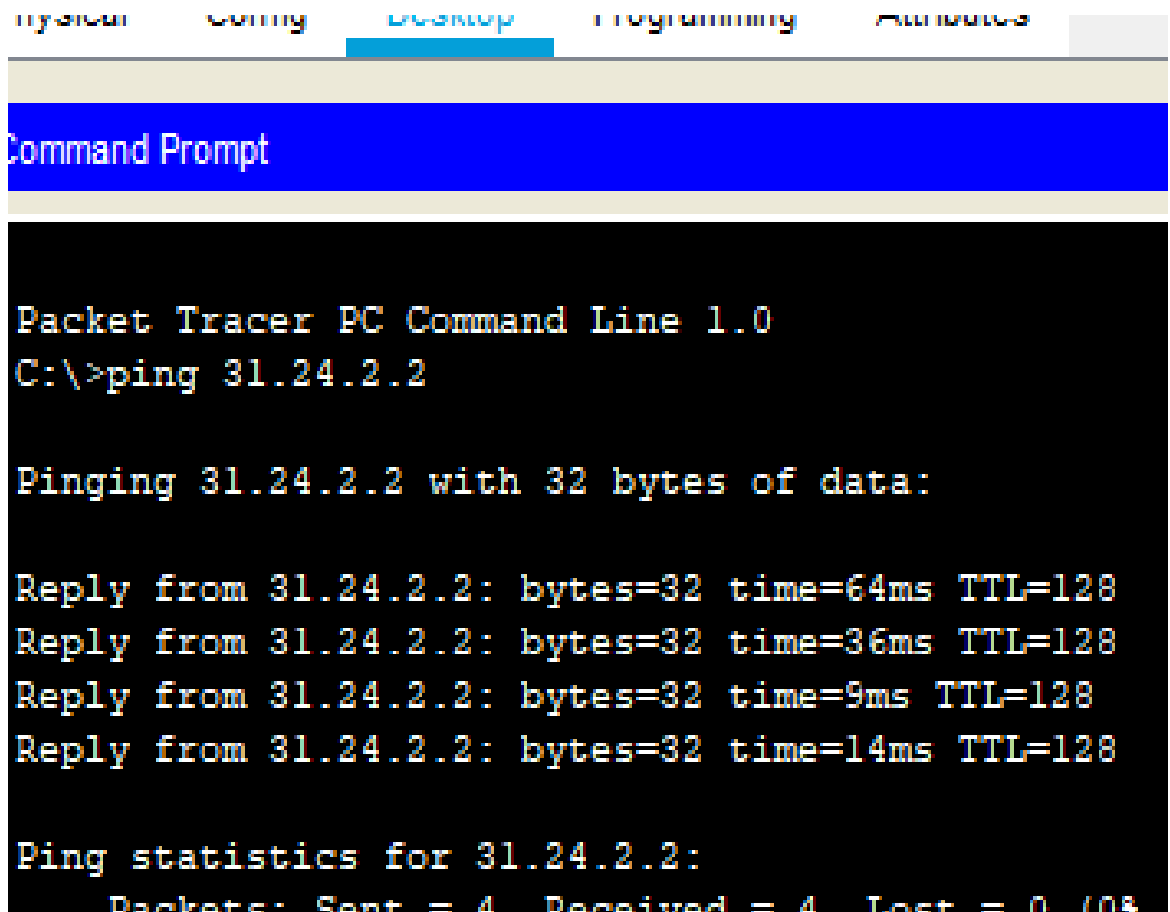
Ping statistics for 31.24.1.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
```

Рисунок 3.8 – Перевірка пінгу з роутером в консольній команді

Отримавши результат з рис. 3.8 можна зрозуміти, що сигнал проходить від роутера до комп'ютера з мінімальною затримкою, отже і інтернет буде надходити відмінно.

Оскільки для пасажирів потрібна деяка необхідна інформація (наприклад, розклад літаків) зберігається на сервері, то ще потрібно перевірити можливість

отримання інформації. Тому потрібно портативний пристрій (ноутбук) підключити до ТД та аналогічно з попередньою перевіркою, перевірити швидкість обміну даними через командний рядок, прописавши команду «ping 31.24.2.2» з сервером, тому що даний IP-адреса встановився внаслідок попередніх дій з налаштуванням роутера і VLAN. Результат перевірки вказано на рис. 3.9



```
Packet Tracer PC Command Line 1.0
C:\>ping 31.24.2.2

Pinging 31.24.2.2 with 32 bytes of data:

Reply from 31.24.2.2: bytes=32 time=64ms TTL=128
Reply from 31.24.2.2: bytes=32 time=36ms TTL=128
Reply from 31.24.2.2: bytes=32 time=9ms TTL=128
Reply from 31.24.2.2: bytes=32 time=14ms TTL=128

Ping statistics for 31.24.2.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0%)
```

Рисунок 3.9 – Перевірка пінгу з сервером в консольній команді

Отримавши результат з рис. 3.9 можна зрозуміти, що сигнал проходить до сервера з малою затримкою, а значить, що отримувати дані будуть дуже швидко.

Спираючись на результати перевірок мережі можна підвести підсумок, що дана модель добре функціонує, затримки сигналу дуже малі, пропускна

здатність дуже висока. Аналогічна ситуація буде в інших кластерах, тому що моделі будуть дуже схожі і кількість пасажирів буде однакова або менше, що ще трохи спрощує трафік мережі.

### 3.3 Прогнозування продуктивності мережі

На підставі проведеної роботи можна провести прогнозування продуктивності мережі експериментально та теоретично.

У теоретичному аналізі доступу можна прогнозувати продуктивність передачі даних в локальній мережі Wi-Fi, для цього необхідно скористатися рекомендаціями IEEE стандарту. На підставі документа, можна зробити прогнозування продуктивності мережі [10].

Формула для розрахунків, з урахуванням структурних характеристик фрейму і характеристик рівноправного доступу до середовища передачі даних, виглядає:

(3.1)

де: DIFS - захисний інтервал;

ВОТ - інтервал очікування передачі вузлами і точкою доступу, що генерується випадковим чином;

FS - розмір фрейма, кадру канального рівня;

FB - розмір поля даних кадру канального рівня;

P - ймовірність одночасного доступу вузлів до точки доступу (колізія);

N - число користувачів;

FE - визначає частину втраченої інформації фрейма.

Також, скориставшись рекомендаціями IEEE стандарту, сформулюємо табл. 3.1 з параметрами для розрахунку.

Таблиця 3.1 – Параметри для розрахунку

Параметр	$V_0$	DIFS	ВОТ	FS	FB	FE	$p$
Значення для 2,4 ГГц	$1,5 \times 10^8$ біт/с	$5 \times 10^{-6}$ с	$52 \times 10^{-6}$ с	23124 біт	23160 біт	1522 біт	0-0,3
Значення для 5 ГГц	$4,5 \times 10^8$ біт/с	$34 \times 10^{-6}$ с	$52 \times 10^{-6}$ с	23124 біт	23160 біт	1522 біт	0-0,3

Оскільки ТД працюють на частоті 2,4ГГц, тоді для розрахунку використовуємо відповідну строку з табл. 3.1, змінюючи значення  $p$ , та підставляючи значення  $n$ , відповідно з кількістю пасажирів. Результати розрахунку можна спостерігати в табл. 3.2 і рис. 3.10.

Таблиця 3.2 – Розрахунок залежності швидкості передачі даних від числа користувачів

N абон.	$V0(N)$ , біт/с	$V1(N)$ , біт/с	$V2(N)$ , біт/с	$V3(N)$ , біт/с
1	$150,2 \times 10^6$	$150,2 \times 10^6$	$150,2 \times 10^6$	$150,2 \times 10^6$
5	$118,9 \times 10^6$	$97,06 \times 10^6$	$70,2 \times 10^6$	$44,55 \times 10^6$
10	$94,35 \times 10^6$	$67,29 \times 10^6$	$42,14 \times 10^6$	$23,71 \times 10^6$
15	$78,19 \times 10^6$	$51,5 \times 10^6$	$30,11 \times 10^6$	$16,15 \times 10^6$
20	$66,75 \times 10^6$	$41,71 \times 10^6$	$23,42 \times 10^6$	$12,25 \times 10^6$
25	$58,24 \times 10^6$	$35,04 \times 10^6$	$19,16 \times 10^6$	$9,86 \times 10^6$
30	$51,65 \times 10^6$	$30,22 \times 10^6$	$16,22 \times 10^6$	$8,25 \times 10^6$
35	$46,4 \times 10^6$	$26,56 \times 10^6$	$14,05 \times 10^6$	$7,09 \times 10^6$
40	$42,12 \times 10^6$	$23,69 \times 10^6$	$12,4 \times 10^6$	$6,22 \times 10^6$
45	$38,56 \times 10^6$	$21,38 \times 10^6$	$11,1 \times 10^6$	$5,54 \times 10^6$
50	$35,56 \times 10^6$	$19,48 \times 10^6$	$10,04 \times 10^6$	$4,99 \times 10^6$
55	$32,99 \times 10^6$	$17,89 \times 10^6$	$9,16 \times 10^6$	$4,54 \times 10^6$
60	$30,76 \times 10^6$	$16,54 \times 10^6$	$8,43 \times 10^6$	$4,17 \times 10^6$

Рисунок 3.10 – Графік залежності швидкості передачі даних від числа абонентів

З отриманих результатів видно, що при збільшенні числа користувачів швидкість мережі для кожного користувача буде зменшуватися. І у разі колізії швидкість передачі стане ще менше.

Тому для забезпечення достатньої для кінцевого користувача пропускної здатності рекомендується усунути вплив в області частот використовуваного діапазону, використовувати контроль числа абонентів і проводити балансування пропускної здатності мережі.

У разі великої кількості користувачів і невисокого або пульсуючого трафіку відбуваються значні втрати пропускної здатності, викликані невдалими спробами опитування, у відповідь на які немає й передача корисної інформації.

Хоча потрібно прагнути найбільшій швидкості передачі та найменшого шансу утворення колізії, але найгірший результат з виникненням колізії складає більше 4 Мбіт/с, та це все одно більше, ніж середня швидкість користувача 3,5 Мбіт/с, отже дана мережа цілком функціональна.

Експериментальний аналіз можна виконати за допомогою симулятора, оскільки аналіз на фактичній мережі зробити не має можливості. Для цього знадобиться симулятор Cisco Packet Tracer, з можливістю навантаження мережі та визначення пропускної здатності.

За допомогою сервісу Traffic Generator на декількох пристроях запусимо навантаження на мережу, симулюючи трафік. Розглянемо, наприклад, перевірку пасажирами розклад літаків, тоді трафік піде на сервер, де зберігається інформація. Виставимо: розмір пакету – 1500 біт; TTL – 32ms; період повторення – 0,015с.

Після запуску симуляції навантаження мережі на пристрої підключимо пристрій, який також підключений до ТД, як і попередні пристрої, та спробуємо перевірити швидкість передачі даних в мережі за допомогою командного рядку. Для більшої точності результату перевіримо 100 пакетів, за допомогою команди «-n 100». Результати заміру наведені у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результат навантаження мережі

Задача випробування	Направлення трафіку	Параметри сигналу	Втрати пакетів	Середня затримка
Передача інформації потоку	Laptop0 – Server	ping; n=100; TTL=32	0%	28ms
	Laptop1 – Server	Traffic Generator; size=1500; T=0.001c		
	Laptop2 – Server			
	Laptop3 – Server			

Проаналізувавши табл. 3.3 можна зробити висновок, що при високому навантаженні Wi-Fi мережі, все одно зберігається достатньо висока швидкість передачі даних.

### 3.4 Висновки до розділу 3

В даному розділі було виконано:

- 1) Моделювання зони покриття ТД Wi-Fi мережі високої щільності з урахуванням діаграми направлення антен та потужності передавачів;
- 2) Розробка імітаційної моделі Wi-Fi мережі в симуляторі Cisco Packet Tracer;
- 3) Перевірка зв'язку між вузлами мережі;
- 4) Теоретичне дослідження залежності швидкості передачі даних від кількості користувачів та імовірності утворення колізії;
- 5) Моделювання якості передачі інформації за допомогою симулятора Cisco Packet Tracer

## ВИСНОВКИ

Продуктивність WLAN високої щільності в приміщенні багато в чому залежить від того, наскільки добре розуміються мережеві вимоги перед розгортанням мережі. Важливо мати альтернативні варіанти, засновані на мінливих факторах, і зберігати гнучкий підхід у міру появи нових вимог і проблем.

Для більшості організацій помітна стійка тенденція мереж Wi-Fi для підтримки щільного розміщення користувачів. Однак, такий підхід повинен застосовуватися з обережністю, оскільки обмеження існуючих архітектур можуть негативно вплинути на проектні рішення і зробити неможливим досягнення цільової продуктивності і ємності бездротових мереж.

Таким чином, в ході виконання кваліфікаційної магістерської роботи з розробки Wi-Fi мережі високої щільності аеропорту було зроблено:

- 1) Огляд особливостей функціонування мереж високої щільності;
- 2) Планування мережі;
- 3) Дослідження зон покриття точок доступу;
- 4) Розробка та дослідження імітаційної моделі мережі;
- 5) Дослідження впливу навантаження та колізій на пропускну здатність.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Wireless LAN Design Guide for High Density Environments in Higher Education / J. Florwick, J. Whiteaker, A. C. Amrod, J. Woodhams., 2017. – 41 с.
2. Топ 5 инструментов моделирования сетей в 2020 году [Электронный ресурс] // МЕРИОН НЕТВОРКС. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: <https://wiki.merionet.ru/seti/34/top-5-instrumentov-modelirovaniya-setej-v-2020-godu/>.
3. D-Link Wi-Fi Planner PRO. [Электронный ресурс] // D-Link Corporation. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.dlink.ru/tools/wi-fi/>.
4. Обзор ПО для планирования радиосетей. D-Link Wi-Fi Planner PRO [Электронный ресурс] // Omoled. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: <http://omoled.ru/publications/view/880>.
5. Сетевой трафик [Электронный ресурс] // Wikipedia. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Сетевой\\_трафик](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сетевой_трафик).
6. Aerohive Design & Configuration Guide: High-Density Wi-Fi / D. Akin, J. Fraher., 2012. – 113 с.
7. Точка доступа D-Link DAP-3310 [Электронный ресурс] // WiseSmart. – 2021. – Режим доступа до ресурсу: <https://wisesmart.com.ua/catalog/setevoe-oborudovanie/tochki-dostupa-wi-fi/tochka-dostupa-d-link-dap-3310/>.
8. Введение в программу Cisco Packet Tracer [Электронный ресурс] // НОУ «ИНТУИТ». – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://intuit.ru/studies/courses/3549/791/lecture/29211>
9. Cisco Packet Tracer [Электронный ресурс] // Wikipedia. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Cisco\\_Packet\\_Tracer](https://ru.wikipedia.org/wiki/Cisco_Packet_Tracer).
10. Анализ эффективности использования канала сети беспроводного доступа стандарта IEEE 802.11 по результатам наблюдений / А. С. Викулов, А. И. Парамонов. – Санкт-Петербург: СПГУТ, 2019. – 174 с.
- 11.