

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіoeлектроніки
Факультет радіoeлектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти (освітній ступінь))

на тему АНАЛІЗ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ АБОНЕНТСЬКОГО НАВАНТЕЖЕННЯ
В СТІЛЬНИКОВОМУ ЗВ'ЯЗКУ

Виконав: студент 2 курсу, групи РТ-919м
спеціальності _____

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) _____

«Інформаційні мережі зв'язку»

Садовський Олександр Сергійович

(прізвище та ініціали)

Керівник Бугрова Т.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Коноваленко Ю.А.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Інститут інформатики та радіоелектроніки, ФРЕТ
Кафедра Радіотехніка та телекомунікації
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) «Інформаційні мережі зв'язку»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТТ
Морицавка С.В.
« » грудня 20 20 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Садовському Олександр Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Аналіз перерозподілу абонентського навантаження в
стілшовому зв'язку

керівник проєкту (роботи) Бугрова Тетяна Іванівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «06» листопада 20 20 року № 315

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 11 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Належить дослідити бездротову технологію
LTE, здійснити збір інформації кількості людей під час дорожньої затори в місті
Василівка, дослідити на промодельовану модернізовану антену на базі імпорного
аналога.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Актуальність роботи та постановка завдання на її виконання.

2 Вибір технології зв'язку.

3 Проектування бездротової технології LTE.

4 Базове моделювання антенної техніки.

5 Організаційно - економічні розрахунки.

6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Презентація з висвітленням наступних питань: виникнення дорожніх затор в
місті Василівка, виникнення локальних перевантажень під час дорожніх затор,
дослідження та результати досліджень бездротової технології LTE в місті
Василівка, оцінка технічного обладнання міста, моделювання та результати
моделювання модернізованої антени.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-4	Бугрова Т.І., доцент	01.09.20	01.12.20
5	Севастьянов Р.В., доцент	1.09.20	23.11.20
6	Якімцов Ю.В., доцент	01/09/20	23.11.20
нормокон троль	Мороз Г.В., ст.викладач	01.12.20	01.12.20

7. Дата видачі завдання « 01 » вересня 20 20 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Актуальність роботи, огляд літературних джерел	01.09-09.09	
2	Аналіз та дослідження абонентського перевантаження під час дорожніх затор	10.09-15.09	
3	Способи вирішення абонентського перевантаження	16.09-21.09	
4	Вибір технології зв'язку	22.09-28.09	
5	Оцінка параметрів зони обслуговування бездротової технології LTE	29.09-5.10	
6	Розрахунок пропускної здатності LTE - мережі	6.10-11.10	
7	Розрахунок перевантаження LTE - мережі	12.10-17.10	
8	Основні типи антен стільникового зв'язку та вибір антенного обладнання для моделювання	18.10-23.10	
9	Вибір програмного пакету для моделювання	24.10-28.10	
10	Моделювання секторної антени	29.10-13.11	
11	Характеристика сучасного ринку зв'язку	14.11-16.11	
12	Розрахунок економічної частини	17.11-21.11	
13	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	22.11-28.11	
14	Оформлення пояснювальної записки	29.11-01.12	

Студент(ка)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

(підпис)

Садовський О.С.
(прізвище та ініціали)

Бугрова Т.І.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 86 сторінок, 24 рисунки, 19 таблиць, 24 джерела

Об'єктом дослідження в магістерській роботі є LTE-мережа в місті Василівка Запорізької області.

Мета роботи: провести аналіз абонентського перевантаження LTE-мережі, запропонувати методи боротьби з проблемою. Побудувати та дослідити стільникову антену LTE-мережі.

Метод дослідження: метод експериментального дослідження в програмному пакеті ANSYS HFSS, метод експериментальних досліджень в основі якого лежать математичні розрахунки, інженерні методи проектування.

Наукова новизна роботи: розробка власної секторної антени за імпортом аналогом, яка покращить якість стільникового зв'язку LTE-мережі на кордоні зон обслуговування під час абонентських перевантажень.

Результати та їх практичне значення: спроектована та досліджена LTE-мережа дає чітку причину проблеми абонентського перевантаження, запропоновані способи вирішення перевантажень. Одержані підсумки електричних характеристик побудованої антени (підсилення антени, рівень бічних пелюсток, КСХ) дозволять використання власної секторної антени.

СТІЛЬНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, БАЗОВА СТАНЦІЯ, АБОНЕНТСЬКИЙ
ПЕРЕРОЗПОДІЛ, ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ, СЕКТОРНА
АНТЕНА, АДАПТИВНА АНТЕНА, МЕРЕЖА, LTE, ПОКРИТТЯ, ЗАТОРА,
ЯКІСТЬ, ОПЕРАТОР

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1 АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ НА ЇЇ ВИКОНАННЯ.....	10
1.1 Виникнення дорожніх заторів в місті	10
1.2 Способи вирішення проблеми локального перевантаження.....	12
1.3 Опис руху потоку абонентів на дорожній частині міста	14
2 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ЗВ'ЯЗКУ	16
2.1 Розгляд бездротових технологій	16
3 ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗДРОТОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ LTE	20
3.1 Оцінка параметрів зони обслуговування мережі LTE	20
3.2 Вибір смуги частот.....	20
3.3 Розрахунок пропускної здатності мережі.....	22
3.4 Розрахунок перевантаження LTE-мережі.....	28
3.5 Оцінка технічного обладнання міста	35
4 БАЗОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ АНТЕННОЇ ТЕХНІКИ.....	37
4.1 Основні типи антен стільникового зв'язку	37
4.2 Вибір антенного обладнання	39
4.3 Моделювання секторної антени	45
5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ	55
5.1 Важливість стільникового зв'язку	55
5.2 Тенденції розвитку стільникових операторів	56
5.2.1 Огляд ринку з позиції стільникового оператора «Vodafone» в місті Василівка	60
5.3 Розрахунок капітальних вкладень	60
5.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	62
5.4.1 Фонд оплати праці	62
5.5 Розрахунок річних доходів	65

5.6 Розрахунок прибутку	67
5.7 Розрахунок періоду окупності	68
5.8 Висновки до розділу «Організаційно-економічні розрахунки».....	68
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	69
6.1 Аналіз потенційних небезпек	69
6.2 Заходи по забезпечення техніки безпеки.....	70
6.3 Заходи з виробничої санітаріїта гігієни праці.....	73
6.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	77
6.4.1 Заходи з пожежної безпеки.....	78
6.4.2 Заходи з цивільного захисту	80
ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	84

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АА	–	адаптивна антена
АР	–	антена решітка
БС	–	базова станція
ВДТ	–	візуальні дисплейні термінали
ДС	–	діаграма спрямованості
ЕОМ	–	електронно-обчислювальна машина
I.X-X.	–	індекс Херфіндаля-Хіршмана
КСХ	–	коефіцієнт стоячої хвилі
КПО	–	коефіцієнт природної освітленості
НС	–	надзвичайна ситуація
ПК	–	персональний комп'ютер
ФОП	–	фонд оплати праці
ЧНН	–	час найбільшого навантаження
CSD	–	технологія передачі даних
DL	–	лінія «вниз»
DSP	–	цифрові сигнальні процесори
FDD	–	частотний дуплекс
MCE	–	метод скінченних каналів
MIMO	–	система зв'язку з рознесеними передавальними і приймальними антенами
OFDM	–	мультиплексування з ортогональним частотним поділом сигналів
RET	–	управління кутом нахилу діаграми спрямованості
SDMA	–	просторове ущільнення каналів
SMS	–	передача текстових повідомлень
TDD	–	часовий дуплекс
UL	–	лінія «вгору»

ВСТУП

Надзвичайно високий темп розвитку телекомунікаційних систем призводить до збільшення кількості абонентів стільникової мережі. Ця мережа набула найбільшого поширення серед користувачів через свою мобільність та дешевизну. Якість обслуговування забезпечує оператор стільникового зв'язку. Основною задачею є забезпечення передачі інформації в будь-який час та з будь-якого місця країни або світу між абонентами. На якість обслуговування впливає локальне перевантаження стільникової мережі. Тому мережа повинна бути стійкою та надійною до різних видів навантаження. У зв'язку з цим, виникає потреба швидкого реагування і вирішення проблем локальних перевантажень, для запобігання перевантажень використовують спосіб прогнозу, який попереджує оператора в разі масового скупчення абонентів на окремій ділянці.

Існує кілька способів прогнозування перевантажень. Найпростіший є попередження оператора про масові заходи людей. Деякі способи прогнозування перевантажень використовують дані геолокації абонента, які постійно оновлюються, за цими даними будують можливі маршрути руху користувачів.

Сучасні технології телекомунікацій різноманітно та ефективно вирішують проблеми локальних перевантажень стільникового зв'язку. Наприклад, тимчасове встановлення пересувних базових станцій на масових заходах, або встановлення малих базових станцій на проблемних ділянках, які виникають в деякий час року, або на кордоні стільникової соти у випадках, які не потребують додаткової постійної базової станції.

У першому розділі розглядається актуальність роботи та постановка завдання на її виконання: виникнення локального перевантаження стільникової мережі під час дорожніх заторів та опис руху потоку абонентів та способи вирішення проблеми.

У другому розділі розглядаються бездротові технології передачі даних та описується обрана технологія.

У третьому розділі виконуються розрахунки пропускної здатності та перевантаження мережі вибраної бездротової технології та виконана оцінка технічного обладнання міста.

У четвертому розділі розглянуті основні типи антен стільникового зв'язку та промодельовано модернізовану антену в програмному пакеті ANSYS HFSS.

У п'ятому розділі виконуються організаційно-економічні розрахунки.

У шостому розділі розглядаються питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

1 АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ НА ЇЇ ВИКОНАННЯ

1.1 Виникнення дорожніх заторів в місті

Майже кожна людина будь-якого міста в Україні зустрічалася з такою проблемою, як дорожні затори. З кожним роком кількість машин тільки збільшується, але якість доріг не змінюється. Незручні автомобільні розв'язки та відсутність об'їзних доріг погіршують таку ситуацію. Приклад дорожнього затору в м. Василівка Запорізької області зображений на рис.1.1 а (цей знімок був зафіксований жителем цього міста на квадрокоптер) під час моніторингу на головній трасі Харків-Сімферополь та перед розв'язкою (рис.1.1 б), яка веде до багатьох міст Запорізької області. Через це місто пролягають шляхи до таких курортних міст, як Кирилівка, Генічеськ, Бердянськ, Приморськ та інші.

Ця проблема актуальна не тільки в місті, вона може зустрітись будь-де, наприклад, через погані погодні умови, ремонт доріг, аварії на дорозі.



а)



б)

а) дорожній затор при в'їзді в м. Василівка Запорізької області;

б) дорожня розв'язка в м. Василівка на географічній карті

Рисунок 1.1 – Головна розв'язка в м. Василівка Запорізької області

Абсолютно кожна людина в такому скупченні дорожнього транспорту поскаржилася б на якість надання послуг оператора, адже при доброму рівні сигналу зв'язку їм не вдається якісно зв'язатись з іншими абонентами, або вийти в мережу інтернет. Стільникова мережа розрахована на певну кількість абонентів чи навантаження. У місцях масового скупчення абонентів навантаження можуть різко зростати порівняно зі звичайною роботою. Якщо з невеликої території величезна кількість абонентів почне дзвонити або виходити в мережу інтернет, то додзвонитися не всім вдасться. Тому виникає проблема стільникового оператора та абонента, оператор втрачає свою репутацію і дохід, а абонент не отримує належну якість зв'язку.

Актуальність роботи полягає в здійсненні контролю абонентів стільникового зв'язку на дорожньому полотні, щоб уникнути перевантаження стільникової мережі. Такі заходи дозволили б надавати якісні послуги оператора своїм абонентам.

1.2 Способи вирішення проблеми локального перевантаження

Проблема вирішення перевантажень займає одно з перших місць багатьох існуючих компаній стільникового зв'язку. Багато операторів об'єднують свої зусилля, щоб спільно побудувати мережі з високою пропускнуою здатністю і з малими втратами в локальних зонах.

Першим способом є використання антени з системою RET (Remote Electrical Tilt – управлінням кутом нахилу діаграми). Завдяки RET-системі оператори можуть оптимізувати характеристики променя за допомогою більш щільного радіочастотного включення. RET-система дозволить виконати налаштування антени прямо з офісу без дорогих візитів на об'єкт та підйомів на вишку. Завдяки можливості виконати оптимізацію мережі за лічені хвилини і за будь-яких погодних умов оператор зможе забезпечити більш високу якість зв'язку [1-2].

Переваги RET системи:

- а) швидке реагування на зміну потреб в трафіку;
- б) великі можливості керування нахилом, в порівнянні з механічним нахилом;
- в) скорочення кількості помилок, що допускаються персоналом, завдяки точному механічному управлінню;
- г) скорочення необхідності в кваліфікованому персоналі або обладнанні;
- г) ідеальне рішення для ізольованих або важко доступних об'єктів.

Другим способом є алгоритм адаптивного формування променя діаграми спрямовування, з урахуванням передбачення перерозподілу абонентського навантаження [3-4]. В роботі алгоритм раннього виявлення перевантажень розглядається як ряд етапів, на яких вирішуються наступні завдання:

- а) перший етап – найбільш ранній етап передбачення перевантажень, організовується на основі виявлення і оцінки параметрів змінюваних моделей потоків, який описує переміщення абонентів на кордоні сот;

б) другий етап – оцінюється затримка до виникнення перевантаження, формування тривалості інтервалу додаткового контролю і порога спрацювання, а також можливість виведення співвідношень для розрахунку перерахованих вище параметрів на основі оцінок характеристик мобільності;

в) третій етап – прогнозування на основі аналізу зростання інформаційного навантаження соти. Зіставлення динаміки зростання числа абонентів і середнього інформаційного навантаження соти.

Третім способом є використання малих базових станцій. Малі базові станції відрізняються від стандартних в першу чергу радіусом дії – він становить 150-200 м (проти декількох км у звичайних), та можуть обслужити понад 1000 абонентів. Вони використовуються операторами в мережах 3G/LTE, для вирішення точкових проблем з покриттям та для збільшення пропускної здатності стільникової мережі в місцях з великою кількістю абонентів. Приклад реалізації зображений на рисунку 1.2.

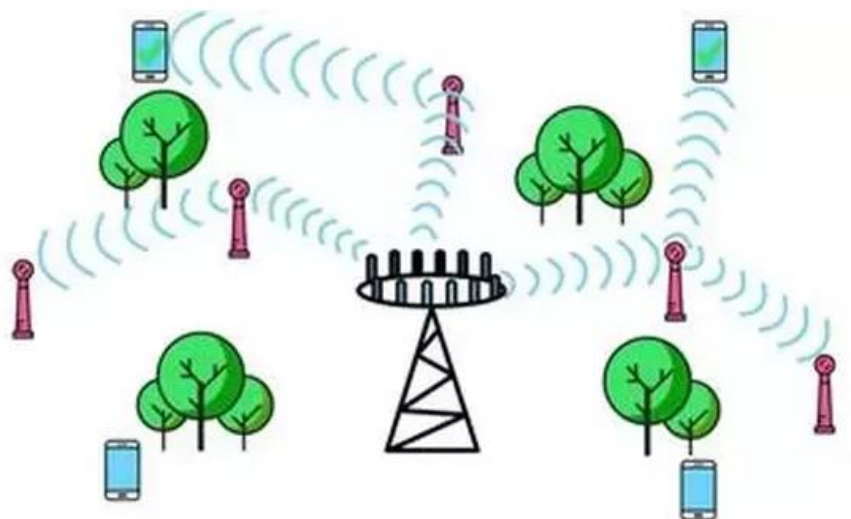


Рисунок 1.2 – Реалізація малих базових станцій

Антени малих базових станцій, які працюють в міліметровому діапазоні, мають малі габаритні розміри, що дозволяє без зусиль розміщувати станції на ліхтарних стовпах, стінах будинків і на елементах конструкції інших споруд.

1.3 Опис руху потоку абонентів на дорожній частині міста

Основою кожної мережі стільникового зв'язку є сота, в центральній частині якої знаходиться базова станція (БС). Розмір соти залежить від виду мережі, потужності БС і інших чинників. Радіус соти становить від 0,5 до 10 кілометрів. Завдяки такому розташуванню, абонент, ще не вийшовши із зони дії однієї БС, потрапляє в зону дії іншої БС [5].

Існує кілька типів базових станцій: макро, мікро, піко, нано, фемто.

Макросота – це стандартна базова станція, яку застосовують стільникові мережі. Радіус покриття цієї станції становить до 100 кілометрів, вага близько 300 кг. Такі базові станції розміщують в нежитлових приміщеннях.

Мікросота – це компактна базова станція, поширена в мережах операторів. Від стандартної станції вона відрізняється випромінюваною потужністю і кількістю підтримуваних абонентів. Радіус покриття досягає до 5 кілометрів, вага – до 50 кг. Станцію розміщують в контейнері і кріплять до стовпа.

Пікосота – це базова станція малої потужності, яка належить оператору і використовується в якості мережі. Така станція встановлюється в місцях найбільшого скупчення користувачів.

Сота, в якій знаходиться затор, є головним кандидатом на перевантаження. Для прогнозування перевантаження локальної мережі треба здійснити контроль зовнішніх кордонів соти за кількістю прибуваючих абонентів. В сусідніх шести сотах збирається інформація прибуваючих абонентів для того, щоб організувати процес обліку кількості абонентів, які пересуваються в головний сектор для атракту (рис.1.3) [4].

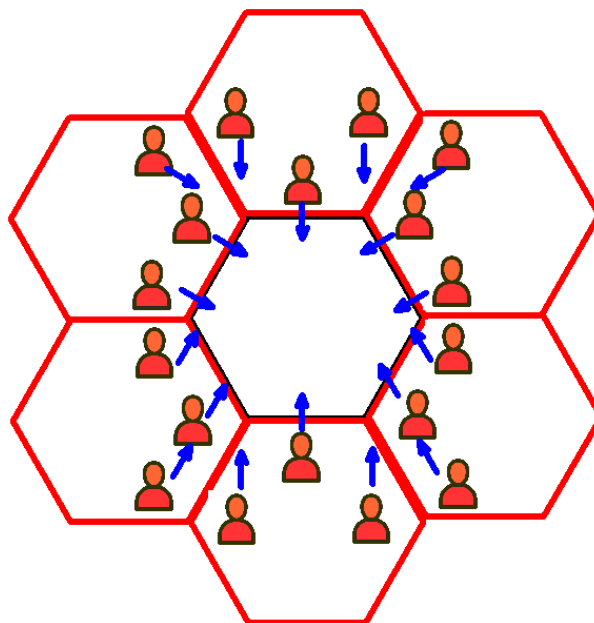


Рисунок 1.3 – Процес обліку кількості абонентів, які прагнуть в головну соту атракту

2 ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Розгляд бездротових технологій

В даний час технології бездротової передачі даних відчують прогрес. Це пов'язано з появою в нашому житті різних гаджетів, для яких необхідний постійний доступ до мережі інтернет. Ми розглянемо найбільш поширені в даний час технології, такі як Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, ZigBee, 1G, 2G, 3G (UMTS), LTE. Кожна технологія має певні характеристики, які визначають її область застосування.

1G – Перше покоління стільникових мереж почали розробляти в 70-х роках минулого століття, а реалізовували в 1984 році. Були розроблені стандарти AMPS, TACS, NMT. Для передачі інформації різних каналів в них використовувалися ділянки спектра частот, з смугами каналів в різних стандартах від 12.5 до 30 кГц. Стандарти першого покоління мали низьку ємність, що є прямим наслідком недостатньо раціонального використання виділеної смуги частот при частотному поділі каналів. Цей недолік став очевидним вже до середини 80-х років, на самому початку широкого поширення стільникового зв'язку в провідних країнах, і відразу ж значні сили були спрямовані на пошук більш досконалих технічних рішень [6].

2G – Старт розробок мережі почався в 1980 роках, реалізували в 1991 році. Його практичне використання почалося в 1993 році. Друге покоління бездротової мережі 2G вже підтримувало передачу текстових повідомлень (SMS), а також технологію передачі даних (CSD), яка дозволяла передавати дані в цифровому вигляді. Все це дозволило збільшити швидкість передачі даних до 14.4 кбіт/с, що було можна порівняти зі швидкістю стаціонарних модемів в середині 1990-х років.

Передача даних по технології CSD здійснювалася за аналогією зі звичайними модемними сполуками, тобто щоб почати передачу даних потрібно

було зробити дзвінок в умовах того, що тарифні плани в той час вимірювалися в хвилинах, такий спосіб був дорогим і дана технологія не набула поширення.

У 2007 році був розроблений сервіс GPRS. Поява сервісу GPRS дозволило переломити хід розвитку мереж стільникового зв'язку в сторону еволюції стільникового інтернету. З GPRS, абоненти могли здійснювати передачу даних тільки тоді, коли це необхідно. GPRS може працювати з більшою швидкістю – теоретично до 171.2 кбіт/с, а оператори отримали можливість тарифікувати трафік, а не час на лінії [6-7].

3G (UMTS) – це фактично удосконалена технологія GSM мережі з радіо інтерфейсом WCDMA, яку реалізували в 2001 році. Технологія дозволяє підтримувати швидкість передачі інформації до 21 Мбіт/с, реальна швидкість цього стандарту досягає 2 Мбіт/с [10].

LTE – основою стандарту є використання технології передачі інформації MIMO із застосуванням системи кодування OFDM. Принцип дії технології MIMO заснований на застосуванні прийомних і передавальних антен різного типу, причому розташування цих антен передбачає практично повну відсутність кореляційної залежності.

Сучасні мережі стандарту 4G в основному працюють на частоті 2.3-2.6 ГГц. Ще одним поширеним діапазоном є частота 2,5 ГГц – на цій частоті працює дуже багато стільникових операторів Євразії, Японії та Сполучених Штатів Америки. Є також частота 2,1 ГГц, однак великого поширення вона не отримала через вузький діапазон (5-15МГц).

Якщо ж розглядати можливість використання частот для стандарту мобільного зв'язку 4G, то можна з упевненістю заявляти про придатність діапазону частот від 1,4 до 20 ГГц [7-11].

Bluetooth – це одна з технологій передачі даних по бездротовому каналу зв'язку. Технологія розроблена в 1994 році групою компаній Ericsson, IBM, Intel, Toshiba і Nokia. Її основною метою стало забезпечення обміну інформацією між різними пристроями, на малих відстанях. При цьому Bluetooth дає можливість виконувати передачу інформації навіть через стіни і неметалеві

перешкоди. Такий принцип як, FHSS застосовується в технології Bluetooth. Він передбачає розбиття даних на пакети і передачі їх по псевдовипадковому алгоритму. Передана інформація розуміється тільки тими пристроями які налаштовані на однакові шаблони передачі, інші ж пристрої сприймають ці відомості як шум.

Wi-Fi – це стандарт бездротового зв'язку створений в 1991 році компанією NCR Corporation / ATT в Нідерландах. Wi-Fi об'єднує декілька протоколів, створений на базі стандарту IEEE 802.11. Найбільш популярним на даний момент є протокол IEEE 802.11b. Основними перевагами Wi-Fi є можливість розгортання мережі без використання кабелю, що зменшує вартість організації, або подальшого розширення мережі, надання доступу до мережі мобільних пристроїв, висока швидкість передачі даних.

ZigBee – це стандарт загального призначення по радіозв'язку малої потужності IEEE 802.15.4, що дозволяє налаштовувати поверх радіосигналу різні протоколи. Zigbee призначався для мереж з розподілених по значній площі малопотужних датчиків.

WiMAX – ця технологія створена з метою забезпечення зв'язку на великих відстанях для різних типів пристроїв. Заснована на стандарті IEEE 802.16. Стандарт IEEE 802.16 передбачає алгоритм планування. Принцип дії даного алгоритму заснований на тому, що будь-яка клієнтська станція може підключитися до точки доступу та після підключення для неї автоматично буде створений окремий слот безпосередньо на точці доступу. Головними перевагами мережі WiMAX є висока швидкість, забезпечення великої кількості абонентів зв'язку за допомогою базових станцій та висока якість передачі голосу і зображення.

WiMAX дозволяє здійснювати доступ в Інтернет на високих швидкостях, з набагато більшим покриттям, ніж у Wi-Fi-мереж. Це дозволяє використовувати технологію в якості «магістральних каналів», продовженням яких виступають традиційні DSL – і виділені лінії, а також локальні мережі. В

результаті подібний підхід дозволяє створювати масштабовані високошвидкісні мережі в рамках міст та поза ними [12].

Для більш детального аналізу було побудовано порівняльну таблицю 2.1 [6-12].

Таблиця 2.1 – Порівняльний аналіз бездротових технологій

Технологія бездротової передачі даних (стандарт)	Частотний діапазон	Пропускна здатність	Радіус дії
1G (NMT-900)	890-960 МГц 890-915 МГц	1.2 Кбіт/с	до 20км
2G (GPRS)	900, 1800МГц	171.2Кбіт/с	0.5-30 км
3G (UMTS)	1.9ГГц	2 Мбіт/с	1-1.5 км
LTE	2.3-2.6 ГГц	13.5Мбіт/с	до 3.2 км
ZigBee (IEEE 802.15.4)	2.4-2.483 ГГц	від 20 до 250 Кбіт/с	до 100 м
Wi-Fi (IEEE 802.11b)	2.4-2.483 ГГц	до 11 Мбіт/с	до 100 м
Bluetooth (IEEE 802.11)	2.4-2.483 ГГц	від 3 до 24 Мбіт/с	до 100 м
WiMAX (IEEE 802.16e)	2.3-13.6 ГГц	до 40 Мбіт/с	1-5 км

Для подальшої роботи була обрана технологія передачі інформації за стандартом LTE. Ця технологія повністю задовольняє вимоги якісного зв'язку та побудови нової мережі в місті.

3 ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗДРОТОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ LTE

3.1 Оцінка параметрів зони обслуговування мережі LTE

На даний момент відбувається розвиток світових телекомунікаційних технологій в галузі стільникового зв'язку. 4G забезпечує ще більшу швидкість передачі даних (як наслідок, підвищення якості пропонованих користувальницьких послуг) при загальному зниженні витрат в експлуатації телекомунікаційного обладнання. Однією з технологій, покликаних для вирішення нагальних завдань сучасних телекомунікацій, є LTE-технологія. Відповідно до цього, мережі стільникового зв'язку, що реалізовані на основі такої технології, називають LTE-мережами [8-11].

Розрахунок параметрів зони обслуговування LTE-мережі в м.Василівка Запорізької області включає в себе наступне:

- а) вибір смуги частот;
- б) розрахунок пропускної здатності мережі, розрахунок кількості потенційних абонентів;
- в) розрахунок кількості БС LTE-мережі.

3.2 Вибір смуги частот

Для LTE-мережі визначені 19 смуг радіочастот для режиму FDD (частотний дуплекс) і 8 смуг для режиму TDD(часовий дуплекс), які представлені в таблиці 3.1 [14].

Таблиця 3.1 – Діапазони частот для мережі радіодоступу E-UTRA

№	Діапазон частот, МГц		Вид дуплекса
	Лінія «вгору» (UL)	Лінія «вниз» (DL)	
1	1920-1980	2110-2170	FDD
2	1850-1910	1930-1990	FDD
3	1710-1785	1805-1880	FDD
4	1710-1755	2110-2155	FDD
5	824-849	869-894	FDD
6	830-840	875-885	FDD
7	2500-2570	2620-2690	FDD
8	880-915	925-960	FDD
9	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9	FDD
10	1710-1770	2110-2170	FDD
11	1427.9-1452.9	1475-1500.9	FDD
12	698-716	728-746	FDD
13	777-787	746-756	FDD
14	788-798	758-768	FDD
17	704-716	734-746	FDD
18	815-830	860-875	FDD
19	830-845	875-890	FDD
33	1900-1920		TDD
34	2010-2025		TDD
35	1850-1910		TDD
36	1930-1990		TDD
37	1910-1930		TDD
38	2570-2620		TDD
39	1880-1920		TDD
40	2300-2400		TDD

Для LTE-мережі в Україні виділені наступні частоти, які наведені у таблиці 3.2 [14].

Таблиця 3.2 – Діапазони частот LTE-мережі в Україні

№	Діапазон частот, МГц		Вид дуплекса
	Лінія «вгору» (UL)	Лінія «вниз» (DL)	
1	1920-1980	2110-2170	FDD
3	1710-1785	1805-1880	FDD
7	2500-2570	2620-2690	FDD
8	880-915	925-960	FDD
33	1900-1920		TDD
38	2570-2620		TDD

Для проектування було обрану смугу частот 2500-2690 МГц, так як сучасні оператори України починають застосовувати цю смугу. Тип дуплексу FDD.

3.3 Розрахунок пропускної здатності мережі

Пропускную здатність, мережі оцінюють, базуючись на середніх значеннях спектральної ефективності соти в певних умовах.

Спектральна ефективність системи стільникового зв'язку уявляє показник, який вираховується як відношення швидкості (в біт/с) переданих даних на 1 Гц використовуваної смуги частот (біт/с/Гц). Ця величина характеризує швидкість передачі інформації в заданій смузі частот. Спектральна ефективність має великий вплив на ефективність використання частотного ресурсу виділеної мережі.

В таблиці 3.3 представлена середня спектральна ефективність для LTE-мережі, ширина смуги дорівнює 20 МГц, для режиму FDD на підставі 3GPPRelease 9. БС – три секторна, $eNB = 3$.

Таблиця 3.3 – Середня спектральна ефективність в мережі

Лінія	Схема MIMO	Середня спектральна ефективність (біт/с/Гц)
UL	1x2	1.254
	1x4	1.829
DL	2x2	2.93
	4x2	3.43
	4x4	4.48

Для системи FDD середня пропускна здатність одного сектору розраховується за формулою:

$$R = S \cdot W, \quad (3.1)$$

де S – середня спектральна ефективність (біт/с/Гц);

W – ширина каналу (МГц); $W = 10$ МГц.

Для лінії «вниз» (DL):

$$R_{DL} = 2.93 \cdot 10 = 29.3 (\text{Мбіт/с}).$$

Для лінії «вгору» (UL):

$$R_{UL} = 1.254 \cdot 10 = 12.54 (\text{Мбіт/с}).$$

Середня пропускна здатність БС R_{eNB} розраховується за формулою:

$$R_{eNB} = R_{DL/UL} \cdot eNB. \quad (3.2)$$

Для лінії «вниз» (DL):

$$R_{eNB.DL} = 29.3 \cdot 3 = 87.9 \text{ (Мбіт/с)}.$$

Для лінії «вгору» (UL):

$$R_{eNB.UL} = 12.54 \cdot 3 = 37.62 \text{ (Мбіт/с)}.$$

Для розрахунку кількості сот, необхідно розрахувати загальну кількість каналів для LTE-мережі. Весь каналний ресурс розбивається на ресурсні блоки (РБ). Один блок складається з 12 розташованих поруч піднесучих, що займають смугу 180кГц.

Загальна кількість каналів N_k розраховується за формулою:

$$N_k = \left\lceil \frac{\Delta f_{\Sigma}}{\Delta f_k} \right\rceil, \quad (3.3)$$

де Δf_{Σ} – смуга частот з таблиці 3.2, яка виділена для роботи мережі (діапазон 2500-2690 МГц), $\Delta f_{\Sigma} = 70 \text{ МГц}$;

Δf_k – смуга частот одного радіоканалу. Під поняттям радіоканалу в LTE застосовують РБ. Як було сказано, він має ширину 180 кГц, $\Delta f_k = 180 \text{ кГц}$.

$$N_k = \frac{70000}{180} \approx 389 \text{ (каналів)}.$$

Знайдемо число каналів $N_{k.сек}$ для одного сектору однієї соти

$$N_{k.сек} = \left\lceil \frac{N_k}{(N_{кл} \cdot M_{сек})} \right\rceil, \quad (3.4)$$

де $N_{\text{кл}}$ – розмір кластеру;

$M_{\text{сек}}$ – кількість секторів eNB .

$$N_{\text{к.сек}} = \left\lfloor \frac{389}{(3 \cdot 3)} \right\rfloor \approx 44 \text{ (канала)}.$$

Знайдемо число каналу трафіка в одному секторі соти $N_{\text{кт.сек}}$ за формулою:

$$N_{\text{кт.сек}} = N_{\text{кт1}} \cdot N_{\text{к.сек}}, \quad (3.5)$$

де $N_{\text{кт1}}$ – число каналів трафіку в одному радіоканалі, визначається стандартом радіо доступу (для OFDMA $N_{\text{кт1}} = 1 \dots 3$), для LTE-мережі виберемо $N_{\text{кт1}} = 1$.

$$N_{\text{кт.сек}} = 1 \cdot 44 \approx 44 \text{ (канала)}.$$

Відповідно до моделі Ерланга (рис. 3.1), знайдемо допустиме навантаження на одному секторі $A_{\text{сек}}$ за ймовірність блокування 1% і числом трафіку на сектор. За графіком знаходимо, що $A_{\text{сек}} = 52$ Ерл.

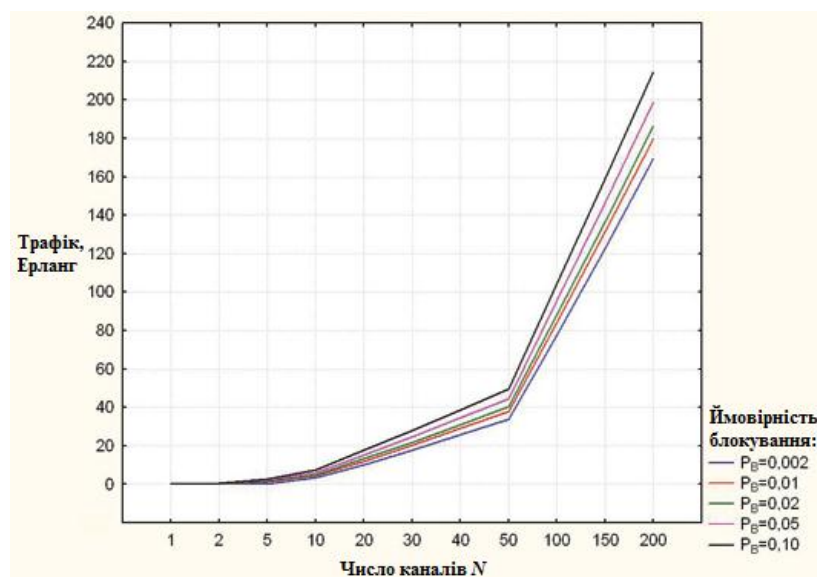


Рисунок 3.1 – Графік допустимого навантаження за моделлю Ерланга

Знайдемо кількість обслуговуваних абонентів на одному секторі

$$N_{аб.еNB} = M_{сек} \cdot \left\lceil \frac{A_{сек}}{A_1} \right\rceil, \quad (3.6)$$

де A_1 – середнє абонентське навантаження від одного абонента. Значення A_1 може бути (0.04...0.2) Ерл. Для нашого випадку обираємо $A_1 = 0.2$ Ерл, для побудови високошвидкісного обміну інформації.

$$N_{аб.еNB} = 3 \cdot \left\lceil \frac{52}{0.2} \right\rceil \approx 780 \text{ (аб)}.$$

Знайдемо кількість БС за формулою:

$$N_{еNB} = \left\lceil \frac{N_{аб}}{N_{аб.еNB}} \right\rceil + 1, \quad (3.7)$$

де $N_{аб}$ – кількість абонентів.

Кількість потенціальних абонентів одного оператора визначимо як 40% населення від його загальної кількості у м. Василівка. В м. Василівка за останніми даними 2019 року мешкає 13543 жителів. Таким чином, кількість потенційних абонентів буде 5418 людей.

$$N_{еNB} = \left\lceil \frac{5418}{780} \right\rceil + 1 \approx 8 \text{ (еNB)}.$$

Середня пропускна здатність R_N визначається наступним чином:

$$R_N = (R_{еNB.DL} + R_{еNB.UL}) \cdot N_{еNB}, \quad (3.8)$$

$$R_N = (87.9 + 37.62) \cdot 8 = 1004.16 \text{ (Мбіт/с)}.$$

Знайдемо середній трафік одного абонента в ЧНН:

$$R_{\text{т.чнн}} = \frac{T_{\text{т}} \cdot q}{N_{\text{чнн}} \cdot N_{\text{д}}}, \quad (3.9)$$

де $T_{\text{т}}$ – середній трафік одного абонента на місяць. За статистикою операторів, кожен абонент в середньому витрачає 15Гбайт/міс, $T_{\text{т}} = 15\text{Гбайт/міс}$;

q – коефіцієнт для міської місцевості, $q = 2$;

$N_{\text{чнн}}$ – число ЧЧН на добу, $N_{\text{чнн}} = 7$;

$N_{\text{д}}$ – кількість днів в місяці, $N_{\text{д}} = 31$.

$$R_{\text{т.чнн}} = \frac{15 \cdot 2}{7 \cdot 31} = 0.138 \text{ (Мбіт/с)}.$$

Визначимо загальний трафік мережі в ЧНН:

$$R_{\text{заг/чнн}} = R_{\text{т.чнн}} \cdot N_{\text{акт,аб}}, \quad (3.10)$$

де $N_{\text{акт,аб}}$ – кількість абонентів в мережі; Задамо кількість активних абонентів в мережі як 85% від загальної кількості потенційних абонентів $N_{\text{аб}}$, тобто $N_{\text{акт,аб}} = 4606$ абонентів.

$$R_{\text{заг/чнн}} = 0.138 \cdot 4606 = 635.49 \text{ (Мбіт/с)}.$$

Таким чином $R_N > R_{\text{заг/чнн}}$. По розрахункам проєктована мережа не буде перевантажена в ЧНН.

3.4 Розрахунок перевантаження LTE-мережі

Дослідимо випадки перевантаження стільникової мережі в час заторів на головній розв'язці міста.

Визначимо радіус покриття БС:

$$R_{BS} = \frac{S_M}{N_{eNB}}, \quad (3.11)$$

де S_M – площа м.Василівка. $S_M = 10.23$ (км).

$$R_{BS} = \frac{10.23}{8} = 1.28 \text{ (км)}.$$

Проаналізуємо максимальне навантаження на БС під час затору. Визначимо максимальну кількість автомобілів покриття однієї БС.

$$N_{\text{авт}} = \frac{R_{BS}}{L_{\text{авт}}}, \quad (3.12)$$

де $L_{\text{авт}}$ – сума середньої довжини автомобіля і відстані між ними $L_{\text{авт}} = 4$ м.

$$N_{\text{авт}} = \left(\frac{1280}{4} \right) \cdot 2 = 640 \text{ (авт)}.$$

Задамо, що в кожному автомобілі по 4 абоненти:

$$N_{\text{аб.авт}} = N_{\text{авт}} \cdot 4, \quad (3.13)$$

$$N_{\text{аб.авт}} = 640 \cdot 4 = 2560 \text{ (аб)}.$$

Визначимо кількість потенційних абонентів одного оператора, які знаходяться в заторі як 40% від їх загальної кількості.

$$N_{\text{аб.зат}} = N_{\text{аб.авт}} \cdot 40\% = 1016 \text{ (аб.)}.$$

Задамо кількість активних абонентів в мережі як 85% від загальної кількості потенційних абонентів $N_{\text{аб.зат}}$, тобто:

$$N_{\text{акт,аб.зат}} = N_{\text{аб.зат}} \cdot 85\% = 863 \text{ (аб.)}.$$

По всьому місту розташовано 8 БС. Визначимо середнє значення активних абонентів в мережі на одну БС міста.

$$N_{\text{акт,аб}BS} = \frac{N_{\text{акт,аб}}}{N_{eNB}}, \quad (3.14)$$

$$N_{\text{акт,аб}BS} = \frac{4606}{8} = 576 \text{ (аб.)}.$$

Знайдемо загальну кількість активних в мережі абонентів на завантажену соту:

$$N_{\text{заг.зат}} = N_{\text{акт,аб}BS} + N_{\text{акт,аб.зат}}, \quad (3.15)$$

$$N_{\text{заг.зат}} = 576 + 863 = 1439 \text{ (аб.)}.$$

Така мережа не витримає максимального навантаження. Одна БС розрахована на 780 абонентів. Мережа перевантажена в 1.84 рази.

Розрахуємо реальні показники.

Перед початком літнього свята Дня незалежності України проведено збір інформації затору. Майже кожного року перед цим святом в м. Василівка

створюються величезні затори, які ми проаналізуємо. З 6:00 по 14:00 з інтервалом в одну годину було перераховано кількість автомобілів. Маршрут був обраний з головної розв'язки міста до супермаркету АТБ (рис. 3.2).

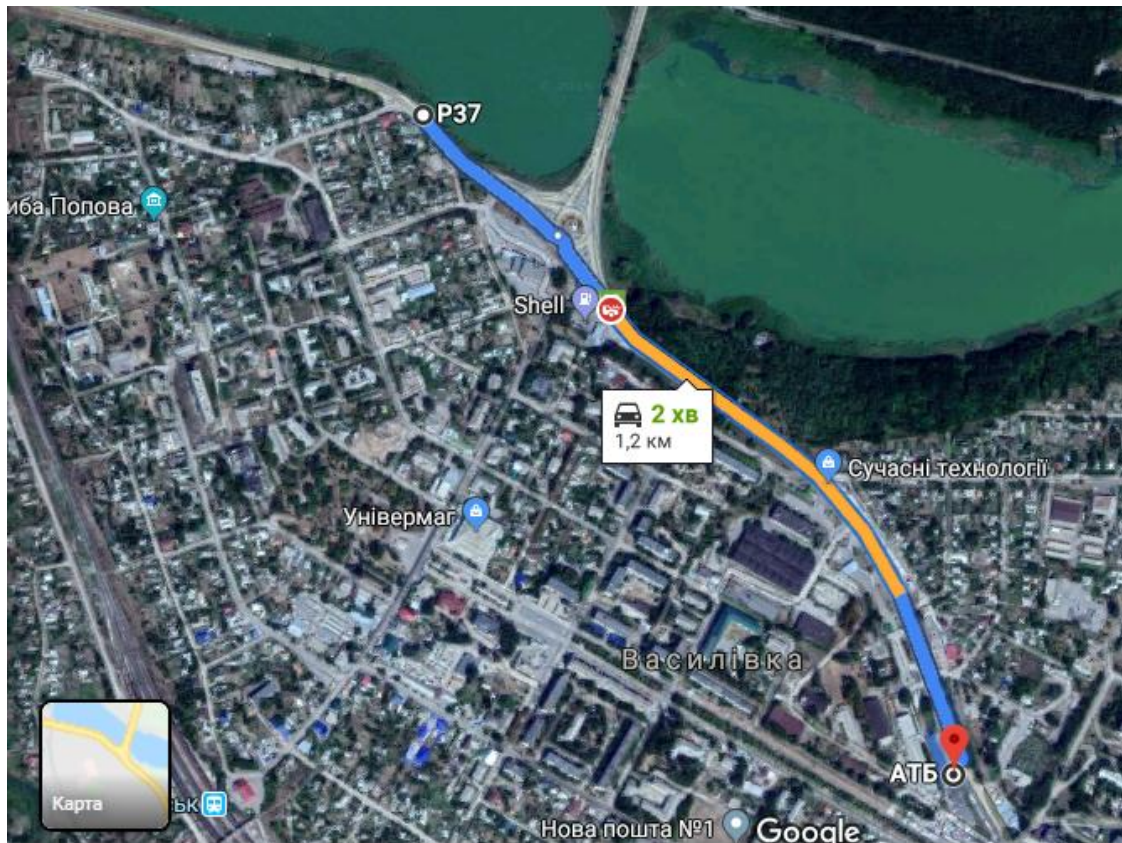


Рисунок 3.2 – Маршрут збору інформації

Занесемо до таблиці 3.4 дані, які було зафіксовано.

Таблиця 3.4 – Підрахунки кількості людей

Час	Кількість автомобілів в заторі	Загальна кількість абонентів	Кількість потенц. абонентів	Кількість активних абонентів в мережі	Кількість активних абонентів в місті	Загальна кількість активних абонентів
6:00	430	1720	688	585	576	1264
7:00	400	1600	640	544		1216

Продовження таблиці 3.4

Час	Кількість автомобілів в заторі	Загальна кількість абонентів	Кількість потенц. абонентів	Кількість активних абонентів в мережі	Кількість активних абонентів в місті	Загальна кількість активних абонентів
8:00	350	1400	560	476	576	1136
9:00	255	1020	408	347		984
10:00	154	616	247	210		823
11:00	100	400	160	136		736
12:00	98	392	157	134		733
13:00	113	452	181	154		757
14:00	56	224	90	77		666

Розрахунки з таблиці 3.4.

Розрахунок загальної кількості абонентів в заторі. Визначається як 4 абоненти на один автомобіль:

$$N_{\text{аб.авт}6} = 430 \cdot 4 = 1720 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{аб.авт}7} = 400 \cdot 4 = 1600 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{аб.авт}8} = 350 \cdot 4 = 1400 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{аб.авт}9} = 255 \cdot 4 = 1020 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{аб.авт}10} = 154 \cdot 4 = 616 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{аб.авт}11} = 100 \cdot 4 = 400 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{аб.авт}}12 = 98 \cdot 4 = 392 (\text{аб});$$

$$N_{\text{аб.авт}}13 = 113 \cdot 4 = 452(\text{аб});$$

$$N_{\text{аб.авт}}14 = 56 \cdot 4 = 224 (\text{аб}).$$

Розрахунок кількості потенціальних абонентів в заторі. Визначається як 40% від загальної кількості абонентів:

$$N_{\text{аб.зат}}6 = 1720 \cdot 40\% = 688(\text{аб});$$

$$N_{\text{аб.зат}}7 = 1600 \cdot 40\% = 640 (\text{аб});$$

$$N_{\text{аб.зат}}8 = 1400 \cdot 40\% = 560 (\text{аб});$$

$$N_{\text{аб.зат}}9 = 1020 \cdot 40\% = 408 (\text{аб});$$

$$N_{\text{аб.зат}}10 = 616 \cdot 40\% = 247(\text{аб});$$

$$N_{\text{аб.зат}}11 = 400 \cdot 40\% = 160 (\text{аб});$$

$$N_{\text{аб.зат}}12 = 392 \cdot 40\% = 157(\text{аб});$$

$$N_{\text{аб.зат}}13 = 452 \cdot 40\% = 181(\text{аб});$$

$$N_{\text{аб.зат}}14 = 224 \cdot 40\% = 90 (\text{аб}).$$

Розрахунок кількості активних абонентів в мережі визначається як 85% від кількості потенціальних абонентів в заторі:

$$N_{\text{акт,аб.зат}6} = 688 \cdot 85\% = 585 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{акт,аб.зат}7} = 640 \cdot 85\% = 544 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{акт,аб.зат}8} = 560 \cdot 85\% = 476 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{акт,аб.зат}9} = 408 \cdot 85\% = 347 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{акт,аб.зат}10} = 247 \cdot 85\% = 210 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{акт,аб.зат}11} = 160 \cdot 85\% = 136 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{акт,аб.зат}12} = 157 \cdot 85\% = 134 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{акт,аб.зат}13} = 181 \cdot 85\% = 154 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{акт,аб.зат}14} = 90 \cdot 85\% = 77 \text{ (аб)}.$$

Розрахунок загальної кількості активних абонентів під час затору:

$$N_{\text{заг.зат}6} = 585 + 576 = 1264 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{заг.зат}7} = 544 + 576 = 1216 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{заг.зат}8} = 476 + 576 = 1136 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{заг.зат}} 9 = 347 + 576 = 984 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{заг.зат}} 10 = 210 + 576 = 823 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{заг.зат}} 11 = 136 + 576 = 736 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{заг.зат}} 12 = 134 + 576 = 733 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{заг.зат}} 13 = 154 + 576 = 757 \text{ (аб)};$$

$$N_{\text{заг.зат}} 14 = 77 + 576 = 666 \text{ (аб)}.$$

За даними таблиці 3.4 було побудовано графік залежності (рис.3.3).

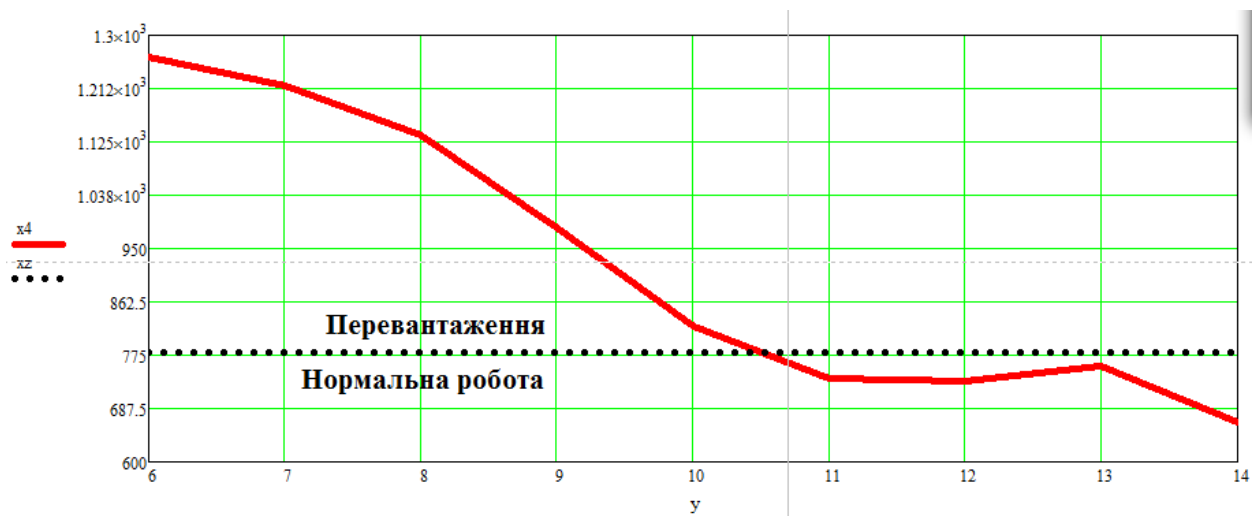


Рисунок 3.3 – Графік залежності потоку активних абонентів під час затору

З рисунку 3.3 ми бачимо перевантаження БС до 10:40, потім БС працює в нормальному режимі. З початку ранку до 10:40 абоненти відчують труднощі в мережі, відбуваються затримки та відмови у зв'язку, хоча абоненти мають відмінний сигнал від БС.

З розглянутих способів вирішення перевантаження, найкращим є встановлення малих базових станцій вздовж дорожнього полотна.

Встановлення повноцінної БС економічно не вигідно, тому що такий потік абонентів має місце тільки в курортний час, а в останні дні року мережа працює майже в нормальному режимі.

3.5 Оцінка технічного обладнання міста

За розрахунками пропускної здатності мережі, для якісної роботи LTE в місті повинні бути встановлені вісім базових станцій. На рисунку 3.4 зображена кількість базових станцій в місті стільникового оператора «Vodafone».

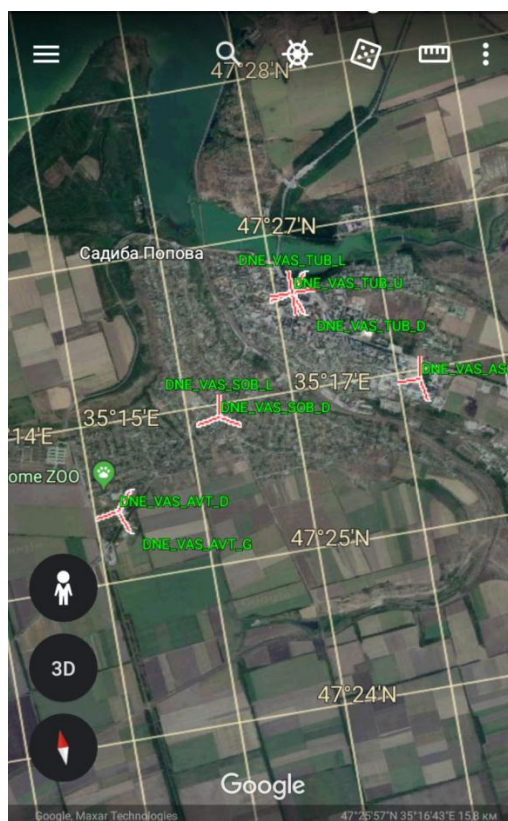


Рисунок 3.4 – Карта покриття стільникового оператора «Vodafone»

Офіційну інформацію покриття надав анонімний працівник компанії «Vodafone».

Як житель цього міста, можу зазначити, що якість обслуговування стільникового оператора «Vodafone» не досить на високому рівні.

Найвіддаленіші куточки міста найбільш потерпають. Для вирішення цієї проблеми необхідно встановити достатню кількість базових станцій, але це економічно не вигідно для такої кількості жителів.

Для вирішення точкових проблем покриття, будемо розглядати застосування малих базових станцій. Це дозволить збільшити пропускну здатність мережі та витратити менші кошти на її розширення.

4 БАЗОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ АНТЕННОЇ ТЕХНІКИ

4.1 Основні типи антен стільникового зв'язку

Анени відіграють дуже важливе значення у стільниковому зв'язку. Відмінною особливістю є здатність вільного переміщення абонента по всій території роботи мережі. Це виявляється можливим завдяки спеціальному обладнанню, до яких входять антени для LTE, UMTS, GSM, WiMAX і інші типи антен [13]. У системах стільникової мережі, як правило, використовують антени базові та абонентські (рис. 4.1).

Анени стільникового зв'язку працюють в двох режимах, тобто в режимі прийому і передачі сигналу.



Рисунок 4.1 – Класифікація антен бездротових систем радіозв'язку

Устаткування базових станцій стандартів стільникового зв'язку LTE, AMPS, DAMPS, CDMA, GSM, WiMAX має одну спільну рису – антенний тракт в більшості випадків будується на антенах панельного типу. Це пов'язано в основному з тим, що частотно-територіальний розподіл засновано на суворому розбитті по секторах обслуговуваних територій навколо базової станції. Тоді

певні групи каналів діють на обраних секторах і обслуговуються своєю секторною антеною. Але іноді за допомогою панельних антен будують і антенні решітки. Особливо в разі їх розміщення на радіопрозорих опорах, де застосування штирьових антен з круговою діаграмою спрямованості (ДС) неможливо. За конструктивним виконанням це плоскі квадрати або прямокутники, у яких всередині розташований хвилевід з фольгованого текстоліту, або з металевих листів. Такий вид антени може забезпечити досить високий коефіцієнт підсилення, до 20 дБ. Максимальна потужність, що підводиться становить від 350 до 1000 Вт, однак в більшості випадків при проектуванні мереж така потужність не потрібна.

На рисунку 4.2 зображена панельна антена базової станції, яка розташована як правило під кутом 120° по відношенню до їх кронштейну в центрі, але ще існують панельні антени для підсилення стільникового зв'язку по типу AP-800 / 2500-7 / 9 ID, які відрізняються тільки габаритними розмірами.

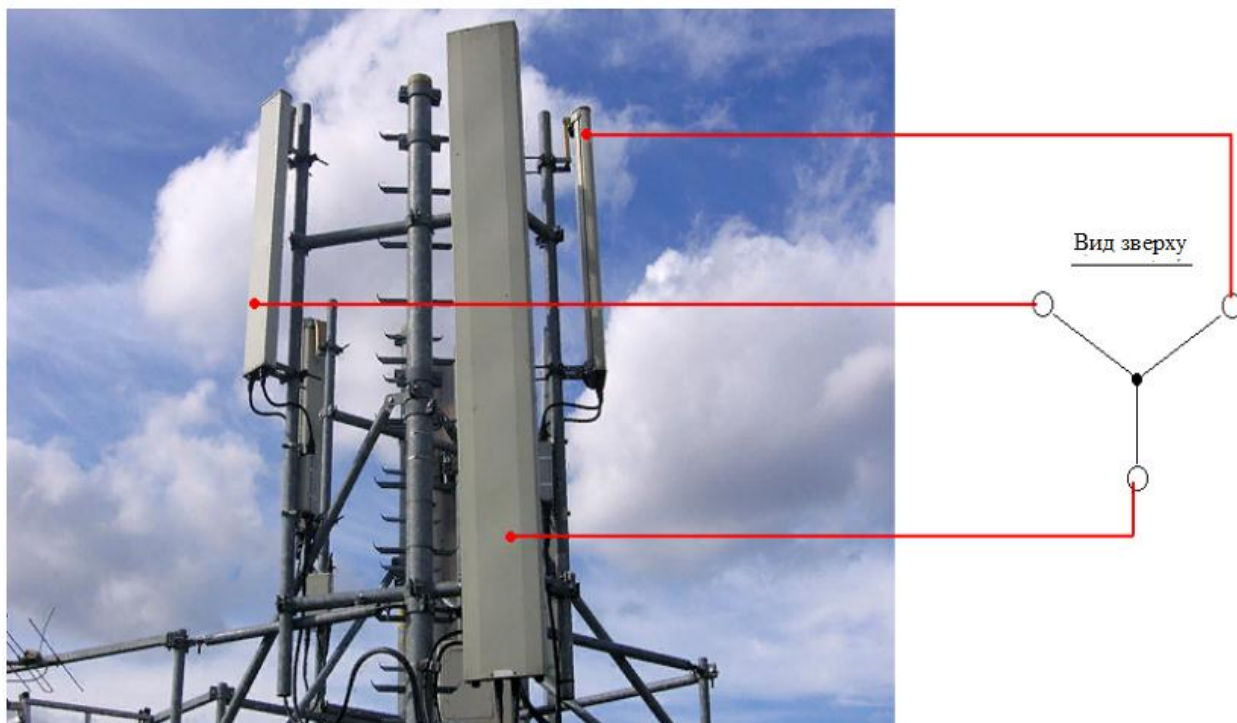


Рисунок 4.2 – Панельна антена базової станції

Серед усіх типів антен для базової станції найбільш поширені секторні антени. Найчастіше саме з таких антен сигнал надходить на стільникові телефони абонентів.

4.2 Вибір антенного обладнання

В даний час в усьому світі ведуться активні роботи зі створення інтелектуальних антен (Smart-antennas) для мереж стільникового зв'язку. Необхідність подібних робіт обумовлена високою щільністю розташування абонентів, збільшенням трафіку, нерівномірністю розподілу абонентів і трафіку протягом дня, тижня або в зв'язку з проведенням будь-яких масових заходів [13].

Крім того, на операторів стільникових мереж впливають обмеженість частотного ресурсу і висока концентрація різних мереж.

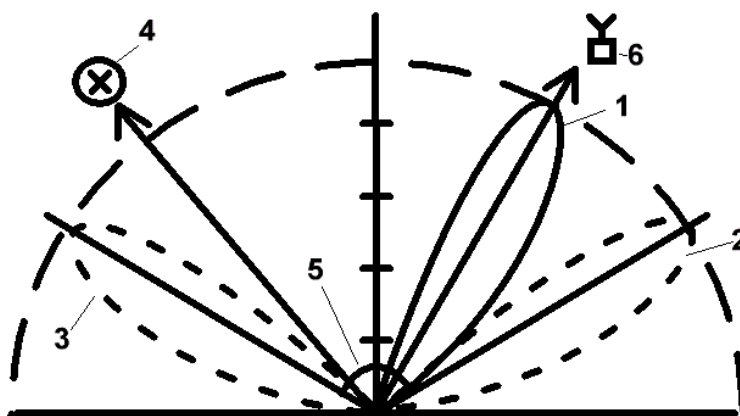
Адаптивними антенами (АА), або інтелектуальними антенами (Smart Antennas), називають антени з електронним управлінням ДС. Найчастіше АА за структурою є адаптивною антеною решіткою (АР), що складається з дискретних елементів (слабо спрямованих вібраторів), кожен з яких здійснює випромінювання/прийом електромагнітних хвиль когерентно по відношенню до інших елементів. ДС формується в результаті інтерференції хвиль, випромінюваних елементами. Технологія SDMA (просторове ущільнення каналів) із застосуванням багатопроменевих антен керованої ДС дозволяє або заощадити, або оптимізувати розподіл частотних і матеріальних ресурсів, одночасно поліпшивши якість обслуговування абонентів.

В останні роки через зниження ціни на цифрові сигнальні процесори (DSP – Digital Signal Processor), а також на програмовані сигнальні процесори стало можливим використання на практиці адаптивних антенних систем. Слід ще раз підкреслити, що АА необхідні, так як число користувачів швидко зростає. Адаптивні антени – це об'єднання антенної решітки і DSP для формування оптимальної діаграми спрямованості в просторі. Це дозволяє

системі міняти напрямок випромінювання, адаптуючись до умов передачі сигналу, що призводить до істотного поліпшення характеристик радіозв'язку.

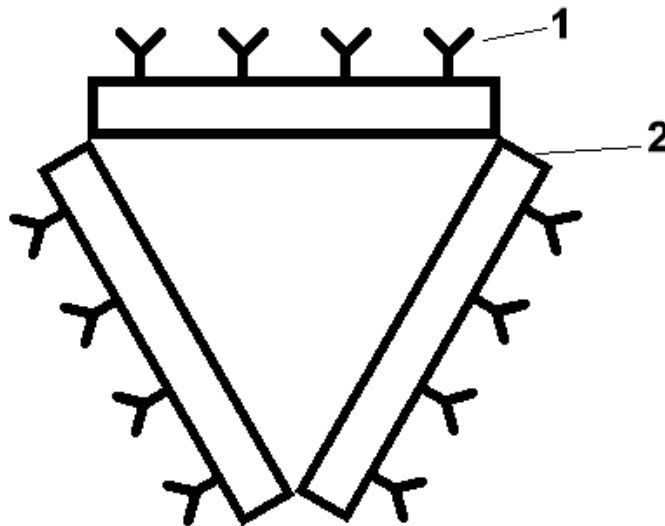
Використовуючи новітні алгоритми, реалізовані в сигнальних процесорах, адаптивні антенні системи дозволяють ефективно знаходити і відслідковувати сигнали від призначеного для користувача термінала з мінімальною інтерференцією і максимальним рівнем сигналу. Адаптивна антена для сектора в 120° містить, як правило, від 4 до 8 елементів, входи і виходи яких об'єднані в діаграмоутворюючу схему з фазообертачами і атенюаторами для адаптивного управління.

Якщо звичайна антена з шириною променя 120° з двома елементами дає 15 дБ, то адаптивна антена з 8 елементами має максимальне підсилення 24 дБ. Діаграма спрямованості такої скануючої антени зображена на рисунку 4.3. Основні елементи, що утворюють антену, показані на рисунку 4.4. Антена має 12 рядів випромінювачів, в кожному з яких по 8 елементів. Кожен ряд являє собою решітку друкованих диполів. Центральні 8 рядів – з активними елементами, решта 4 ряди – з пасивними. Вузький промінь з високим підсиленням утворений за рахунок підсумовування сигналів з усіх рядів. Розмір антени для частоти 3,5 ГГц становить $0,7 \times 0,6$ м.



1 – адаптивний сформований промінь; 2,3 – крайні положення променя в секторі покриття; 4 – сигнал завади; 5 – сектор сканування 120° ; 6 – абонент

Рисунок 4.3 – ДС з сектором сканування 120°



1 – діаграмоутворююча схема; 2 – скануюча панель

Рисунок 4.4 – Будова антени, що складається з трьох скануючих панелей

Основні переваги та недоліки АА зазначені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні переваги та недоліки АА

Переваги АА	Недоліки АА
а) збільшення відношення сигнал / шум; б) формування нулів ДС в напрямку перешкод; в) формування декількох променів або сканування променем в секторі; г) висока надійність за рахунок надлишкових елементів і використання низьких напруг в активних елементах АР;	а) висока вартість; б) висока залежність характеристик від параметрів зовнішнього середовища; в) необхідність додаткового захисту від зовнішнього середовища.

Продовження таблиці 4.1

Переваги АА	Недоліки АА
г) зменшення масогабаритних характеристик твердотільних приймально-передавальних модулів елементів АР; д) зменшення втрат в радіотракті; е) збільшення смуги частот і ширини сектора.	

Слід зазначити, що в БС фірми «Alcatel» використовують 2- і 4-елементні антени з діаграмоутворюючими схемами і алгоритмами, що збільшують пропускну здатність каналів на 40% і зменшують вплив завад на 80%. Додаткове поліпшення якості зв'язку обладнання «Alcatel» дає система MIMO (Multiple Input – Multiple Output). Ця технологія використовується спільно і доповнює можливості АА.

MIMO – це система просторово-часового кодування, яка створює вигравш за рахунок поділу потоку даних через дві або більше антени за різними просторовими шляхами, які автоматично перемикаються на кращий напрямок (за більш високим рівнем сигналу), або працюють одночасно [11,15]. Цей спосіб просторового поділу, а потім об'єднання є досить ефективний для придушення завад. Однак, керівництво великих телекомунікаційних фірм не вважає очевидними переваги використання системи MIMO в БС в найближчі роки. Теоретично пропускну здатність в MIMO системах подвоюється, але на практиці подвоєння очевидно не буде, і це залежить від того, яку смугу частот буде використовувати провайдер.

Розглянемо варіанти MIMO, які можуть бути використані для передачі даних одному користувачеві. Перший варіант використання однієї передавальної і однієї приймальної антени зображений на рисунку 4.5. Така система отримала назву SISO(Single Input Single Output).

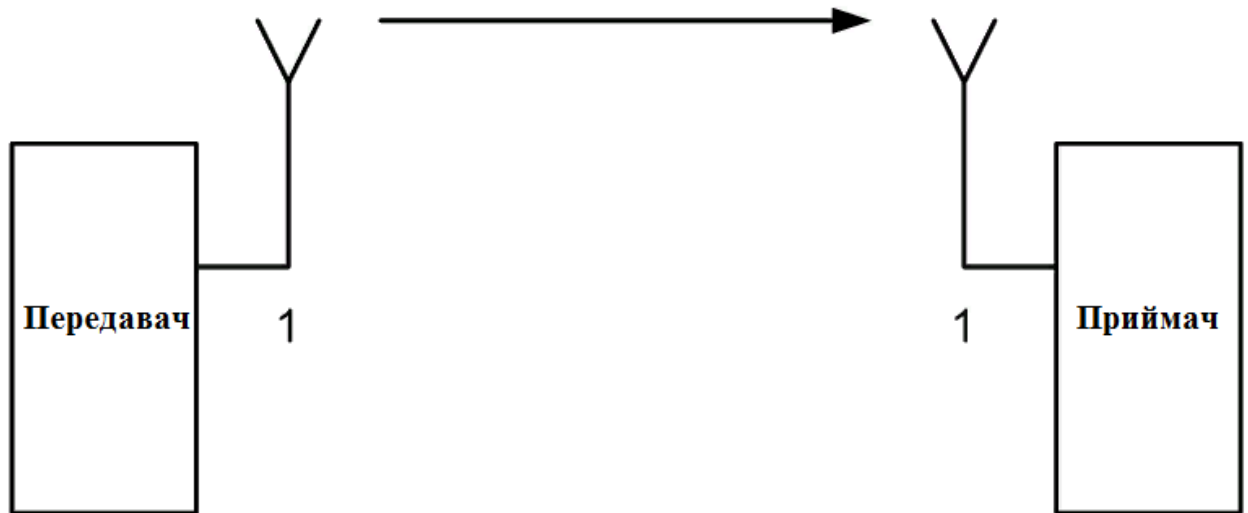


Рисунок 4.5 – Система SISO

Пропускную здатність системи можна розрахувати, за формулою Шеннона:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right), \quad (4.1)$$

де C – пропускна здатність каналу;

B – ширина каналу;

S/N – співвідношення сигнал / шум.

Рознесена передача (Tx Diversity) – це використання більшої кількості антен на передавачі, ніж на приймачі. Така система отримала назву MISO (Multiple Input Single Output). Один із випадків такої системи, коли передавальних антен дві, а приймальна – одна (MISO 2x1). Приклад системи зображено на рисунку 4.6.

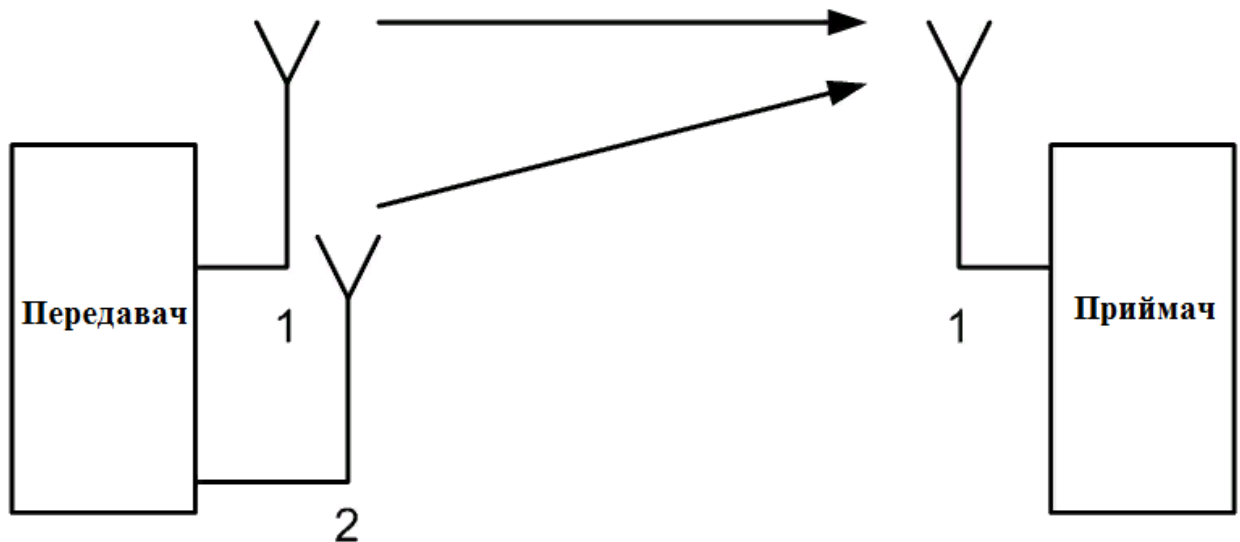


Рисунок 4.6 – Система MISO 2x1

Просторове ущільнення (Spatial Multiplexing) – це використання декількох антен на передавачі і декількох антен на приймачі. Для покращення швидкості передачі даних системи MIMO передавальний потік даних розбивають на декілька потоків, кожен з яких незалежно передається окремою антеною, де m – кількість антен передавача, n – кількість антен приймача (рис. 4.7).

Кількість незалежних одночасних потоків передачі даних залежить від кількості використовуваних антен.

Для обчислення максимальної пропускної здатності в разі використання MIMO застосовується наступна формула:

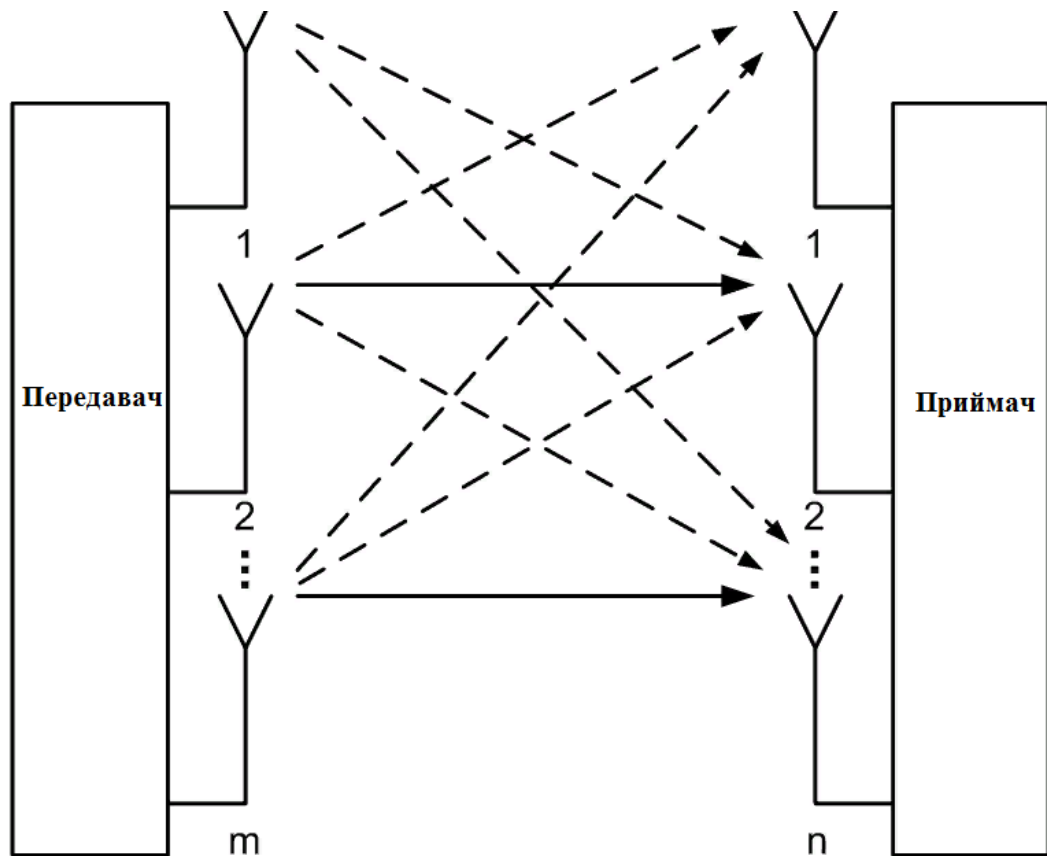
$$C = MB \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right), \quad (4.2)$$

де C – пропускна здатність каналу;

M – кількість незалежних потоків даних;

B – ширина каналу;

S/N – співвідношення сигнал / шум.



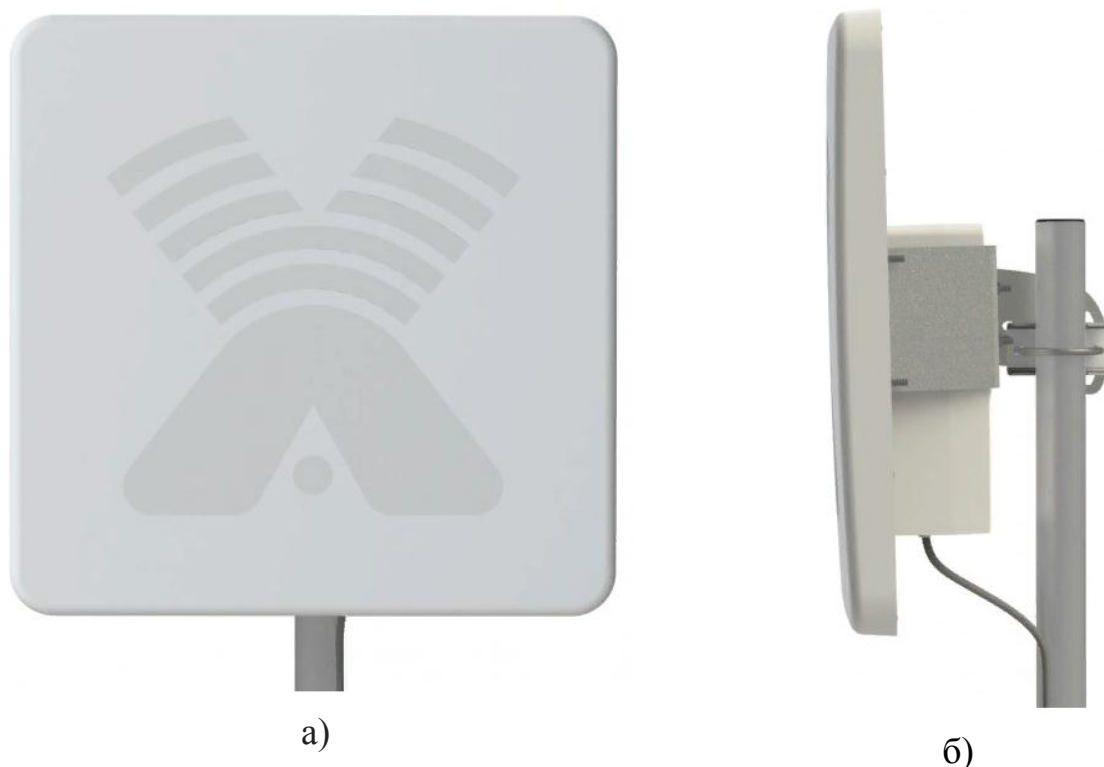
m – кількість антен передавача; n – кількість антен приймача

Рисунок 4.7 – Система MIMO

4.3 Моделювання секторної антени

Базова станція – системний комплекс приймально-передавальної апаратури, який здійснює обслуговування кінцевих груп абонентів. В цей комплекс входять базові антени, одну з яких ми розглядаємо в цій роботі.

AGATA MIMO 2x2 – широкосмугова секторна панельна антена, яку можна використовувати для малої базової станції з підтримкою технології MIMO (рис. 4.8) [19].



а) фронтальний вид; б) вид збоку

Рисунок 4.8 – Загальний вигляд панельної антени AGATA MIMO 2x2

Панельна антена AGATA MIMO 2x2 BOX з герметичним боксом для USB 3G / 4G модему є готовим рішенням для підсилення сигналу 2G / 3G / LTE, WiMAX з робочим діапазоном частот 1700-2700 МГц. Тип антени – синфазна решітка. Вона рекомендована для використання на кордонах зон обслуговування, при слабкому і нестійкому рівні сигналу. Завдяки застосуванню USB-подовжувача з кабелю типу FTP CAT5 стало можливим виключити втрати сигналу на ділянці антена-модем. Дане рішення дозволяє отримати вииграш в підсиленні сигналу до 6 дБ (при порівнянні з кабелем РК50-3-18 10 метрів), що може бути вирішальним фактором у поліпшенні зв'язку.

Переваги:

- а) низькі втрати в тракті від антени до модему;
- б) антена зручна при установці на фасадах будівель;
- в) кріплення антени дозволяє змінювати кут нахилу антени;
- г) активні випромінювачі антени укріті в пластиковий корпус;

- г) герметичний бокс забезпечує захист модему від вологи по класу IP65;
- д) пластик корпусу антени захищений від впливу ультрафіолету і має збільшений термін служби.

Механічні та електричні характеристики панельної антени AGATA MIMO 2x2 зазначені в таблицях 4.2 та 4.3.

Таблиця 4.2 – Механічні характеристики

Маса з кріпленням, г	2865
Кріплення, мм	щогла діаметром 20 – 52
Габаритні розміри без кріплення, м	0.21x0.41x0.06
Матеріал захисної коробки	полікарбонат
Матеріал антени	оцинкована сталь
Захисне покриття	порошкова полімерна фарба

Таблиця 4.3 – Електричні характеристики

Робочий діапазон частот, МГц	1700-2700
Підсилення антени (LTE), dBi	15
Рівень бічних пелюсток, dB	-12
Вхідний опір, Ом	50
КСХ	1.5
Ізоляція між портами, дБ	30
Допустима потужність, Вт	50
Поляризація	вертикальна / горизонтальна

Для проектування антени був обраний програмний пакет ANSYS HFSS є галузевим стандартом програмного забезпечення для чисельного електродинамічного моделювання [16-18]. Базовим методом в HFSS є метод скінченних елементів (MCE) в тривимірній постановці, реалізований в

частотній області для розрахунку поведінки електромагнітних полів на довільній геометрії із заданим властивостями матеріалів.

ANSYS HFSS дає можливість:

- а) обчислити матричні параметри НВЧ структури (S, Y, Z – матриці);
- б) розрахувати коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ);
- в) отримати параметри випромінювання і розсіювання (діаграми спрямованості, коефіцієнти спрямованої дії, що реалізує підсилення антен);
- г) відобразити в 3D розподіл струмів, векторів щільності потоку потужності, розподілів електромагнітних полів (в ближніх і дальніх зонах).

ANSYS HFSS має цілий набір чисельних методів в частотній та в часовій областях, в яких використовують поверхневі та об'ємні сітки. Для прискорення обчислень можливе застосування технологій HPC.

Так як інформація розмірів антени AGATA MIMO 2x2 конфіденційна, ми встановили власні розміри та побудували модернізовану версію, яку ми проаналізуємо в програмному пакеті. Вигляд антени зображений на рисунку 4.9.

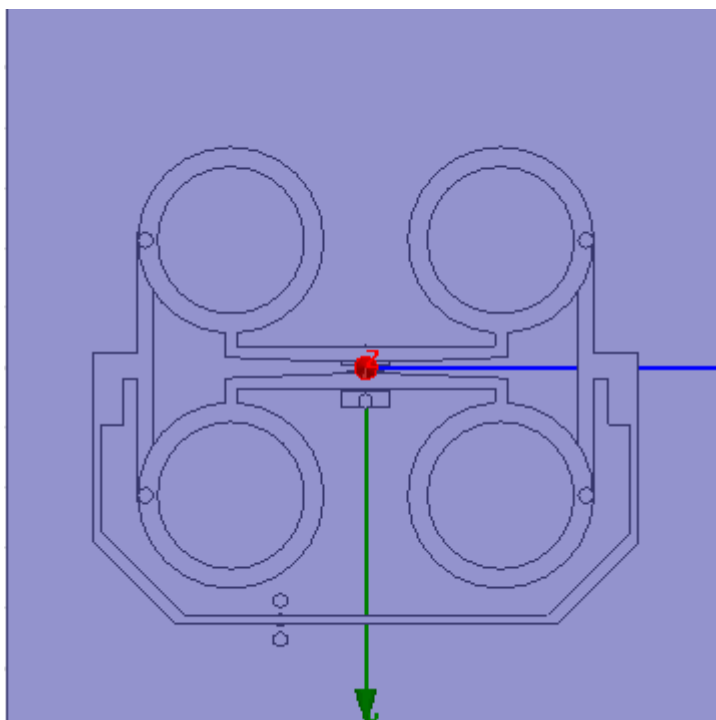


Рисунок 4.9 – Модернізована панельна антена AGATA MIMO 2x2

Матеріал та розміри побудованої антени зазначені в таблицях 4.4 та 4.5.

Таблиця 4.4 – Матеріал побудованої антени

Рефлектор	алюміній
Вібратор	нержавіюча сталь
Кріплення вібратора	нержавіюча сталь
Покриття захисної коробки	пластик

Таблиця 4.5 – Геометричні розміри компонентів

Рефлектор, мм	240x240
Вібратор №1, мм	d=60
Вібратор №2, мм	d=50
Висота вібратора №1, мм	h=30
Висота вібратора №2, мм	h=15
Висота конструкції на рефлекторі, мм	h=6
Рознесення вібраторів, мм	90

Наявність всередині двох випромінюючих систем з ортогональною поляризацією дозволяють працювати антені в режимі MIMO 2x2. Активні вібратори антени та їх кріплення захищені в пластиковому корпусі від опадів та ультрафіолетового випромінювання. Виходи антени мають коротке замикання постійного струму між внутрішніми та зовнішніми провідниками, що знижує ймовірність накопичення статичного струму. Антена малогабаритна та легка, що дозволить її закріпити вертикально під будь-яким кутом нахилу.

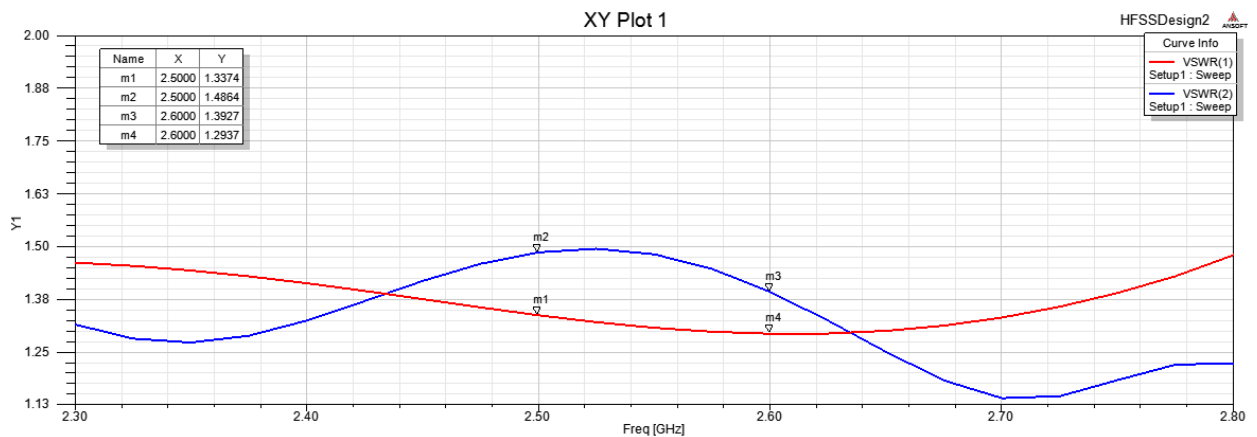


Рисунок 4.11 – Частотна залежність КСХ антени

На заданій частоті $КСХ_{m1} = 1.33$, $КСХ_{m4} = 1.29$. Ці значення є допустимими, а в загальному робочому діапазоні частот значення КСХ не перевищує рівень $КСХ = 1.5$.

Бажано, щоб значення КСХ в лінії передачі було близьким до одиниці.

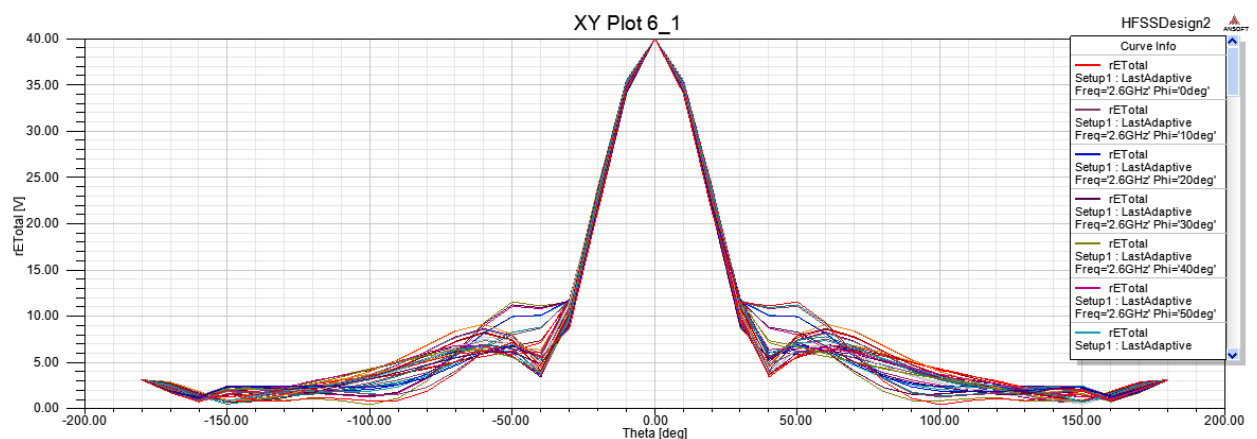


Рисунок 4.12 – Діаграма спрямованості антени в перерізі

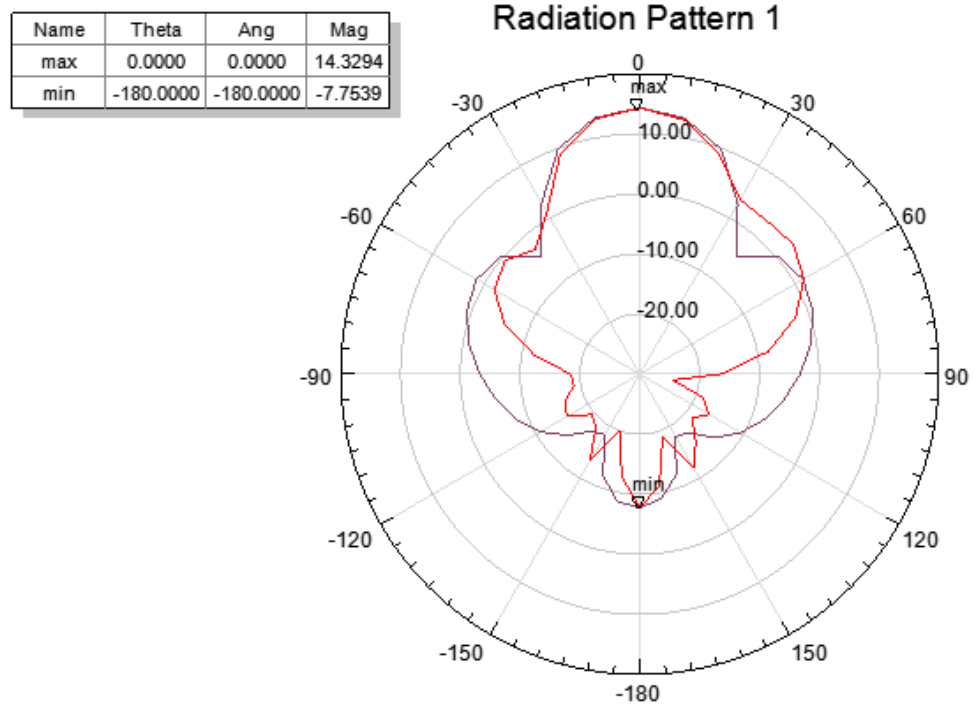


Рисунок 4.13 – Діаграма спрямованості антени в полярній системі координат

З рис.4.13 на заданій частоті 2600 МГц впливає загальний коефіцієнт підсилення антени, який дорівнює 14.32 dBi.

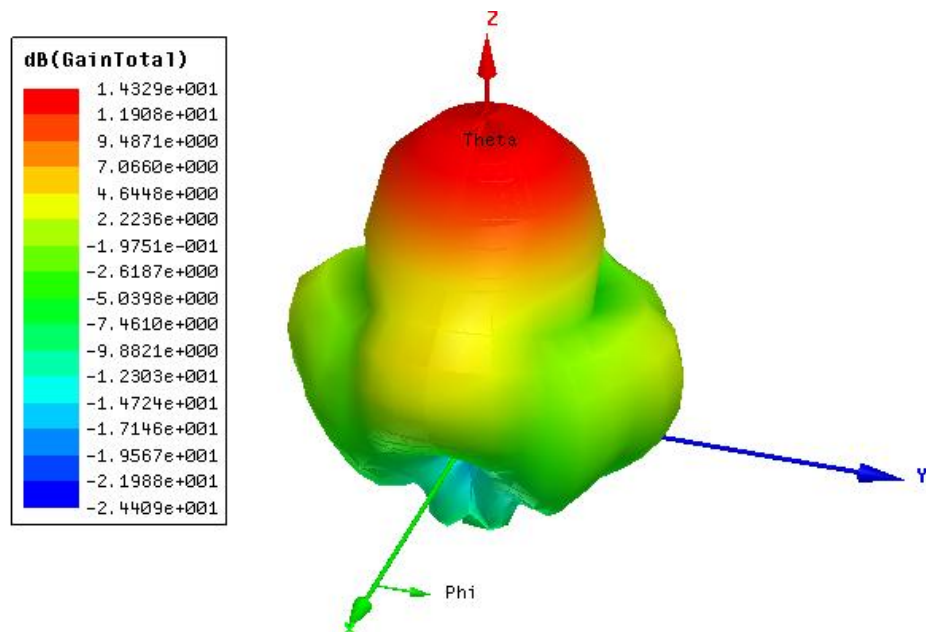


Рисунок 4.14 – Об'ємний вигляд діаграми спрямованості антени

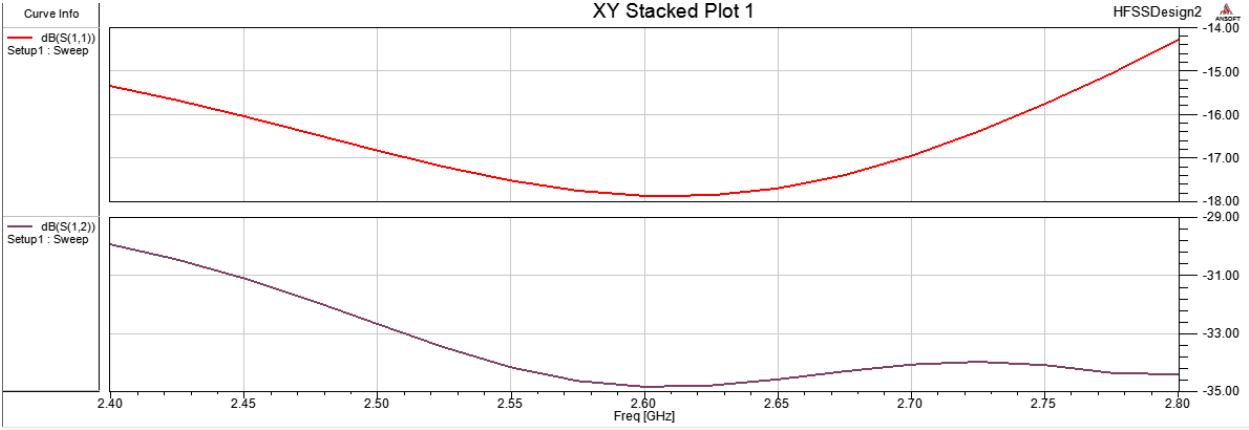


Рисунок 4.15 – Частотна залежність модуля коефіцієнта відбиття

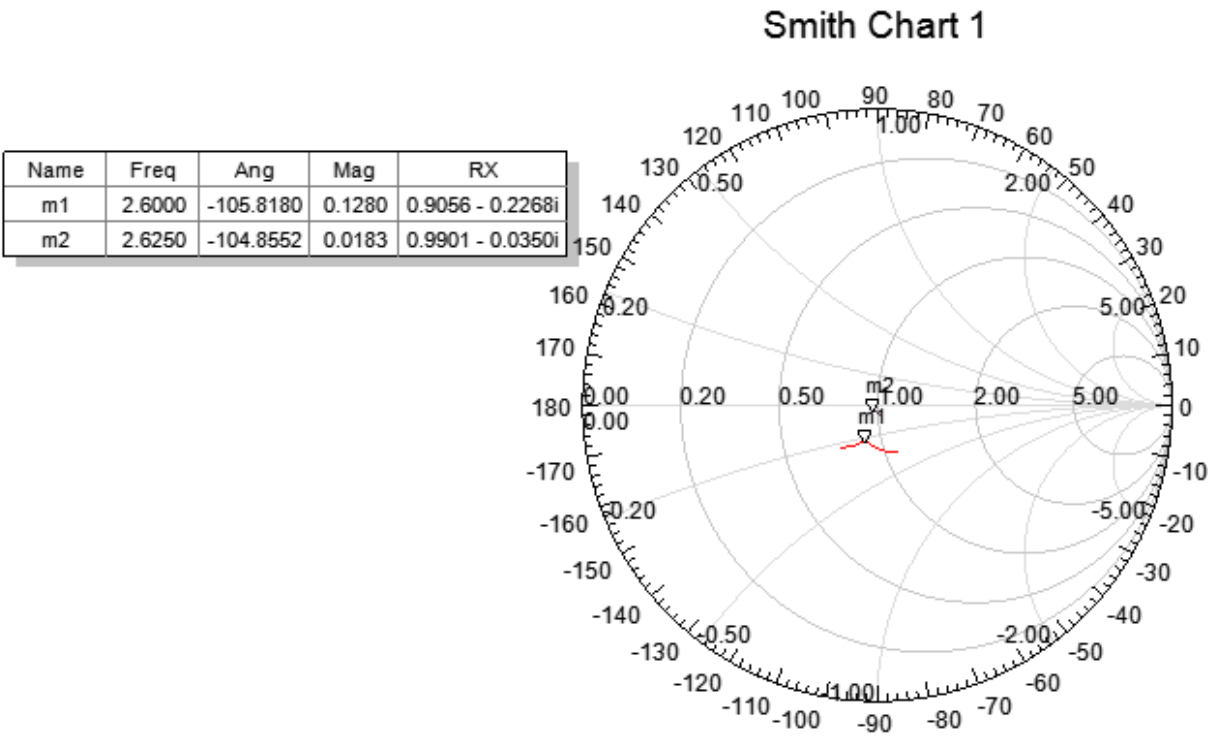


Рисунок 4.16 – Годограф вхідного опору антени на номограмі Вольперта-Сміта

Результати моделювання зазначені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Електричні характеристики побудованої антени

Робочий діапазон частот, МГц	2400-2800
Підсилення антени (LTE), dBi	14.32
Рівень бічних пелюсток, dB	не перевищує -12

Продовження таблиці 4.6

Вхідний опір, Ом	50
КСХ (LTE)	1.29
Ізоляція між портами, дБ	30
Допустима потужність, Вт	50
Поляризація	вертикальна / горизонтальна

Результати дослідження є допустимими та задовольняють використання побудованої антени на практиці.

5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

5.1 Важливість стільникового зв'язку

Серед сьогоденішніх телекомунікаційних засобів досить бурхливий темп розвитку здобув стільниковий зв'язок. На сьогоднішній день наше покоління дуже часто користується мобільними пристроями, буквально не уявляючи життя без них. За допомогою цього малогабаритного та компактного приладу завжди є можливість зв'язатись з будь-якою людиною, натиснувши всього декілька разів на пристрій. При цьому не треба запам'ятовувати всі номери абонентів, адже записна книжка завжди під рукою. Сьогодні стільниковий телефон перестав бути тільки засобом зв'язку: він перетворився на багатофункціональний гаджет, за допомогою якого з'явилася можливість відстежувати та контролювати банківські рахунки, застосовувати мобільний пристрій, як платіжну карту, можливість спілкуватись по відеозв'язку та отримувати будь-яку інформацію.

Розвиток стандартів бездротових мереж дав можливість використання швидкісного інтернету будь-де. Це сприяло розвитку соціальних мереж та створення інтернет-хмарин (віртуальна пам'ять приладу). Сучасний світ важко уявити без цих речей, які в минулому столітті вважалися фантастикою.

Стільниковий зв'язок сприяв розвитку не тільки в мобільних гаджетах для спілкування, але ще й інших сферах. В минулому сторіччі люди відстоювали величезні черги для отримання зарплатні, а сьогодні достатньо підійти до банкомату та вставити картку. Поява розумних годинників дає змогу відстежувати та контролювати свою дитину. Поява GSM модуля в охоронній системі сигналізації дає змогу економії дроту та контролювання системи через мобільний гаджет з будь-якої точки міста.

Розвиток стільникового зв'язку відбувається дуже швидко. За останні роки стільникові телефони стали невід'ємною частиною нашого життя. І це

очевидно: високий темп розвитку сприяв реалізації повсякденних цілей в будь-якому напрямку кожної особи. Бездротовий стільниковий зв'язок дає змогу кожному інженеру реалізувати свої технічні думки.

5.2 Тенденції розвитку стільникових операторів

Ринок стільникового зв'язку України є одним з різноманітних та прогресивним.

На сьогоднішній день оператори стільникового зв'язку України розширюють кордони покриття 4G-мережі роблячи більш доступним для абонентів. В 2019 році набирає тенденцію розвиток технології 5G мережі по всьому світу. В Україні експерти прогнозують повне покриття цієї мережі до 2025 року.

Кількість операторів у місті Василівка дозволяють створювати ефективну конкуренцію для абонента. В умовах конкуренції оператори надають змогу використовувати різноманітні тарифи, пропонуючи більш вигідні умови. Широка абонентська база стала важливим показником для телекомунікаційних компаній, саме тому останнім часом з'явилися фірмові магазини операторів, де за придбання стільникового телефону оператор надає свій тарифний план на деякий час безкоштовно.

Але як би не вигідно надавали абонентам тарифний план, якість зв'язку при великому скупченні абонента буде на низькому рівні. Технології бездротового стільникового зв'язку просто не витримують величезного навантаження на мережу.

На даний час основними стандартами стільникового зв'язку в Україні є GSM, UMTS, SDMA, LTE. Розглянемо та проаналізуємо стільникових операторів (табл.5.1). Всі стандарти застосовують пакетну передачу даних.

Таблиця 5.1 – Стільникові оператори України

Оператор	Логотип	Стандарт зв'язку	Кількість абонентів, млн	Власник
Київстар		GSM, UMTS, LTE	26.4 (січень 2019р.)	ПрАТ «Київстар»
Vodafone		GSM, UMTS, LTE	19.7 (січень 2019р.)	ПрАТ «ВФ Україна»
Lifecell		GSM, UMTS, LTE	7.3 (січень 2019р.)	ТОВ «Лайфселл»
Інтертелеком		SDMA	1.45 (березень 2017р.)	ТОВ«Інтертелеком»

З таблиці 5.1 видно, що в Україні діють три оператора – лідера: «Київстар», «Vodafone», «Lifecell», які разом займають 97.28% ринку стільникового зв'язку. Також в Україні є ще декілька операторів, як «3Mob», «PEOPLEnet», «Lycamobile», які займають дуже малий відсоток телекомунікаційних компаній. Оператори вже на межі руйнування і були виключені з таблиці.

На січень 2019 року ринок стільникового зв'язку розподілився таким чином: «Київстар» – 26.4 млн. абонентів, «Vodafone» – 19.7 млн. абонентів, «Lifecell» – 7.3 млн. абонентів та «Інтертелеком» – 1.45млн. абонентів. У процентному співвідношенні: «Київстар» – 49.44 % абонентів, «Vodafone» –

36.89 % абонентів, «Lifecell» – 13.67% абонентів та «Інтертелеком» – 2.72% абонентів (рис.5.1).

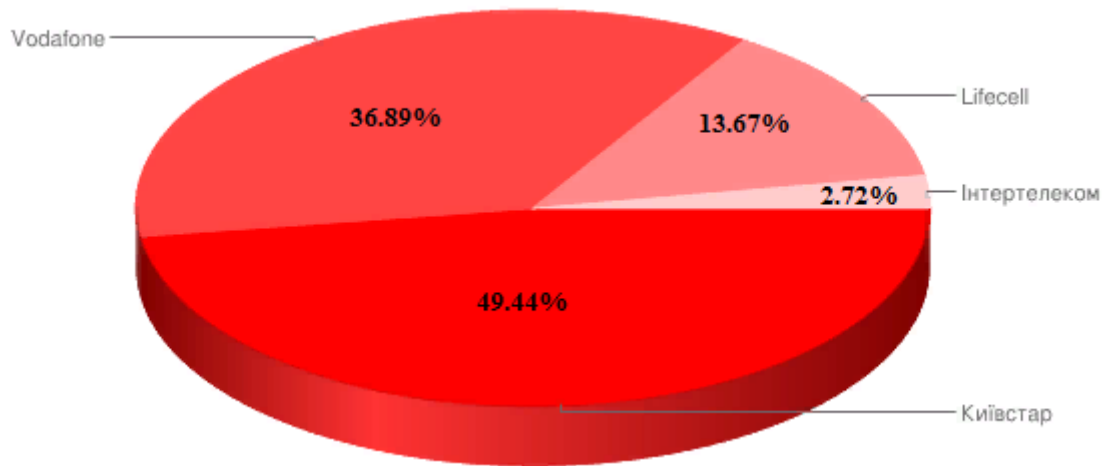


Рисунок 5.1 – Розподіл ринку стільникового зв'язку на січень 2019 року, (%)

Для детальнішого моніторингу рівня монополізації ринку стільникового зв'язку, розрахуємо індекс Херфіндаля-Хіршмана за формулою:

$$HHI = \sum_{i=1}^n Y_i^2, \quad (5.1)$$

де HHI – Індекс Херфіндаля-Хіршмана ($y = x^2$);

Y_i – ринкова частка компанії;

n – кількість усіх компаній.

$$HHI = 0.4944^2 + 0.3689^2 + 0.1367^2 + 0.0272^2 = 0.405.$$

Індекс Херфіндаля-Хіршмана являє собою суму квадратів ринку усіх компаній певної галузі.

$$HHI = s^2 + \frac{1}{n}, \quad (5.2)$$

де n – число фірм на ринку;

s^2 – показник дисперсії часток фірми на ринку. (розраховується за форм. 5.3).

$$s^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n}, \quad (5.3)$$

де $\bar{Y}$ – середня частка фірми на ринку, рівна $1/n$;

Y_i – ринкова частка i -тої фірми.

$$s^2 = \frac{(0.4944 - 0.25)^2 + (0.3689 - 0.25)^2 + (0.1367 - 0.25)^2 + (0.0272 - 0.25)^2}{4} \\ = \frac{0,136}{4} = 0.034.$$

Отже:

$$HHI = 4 \cdot 0.034 + \frac{1}{4} = 0.386.$$

Індекс Херфіндаля-Хіршмана може мати значення від 0 до 1.

Встановлена така шкала градації рівня концентрації залежно від рівня І.Х-Х.:

- а) 0 – мінімальна концентрація;
- б) від 0 до 0.1 – низький рівень концентрації;
- в) від 0.1 до 0.18 – середній рівень концентрації;
- г) понад 0.18 – високий рівень концентрації.

За розрахунками $HHI > 0.18$, тобто розрахунки стверджують, що ринок стільникового зв'язку є монополізованим, новій телекомунікаційній компанії буде важко скласти конкуренцію вже з існуючими провідними операторами. На разі наявності на ринку одного стільникового оператора, тобто повної монополії, І.Х-Х. буде дорівнювати 1.

5.2.1 Огляд ринку з позиції стільникового оператора «Vodafone» в місті Василівка

Проблема стільникового перевантаження у місті Василівка постає перед кожним стільниковим оператором, та потребує щонайшвидшого вирішення (встановлення додаткових базових станцій). Покращення покриття оператором своєї мережі дає більшу конкурентоспроможність в монополізованому ринку.

Розглянемо один з підрозділів стільникового оператора «Vodafone». Для розрахунку економічної частини проекту «Встановлення додаткової базової станції в місті Василівка» слід включити:

- а) розрахунок капітальних вкладень;
- б) розрахунок експлуатаційних витрат;
- в) розрахунок річних доходів;
- г) розрахунок прибутку;
- г) розрахунок періоду окупності.

На підставі розрахунків сформується висновок, щодо реалізації проекту.

5.3 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення – це кошти, спрямовані на придбання нових підприємств; розширення, реконструкцію і технічне обладнання діючих підприємств.

При установці обладнання (табл.5.2), будемо використовувати вже готову структуру (споруди і приміщення місцевого оператора-АТС).

Розрахунок витрат на монтаж устаткування:

Вартість обладнання: $K_{об.} = 205000$ грн.

Витрати на монтажні роботи складають 35% від вартості обладнання:

$$K_m = K_{об.} \cdot 35\%, \quad (5.4)$$

$$K_m = 205000 \cdot 35\% = 71750 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.2 – Основні виробничі обладнання проекрованої мережі

№	Найменування	Од. вимірювання	Кількість	Вартість, грн.	Загальна вартість, грн.
1	Комплект обладнання (HUAWEI четвертого покоління БС включає в себе – ВТА3900, BTS3900A, DBS3900)	Комплект	1	100000	100000
3	Секторна антена для базової станції (HUAWEICOMBARON GYU)	Комплект	1	25000	25000
4	Коаксіальний кабель RG-8	м	1000	50	50000
5	Пк с ОС(windows 10) + ноутбук	шт	2+1	10000	30000
Підсумок					205000

Непередбачені витрати складають 1% від вартості обладнання:

$$K_{\text{неп}} = K_{\text{об.}} \cdot 1\%, \quad (5.5)$$

$$K_{\text{неп}} = 205000 \cdot 1\% = 2050 \text{ грн.}$$

Сумарні капітальні витрати:

$$K = K_{\text{об.}} + K_m + K_{\text{неп}}, \quad (5.6)$$

$$K = 205000 + 71750 + 2050 = 278800 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати – це витрати, пов'язані з експлуатацією техніки підприємства зв'язку.

До цих витрат відносяться:

- а) матеріальні витрати (витрати на оплату електроенергії);
- б) заробітна плата персоналу;
- в) єдиний соціальний внесок;
- г) амортизаційні відрахування;
- г) Інші витрати.

5.4.1 Фонд оплати праці

Для обслуговування обладнання мережі бездротового доступу необхідний штат з 8 чоловік (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Мінімальний штат для обслуговування обладнання мережі

Посада	Заробітна плата, грн.	Кількість людей	Робочі місяці	Загальна заробітна плата за рік, грн.
Начальник	15000	1	12	180000
Головний інженер	10000	1	12	120000
Головний бухгалтер	9200	1	12	110400
Електромеханік	8000	2	12	192000
Оператор	8000	3	12	288000
Підсумок				890400

Розрахунок фонду основної оплати праці:

$$\Phi O P_{\Sigma} = \Phi O P + \text{Пр} + \text{Дз}, \quad (5.7)$$

де Пр – премії, які складають 25% від ФОР;

Дз – додаткові затрати, які складають 10% від ФОР.

$$\Phi O P_{\Sigma} = 890400 + 222600 + 89040 = 1202040 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний внесок 22% від ФОР:

$$O_{\text{соц}} = 1202040 \cdot 22\% = 264448.8 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування:

3.5% від річних затрат на спорудження $C = 25000$ грн.

$$A_C = C \cdot 3.5\%, \quad (5.8)$$

$$A_C = 25000 \cdot 3.5\% = 875 \text{ грн.}$$

12% від річних витрат на обладнання (A_a):

$$A = K_{\text{об.}} - C, \quad (5.9)$$

$$A = 205000 - 25000 = 180000 \text{ грн.}$$

$$A_a = A \cdot 12\%, \quad (5.10)$$

$$A_a = 180000 \cdot 12\% = 21600 \text{ грн.}$$

Загальні амортизаційні відрахування:

$$A_{\text{заг}} = A_c + A_a, \quad (5.11)$$

$$A_{\text{заг}} = 875 + 21600 = 22475 \text{ грн.}$$

Матеріальні витрати M_B складаються з витрат на матеріали і запчастини, які складають 3% від K – сумарних капітальних витрат:

$$M_B = K \cdot 3\%, \quad (5.12)$$

$$M_B = 278800 \cdot 3\% = 8364 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату електроенергії визначаються виходячи з потужності споживаної обладнанням, часу роботи і тарифів на електроенергію:

$$E = n \cdot w \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0.9, \quad (5.13)$$

де n – кількість прийомопередавачів, $n = 3$;

w – споживана потужність прийомопередавача, $w = 28 \text{ Вт}$.

$$E = 3 \cdot 28 \cdot 10^{-3} \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0.9 = 662.256 \text{ грн}(10/15\%) = 761.60 \text{ грн.}$$

10/15% – витрати енергії в провідниках.

Сумарні матеріальні витрати:

$$M_{B\Sigma} = M_B + E, \quad (5.14)$$

$$M_{в\Sigma} = 8364 + 761.60 = 9125.60 \text{ грн.}$$

Інші витрати складають 15% від $\Phi O П_{\Sigma}$.

$$I_{в} = \Phi O П_{\Sigma} \cdot 15\%, \quad (5.15)$$

$$I_{в} = 1202040 \cdot 15\% = 180360 \text{ грн.}$$

Таким чином, експлуатаційні витрати:

$$E_{\text{витр}} = \Phi O П_{\Sigma} + O_{\text{соц}} + A_{\text{заг}} + M_{в\Sigma} + I_{в}, \quad (5.16)$$

$$E_{\text{витр}} = 1202040 + 264448.8 + 22475 + 9125.60 + 180360 = 1678449.4 \text{ грн.}$$

Загальні результати розрахунків експлуатаційних витрат за рік занесені в табл.5.4

Таблиця 5.4 – Експлуатаційні витрати в рік

№	Назва витрат	Річні затрати, грн
1	Фонд оплати праці	1202040
2	Єдиний соціальний внесок	264448.8
3	Амортизаційні відрахування	22475
4	Сумарні матеріальні витрати	9125.6
5	Інші витрати	180360
Підсумок		1678449.4

5.5 Розрахунок річних доходів

Річні доходи – доходи, одержувані за рік від реалізації послуг за певними розцінками. Розраховуються два види доходів одноразові і поточні (щорічні).

Разові доходи – це доходи, отримані при підключенні абонента до мережі. Вартість підключення абонентів до мережі залежить від оператора, середня вартість sim-карти 75 грн. Так як в місті Василівка вже існують провідні оператори України, то оберемо одного з них, наприклад «Vodafone».

За статистикою оператором «Vodafone» користуються 36.89% жителів України. В м. Василівка мешкає 13543 жителя з них 4997 жителя – це потенційні абоненти «Vodafone».

При запланованій місцевості 4997 абоненти, доходи від підключення оператора «Vodafone» складуть 10% від загальної кількості жителів міста:

$$P_{\text{раз}} = 13543 \cdot 10\% \cdot 75 = 101550 \text{ грн.}$$

Розрахунок поточних – щомісячних доходів, одержуваних від абонентів за надані послуги проводився для першого року експлуатації(табл.5.5).

Таблиця 5.5 – Поточні щомісячні доходи

№	Економічні параметри	Vodafone	% абонентів, які використовують послуги	Кількість абонентів	Місячний дохід, грн
1	Вартість мінімального тарифу (грн.)	80	100	4997	399760
2	Послуга батьківський контроль(грн/міс)	54	25	1250	67500
3	Вартість доступу до Інтернету(1Гб)	25	25	1250	31250
Підсумок					498510

Загальний дохід в рік:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{раз}} + P_{\text{міс}} \cdot 12, \quad (5.17)$$

де $P_{\text{міс}}$ – загальний щомісячний дохід.

$$P_{\text{заг}} = 101550 + 498510 \cdot 12 = 6083670 \text{ грн.}$$

5.6 Розрахунок прибутку

Знайдемо річний прибуток:

$$P_{\text{річ}} = P_{\text{заг}} - E_{\text{витр}}, \quad (5.18)$$

$$P_{\text{річ}} = 6083670 - 1678449.4 = 4405220.6 \text{ грн.}$$

Податок на прибуток – 18% річних.

$$H = P_{\text{річ}} \cdot 0.18 = 792939.708 \text{ грн.}$$

Чистий прибуток:

$$P_{\text{чист}} = P_{\text{річ}} - H, \quad (5.19)$$

$$P_{\text{чист}} = 4405220.6 - 792939.708 = 3612280.89 \text{ грн.}$$

5.7 Розрахунок періоду окупності

Період окупності – це процес відображаючий проміжок часу за який капітальні витрати окупляться і почнуть приносити прибуток.

Термін окупності розраховується за формулою:

$$T = K / P_{\text{чист}}, \quad (5.20)$$

$$T = 1678449.4 / 3612280.89 = 0.46 \text{ року.}$$

5.8 Висновки до розділу «Організаційно-економічні розрахунки»

Ринок стільникового зв'язку України динамічно розвивається і є одним з наймолодших та прогресивних .

На сьогоднішній час основними стандартами стільникового зв'язку є GSM, UMTS, LTE та SDMA. На даний момент в Україні діють три оператора – лідера стільникового зв'язку «Київстар», «Vodafone», «Lifecell», які монополізували цілий ринок нашої країни.

Нами була спроектована LTE-мережа стільникового оператора «Vodafone» у місті Василівка. За результатами розрахунку було виявлено недостачу базових станцій в місті, яка руйнує повне покриття даної мережі. На підставі цього було проведено економічну частину роботи. В цьому пункті ми розраховували капіталовкладення на обладнання мережі та експлуатаційні витрати. Термін окупності проекту «Встановлення додаткової базової станції в місті Василівка» склав приблизно пів року.

Всі оператори налаштовані на пакетну передачу даних та на цифрову комп'ютерну мережу, включаючи глобальну мережу Інтернет для контролювання трафіка абонента та поліпшення якості наданих сервісів.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Оскільки магістерська робота включає в себе аналіз абонентського навантаження в стільниковому зв'язку та рішення якого є добудова базових станцій в місті передбачає проведення аналізу потенційних небезпек, які можуть вплинути на інженера стільникового оператора. Безпека інженера, що проектує та аналізує базові станції стільникового оператора в місті розглянуті в роботі.

6.1 Аналіз потенційних небезпек

Небезпечний виробничий фактор – це фактор, вплив якого на працівника призводить до його травми або з часом погіршує здоров'я і викликає професійну хворобу.

Інженер який проектує та організовує роботи по встановлюванню базових станцій піддається такими небезпечними виробничими факторами.

Фізичні:

- а) невідповідність норм мікроклімату;
- б) недостатня освітленість робочого місця;
- в) електромагнітне випромінювання;
- г) наявність вібрації та шуму;
- г) електростатичне поле між оператором та екраном;
- д) безпека ураження електричним струмом;
- е) наявність пилу, озону та азоту;
- є) безпека виникнення пожежі.
- ж) неправильні дії персоналу у надзвичайних ситуаціях.

Психофізичні:

- а) розумове та фізичне перенапруження;
- б) емоційні перевантаження;

в) напруга органів зору.

6.2 Заходи по забезпечення техніки безпеки

Приміщення, в якому працює інженер відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки. Приміщення без підвищеної небезпеки характеризується відсутністю умов, що створюють особливу або підвищену небезпеку.

Інженер, що працює з персональним комп'ютером (ПК), або з електронно-обчислювальною машиною (ЕОМ) потрапляє під потенційні небезпеки – напруга органів зору та ураження електричного струму.

Для офісу, обладнаного ПК з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ), визначаються ергономічні характеристики моніторів. Відповідно до вимог директиви ЕС 90/270 ЕЕС виконані основні вимоги до моніторів, які жорстко регламентують безпечні умови роботи і захист здоров'я осіб, що працюють з комп'ютерами:

- а) символи на екрані чіткі і добре розрізняються;
- б) зображення позбавлене блимання;
- в) яскравість або контрастність легко регулюються;
- г) екрани вільні від відблисків і відбиття;
- г) випромінювання знижені до надзвичайно малих рівнів.

Заходи безпеки та експлуатації електроустановок визначає ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту» [21].

Одна з головних небезпек ураження електричним струмом полягає в тому, що при впливі на організм людини він викликає порушення в роботі серцево-судинної системи і призводить до мимовільного скорочення м'язів. Це призводить до того, що потерпілий не може самостійно розірвати зв'язок між собою і джерелом струму, фактично перетворюючись в провідник між електроустановкою і землею.

Найбільш поширеною причиною поразки електрострумом є наближення на певну відстань або безпосередній контакт людини з відкритими струмоведучими частинами.

Це може статися через декілька факторів:

- а) несправність приладів або електропроводки;
- б) недостатня кваліфікація працівника, незнання елементарних норм безпеки;
- в) пошкодження ізоляції або відсутність заземлення.

Для виключення можливого ураження електричним струмом персоналу, в роботі передбачені:

а) організаційні заходи (проведення навчання з правил електробезпеки, перевірка знань та атестація персоналу на другу або третю групу з електробезпеки, згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці»);

б) технічні заходи (враховуючи, що електроживлення електрообладнання приміщення з ПК здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц). Відповідно до вимог «ПУЕ», електрообладнання в приміщенні з ПК, характеризується як електроустановки до 1000 В, тому згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ», величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання приміщення з ПК у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом [21].

Нижче приведений розрахунок захисного заземлення.

Розрахунок контуру заземлення офісу зводиться до визначення числа вертикальних заземлювачів та довжини сполучної смуги. Опір одиночного заземлювача:

$$R = 0.366 \cdot \frac{p}{L} \left(\lg \left[\frac{2 \cdot L}{d} \right] + 0,5 \lg \left[\frac{4 \cdot h + L}{4 \cdot h - L} \right] \right), \quad (6.1)$$

де $p = 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ – питомий опір ґрунту;

$L = 1.5 \text{ м}$ – довжина;

$d = 0.05\text{м}$ – діаметр;

$h = 0.75\text{м}$ – відстань від поверхні землі до половини довжини стержня.

$$R = 0.366 \cdot \frac{10^2}{1.5} \left(\lg \left[\frac{2 \cdot 1.5}{0.05} \right] + 0.5 \lg \left[\frac{4 \cdot 0.75 + 1.5}{4 \cdot 0.75 - 1.5} \right] \right) = 54.9 \text{ (Ом)}.$$

Кількість одиночних заземлювачів m розраховуємо по формулі:

$$m = \frac{R}{R_{\text{нз}} \cdot K}, \quad (6.2)$$

де $R_{\text{нз}} = 40\text{м}$ – значення контурного заземлення, згідно ПУЕ;

$K = 0.66$ – коефіцієнт використання одиночного заземлювача, для стержнів.

$$m = \frac{54.9}{4 \cdot 0.66} = 20 \text{ (шт)}.$$

Опір сполучної смуги, що з'єднує одиночні заземлювачі:

$$R_{\text{спол}} = 0.366 \frac{\rho}{L_1} \lg \frac{2 \cdot L_1^2}{d_1 \cdot h_1}, \quad (6.3)$$

де $h_1 = 0.1\text{м}$ – ширина смуги, що заземлює;

$d_1 = 0.04\text{м}$ – еквівалентний діаметр смуги h_1 .

Довжина замикаючої смуги для замкнутого кола:

$$L_1 = a \cdot m, \quad (6.4)$$

де $a = 3.6\text{м}$ – відстань між стержнями.

$$L_1 = 3.6 \cdot 20 = 72 \text{ (м)},$$

$$R_{\text{спол}} = 0.366 \frac{10^2}{72} \lg \frac{2 \cdot 72^2}{0.04 \cdot 0.1} = 7.5 \text{ (Ом)}.$$

Опір штучного контурного заземлення:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R \cdot R_{\text{спол}}}{R \cdot K_1 + m \cdot R_{\text{спол}} \cdot K}, \quad (6.5)$$

де $K_1 = 0.4$ – коефіцієнт використання з'єднуючої полоси в контурі і з вертикальних електродів;

$$R_{\text{заг}} = \frac{54.8 \cdot 7.5}{54.8 \cdot 0.4 + 20 \cdot 7.5 \cdot 0.66} = 3.4 \text{ (Ом)}.$$

Опір розтікання струму в захисному пристрої, що заземлює, для установок до 1000 В не перевищує 4 Ом. Спроектоване захисне заземлення задовольняє нормативним вимогам.

6.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії запобігають впливу на працівників шкідливих виробничих факторів.

Для інженера працюючого в офісі передбачені такі заходи:

- а) створення комфортного мікроклімату шляхом влаштування відповідних систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря;
- б) теплоізоляція конструкцій будівель і технологічного устаткування;
- в) зниження рівнів шуму та вібрації;
- г) забезпечення раціонального освітлення;
- г) забезпечення необхідного санітарного та побутового обслуговування.

До будь-якого робочого місця на практиці висуваються відповідні вимоги, які можуть бути частково виражені кількісними показниками – нормами і нормативами, а деякі піддаються лише якісному опису.

Забезпечення оптимальних показників мікроклімату в офісному приміщенні здійснюється, згідно вимог ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» (табл. 6.1). Забезпечення необхідної температури в приміщенні в будь-який період року та кондиціонування в теплий період року здійснюється, згідно вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [21].

Таблиця 6.1 – Оптимальні показники мікроклімату в офісному приміщенні

Період року	Температура, °C	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний	22-24	40-60	0.1
Теплий	23-25	40-60	0.1-0.2

Забезпечення оптимальних показників рівня шуму в офісному приміщенні здійснюється, згідно вимог ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» (табл. 6.2) [23].

Таблиця 6.2 – Допустимі рівні звукового тиску в офісному приміщенні

Рівень звукового тиску, Дб в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									Рівень звуку, дБА
31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Рівень шуму в офісі не повинен перевищувати 50 дБ. Тривалий вплив шуму з рівнем звукового тиску 90 дБ знижує продуктивність праці на 45%.

Для зниження рівня шуму рекомендується:

- а) встановлення сучасного електричного обладнання;
- б) своєчасне технічне обслуговування електричного обладнання;
- в) використання гумових прокладок для внутрішнього вентилятора ПК;
- г) звукоізоляція стін;

- г) використання склопакетів;
- д) перенесення принтера, МФУ на нейтральну відстань від персоналу.

Забезпечення освітленості робочої зони здійснюється, згідно вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» та ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будівель і споруд. Природне і штучне освітлення» [21].

Природне освітлення приміщення здійснюється за допомогою світлових прорізів орієнтовані переважно на північ чи північний схід і мають забезпечувати коефіцієнт природною освітленості (КПО) не нижче ніж 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів застосовують штори або жалюзі.

Штучне освітлення приміщення здійснюється за допомогою системи загального рівномірного освітлення. В офісних приміщеннях допускається застосування системи комбінованого освітлення. Як джерело світла використовують люмінесцентні лампи типу ЛБ. При обладнанні відбивного освітлення застосовуються металогалогенні лампи потужністю 70 Вт. Допускається у світильниках місцевого освітлення застосовувати лампи розжарювання.

Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° відносно вертикалі в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більше 200 кд/м², а захисний кут світильників повинен бути не більшим за 40° [24].

Обладнання і організація робочих місць користувачів ПК повинні здійснюватися з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності, а також ергономічних вимог до конструкції всіх елементів робочого місця та їх розміщення, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [21].

При розташуванні робочого місця інженера слід врахувати:

- а) забезпечення оптимальної робочої пози користувача;
- б) забезпечення оптимального робочого простору для розміщення користувача;
- в) забезпечення можливості повного огляду робочого місця користувачем;
- г) забезпечення можливості ведення записів та розміщення документації і матеріалів, які використовуються користувачем.

При розміщенні робочих столів слід дотримуватись таких характеристик та відстаней:

- а) висота робочого столу для ПК має бути в межах 680-800 мм;
- б) ширина робочого столу повинна забезпечувати зону досяжності при виконанні будь-яких операцій (рекомендована ширина в межах 600-1400 мм);
- в) висота простору для ніг не менше 600 мм;
- г) ширина для простору ніг не менше 500 мм;
- г) глибина на рівні колін не менше 450 мм, на рівні витягнутої ноги – не менше 650 мм;
- д) відстань між бічними поверхнями монітору ПК має бути не меншою 1.2 м;
- е) відстань між тильною поверхнею одного монітора до екрана іншого ПК не повинна бути меншою 2.5 м;
- є) оптимальна відстань від очей користувача до монітору повинна бути не меншою 600мм, але бути в діапазоні 600-700 мм з урахуванням алфавітноцифрових знаків і символів, а верхній край екрану знаходився на рівні очей;
- ж) освітленість робочого столу має бути в межах 300-500 ЛК.

Клавіатура на робочому столі повинна бути розташована так, щоб на ній було зручно працювати двома руками (рекомендована відстань 100-300 мм від краю). Кут нахилу клавіатури до столу має межі від 5° до 15°, зап'ястя і кисті рук повинні розташовуватися горизонтально до площини столу.

Робочий стілець повинен бути підйомно-поворотним, з кутом нахилу сидіння та спинки. Поверхня сидіння має бути плоскою, передній край – заокругленим. Висота поверхні сидіння має регулюватися в межах 400-500 мм, а ширина і глибина становити не менше ніж 400 мм. Кут нахилу сидіння – до 15° вперед і до 5° – назад. Висота спинки стільця має становити 300 ± 20 мм, ширина – не менше ніж 380 мм. Кут нахилу спинки має регулюватися в межах 1-30° від вертикального положення. Відстань від спинки до переднього краю сидіння має регулюватися в межах 260-400 мм [20].

6.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Надзвичайні ситуації (НС) – це обставини, що виникають в результаті стихійних лих, аварій та катастроф у промисловості, в результаті збройних конфліктів і військових дій на певній території, які полягають в повній протилежності від прийнятих норм життєдіяльності населення і роблять істотний вплив на природне середовище, економіку і соціальну сферу. Ці обставини змінюють комфортний або допустимий стан довкілля і переводять життєдіяльність людини із середовищем в існування з великим шансом травм або загибелі.

До основних причин НС можна віднести небезпечні природні явища, тероризм, війни, некваліфікований робочий персонал, складні технології і т.д. Для правильної оцінки виникаючих подій і явищ існують критерії для віднесення ситуацій до надзвичайних (табл. 6.3).

Тільки наявність одночасно всієї сукупності критеріїв дозволяють класифікувати ситуацію як надзвичайну.

Таблиця 6.3 – Критерії ознаки НС

№	Тип критерію	Опис
1	Тимчасовий	швидкий розвиток подій, зовнішня раптовість, несподіваність.
2	Соціально-екологічний	людські жертви, епідемії, масове зникнення худоби, виведення з виробництва значної частини природних ресурсів.
3	Соціально-психологічний	стресовий стан (страх, паніка, депресія), дестабілізація психологічної стійкості населення в пост-кризовий період.
4	Соціально-економічний	гострий конфлікт, підсилення внутрішньо-політичної напруженості, широкий внутрішньо-політичний резонанс. Підсилення міжнародної напруженості, широкий міжнародний резонанс.
5	Економічний	значні економічні збитки у грошовому та натуральному вираженні. Необхідність значних матеріальних витрат на відновлення і компенсацію, створення страхових фондів.
6	Організаційно-управлінський	невизначеність ситуації, складність прогнозування перебігу подій. Необхідність залучення великої кількості різних організацій та фахівців. Необхідність масштабних евакуаційних рятувальних робіт.

6.4.1 Заходи з пожежної безпеки

Підрозділ «Заходи з пожежної безпеки» розробляється відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [21].

Пожежна безпека включає в себе сукупність заходів для мінімального шансу появи пожежі, а в разі утворення її в першу чергу усунення впливу

небезпечних факторів для життя людини і захист матеріальних цінностей підприємства.

Офісне приміщення в якому знаходяться меблі з дерева, паперові носії інформації, ПК та електронні прилади згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою» відноситься до категорії «Д», а клас можливої пожежі, згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)», визначається як «А» та «Е». Ступінь вогнестійкості будівлі не нижче III.

Для підтримання пожежної безпеки підприємство здійснює комплекс організаційних заходів, перелічених у «Правилах пожежної безпеки в Україні»[21], а саме:

- а) призначення відповідальних осіб за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень;
- б) визначення обов'язків відповідальної особи з пожежної безпеки;
- в) розробка плану (схема) евакуації людей у разі пожежі;
- г) затвердження порядку оповіщення людей у разі пожежі;
- г) визначення категорії будівель і приміщень з класом можливості пожежі та ступенем вогнестійкості;
- д) встановлення в будівлях та в приміщеннях відповідні знаки пожежної безпеки, таблички з вказівкою номеру телефону та порядку виклику пожежної охорони.

Для ліквідації невеликих осередків пожеж та гасіння пожеж у початковій стадії використовують: вогнегасники, пожежний інвентар (лом, сокира, гаки, ящик с піском, совкові лопати, пожежні відра, повсті тощо). Кожне приміщення має бути забезпеченим такими засобами відповідно з нормами.

В офісних приміщеннях використовують вуглекислотні вогнегасники ВВК-1.4 та ВВК-3.5 (цифра показує місткість вогнегасника в літрах). Їх використовують для гасіння рідких та твердих матеріалів та електроустановок,

що знаходяться під напругою до 1000 В. Вогнегасники повинні знаходитися в легкодоступних місцях захищені від сонячної дії та нагрівальних приладів.

6.4.2 Заходи з цивільного захисту

Перед керівниками підприємства постає завдання забезпечити безпеку працівників і підприємства в разі виникнення надзвичайної ситуації. Керівник повинен мати чіткий план дій, швидко орієнтуватися та вірно приймати рішення для усунення випадків загрози життя та здоров'я людей.

В разі виникнення терористичного акту на конкретному об'єкті керівник повинен урахувати особливість будівлі, споруди і приміщення з правоохоронцями та підготувати чіткий план дій, інструктаж.

Телефонний дзвінок є головних джерелом надходження інформації, який може містити інформацію про невідомі предмети, шантаж, вимагання, захоплення людей в заручники. При отриманні такого дзвінка потрібно терміново розпочати евакуацію людей та повідомити правоохоронні органи і забезпечити їх наступною інформацією:

- а) номер телефону який телефонував, якщо є можливість;
- б) записати телефону розмову, якщо є можливість;
- в) в разі обмежених можливостях, записати телефону розмову на папір або запам'ятати її досконало;
- г) визначити стать, приблизний вік того, хто телефонував і можливо специфіку мови, звернути увагу на фон розмови (голоси, звуки, шум);
- г) зафіксувати точний час розмови;
- д) якщо будуть здійснюватися наступні телефоні розмови за цим номером надалі інформувати правоохоронні органи та притримуватися їх плану дій.

При виявленні невідомих предметів на підприємстві необхідно:

- а) повідомити правоохоронців;
- б) терміново розпочати евакуацію людей, раніше встановленим планом;
- в) надати вільний доступ правоохоронцям до невідомого предмета;

г) до приходу оперативно-слідчої групи слід забезпечити присутність людей, які помітили невідомий предмет;

г) записати час коли був знайдений невідомий предмет.

Під евакуацією розуміється вимушене переміщення людей і матеріальних цінностей в безпечні місця. Завчасно розробляється і затверджується порядок евакуації працівників, які перебувають на об'єкті. Організовується своєчасне оповіщення працівників для безпечної та безперешкодної евакуації.

Для забезпечення процесу безпечного виведення людей з будівлі важливо враховувати наступні фактори:

- а) можлива швидкість пересування;
- б) кількість доступних евакуаційних виходів і безпечних зон;
- в) пропускна здатність виходів;
- г) варіанти і протяжність шляхів пересування;
- г) безпека маршрутів.

Правильно організовані шляхи евакуації зобов'язані забезпечувати безпечне і безперешкодне пересування людей. Маршрути руху повинні проходити по найкоротших траєкторіях, що веде до аварійних виходів.

Для запобігання виникнення тисняви і «пробок» на шляхах руху важливо правильно розподіляти потоки людей. Крім того, важлива пропускна здатність виходів.

Засобом керування людей під час евакуації є система оповіщення. Основним документом системи оповіщення та управління евакуації є ДБН В.2.5-76:2014 «Автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення».

Оповіщення здійснюється за допомогою спеціалізованих пристроїв або персональних засобів зв'язку [22].

В акустичному засобі інформування рівень звукового тиску сигналу тривоги, повинен бути вищий на 15 дБА рівня шуму у прогнозованій зоні ураження, але не перевищувати 120 дБА в місцях перебування людей. При

встановленні двох або більше звукових оповіщувачів, сигнали повинні бути синхронними.

До візуальних засобів інформування відносять: покажчики, світлові сигналізатори, інформаційне табло. Візуальні засоби мають бути заблоковані з акустичними, крім випадку, де рівень шуму перевищує 105 дБА.

До персональних засобів відносять телефонний, розпорядчо-пошуковий зв'язок. Перевагу слід віддавати тим засобам які забезпечують формування сигналів підтвердження отримання повідомлення.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі ми розглянули проблему абонентського перевантаження під час дорожніх заторів. Проблема глобальна не тільки в м. Василівка на головній розв'язці, але й по всій Україні. Ми спроектували та розрахували LTE-мережу для м. Василівка і дослідили максимальне перевантаження дорожньої частини на одну базову станцію та оцінили технічне обладнання міста. Для реалістичних даних перевантаження шляху був зафіксований збір інформації перед святом влітку, коли великий потік людей прямував в курортні міста Запорізької та Херсонської області. На основі збору інформації був побудований графік залежності пересування абонентів на головній розв'язці міста, де було зафіксоване перевантаження базових станцій. Для вирішення проблеми, ми запропонували використання малих базових станцій. LTE-мережа використовує технологію MIMO. За цією технологією ми розглянули малу базову станцію AGATA MIMO 2x2. На її основі ми проаналізували модернізовану панельну секторну антену в програмному пакеті ANSYS HFSS та отримали коефіцієнт підсилення і КСХ антени, результати яких задовольняють нас при використанні на практиці.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ратынский М.В. Основы сотовой связи [Текст] / М.В. Ратынский; под ред. Д.Б. Зимина. – Москва: Радио и связь, 1998. – 248 с.
2. Егоров Л.Л. Методика коррекции зон обслуживания базовых станций при оптимизации сотовой структуры сетей связи / Л.Л. Егоров, В.А. Кологривов, М.В. Мелихов. // Доклады ТУСУР. – 2010. – № 2(22). – Ч. 2. – С.17-21.
3. Шорин О.А. Прогноз перегрузок с учетом подвижности абонентов в сотовых системах связи / О.А. Шорин // Мобильные системы. – 2005. – № 1. – С.15-19.
4. Костенко В.О. Принцип самоорганизующихся сетей при контроле потока мобильных станций [Текст] / В.О. Костенко, І.М. Сметанін. // VIII Міжнародна наук. -практ. конф. «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій», 21-23 вересня 2016 р., м. Запоріжжя: тези доп. / відп. ред. Д.М. Піза, С.В. Морщавка. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2016. – С.100-102.
5. Кабак В.С. Функціональні пристрої телефонів мобільного зв'язку: навчальний посібник [Текст] / В.С. Кабак, Р.В. Уваров. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 370 с.
6. Данилов В.И. Сети и стандарты мобильной связи: учебное пособие [Текст] / В.И. Данилов. – Санкт-Петербург: СПбГУТ, 2015. – 100 с.
7. Тихвинский В.О. Эволюция современных сетей мобильной связи 2G / 3G / 4G / В.О. Тихвинский. // Региональный обучающий семинар МСЭ для стран СНГ «Перспективы развития телекоммуникаций: технологии и вопросы регулирования сектора» – Астана, 2014. – 62 с.
8. Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура [Текст] / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук. – Москва: Эко-Трендз, 2010. – 281 с.

9. Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие [Текст] / А.Л. Гельгор, Е.А. Попов. – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 2011. – 204 с.
10. Скрынников В.Г. Радиоподсистемы UMTS / LTE. Теория и практика [Текст] / В.Г. Скрынников. – Москва: Спорт и Культура-2000, 2012. – 864 с.
11. Озеров С.В. Применение mmo-технологии на хаотических несущих для разделения абонентов в многоканальных системах военной радиосвязи / С.В. Озеров. // Системи озброєння і військова техніка – 2013. – № 1(33). – С.42-45.
12. Рыжков А.Е. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMAX [Текст] / А.Е. Рыжков, М.А. Сиверс, В.О. Воробьев. – Санкт-Петербург: Линк, 2012. – 226 с.
13. Прудис І.Н. Основи антенної техніки: навчальний посібник [Текст] / І.Н. Прудис. – Львів: ДУ«ЛП», 2000. – 216 с.
14. Нормативний документ Адміністрації державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України «Методика проведення розрахунків електромагнітної сумісності та норми частотно-територіального рознесення радіоелектронних засобів у смугах радіочастот, які підлягають конверсії (1920-1935 / 2110-2125, 1950-1965 / 2140-2155, 1965-1980 / 2155- 2170), а також у смугах радіочастот, які плануються для застосування за результатами конверсії» – Київ: Адміністрація державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України, 2015.
15. Ермолаев В.Т. Уменьшение вероятности битовой ошибки при параллельной передаче информации в MIMO [Текст] / В.Т. Ермолаев, Е.А. Маврычев, А.Г. Флакман. – Нижний Новгород: ННГУ, 2003. – С.251-260
16. Банков С.Е. Анализ и оптимизация СВЧ структур с помощью HFSS [Текст] / С.Е. Банков, А.А. Курушин, В.Д. Разевиг. – Москва: Солон-Пресс, 2004. – 283 с.
17. Банков С.Е. Расчет антенн и СВЧ структур [Текст] / С.Е. Банков, А.А. Курушин. – Москва: ЗАО «НПП «Родник», 2009. – 256 с.

18. Банков С.Е. Решение оптических и СВЧ задач с помощью HFSS [Текст] / С.Е. Банков, Э.М. Гутцайт, А.А. Курушин. – Москва: ООО «Оркада», 2012. – 250 с.

19. AGATA MIMO 2x2 – широкополосная панельная антенна 4G / 3G / 2G (15-17 dBi) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://antex-e.ru/store/36907/39024/?pos=914661>

20. Бобровникова Р.Г. Методичні вказівки до виконання економічного розділу дипломних та магістерських проектів для студентів спеціальності 7.05090301, 8.05090301 «Інформаційні мережі зв'язку» всіх форм навчання / Р.Г. Бобровникова, В.В. Круглікова. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012. – 18 с.

21. Коробко О.В. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» у дипломних роботах студентів освітнього ступеню «Магістр» та освітніми програмами: «Безпека інформаційних і комунікаційних систем», «Системи технічного захисту інформації, автоматизація її обробки», 125 – «Кібербезпека» / О.В. Коробко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 28 с.

22. ДБН В.2.5-76:2014 «Автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення» – К.: Мінрегіон України, 2014. – 59 с.

23. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» – К.: Держстандарт України, 1999. – 34 с.

24. ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будівель і споруд. Природне і штучне освітлення» – К.: Мінбуд України, 2006. – 96 с.