

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Методи та засоби моделювання та оптимізації бездротових
мереж передавання даних

Виконав: студент VI курсу, групи СІМ-61
спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Чорняк І.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Тиш Є.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2020

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.
(прізвище та ініціали)
« » 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

студенту Чорняку Ігорю Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Методи та засоби моделювання та оптимізації бездротових мереж передавання даних»

Керівник роботи Тиш Євгенія Володимирівна, к.т.н., доцент кафедри
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «__» _____ 20__ року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи програмний засіб для проектування та оптимізації безпроводних мереж усіх існуючих стандартів зв'язку.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз сучасних технологій передачі даних, постановка задачі, розробка алгоритмів і підходів для створення і роботи у середовищі для моделювання 2D карти поширення сигналу.

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

Структурні схеми технологій передачі даних, конфігурація точки доступу Wi-Fi, змодельована 2D карта поширення сигналу у просторі.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1, 2, 3	Тиш Є.В., к.т.н., доц.		
Розділ 4.1	Осухівська Г.М., к.т.н., доц., зав.каф.		
Розділ 4.2	Стадник І.Я., д.т.н., проф.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження та вивчення отриманого завдання.	01.10.2020	виконано
2	Написання 1 розділу, представлення керівнику.	10.10.2020	виконано
3	Написання 2 розділу, представлення керівнику.	15.10.2020	виконано
4	Проведення експерименту.	20.10.2020	виконано
5	Написання 3 розділу, представлення керівнику.	23.10.2020	виконано
6	Написання 4 розділу, представлення керівнику.	28.10.2020	виконано
7	Загальне редагування та друк пояснювальної записки.	10.11.2020	виконано
8	Проходження нормо-контролю.	15.12.2020	виконано
9	Розробка тексту доповіді. Оформлення графічного матеріалу.	16.12.2020	виконано
10	Отримання відгуку керівника, рецензії.		
11	Підготовка матеріалів для здачі.		

Студент

_____ (підпис)

Чорняк І.А.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Тиш Є.В.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Методи та засоби моделювання та оптимізації бездротових мереж передавання даних // Дипломна робота магістра // Чорняк Ігор Андрійович // ТНТУ, Комп'ютерна інженерія, група СІм-62 // Тернопіль, 2020 // С. – 73, рис. – 27, бібліогр. – 28.

Ключові слова: бездротова мережа, покриття сигналу, частотний діапазон.

Метою магістерської роботи є моделювання та оптимізація точок доступу та базових станцій у різних частотних діапазонах та стандартах зв'язку. Для досягнення мети, були поставлені наступні задачі: вибір середовища для моделювання систем передачі даних; моделювання поширення сигналу у декількох частотних діапазонах та стандартах.

У дипломній роботі проаналізовано програмне забезпечення, яке дозволяє виконувати віртуальне моделювання мережі, результати якого будуть максимально наближені до справжнього моделювання на відкритій місцевості.

На прикладі середовища «Forsk Atoll», було змодельовано частину мережі мобільного оператора «Vodafone Україна» для подальшого аналізу та оптимізації.

ANNOTATION

Methods and means of modeling and optimization of wireless data transmission networks // Master's thesis // Chornyak Igor Andreevich // TNTU, Computer Engineering, group SIM-62 // Ternopil, 2020 // P. - 73, Fig. - 27, bibliogr. - 28

Keywords: wireless network, signal coverage, frequency range.

The aim of the master's thesis is to model and optimize access points and base stations in different frequency bands and communication standards.

To achieve this goal, the following tasks were set: the choice of environment for modeling data transmission systems; simulation of signal propagation in several frequency bands and standards. The thesis analyzes the software that allows you to perform virtual network modeling, the results of which will be as close as possible to the real modeling in the open field.

On the example of the Forsk Atoll environment, a part of the network of the mobile operator Vodafone Ukraine was modeled for further analysis and optimization.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	11
1.1. Формування загальної потреби у бездротовій передачі даних.....	11
1.2. Класифікація методів передачі даних	12
1.2.1. Дротова передача даних	13
1.2.2. Бездротова мережа передачі даних	14
1.3. Аналіз частотного ресурсу.....	17
1.4. Агрегація частот.....	20
1.5. Аналіз недоліків сучасних систем передачі даних.....	21
1.6. Висновок до розділу	22
РОЗДІЛ 2 ОГЛЯД ВСТАНОВЛЮВАНОВОГО РАДІООБЛАДНАННЯ	23
2.1. Огляд доступних Wi-Fi рішень.....	23
2.2. Огляд основних характеристик сигналу стандартів Wi-Fi, GSM, UMTS, LTE	24
2.3. Розрахунок дальності роботи безпроводного каналу зв'язку стандарту Wi-Fi	28
2.4. Експеримент з встановленням безпроводної точки доступу Wi-Fi.....	28
2.5. Висновок до розділу	38
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИГНАЛУ В СЕРЕДОВИЩІ «FORSK ATOLL»	39
3.1. Огляд середовища для моделювання мережі «Forsk Atoll»	39
3.2. Підготовка до роботи.....	40
3.3. Планування бездротової мережі LTE	44
3.4 Оптимізація фінансових ресурсів за рахунок LTE-900	49
3.5. Висновок до розділу	52
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	53
4.1 Охорона праці.....	53

4.2 Планування заходів цивільного захисту на об'єкті у випадку надзвичайних ситуацій.....	58
4.3 Висновок до розділу.....	61
ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
Додаток А.....	67
Додаток Б.....	73

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЕОМ – Електронна обчислювальна машина

КЗК – Канал загального користування

ІВС – Інформаційні вимірювальні системи

ВП – Віртуальний прилад

БС – Базова станція

WPAN – Wireless Personal Area Networks

WLAN – Wireless Local Area Networks

WMAN – Wireless Metropolitan Area Networks

WWAN – Wireless Wide Area Network

VISA – The Virtual Instrument Software Architecture

AHRS – Attitude Heading Reference Systems

IMU – Inertial Measurement Units

GPS – Global Positioning System

ADAS – Advanced Driver-Assistance Systems

LiDAR – Light Identification Detection and Ranging

MBES – Multibeam Sonar

ВСТУП

Актуальність теми. Станом на 2020-й рік проблем з вибором бездротового з'єднання немає. Виробники можуть запропонувати як високошвидкісні локальні рішення, так і пристрої дальнього режиму роботи, які можуть надавати з'єднання навіть за 100 км від базової станції чи точки доступу. Суспільство прагне бути незалежним від провідного з'єднання та отримувати інтернет-підключення всюди: в дорозі, поїзді, сільській місцевості, вдома, тощо.

Будівництво нових базових станцій у малонаселених селах – є нерентабельним. Покриття кожного таких населених пунктів чи доріг у стандарті LTE-1800 не є фінансово можливим. Також, потужності (швидкість та ширина каналу) LTE-1800 будуть зайвими.

Розробка методів та засобів оптимізації існуючої та майбутньої мереж є надзвичайно актуальною складовою, як в технічному, так і фінансовому плані.

Мета і завдання дослідження.

- Проаналізувати актуальні та нові стандарти зв'язку;
- спроектувати фрагмент реальної мережі у середовищі «Forsk Atoll»;
- дослідити поширення сигналу на прикладі Wi-Fi точки доступу;
- провести оптимізацію мережі з використанням нових та існуючих частот у діапазоні 900 та 1800 МГц.

Об'єкт дослідження. Аналіз та оптимізація при встановленні та налаштуванні бездротового апаратного забезпечення.

Предмет дослідження. Модель та засоби моделювання 2D середовища поширення сигналу

Методи дослідження. Для коректного планування вирішення задачі, проведені віртуальні моделювання поширення сигналу у просторі з врахуванням різних стандартів зв'язку, частот та параметрів базової станції. Самі на ці показники потрібно опиратись при подальшому плануванні мережі.

Наукова новизна. Проведено порівняльну характеристику нових стандартів зв'язку – 5G (NR), запропоновано методи й засоби моделювання та оптимізації проекту бездротової інфраструктури.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані в магістерській роботі методи та засоби попереднього моделювання та подальша оптимізація бездротової мережі можуть бути використані при розгортанні бездротових систем передачі даних та здатні зекономити значні фінансові ресурси абонентів за умови не бажання або не можливості встановлення нових дороговартісних точок доступу.

Публікації. Результати дослідження апробовано на IX Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів та VIII Науково-технічній конференції.

1. Чорняк І.А. Методи та засоби моделювання та оптимізації бездротових мереж передавання даних. *Актуальні моделі сучасних технологій: Матеріали IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів ТНТУ ім. І. Пулюя (25-26 листопада 2020).* Тернопіль, 2020. с.75.
2. Чорняк І.А. Оптимізація та моделювання бездротової мережі LTE в середовищі «FORSK ATOLL». *Інформаційні моделі, системи та технології: Матеріали VIII науково-технічної конференції ТНТУ ім. І. Пулюя (9-10 грудня 2020).* Тернопіль, 2020. с. 123.

Структура роботи. Робота складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка складається із вступу, 3-х розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг роботи: пояснювальна записка – 67 аркушів формату А4, графічна частина 8 аркушів формату А1.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Формування загальної потреби у бездротовій передачі даних

У наш час, у епоху цифрових технологій, існує безліч способів спілкування та обміну інформацією. У наш час передача даних між різними пристроями стала простішою та надійнішою. Якщо вам колись доводилося завантажувати музику чи відео у пам'ять телефону, то тепер ви можете зробити це швидше та безпечніше завдяки бездротовим технологіям. Важко уявити сучасне життя без електронних пристроїв.

Щоб поліпшити комфорт життя, багато пристроїв намагаються підключитися до однієї мережі та керувати дистанційно, тепер спілкування відбувається не тільки між людьми, але і між пристроями через IoT. Суспільство хоче бути вільним від будь-якого дротового з'єднання, саме тому розробляються технології бездротового зв'язку: пристрої Bluetooth, точки доступу та роутери WIFI, мобільний високошвидкісний Інтернет 3G, 4G та 5G.

Не менш важливим фактором, крім швидкості мережі, є також затримки передачі даних. У деяких випадках важливим фактором є затримка до 1-2 мс, наприклад, на біржах, де купівля-продаж повинна бути в межах однієї секунди раніше, ніж конкуренти. Затримка виникає залежно від відстані від сервера, а також завдяки правильному розміщенню передавачів на базових станціях. Найменша перешкода на шляху бездротового передавача - збільшує час затримки на кілька десятих або навіть сотих часток мілісекунди.

1.2. Класифікація методів передачі даних

Існують всього основні види передачі даних: дротова передача та бездротова передача. Усі існуючі методи передачі даних регулюються загальними стандартами міжнародної організації зі стандартизації (ISO). Найвідомішим стандартом зв'язку семирівнева модель протоколу передачі даних OSI:

- фізичний рівень - описує механічні, електричні та функціональні властивості передачі даних, а також матеріали, необхідні для встановлення та зв'язку;

- рівень каналу - відповідає за надійність передачі даних у каналі між двома сусідніми вузлами;

- мережевий рівень - забезпечує переадресацію пакетів шляхом додавання адреси одержувача. Цей рівень також відповідає за обробку помилок, мультиплексування пакетів та управління протоколами даних. Протоколи на цьому рівні включають: OSPF, X.25, RIP та OSPF;

- транспортний рівень - забезпечує надійну передачу даних між вузлами регіональної мережі. Це створює ліміт, нижче якого відправляються пакети і які повідомлення;

- сенсорний рівень - забезпечує організацію та синхронізацію обміну даними між процесами;

- рівень візуалізації даних - включає сервісні операції в області інтерпретації та перетворення даних. Встановлює загальні принципи взаємодії двох пристроїв різних типів;

- програмний рівень - відповідає за взаємодію програми з інтерфейсом користувача.

1.2.1. Дротова передача даних

Дротова передача даних обмінюється інформацією через різні інтерфейси підключення.

Інтерфейс - це набір схем, що з'єднують різні пристрої та алгоритми, що визначають порядок передачі інформації між цими пристроями. За принципом передачі інформації інтерфейси поділяються на паралельні та послідовні. Послідовний інтерфейс використовує єдину сигнальну лінію при передачі даних, по якій інформаційні біти послідовно передаються одна за одною. При паралельній передачі кожен біт використовує власну сигнальну лінію, тому всі біти передаються одночасно.

За способом обміну інформацією з часом розрізняють інтерфейси з синхронною передачею даних та асинхронними. При синхронній передачі даних сигнали синхронізації визначають інтервал часу, протягом якого інформація зчитується з одного основного датчика інформації. Інтервал часу в цьому випадку визначається максимальною тривалістю затримки в системі передачі даних та максимальним часом перетворення вимірюваного сигналу в цифровий код. Асинхронна передача даних характеризується наявністю керуючих сигналів. У такій організації обміну автоматично встановлюється взаємозв'язок між швидкістю передачі даних та часом затримки сигналів на каналах зв'язку. Сигнал управління обміном є результатом вирішення проблеми виявлення несправності в процесі передачі і забезпечує розпізнавання тривожного сигналу в каналі передачі. При синхронній передачі даних порівняно з асинхронною ефективніше використання каналу. Краща стабільність досягається за допомогою асинхронної передачі. Відповідно до режиму обміну інформацією існують інтерфейси з режимами обміну: симплекс, напівдуплекс, дуплекс і мультиплекс.

У симплексному режимі лише один з двох абонентів може ініціювати передачу інформації через інтерфейс у будь-який час. У напівдуплексному

режимі кожен з двох абонентів може почати надсилати інформацію іншому, якщо лінія зв'язку інтерфейсу вільна.

Для дуплексного зв'язку між двома абонентами кожен абонент може в будь-який час почати передавати інформацію іншому. Коли кілька абонентів мультиплекують у будь-який момент часу, зв'язок між парою абонентів може йти в будь-якому, але однаковому напрямку від одного абонента до іншого. Типи послідовних інтерфейсів даних [1]: RS-232, RS-423, RS-485, CAN, I2C, USB, FireWire, Ethernet, Fibre Channel, Infini Band, MIDI, послідовний приєднаний SCSI, послідовний ATA, PCI Express, Sonet і SDH, T1 і E1. Дротова передача даних дозволяє обмінюватися інформацією між пристроями на високій швидкості, але недоліком цього типу зв'язку є необхідність використання дротового з'єднання, а в деяких випадках це доставляє певні незручності, тому іноді цей тип підключення замінюється бездротовим.

1.2.2. Бездротова мережа передачі даних

Бездротова передача даних - використовується для передачі інформації між двома або більше абонентами віддалено, без необхідності фізичного з'єднання. Залежно від середовища бездротову передачу даних можна розділити на дві основні групи: радіо та супутник. У каналах радіозв'язку передача даних відбувається бездротово від передавача до приймача. Передавач генерує радіоімпульс певної частоти та амплітуди, і випромінюються коливання. Приймач фільтрує та обробляє сигнал, а потім отримує необхідну інформацію.

До цієї групи належать такі типи зв'язку, як WPAN, WLAN, WMAN (рис. 1.1.). Передача інформації через супутникові канали відбувається в результаті використання супутника, на якому встановлена антена зі спеціальним обладнанням. Сигнал надходить від абонента до найближчої земної станції, а потім передається на супутник. Звідти інформація надходить до приймача на іншу наземну станцію.

Супутникові канали передачі забезпечують обмін інформацією на дуже великі відстані. Вони включають тип з'єднання WWAN. Кожен тип підключення має різну дальність - 10 м, 100 м, 50 км і більше, тому вони об'єднані в окремі мережі:

WPAN - персональні мережі. Ці стандарти підключають периферію. Швидкість бездротової передачі даних досить висока. Персональні мережі дозволяють обладнати розумні домашні системи, синхронізувати бездротові аксесуари з гаджетами. Прикладами технологій, що працюють з персональними мережами, є Bluetooth та ZigBee;

WLAN - локальні мережі. На основі 802.11 продуктів. Термін WiFi зараз відомий кожному. Спочатку так називали вироби серії 802.11, а тепер цей термін стосується продуктів будь-якого стандарту цієї родини. WLAN можуть створювати більший радіус роботи порівняно з WPAN і мають вищий рівень захисту;

WMAN - міські мережі. Такі мережі працюють за тим же принципом, що і WiFi. Відмінною рисою цієї бездротової системи передачі даних є більш широке територіальне покриття, і вона з'єднує більше приймачів. Ця мережа включає такі технології, як WiMAX; WWAN - глобальні мережі. Ці типи мереж можуть працювати за допомогою передачі пакетних даних або за допомогою комутації каналів. До них належать: GPRS, EDGE, HSPA, LTE, NR.

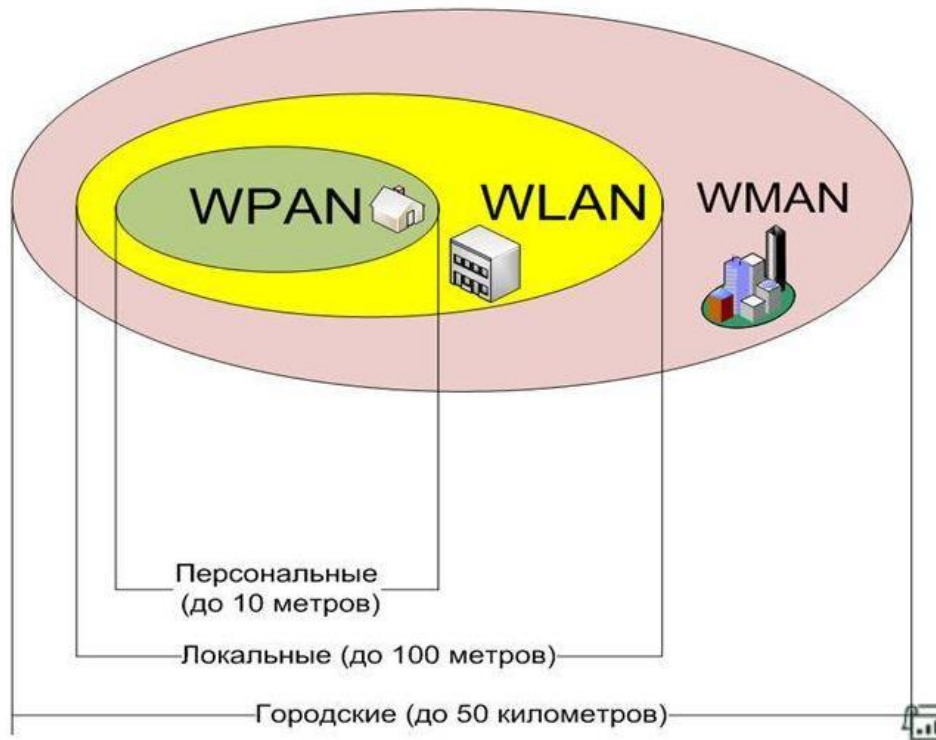


Рис. 1.1. Типи зв'язку

Проведемо порівняльну характеристику технологій та стандартів бездротової передачі даних (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

Характеристика технологій бездротової передачі даних

Технологія		Стандарт	Швидкість передачі (Мбіт/сек)	Дальність дії	Частоти
WPAN	Bluetooth	802.15.1	3	10 м	2,4 ГГц
WLAN	Wi-Fi 4	802.11a 802.11b 802.11g 802.11n	1 11 54 300	100 м	2,4 ГГц
WLAN	Wi-Fi 5	802.11ac	1300	50 м	5 ГГц
WLAN	Wi-Fi 6	802.11ax	5000	75 м	6 ГГц
WWAN	EDGE (2G)	GSM	256	30 км	0,8-1,9 ГГц
WWAN	HSDPA (3G)	UMTS	63	20 км	0,8-2,1 ГГц
WWAN	4G	LTE	1600	15 км	0,45-3,5 ГГц
WWAN	5G	NR	10000	5 км	0,7-40 ГГц

Як можна спостерігати, існує безліч варіантів мережевого підключення, які будуть відрізнятися пропускнуою здатністю, швидкістю та дальністю дії.

1.3. Аналіз частотного ресурсу

Окрім вибору потрібного стандарту та обладнання, не менш важливу роль відіграє частотний ресурс, який контролюється спеціальними державними органами, для прикладу в Україні – це Український Державний Центр Радіочастот (УДЦР).

УДЦР відповідно до ст. 16 Закону України «Про радіочастотні ресурси України» здійснюється така діяльність:

- надання радіочастот, присвоєння позивних засобам, одобрення дозволів на експлуатацію обладнання;
- ведення реєстру присвоєнь радіочастот;
- дотримання радіочастотного моніторингу використання радіочастотних ресурсів України відповідно до Закону;

- здійснення заходів, котрі забезпечують електромагнітну безпеку електронних засобів, випромінюючих пристроїв;
- здійснення заходів щодо усунення джерел радіоперешкод;
- підготовка заявок на прийняття Національною комісією з питань регулювання зв'язку та інформатизації відповідних рішень щодо видачі дозволів на користування радіочастотними ресурсами України;
- підготовка заявок на пряме розпорядження Національної ради з питань телебачення і радіомовлення про можливості та умови використання радіочастотних ресурсів України для трансляції телевізійних та радіопрограм;
- інші заходи, пов'язані з використанням радіочастотних ресурсів України, як це передбачено в картці УДЦР. Основною проблемою, яка зачіпає всі країни, є вузький обсяг радіочастотних ресурсів. Кількість мобільних операторів, провайдерів WiMax, нового обладнання, яке може працювати з бездротовою мережею, швидко зростає. Це призводить до браку частотних ресурсів. Окрім постійних користувачів частотного ресурсу, є також спеціальні користувачі
 - військові та інші державні установи, які також активно використовують ті самі частоти.

Ця проблема спонукає до оптимізації мережі. Для прикладу, у період з 2018 року, багато американських, європейських та азійських мобільних операторів були змушені відмовитись від надавання послуг стандарту GSM (2G), повністю переводячи абонентів на більш сучасні стандарти – 3G, 4G.

Такі технології як GSM та CDMA впроваджувались задовго до перевантаження частотного ресурсу. Дані технології використовують спектр частот нераціонально (таблиця 1.3).

**Порівняльна характеристика використання
ширини каналу технологій**

Технологія	Рік впровадження	Мінімальна ширина каналу (МГц)	Швидкість передачі (Мбіт/сек)
GPRS/EDGE (2G)	2000	2	0,2
UMTS (3G)	2001	5	21
LTE (4G)	2009	1,4	11,75
NR (5G)	2020	10	102,75

Проаналізувавши дані, можемо спостерігати, що старіші стандарти зв'язку нерационально використовують частотний ресурс у порівнянні з сучасними стандартами, такими як LTE та NR. Такий результат досягається за рахунок квадратурної модуляції (QAM) та нарощуванням каналів за рахунок антенних модулів (MIMO) [4].

Основною складовою нового стандарту зв'язку 5G (NR) [5], який здатний передавати дані на клієнтський термінал в реальному середовищі на швидкості до 10 Гбіт/сек, є міліметрова антенна система Massive MIMO (Додаток Б).

Massive MIMO – це апаратна система, в якій кількість клієнтів (терміналів) менша, ніж ємність самої базової станції. Особливістю даного виду антен над звичайними – є кількість цифрових антенних решіток, з кількістю елементів 128, 256 і більше. Саме такою є антена компанії Nokia (рисунок 1.3).



Рис. 1.3. Антена Massive MIMO компанії Nokia

1.4. Агрегація частот

Окрім MIMO, оператори зв'язку більш часто використовують агрегацію декількох частотних діапазонів.

Агрегація частот [6] – це режим зв'язку, в якому модем одночасно підключається до декількох каналів зв'язку, об'єднуючи їх пропускну здатність. Дані передаються і приймаються паралельно за двома (і більше) лініями, що призводить до підвищення швидкості інтернет-підключення.

Даний спосіб збільшення пропускну здатності почав використовуватись у стандарті UMTS (3G), шляхом поєднання ширини каналу у 5 МГц. Таким чином, при агрегації 5+5+5 МГц можна отримати максимальну швидкість передачі даних до 63,3 Мбіт/сек. За рахунок такої високої швидкості, даний стандарт зв'язку почали класифікувати як 3,75G, адже швидкість почала наближуватись до стандарту 4G, де на початках максимальна швидкість становила – 100 Мбіт/сек.

Більш кардинально агрегацію частот удосконалили у четвертому поколінні зв'язку – LTE (4G). 4G з агрегацією отримав одразу декілька класифікацій: 4G+, 4G Advanced та 4,5G. На відміну від третього покоління, LTE може агрегувати частоти з різних діапазонів, наприклад 900+1800+2600, при умові, що всі передавачі даних частот розміщені в одній мережі базової станції.

В Україні мережа LTE запущена в основному діапазоні 1800 МГц. Цей діапазон розділений між гравцями ринку: кожен отримав деякий спектр певної ширини (5 МГц, 10 МГц і т.п.). «Київстар», наприклад, володіє п'ятьма каналами по 5 МГц (всього 25 МГц безперервного спектра), Vodafone - 20 МГц, а lifecell - 15 МГц.

Канал – це якийсь вузький коридор, яким може скористатися обмежена кількість користувачів. Чим більше спектр, тим більше ємність мережі і, відповідно, тим більше користувачів можуть отримувати нормальну швидкість передачі даних. Коли один діапазон є перевантаженим, на допомогу може прийти інший – в нашому випадку 2600 МГц. На цій частоті оператори розгортають мережі там, де постійно велике скупчення людей. Хоч дальність дії мережі на такій частоті вкрай мала, зате її ємність збільшується в рази. Щоб отримати максимум з такого поєднання діапазонів, приходиться на допомогу агрегація частот [7].

Частотний діапазон обмежений, а одна базова станція оператора не може обслуговувати нескінченне число абонентів. Тому оператори змушені використовувати вузькі частотні «коридори», в яких підтримується зв'язок. Це може бути 1, 4, 3, 5, 10, 15 або 20 МГц [6]. Чим ширше діапазон – тим більше підключень обслужить вишка, але тим нижче буде швидкість у них.

За рахунок агрегації частот у стандарті LTE клієнтське обладнання може отримувати швидкість до 2 Гбіт/сек.

1.5. Аналіз недоліків сучасних систем передачі даних

За рахунок агрегації, квадратурної модуляції, сучасних антен з підтримкою Massive MIMO [11] ми отримуємо надзвичайно високі швидкості передачі даних та мінімальні затримки мережі, проте головним недоліком залишається проникнення та поширення сигналу. В даній системі працює простий закон – чим вище частота, тим менший радіус дії.

Стандарт зв'язку LTE на частоті 700 МГц здатен забезпечити впевнений сигнал на відстані до 30 км, до того ж, сигнал буде більш стійким до перешкод: будинки, дерева, зміна рельєфу [14]. Той самий стандарт зв'язку, але на частоті 2600 МГц, здатен забезпечити впевнений сигнал на відстані до 700 м.

Більш складною задачею є проектування мережі п'ятого покоління, адже в цьому стандарті використовуються здебільшого частоти 3500 МГц та більше. У цьому випадку, точки доступу потрібно розміщувати у добре оглядовому місці, де не буде перешкод. До того ж, NR (5G) буде вимагати у 2-3 рази більше кількості базових станцій, ніж стандарт 4G, це також проблема «високих» частот.

До прикладу, сигнал у стандарті NR (5G) на частоті 40 ГГц з використанням модульної антени Massive MIMO здатен втрачати до половини своєї потужності, якщо на шляху до клієнтського терміналу буде дерево [8].

1.6. Висновок до розділу

Більш нові стандарти, як 5G (NR) потребують більш щільного розміщення базових станцій, у зв'язку з фізичними властивостями частотного ресурсу, на якому дане обладнання працює. Стандарт зв'язку 4G здатен працювати більш ніж на 30-ти варіантах різних частот, що дозволяє легко підібрати потрібну частоту під задачу: від міста до доріг [4].

3G-стандарт не має настільки великої кількості можливих варіантів роботи. В Європі даний стандарт зв'язку працює на двох частотних діапазонах: 2100 та 900 МГц. У США та Азії: 1900 та 850 МГц [15].

РОЗДІЛ 2

ОГЛЯД ВСТАНОВЛЮВАНОВОГО РАДІООБЛАДНАННЯ

2.1. Огляд доступних Wi-Fi рішень

На сьогодні існує більше тисячі виробників бездротового радіообладнання, які використовуються як в домашніх цілях, так і комерційно. Між цими категоріями обладнання є багато спільного, як наприклад, діапазон частот для роботи мережі, так і відмінного – потужність передавача, ширина каналу та інше.

Найбільшими виробниками мережевого обладнання в стандарті Wi-Fi є «TP-Link», «D-Link», «Mikrotik» та «Tenda». Всі рішення даних виробників концептуально схожі та відрізняються між собою доступними налаштуваннями для користувача у ПЗ та форм-фактором. Частотні діапазони завжди будуть однаковими за відмінністю доступних каналів для конкретно вибраної країни. Україна, у стандарті Wi-Fi 4, дозволяє використання каналів від 1 до 11 (2401 – 2473 МГц). Китай дозволяє використання ще 2-х додаткових каналів зв'язку 12 та 13 (2456 – 2483 МГц). Додаткові канали у деяких країнах – це необхідність з декількох причин: місцеві умови до використання тих чи інших частот та велике число клієнтського обладнання, для якого потрібно задіювати більше частотного ресурсу.

Наступними характеристиками даного мережевого обладнання є потужність посилення, яке вимірюється в дБ. Потужність посилення впливає на дальність поширення сигналу у просторі. Даний параметр вимірюється у значеннях від 0 до $-\infty$. Чим нижче значення у від'ємному еквіваленті, тим нижче рівень сигналу [21].

2.2. Огляд основних характеристик сигналу стандартів Wi-Fi, GSM, UMTS, LTE

Метод бездротового зв'язку базується на відомих електромагнітних хвилях. Сигнали Wi-Fi, 3G, 4G, відповідають радіосигналам, тому їх фізичні властивості співвідносять характеристиками з ними [16]. Радіохвилі, в свою чергу, підпадають під той самий фізичний закон, що і світло: при однаковій частоті (більше 300 000 км на секунду) вони чутливі до дифракції, розсіювання, інтерпретації. Основні характеристики радіохвиль, а значить і Wi-Fi, 3G, 4G - це його довжина і частота (діапазон частот). Останній параметр, що залишився, вказує частоту змінного струму, яка необхідна для створення хвилі потрібної довжини, і служить для класифікації радіостанції. Іншим визначенням частоти є кількість хвиль, що проходять через визначену точку протягом однієї секунди [18]. Вікно, стіна, двері тощо.

При проходженні через такі перешкоди, з'являється новий параметр, який є невід'ємною частиною всіх стандартів радіоапаратури - згасання. Такі об'єкти відштовхують і поглинають сигнал, його більшість, якщо не весь. Таке ж відбувається в приміщенні, де сигнал від маршрутизатора або базової станції проходить крізь стіни в інші приміщення або інші місця. Кожна стіна або підлога негативно впливає на частину вихідного сигналу. На невеликій відстані, наприклад від маршрутизатора у кімнаті до ноутбука, радіосигнал пройде через невелику перешкоду у вигляді стіни. Однак на більшій відстані, в кілька кілометрів, кожна така перешкода суттєво впливає на силу та дальність зв'язку. Відсоток погіршення радіосигналу під час проходження через перешкоди залежить від багатьох факторів:

- довжина хвилі. Теоретично, чим більша довжина хвилі (і нижча частота), то, краща її проникність. Wi-Fi в діапазоні 2,4 ГГц має вищу потужність проникнення, ніж діапазон 5 ГГц. Радіохвилі LTE на частоті 900 МГц краще потраплятимуть в щільну структуру, ніж радіосигнали на частотах 1800 або 2600

МГц [12]. За певних умов правильність цього принципу в більшості залежить від матеріалу бар'єру, через який проходить сигнал;

- походження матеріалу і діелектрична властивість;

Порівняння між матеріалами та коефіцієнтами згасання при передачі сигналу (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

**Матеріали та коефіцієнт згасання при проходженні
сигналу через них**

Перешкода	Втрати (дБ)	Відсоток ефективної відстані (%)
Відкритий простір (без перешкод)	0	100
Скло (не тоноване, без додаткових складових)	3	70
Склопакет	5-8	50
Стіна (цегляна, міжкімнатна 15 см)	15-20	15
Стіна (цегляна, зовнішня 30 см)	20-25	10
Бетонне перекриття	15-25	10-15
Залізо-бетонне перекриття	20-25	10

Наприклад, якщо радіус дії сигналу Wi-Fi становить до 200 метрів на відкритому просторі, то він буде зменшений до 140 метрів після проходження через вікно ($200 * 70\% = 140$). Якщо наступною перешкодою для того ж сигналу є бетонна стіна, тоді дальність буде до 21 м ($140 * 15\%$). Вода та метал є найефективнішими поглиначами сигналу WiFi, оскільки вони є електричними провідниками та поглинають велику кількість сигналу. Якщо у вас вдома є акваріум, на шляху від маршрутизатора до пристрою, підключення буде на межі зникнення. Тому під час дощу, снігу та інших опадів спостерігається часткове зниження якості бездротового з'єднання, оскільки краплі води в атмосфері поглинають частину сигналу. Цей фактор зменшує якість передачі через листя дерев, оскільки вони містять в собі високий відсоток води [12].

- кут падіння сигналу на перешкоду. На додаток до інтерференційного матеріалу, через який проходить сигнал, важливий також кут падіння сигналу.

Якщо сигнал проходить через перешкоду прямо (під прямим кутом), він матиме менше втрат, ніж якщо потрапить під неї під кутом 45 градусів. Гірше, якщо сигнал проходить через перешкоду під дуже гострим кутом [14];

- дифракція. Принцип заснований на фізичній властивості хвилі: якщо розмір бар'єру менше довжини хвилі, вона її оминає. Загалом, логічно впливає, що чим коротша довжина хвилі, тим менше варіантів її проходження через перешкоду, яку вона може пройти. На практиці, обхід бар'єру, означає менше розсіювання хвиль як променів навколо перешкод, а це в свою чергу менші втрати сигналу (рис. 2.1).

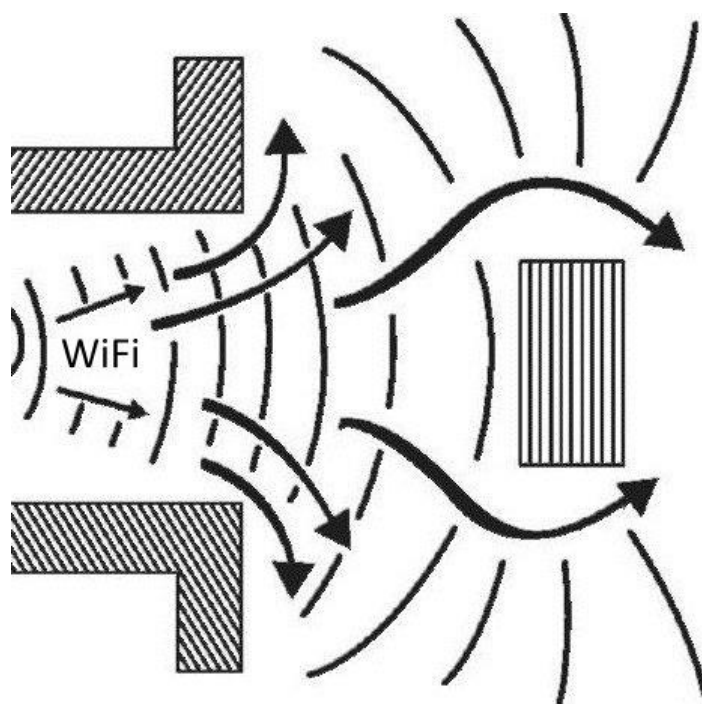


Рис. 2.1. Обхід перешкод сигналом

Проаналізуємо популярні частоти 2400 МГц (довжина хвилі 12,5 см) і 5000 МГц (довжина хвилі 6 см). Підтвердження правила ми можемо побачити на прикладі лісосмуги. Стандартні розміри стовбурів, гілок, дистя дерев становитимуть в середньому менше 12,5 см, але при цьому більше 6 см. Таким чином, сигнал 5000 МГц Wi-Fi буде майже повністю втрачений при проходженні крізь ці перешкоди, тоді як 2400 МГц буде проходити помітно краще. Тому обладнання, яке працює в діапазоні 900 МГц, таке як GSM, UMTS або LTE,

використовується за відсутності прямої видимості сигналу - його довжина хвилі становить 33,3 см, що дозволяє уникнути більших перешкод. Ці частоти (900 МГц і менше) використовуються для покриття сільських районів, доріг та залізниць. Однак слід враховувати розмір очікуваних перешкод і розуміти, що сигнал 900 МГц та нижче не зможе проникнути через бетонну стіну, перпендикулярну напрямку сигналу [13]. Проникнення хвилі, цілком залежить від її проникаючих характеристик:

- власне затухання. Наскільки далеко міг би поширюватись сигнал, якби для нього були створені ідеальні умови передачі? У будь-якому випадку це значення не нескінченне, оскільки чим більша дальність бездротового "польоту", тим більше сигнал затухає сам по собі. Впливає це з двох причин: земна поверхня поглинає частину енергії радіосигналу. Чим вищим буде діапазон частот сигналу, тим інтенсивніше буде відбуватись поглинання. Сигнал, навіть від спрямованої антени, поширюється не ідеально прямою лінією, а сконцентрованим променем. З цього стає зрозуміло, що чим більша відстань, на яку здійснюється передача, чим ширший промінь, тим меншою буде потужність сигналу на одиницю площі і менше потужності сигналу досягає цілі;

- відображення сигналу від поверхні. Сигнал, як і світло, для прикладу, відбивається від поверхні і має аналогічні характеристики. Але є відмінності. Одні поверхні будуть поглинати сигнал (частково або повністю), а інші - відображати (повністю або частково). Це залежить від матеріалу поверхні, його будови, наявності нерівностей на поверхні та, безпосередньо від частоти сигналу. Неконтрольоване відбиття сигналу, звісно ж, погіршує його стабільність. Частково - через втрату загальної потужності сигналу (до приймача). Це сприяє зниженню швидкості передачі даних, нестабільності сигналу та значним затримкам [18]. Також, через значну інтерференцію, коли хвилі накладаються в протифазі радіохвилі будуть взаємно послаблювати одна одну. Однак, інтерференція – це не завжди погано. Для прикладу, коли радіохвилі накладаються однакових фазах. В деякому сенсі це використовується для посилення сигналу [20].

2.3. Розрахунок дальності роботи безпроводного каналу зв'язку стандарту Wi-Fi

Приведемо формулу для розрахунку дальності зв'язку. Вона відповідна інженерній формулі розрахунку втрат у вільному просторі [6].

$$FSL = 33 + 20 (\lg F + \lg D) \quad (2.1)$$

де

FSL (free space loss) – втрати у вільному просторі, дБ;

F – основна частота каналу на якій відбувається передача даних, МГц;

D – відстань між точками, км;

FSL – визначається сумарним посиленням системи за формулою:

$$Y_{дб} = P_{t,дБмВт} + G_{t,дБи} + G_{r,дБи} - P_{min,дБмВт} - L_{t,дБ} - L_{r,дБ} \quad (2.2)$$

де

$P_{t,дБмВт}$ – потужність передавача;

$G_{t,дБи}$ – коефіцієнт посилення передавальної антени;

$G_{r,дБи}$ – коефіцієнт посилення приймальної антени;

$P_{min,дБмВт}$ – чутливість приймача на цій швидкості;

$L_{t,дБ}$ – втрати сигналу в кабелі і роз'ємах передавального тракту;

$L_{r,дБ}$ – втрати сигналу в кабелі і роз'ємах приймального тракту.

2.4. Експеримент з встановленням безпроводної точки доступу Wi-Fi

Мета експерименту – оптимізувати зовнішню Wi-Fi мережу на приватній території.

Для експерименту використаємо безпроводну панельну точку доступу Ubiquiti NanoStation 2 (рис. 2.2), під керуванням Air OS 4.



Рис. 2.2. Безпроводна точка доступу стандарту Wi-Fi 4 Ubiquiti NanoStation 2

Дана точка доступу працює на власній операційній системі, має 100 мб/с інтерфейс підключення, а також достатньо сильний передавач, який може забезпечити термінал сигнал на відстані до 15 км. Більш детальні характеристики наведені у таблиці 2.2.

Характеристики точки доступу NanoStation 2

Процесор	Atheros AR2315 MIPS 4КC 180 MHz
ОЗУ	16 MB SDRAM
Flash-пам'ять	4 MB
Роз'єми	1×10/100 Base-TX Ethernet 1×RP-SMA для додаткової антени
Стандарт роботи	802.11b/g (airMAX client)
Потужність передавача	до 400 мВт
ОС	AirOS™ v4
Робочі частоти	2400–2483 MHz
Посилення сигналу	10 дБ
Відстань поширення сигналу	15 км (на відкритій площині)
Поляризація	Подвійна
Розміри	264 × 80 × 30 мм
Вага	400 г

Система Air OS дає змогу дуже гнучко та точно налаштувати мережеве обладнання (рис. 2.3). Система підтримує встановлення додаткових компонентів для антен, як – електронний кут нахилу. Також, система дозволяє регулювати вихідну потужність сигналу від 10 до 18 дБ. Окрім того, як і будь-який інший пристрій Wi-Fi, система дає змогу налаштування таких критеріїв, як [2]:

- ширина каналу;
- канал;
- назва точки доступу;
- тип шифрування ключа;
- статична IP-адреса точки доступу;
- DHCP-сервер;
- режим роботи точки доступу;

- встановлення ліміту швидкості для конкретних пристроїв через MAC ідентифікацію;
- блокування клієнтів через MAC ідентифікацію;
- налаштування NTP, SSH, Telnet підключень.

The screenshot displays the NanoStation2 web interface for an Air OS system. The interface is divided into several sections:

- STATUS:** A configuration panel with various fields:
 - Base Station SSID: Sweet Dreams
 - AirMax Quality: - %
 - Frequency: 2442 MHz
 - Antenna: Vertical
 - Security: WPA2
 - Uptime: 5 day(-s) 03:13:23
 - LAN Cable: ON
 - LAN MAC: 00:15:6D:C6:82:78
 - WLAN MAC: 00:15:6D:C5:82:78
 - Extra info: - - - -
 - AirMax Capacity: - %
 - Channel: 7
 - Noise Floor: -96 dBm
 - ACK Timeout: 32
 - Date: 2012-04-28 13:12:16
 - Host Name: UBNT
 - LAN IP Address: 192.168.0.230
 - WLAN IP Address: 192.168.0.230
- LAN STATISTICS:** A table showing network performance:

	Bytes	Packets	Errors
Received:	490534590	1706780	0
Transmitted:	9033625	48941	0
- WLAN STATISTICS:** A table showing wireless network performance:

	Bytes	Packets	Errors
Received:	7467408	44889	0
Transmitted:	71816179	156240	0
- WLAN ERRORS:** A table showing error counts:

Rx Invalid NWID:	78535	Tx Excessive Retries:	0
Rx Invalid Crypt:	0	Missed Beacons:	0
Rx Invalid Frag:	0	Other errors:	0

Рис. 2.3. Інтерфейс системи Air OS 4

Для початку розмістимо точку доступу на опорі, на висоті 6,5м від землі та з кутом нахилу 0 градусів. Підключимо її до електромережі через PРоЕ адаптер та до локальної інтернет-мережі через маршрутизатор (рис.2.4).



Рис. 2.4. Встановлення точки доступу на опору

Проведемо налаштування точки доступу. Спочатку вказуємо тип роботи – «Access Point» (точка доступу), назву SSID, що буде відображатись на всіх клієнтських пристроях, в нашому випадку це – «Sweet Dreams». Режим роботи залишаємо без змін – «802.11g/b», це максимально допустимі режими роботи для цієї точки доступу на частоті 2,4 ГГц. Наступним кроком встановлюємо ширину смуги частот – 20 МГц, що забезпечить хорошу швидкість. Вимикаємо пункт «Channel shifting», це налаштування відповідає за автоматичну зміну каналу трансляції сигналу, в залежності від завантаження іншими точками доступу. Оскільки встановлення відбувається за містом, є можливість вибору вільного каналу зв'язку. За допомогою програми «Wi-Fi Scanner» для ОС macOS, вдалось проаналізувати зайняті канали зв'язку (рис. 2.5).

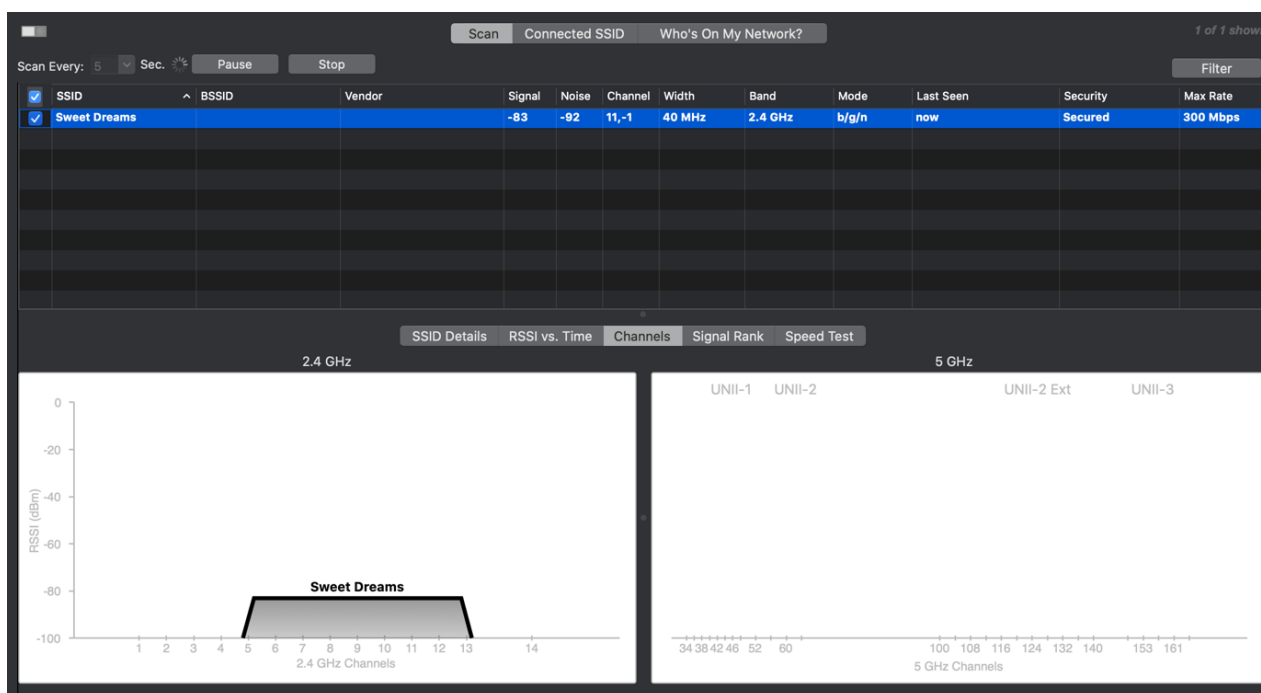


Рис. 2.5. Інтерфейс програми Wi-Fi Scanner

Як ми бачимо, в радіусі тільки 1 точка доступу, яка знаходиться в будинку та працює на 11-у каналі. Тобто, ми можемо встановити будь-який інший канал від 1 до 10 (включно). Оскільки, чим вище частота (відповідно і канал), тим більша швидкість передачі даних, проте нижча дальність дії точки доступу та проникнення сигналу, тому поки обираємо 1-й канал.

Встановлюємо потужність вихідного сигналу 12 дБ. Дана модель антени дозволяє встановити максимальну потужність в 18 дБ, проте така потужність буде надлишковою на даній території та спровокує інтерференцію, тому зилишимо потужність нижче середньої.

Швидкість передачі даних встановлюємо – 54 Мбіт/сек, що є максимальною для цієї моделі. Також, в цьому ж розділі встановлюємо шифрування на нашу точку доступу. Тип ключа – «WPA2-AES», та задаємо пароль.

Останнім налаштуванням буде – вимкнення DHCP-сервера, адже дана точка доступу підключена шляхом LAN, у загальний маршрутизатор з DHCP-сервером. Таким чином, наша точка доступу буде знаходитись у загальній локальній мережі будинку, що спросить доступ до інших пристроїв та серверів.

Також, задаємо локальну IP-адресу для точки доступу, для доступу у веб-інтерфейс – «192.168.0.230», оскільки головний роутер мережі знаходиться в цій ж підмережі (2.6).

The image shows a web-based configuration interface for a wireless router. At the top, there are navigation tabs: MAIN, WIRELESS (selected), NETWORK, ADVANCED, SERVICES, and SYSTEM. There are also 'Tools:' and 'Logout' buttons. The main content area is titled 'BASIC WIRELESS SETTINGS'. Under this heading, the following settings are visible: 'Wireless Mode' is set to 'Access Point'; 'SSID' is 'Sweet Dreams' with a 'Hide SSID' checkbox; 'Country Code' is 'UKRAINE' with a 'Change...' button; 'IEEE 802.11 Mode' is 'B/G mixed'; 'Channel Spectrum Width' is '20MHz' (highlighted with a blue box) with a 'Max Datarate: 54Mbps' label; 'Channel Shifting' is 'Disabled'; 'Channel' is '1 - 2412 MHz'; 'Output Power' is '12 dBm' with a slider and an 'Auto EIRP regulatory limiter' checkbox; 'Data Rate, Mbps' is '54' with an 'Auto' checkbox. Below this is the 'WIRELESS SECURITY' section, which includes: 'Security' set to 'WPA2-AES'; 'Authentication Type' with 'Open' selected and 'Shared Key' unselected; 'WEP Key Length' set to '64 bit'; 'Key Type' set to 'HEX'; 'WEP Key' is an empty text field; 'Key Index' is '1'; and 'WPA Preshared Key' is '3809655822410000'.

Рис. 2.6. Налаштування точки доступу через веб-інтерфейс

Точка доступу налаштована та можна приступити до її тестування. Для цього скористаємось смартфоном під керуванням ОС Android, з додатковим ПЗ «Network Cell Info Lite». Дана програма дозволяє відстежити рівень сигналу, канал точки доступу. Підключаємо смартфон до нашої точки доступу та запускаємо програму «Network Cell Info Lite».

Проводимо заміри сигналу у прямій видимості до точки доступу на відстані 15 метрів. Сигнал становить -53дБ (рис. 2.6).



Рис. 2.7. Рівень сигналу на відстані 15 метрів

Проводимо ті ж заміри, але на відстані в 35 метрів від точки доступу. Результат -58дБ (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Рівень сигналу на відстані 35 метрів

Можна зробити висновок, що рівень сигналу недостатній для таких відстаней. Спробуємо добитись результату у -48дБ нижче. Перед тим, як підняти потужність передавача, спробуємо опустити точку доступу до 3,5 метрів від рівня землі та встановити кут нахилу 2 градуси (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Точка доступу на висоті 3,5 м

За рахунок зменшення висоти від землі, точка доступу більш спрямована на локальну ділянку, що знаходиться під нею, також кут у 2 градуси сприяє меншій інтерференції сигналу.

Повторюємо виміри на таких ж відстанях – 15 та 35 метрів від точки доступу (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Заміри сигналу на відстані 15 м від точки доступу

Як можемо спостерігати, сигнал значно покращився, проводимо такі ж заміри, але на відстані 35 метрів від точки доступу (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Заміри сигналу на відстані 35 м від точки доступу

Сигнал на відстані 35 метрів, також значно змінився у кращу сторону та становить -47 дБ, що рахується дуже хорошим сигналом. Збільшення потужності передавача не має сенсу, адже принесе більше негативного впливу, ніж позитивного на сигнал. Зменшення кута нахилу в ще більшу сторону також негативно вплине на сигнал. При конфігурації антени у 4 чи 5 градусів призведе

до значного зменшення радіусу дії точки доступу. Дана конфігурація у куті нахилу 2 градуси вважається оптимальною для цієї установки.

2.5. Висновок до розділу

Поширення сигналу на місцевості залежить від багатьох чинників: місце установки, висота опори, частота роботи обладнання, кут нахилу антени та багато іншого. Для встановлення обладнання, потрібне попереднє моделювання точки доступу чи базової станції у віртуальному середовищі, яке буде враховувати всі нюанси при поширенні сигналу. Таке моделювання зможе більш точно визначити місце для встановлення обладнання, спрогнозувати проблемні місця та виключити їх, а можливо покаже, що краще не встановлювати обладнання в даній локації.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИГНАЛУ В СЕРЕДОВИЩІ «FORSK ATOLL»

3.1. Огляд середовища для моделювання мережі «Forsk Atoll»

Платформа «Forsk Atoll» призначена для проектування та оптимізації бездротової мережі, надає операторам бездротового зв'язку рішення для життєвого циклу мережі, починаючи від початкового проектування і закінчуючи ущільненням та оптимізацією. Середовище пропонує велику різноманітність конфігурацій. Програмне забезпечення включає інтегровані можливості проектування мережі RAN – множинні RAT для технологій радіодоступу 3GPP та 3GPP2, що підтримують 5G, LTE, NB-IoT, UMTS, GSM та CDMA [3].

Forsk Atoll має вбудований функціонал для роботи з базами даних як у онлайн, так і в офілайн режимі. Як результат, людині не потрібно постійно підключатись до бази даних. Можна працювати віддалено від сервера, а повернувшись, програма автоматично синхронізується з основною базою даних. Підтримка широкого спектру СУБД: Oracle, Access, MySQL та ін. Додаткові безкоштовні розширення дозволяють налаштувати одночасно декількох користувачів, завантажувати та надавати доступ лише до певних даних, зберігати історію змін, імпортувати статистику та інші дані з OSS. Можливість розрахувати карти покриття для цілого міста, регіону чи країни в межах одного проекту. Немає необхідності в сторонніх модулях та поєднанні декількох карток покриття. Підтримка моделювання ICIC (координація міжклітинних перешкод), планування PRACH для LTE [9]. Широка настройка та автоматизація рутинних операцій. Програмне забезпечення дозволяє, використовуючи макроси у VBA та додаткові модулі в C ++, розширити функціонал розкладу. Крім того, середовище дозволяє одночасно використовувати декілька карт різних постачальників, які також можна завантажити, просто додавши посилання на

файл конфігурації. Atoll ACP дозволить вам оптимізувати мережу з урахуванням санітарних зон. Це також дозволяє виконати оптимізацію в 3D щодо покриття внутрішньої поверхні.

3.2. Підготовка до роботи

Перш ніж розпочати планування мережі у середовищі «Forsk Atoll», потрібно завантажити карти для потрібного нам регіону. Спочатку, ми визначимо до якої зони UTM належить наш об'єкт планування – м. Тернопіль та околиці. Для цього скористаємось веб-ресурсом www.epsg.io. Обираємо на карті м. Тернопіль, після чого з'явиться інформація про зонування. Як бачимо на рисунку 3.1, м. Тернопіль належить до наступної системи координат UTM: WGS 84 / UTM zone 36N EPSG:32636.

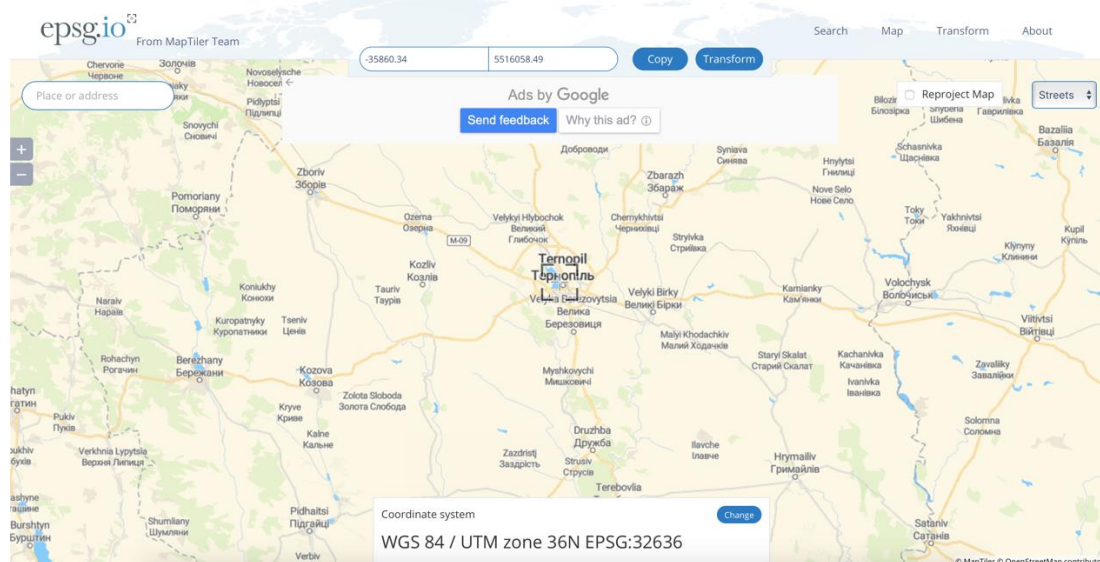


Рис. 3.1. Пошук UTM зони для м. Тернополя

Ця інформація знадобиться нам при першому налаштуванні середовища «Forsk Atoll», від неї буде залежати точність проектування.

Наступним кроком буде завантаження геологічних карт рельєфу. Ці карти є у вільному доступі на сайті Nasa, проте, потрібно пройти безкоштовну

реєстрацію, де треба вказати в якій галузі та з якими цілями ми завантажуюмо дані карти. Переходимо на сайт search.earthdata.nasa.gov, після чого, на карті обираємо потрібну нам зону – м. Тернопіль (рис. 3.2).

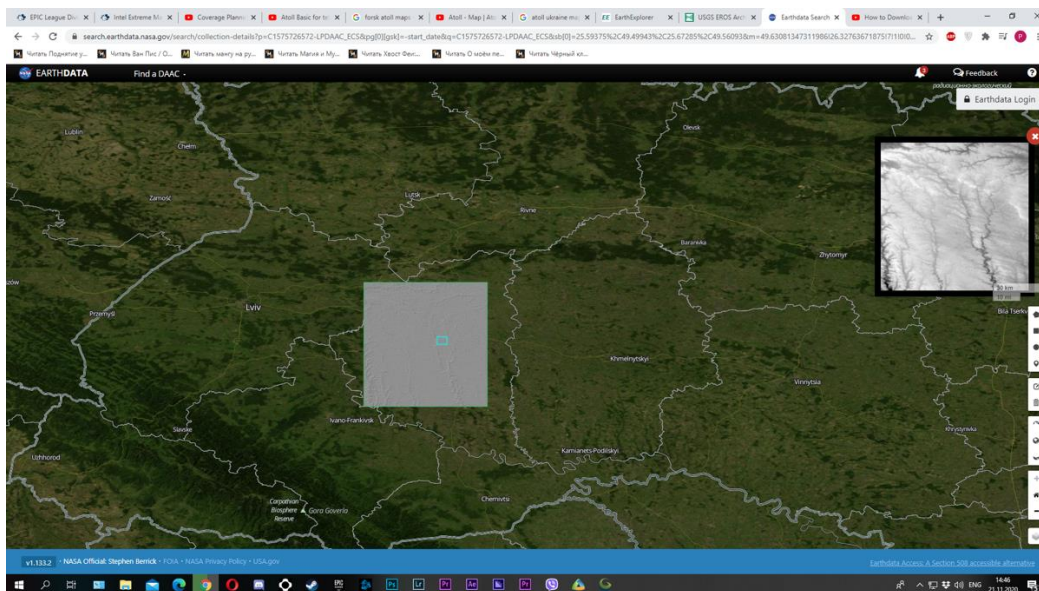


Рис. 3.2. Геологічні карти рельєфу для м. Тернополя

Після вибору зони, сайт надасть нам посилання, за яким можна завантажити карти рельєфу. Проте, потрібно скористатись будь-яким менеджером завантаження, оскільки при спробі завантаження потрібно ввести свій логін та пароль, у нашому випадку це ПЗ «Download Master».

Фінальним кроком у підготовці є конвертування завантажених карт у потрібний формат. Для цього необхідно скористатись ще одним картографічним програмним забезпеченням – «Global Mapper». Програма надається за платною ліцензією, проте надає тріал-період для тестування (рис. 3.3).

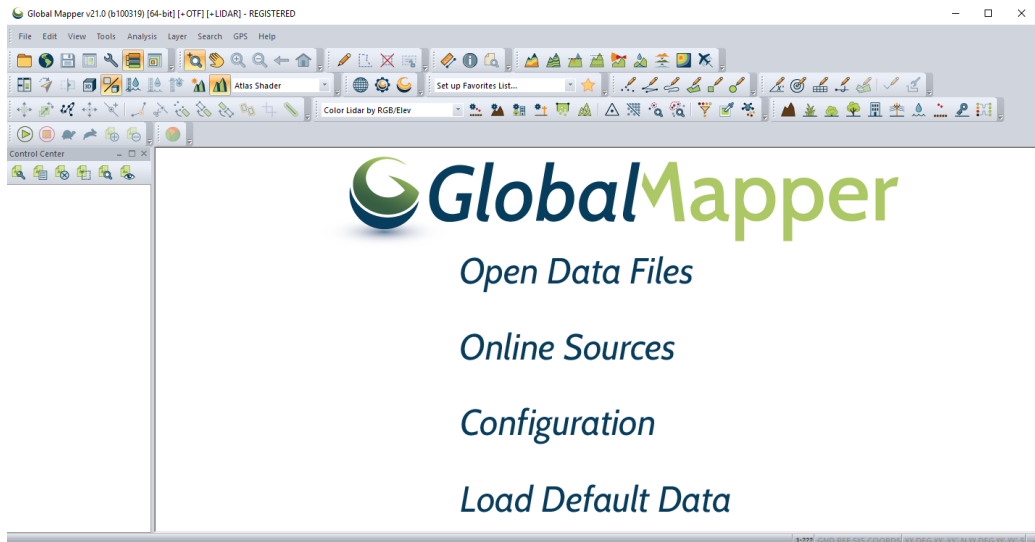


Рис. 3.3. Інтерфейс програми «Global Mapper»

Відкриваємо завантажені з сайту Nasa, карти рельєфу у «Global Mapper» та переходимо у розділ «Tools» – «Configuration» – «Projection», та змінюємо зонування на зрозуміле нам UTM (рис. 3.4).

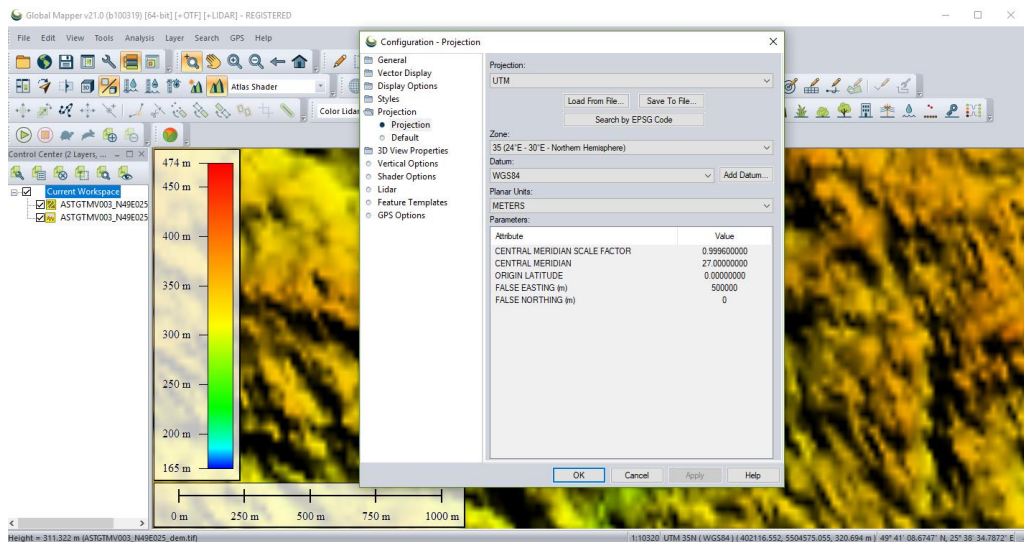


Рис.3.4. Зміна конфігурації зонування у «Global Mapper»

Після цього зберігаємо наші карти у форматі «Vertical Mapper Grid File», саме з цим файлом карти ми зможемо працювати у середовищі «Forsk Atoll». Запускаємо середовище планування та створюємо новий проєкт (рис.3.5).

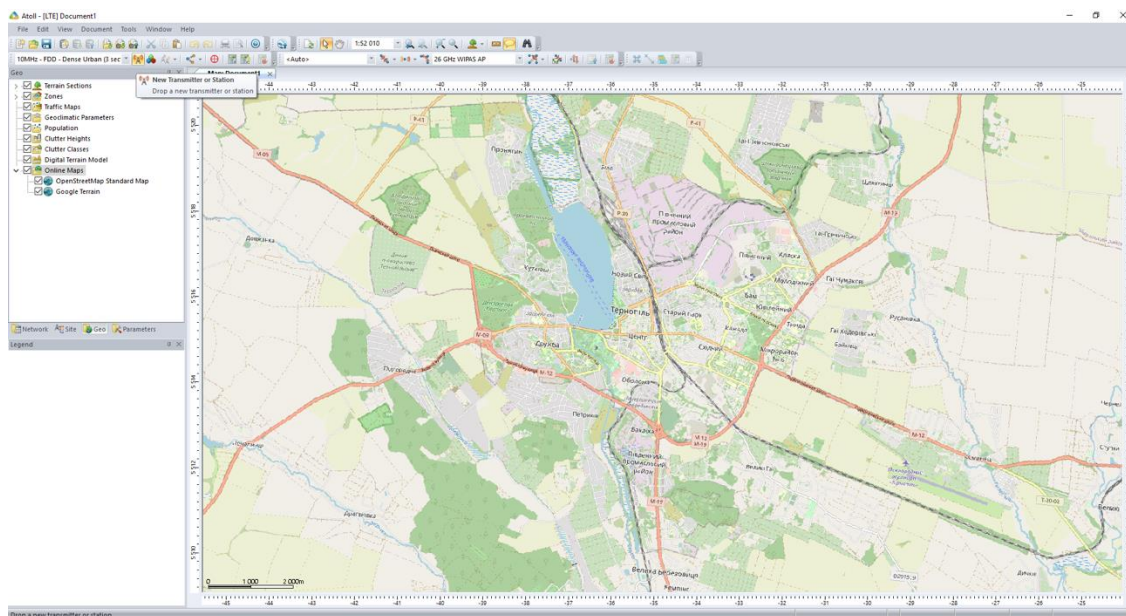


Рис. 3.5. Інтерфейс ПЗ «Forsk Atoll»

Верхня панель середовища містить в собі такі елементи: меню з налаштуваннями програми, швидкі кнопки для збереження проєкту, додавання нових елементів (карт, проєктів), зміни масштабу карти, створення нової базової станції, створення зв'язків між базовими станціями, симуляція поширення сигналу та ін [3].

Ліва бічна панель відповідає за збереження та відображення усіх створених нами елементів: базові станції, сектори базових станцій, карти, симуляції та ін.

Центральна частина інтерфейсу – це власне сама карта, на якій ми будемо розташовувати базові станції та спостерігати за поширенням сигналу [3].

Останнім, що потрібно зробити у підготовці до початкової роботи програми – це створити умову, за якою буде проводитись симуляція. Їх можна створити декілька, проте, нас цікавить одна – «Покриття сигналом у дБ». Саме цим критерієм керуються інженери у плануванні бездротової мережі. Дана симуляція покаже, як буде поширюватись сигнал від базової станції з нашими налаштуваннями: висота установки, кут нахилу, потужність антени, азимут, частота роботи та інше (рис. 3.6).

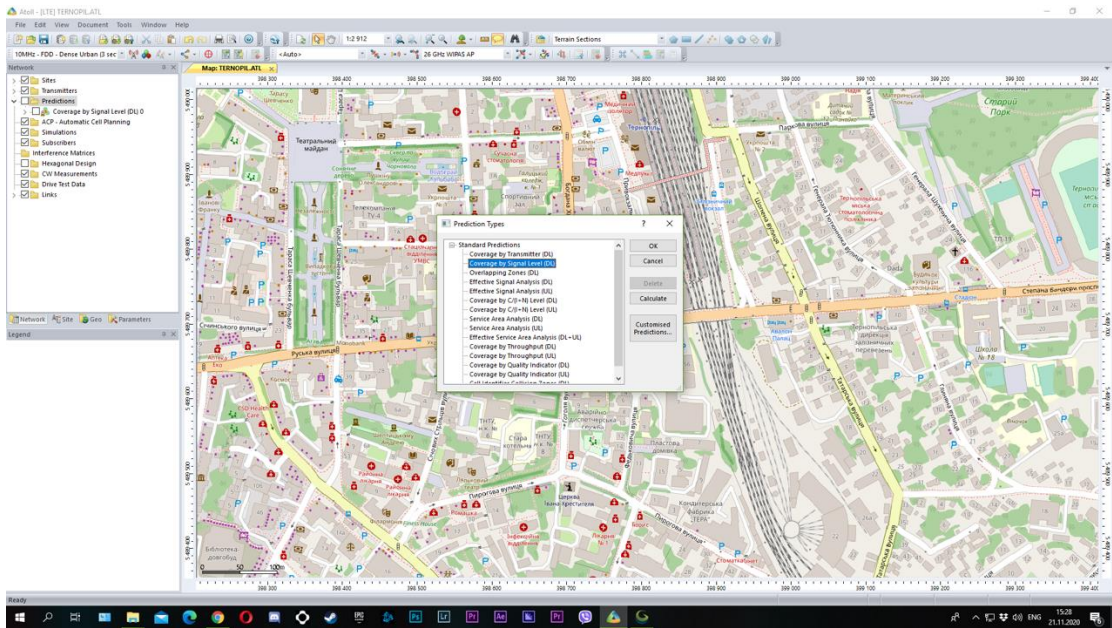


Рис. 3.6. Створення нової умови для симуляції у ПЗ «Forsk Atoll»

3.3. Планування бездротової мережі LTE

Після усіх налаштувань можна приступити до створення мережі. Для початку, нам потрібно додати на карту нову базову станцію. Щоб не вгадувати з розташуванням, візьмемо за основу місцезнаходження базових станцій мобільного оператора «Vodafone Україна». Дані розташування базових станцій операторів можна знайти на сайті cellmapper.com. Для цього перейдемо на сайт, та у меню фільтрів оберемо нашого оператора та місто (рис. 3.7).

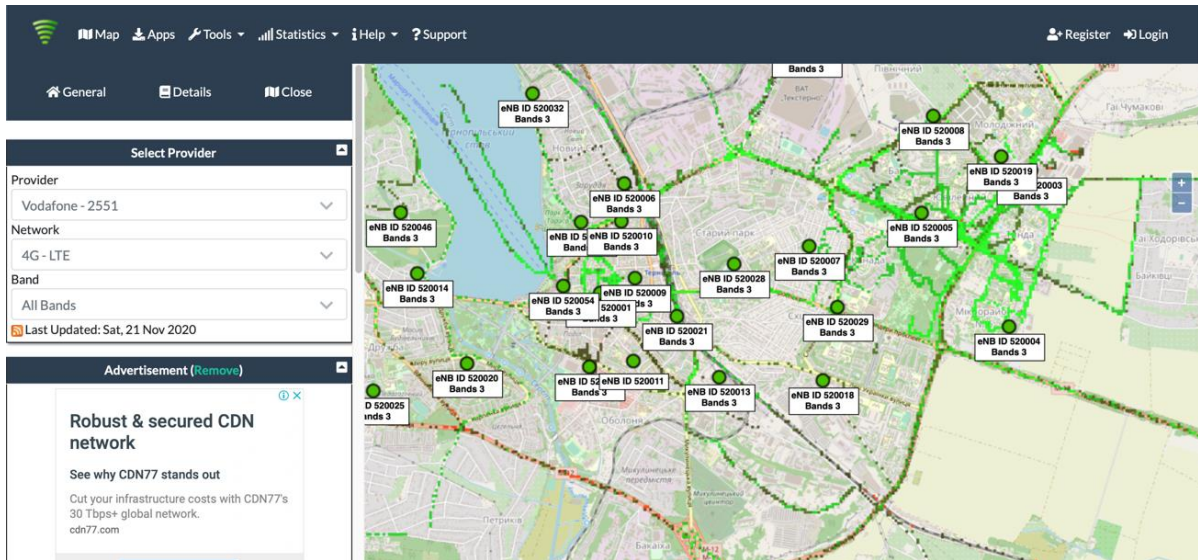


Рис. 3.7. Місцезорозташування базових станцій мобільного оператора «Vodafone Україна»

Оберемо одну з базових станцій оператора, наприклад, за адресою вул. Л. Українки, 28. Базова станція розміщена на трубі котельні. Переходимо у «Atoll» та створюємо нову базову станцію, для цього на верхній панелі інструментів натискаємо на кнопку з іконкою базової станції та розміщуємо її на карті на трубі котельні (рис. 3.8).

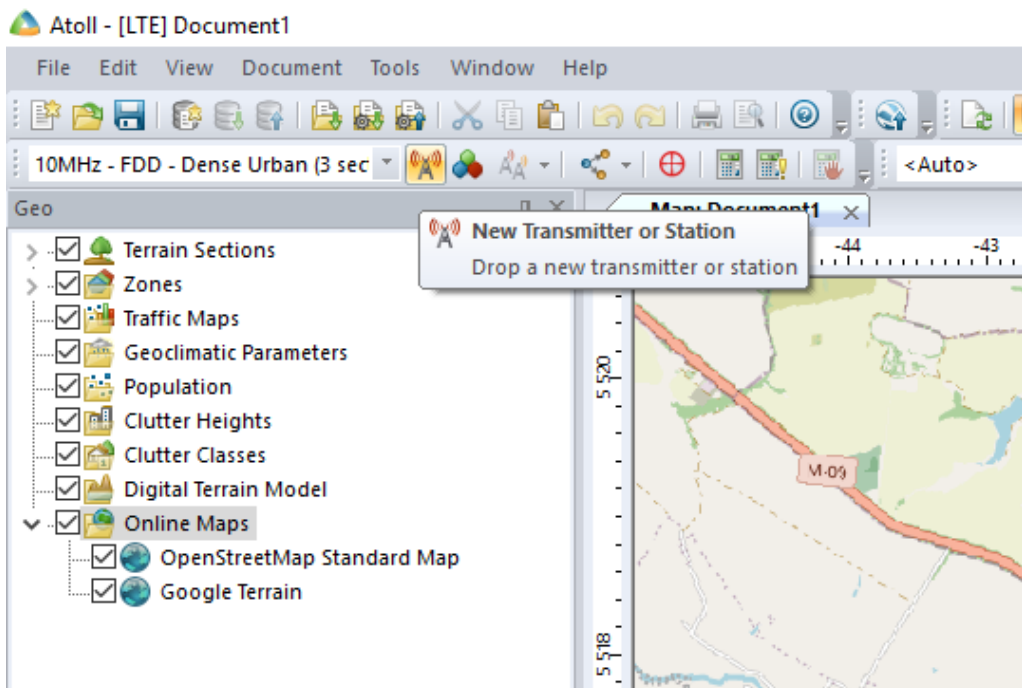


Рис. 3.8. Створення нової базової станції у середовищі «Forsk Atoll»

Базова станція успішно додалась на карту зі стандартними налаштуваннями: висота 30 м, антени з вертикальною діаграмою направленості 100 градусів, кутом 0 градусів. Для зміни налаштувань переходимо у ліву бічну панель, у розділ «Sites» та змінюємо назву нашої нової базової станції, щоб було зрозуміліше. Далі переходимо у розділ «Transmitters», де кожна панельна антена нашої базової станції відображається окремо, що дозволяє проводити точні налаштування кожного сектору незалежно від інших.

Відкриваємо налаштування першого сектору та проводимо конфігурацію. Змінюємо панельні антени з вертикальною діаграмою направленості 100 градусів на 65 градусів, з коефіцієнтом посилення 18 дБ. Зменшуємо висоту установки сектору до 25-ти метрів від землі, встановлюємо кут нахилу 1 градус. Збільшувати більше кут нахилу першого сектору немає необхідності, оскільки рельєф перед даним сектором йде вгору.

Повторюємо налаштування для другого сектору, але кут нахилу встановимо більший – 4 градуси, оскільки рельєф за цим сектором йде до низу.

Третій сектор виставимо на 2 градуси, всі інші налаштування залишаємо як і в двох інших секторів.

В детальних налаштуваннях кожного сектору потрібно задати частоту роботи, у нашому випадку – це LTE 1800 МГц (рис.3.9).

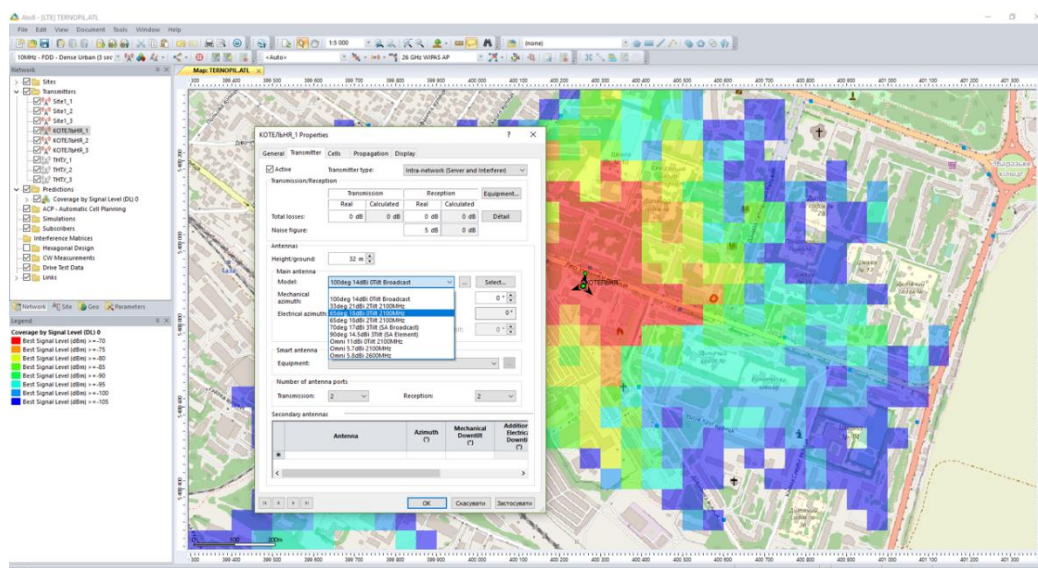


Рис. 3.9. Конфігурація базової станції

Після цього запустимо моделювання поширення сигналу на карті. При моделюванні враховується рельєф місцевості по карті, яку ми раніше завантажили (рис. 3.10).

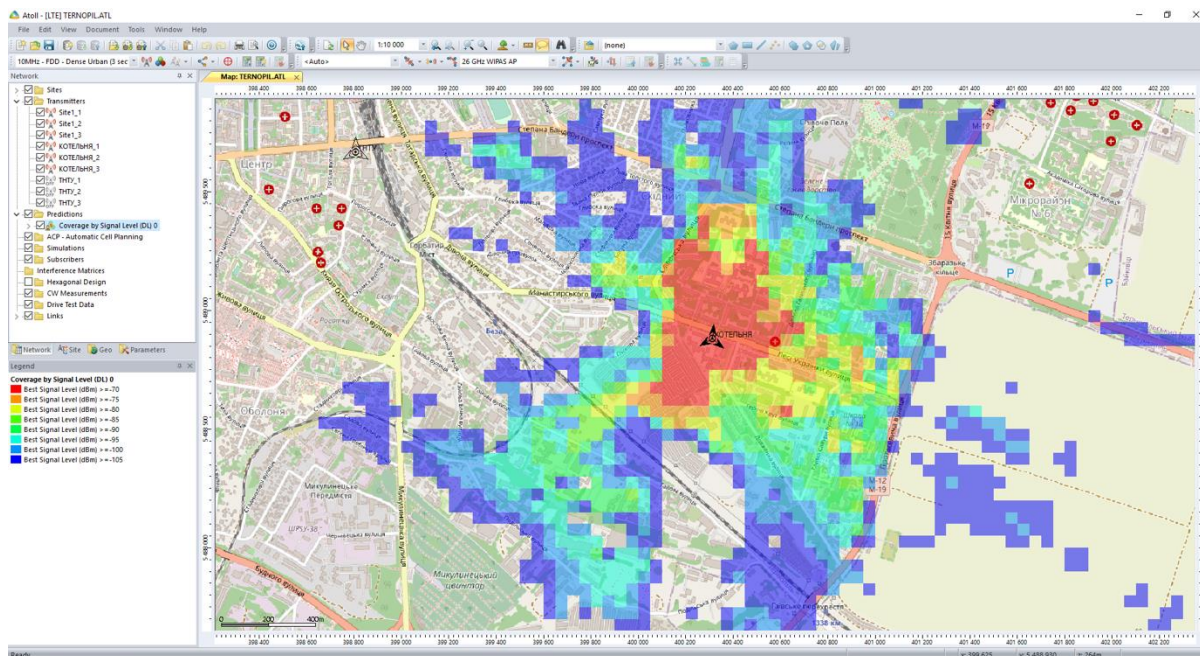


Рис. 3.10. Результат моделювання

Як можемо бачити, сигнал від базової станції охопив практично весь житловий масив, що є задовільним результатом. Проте, в нижній частині карти залишився великий пробіл у покритті. Такі ситуації стаються з декількох причин: проблеми з рельєфом, щільна забудова, густі лісові насадження та ін. У нашому випадку проблема пов'язана з рельєфом. В цій ділянці є різке зниження висоти, сигнал туди не потраплятиме.

Вирішенням цієї проблеми може бути встановлення додаткової базової станції у цій ділянці або ж установка додаткового обладнання на існуючій базовій станції у діапазоні 900 МГц. Спробуємо додати обладнання на існуючу базову станцію.

Дублюємо вже існуючі сектори 1800 МГц та змінюємо їх частоту на 900 МГц. Поки інших налаштувань не проводимо. Моделюємо покриття (рис.3.11).

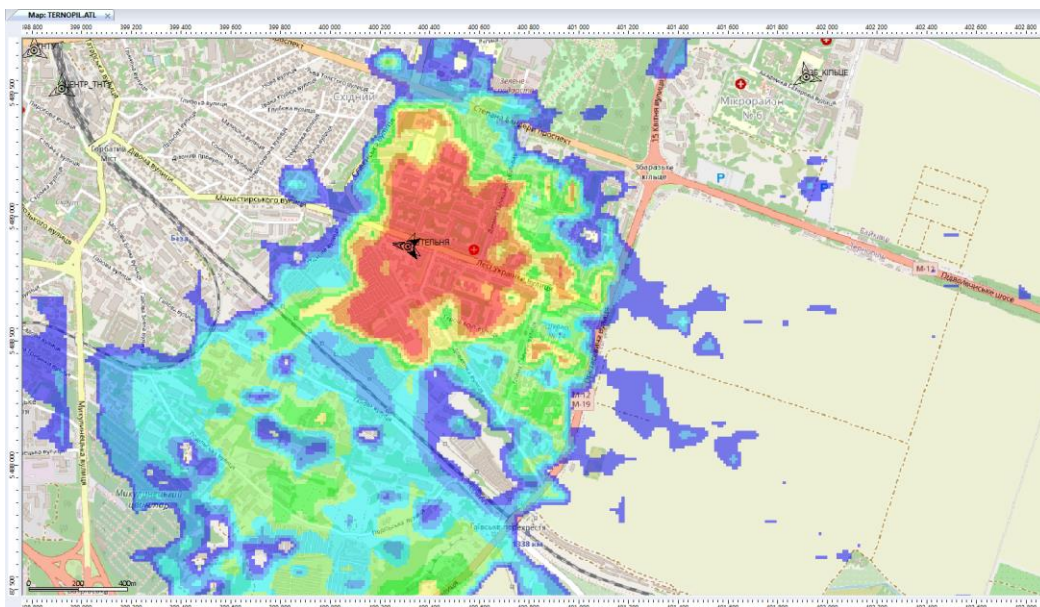


Рис. 3.11. Результат моделювання базової станції на частоті 900 МГц

Як бачимо з рисунка 3.11, базова станція у стандарті L-900 не є доцільною у даній ситуації, адже через особливість рельєфу сигнал навіть від 1 сектора станції поширюється на великі відстані, що призведе до швидкого перевантаження базової станції та буде негативно впливати на зв'язок з іншими базовими станціями за рахунок інтерференції. Термінали користувачів за такого розміщення базової станції 900 МГц, будуть значно швидше витратити заряд акумулятора, адже термінал буде постійно переходити зі станції на станцію. Тому, вирішенням проблеми локального покриття може стати додаткова базова станція, якщо для цього є фінансова можливість.

До того ж, зараз широко використовуються точкові базові станції (мікросоти), які відрізняються розмірами та місцями установки. Ці базові станції встановлюються у місцях великих скупчень людей або ж навпаки, для покриття невеликої, проте, пріоритетної ділянки. Такі базові станції переважно встановлюються на невисоких опорах 6-9 метрів та мають радіус охоплення до 500 м (рис. 3.12).



Рис. 3.12. Мікросота

3.4 Оптимізація фінансових ресурсів за рахунок LTE-900

До середини 2020 року українські мобільні оператори не мали змоги працювати у низьких діапазонах зі стандартом UMTS/LTE. Зараз така змога, завдяки регулятору частот - УДЦР, з'явилась та допоможе значно зменшити витрати при установці нових базових станцій. Одна базова станція стандарту LTE-1800 обходиться операторам, всередньому, до мільйона гривень. У ці витрати включено: обладнання, опора, санітарні дозволи, дозволи на експлуатацію, оформлення земельних документів, оренда землі та ще ряд додаткових дозволів. Якщо така базова станція встановлюється у місті чи селі, де багато абонентів, які активно споживають трафік, ці всі витрати здатні окупити себе протягом 3-5 років.

Інша проблема, коли активних абонентів мало, а покриттям потрібно забезпечувати. В цьому випадку і розглядається установка базової станції

низького діапазонного ресурсу, яка зможе покрити одразу декілька населених пунктів. Розглянемо установку обох базових станцій на прикладі села з населенням 1500 людей.

Для установки підберемо місце, яке буде трохи віддаленішим від житлових будинків та дозволить встановити опору. Додаємо базову станцію на карту та починаємо налаштування (рис. 3.13).

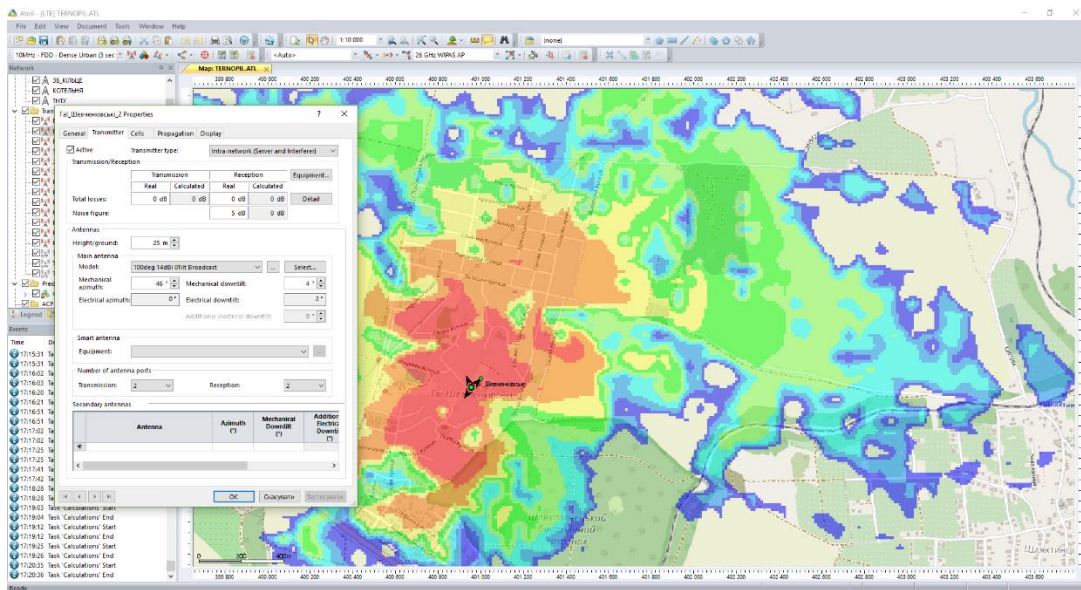


Рис. 3.13. Налаштування базової станції 1800 МГц

Оскільки даний населений пункт має витягнуту форму, а базова станція розташована біля лісу, сектори спрямовуємо нерівномірно, відвертаючи їх від лісу. Кути нахилу на кожному секторі – 2 градуси.

Як можемо бачити з поширення покриття на рисунку 3.13, базова станція частотою 1800 МГц покрила весь населений пункт, навіть з надлишком. Технічно, всі умови виконані правильно, проте, фінансово – потрібна оптимізація.

Аналізуючи карту, можна спостерігати, що біля цього населеного пункту є ще 3. Спробуємо використати весь ресурс низького частотного діапазону для покриття всіх трьох населених пунктів однією базовою станцією. Встановимо базову станцію у с. Лозова, що знаходиться між іншими двома населеними

пунктами. Сектори розмістимо кожен на свій населений пункт. Висота опори – 30 м. Сектори виставимо під 2 градуси кожен, а самі антени замінимо на більш направлені, з вертикальною діаграмою направленості 65 градусів. Приступаємо до симуляції поширення сигналу від базової станції (рис. 3.14).

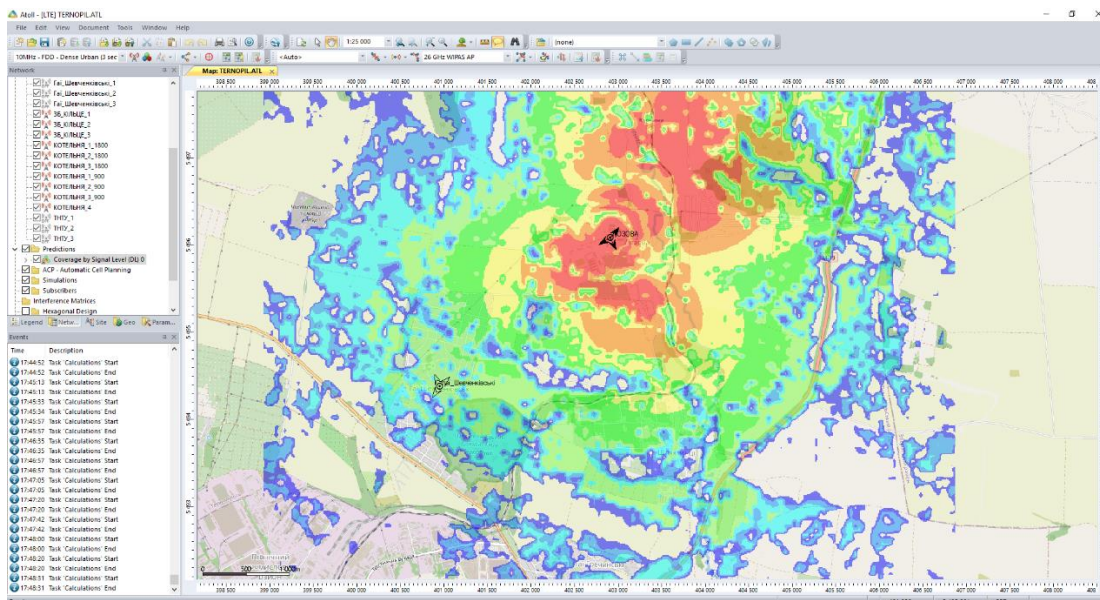


Рис. 3.14. Симуляція поширення сигналу від базової станції 900 МГц

Як можемо бачити на рисунку 3.14, базова станція успішно охопила всі 3 населені пункти і ще частково захопила трасу. В результаті, компанія економить значні фінансові ресурси, встановлюючи базові станції низького частотного діапазону, оскільки одна базова станція стандарту L-900 замінює три або більше стандарту L-1800 [3].

Однак, розглянемо недоліки такої оптимізації.

Таблиця 3.1

Порівняння стандарту L-1800 та L-900

Критерії	L-1800	L-900
Дальність поширення сигналу	До 5 км (на відкритій місцевості)	до 30 км (на відкритій місцевості)
Максимальна швидкість передачі даних	150 Мбіт/сек (20 МГц, MIMO 2x2, QAM64)	37,5 Мбіт/сек (5 МГц, MIMO 2x2, QAM64)
Кількість смартфонів абонентів, що підтримують частоту (Україна)	54%	21%

Як бачимо з таблиці 3.1, до недоліків низької частоти можна віднести значно нижчу швидкість передачі даних. Окрім того, за рахунок значного радіусу дії частою проблемою буде значна інтерференція та перевантаження мережі. Також, до недоліків можна віднести низьку кількість смартфонів в Україні, що підтримують LTE на частоті 900 МГц. Причиною цього є – неофіційно ввезені смартфони з інших країн. Багато країн азії не використовують європейські частоти для побудови покриття в країні, тому смартфони, які продаються на ринку азії не мають підтримки деяких наших частот, зокрема 900 МГц [3].

3.5. Висновок до розділу

Як бачимо, оптимізація та правильне моделювання мережі здатне зекономити значних фінансових ресурсів. LTE-стандарт зв'язку здатен працювати на доволі великій кількості частот, що дозволяє підібрати потрібну частоту під конкретну локацію. З недавніх пір, в Україні дозволено використання «низьких» частот для 3G та 4G. Для малонаселених районів або доріг, з легкістю підійде установка базових станцій у діапазоні 900 МГц. Одна базова станція LTE-900 здатна замінити 3 або більше базових станцій LTE-1800, що надзвичайно важливо у фінансовому плані для компанії.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Системою охорони праці на підприємствах, в установах та організаціях є усі правові, організаційно-технічні, соціально-економічні, лікувально-профілактичні, санітарно-гігієнічні засоби та заходи, які направлені на те, щоб зберегти здоров'я і працездатність людей під час виконання службових обов'язків.

Для того, щоб забезпечити управління охороною праці, потрібно проводити підготовку і виконання конкретних заходів, які будуть гарантувати охорону здоров'я і життя працівників у робочий час. Важливою є об'єктивність інформації про умови роботи людини, забезпечення її повною і доступною інформацією про стан підприємства, його виробничих приміщень. Розробка і наукове обґрунтування інформації обов'язково має бути створене в сучасних інформаційних системах у галузі охорони праці [26].

У кваліфікаційній роботі «Методи та засоби моделювання та оптимізації бездротових мереж передавання даних» постає важлива задача захисту як працівників, так і всіх людей, від впливу електромагнітних полів та випромінювань. Це вагома складова організаційно-технічних заходів, що забезпечують підвищення рівня охорони праці на підприємствах різного профілю, у зв'язку зі зростанням наповненості виробничих і громадських місць електричним та електронним обладнанням та підвищенням електромагнітного навантаження на довкілля. Потужний розвиток технологій, вдосконалення технологічного обладнання спричиняє зростання амплітуд і розширення частотного спектра електромагнітних полів, які спричиняють істотний вплив не тільки на працівників підприємств. Причиною саме цих впливів є не тільки пристрої та прилади, які експлуатуються на виробництві, а і електричне та

електронне обладнання, технічні засоби бездротових комп'ютерних мереж, мобільного зв'язку та ін. Сильно впливають на електромагнітну обстановку базові станції мобільного зв'язку, радіотехнічне обладнання. В таких умовах стандартні способи захисту не можуть забезпечити відповідні безпечні норми електромагнітних полів. На сьогоднішній день використання електромагнітних екранів – найефективніший метод, який захищає кадри підприємств від впливу електромагнітних полів. В Україні пріоритетом в розвитку охорони праці, а саме електромагнітної безпеки, є актуалізація та доповнення національної нормативно-правової бази світовими правилами і нормами електромагнітної безпеки та електромагнітної сумісності технічних засобів. З цього випливає, що головним завданням охорони праці є постійне покращення ефективності засобів захисту. Завдяки проведеним у всьому світі дослідженням можна стверджувати, що як і найпоширеніші екранувальні матеріали, які мають усі нормативні документи, так і сучасні металовмісні діелектрики та аморфні магнітом'які металеві сплави не завжди можуть забезпечувати ефективність екранування. Причина полягає в низькій керованості захисних властивостей таких матеріалів та неможливості забезпечення належного 4 рівня захисту за рахунок поглинання електромагнітної енергії при мінімальних коефіцієнтах відбиття з одночасним забезпеченням рівнів випромінювань, достатніх для функціонування бездротових комп'ютерних мереж і мобільного зв'язку. Таким чином, дослідження щодо формування комплексу організаційно-технічних заходів захисту працюючих від впливу електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот, зокрема розроблення та дослідження захисних матеріалів з властивостями, які регулюються, можливістю вибіркового поглинання електромагнітних випромінювань, мінімальними коефіцієнтами відбиття та надання практичних, науково обґрунтованих рекомендацій стосовно їх використання у реальних виробничих умовах є актуальним завданням [27].

На сьогодні недостатньо досліджені фактичні рівні електромагнітних полів (ЕМП) ультрависоких, надвисоких і надзвичайно високих частот у промислових та адміністративних спорудах різного призначення, як і їх залежність від

специфіки конструкцій будівель, номенклатури технологічного обладнання та впливу зовнішніх факторів, також мало досліджено і науково обґрунтовано екранування електромагнітних випромінювань, що впливають на робітників.

Вплив багатьох джерел на електромагнітне середовище усередині приміщень наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Інтегральні значення зовнішніх впливів на електромагнітний стан

Висота над поверхнею землі, м	W, мкВт/см ²	
	у приміщеннях	ГДР
2	0,08	10,00
8	0,25	10,00
16	3,20	10,00
22	4,80	10,00

Наведена таблиця показує, що рівні електромагнітних випромінювань (ЕМВ) не перевищують гранично допустимі рівні (ГДР), відповідає національним нормам [25]. Також розглянемо рівні випромінювань у виробничому просторі найбільш поширених Wi-Fi роутерів (табл. 2).

Таблиця 2

Рівні випромінювань Wi-Fi роутерів у виробничому середовищі

№ п/п	Відстань, м	W, мкВт/см ²	ГДР
1	0,50	16,00	10,00
2	1,00	10,00	10,00
3	2,00	0,40	10,00
4	3,00	0,16	10,00

Таблиця 3

**Рівні випромінювань при частковій екранізації приміщень
будівельними матеріалами**

№ п/п	W, мкВт/см ²	
	у приміщеннях	ГДР
1	25,00	10,00
2	18,00	10,00
3	0,50	10,00
4	0,80	10,00

Електромагнітне середовище у промислових будівлях в частотних діапазонах ультрависоких і вищих частот залежить від інтенсивності випромінювань внутрішніх і зовнішніх джерел та відбивальних властивостей поверхонь приміщень. За однакових генерацій внутрішніх джерел випромінювань та зовнішніх впливів щільності потоки енергії складають від 0,10 до 9,22 мкВт/см². Часткова екранізація виробничих приміщень є причиною підвищення інтенсивності власних випромінювань засобів зв'язку. Вони зростають від 10...19 мкВт/см² за межами приміщень до 34...36 мкВт/см² у приміщенні під час пошуку зв'язку та від 0,08...1,50 до 11...14 мкВт/см² під час використання. У 6...8 % технічних засобів такі показники вищі майже на порядок. В зв'язку частковою екранізацією всередині приміщень спостерігається щільність потоку енергії до 16...38 мкВт/см². Для персоналу, що безпосередньо працює з високочастотною технікою необхідно застосовувати додаткове екранування [22].

Визначено оптимальні ступені екранування зовнішніх електромагнітних випромінювань засобів бездротового зв'язку. Зниження рівня випромінювань з боку базових станцій мобільного зв'язку не повинне перевищувати 0,2 мкВт/см². Це мінімізує як зовнішній вплив електромагнітних полів на працюючих, так і випромінювань технічних засобів, якими вони користуються. Таким чином, для зниження такого впливу на працюючих в умовах необхідності забезпечення надійного зв'язку для виробничих потреб необхідно розробити механізм

раціоналізації або навіть оптимізації заходів захисту працюючих. Випробування електромагнітних екранів довели їх високу ефективність як у виробничих, так і у побутових умовах.

Правилами техніки безпеки під час роботи з приладами, такими як точка доступу Ubiquiti є заходи щодо усунення небезпеки ураження електричним струмом, які зводяться до правильного розміщення устаткування та електричних кабелів, їх цілісність, стан ізоляції. В якості профілактичних заходів для забезпечення пожежної безпеки слід використовувати скриту електромережу, надійні розетки з пожежобезпечних матеріалів, силові мережі живлення устаткування забезпечити кабелями, розрахованими на підключення в 3-5 разів більшого навантаження. Регулярно проводити огляд внутрішніх частин приладів, очищати від пилу, вологи [25].

Стан ізоляції струмопровідних частин повинен відповідати Правилам використання електроустановок. Цими Правилами передбачене періодичне випробування ізоляції (2 рази на рік у приміщеннях зі складними умовами, підвищеною вологістю і 1 раз на рік у приміщеннях з нормальним середовищем). Ізоляція створює великий опір, який перешкоджає протіканню через неї струму. Опір ізоляції кожної установки або окремої ділянки електричної мережі має бути не меншим 0,5 МОм. Якщо опір ізоляції знижується на 50% від початкового, мережу або ізоляцію замінюють.

З метою уникнення електротравматизму необхідно дотримуватись правил експлуатації та встановлення приладів, дотримуватись вимог безпеки при розробці електроустановок, їх спорудженні та експлуатації, підвищення рівня навчання електротехнічного персоналу, всього населення щодо розуміння небезпеки ураження електричним струмом, безпечного поводження при виконанні робіт в електроустановках та при користуванні ними.

Прилади, типу точки доступу, споживають 2А (12В), є в повній мірі безпечними у використанні як на виробництві, так і в побуті за умови дотримання усіх норм і правил охорони праці та безпеки життєдіяльності [21].

4.2 Планування заходів цивільного захисту на об'єкті у випадку надзвичайних ситуацій

Аналізуючи надзвичайні ситуації та небезпечні події в Україні, більшість з них виникає на об'єктовому рівні, а саме на підприємствах, установах, організаціях та закладах з чисельністю персоналу 50 осіб і менше.

Ефективність вирішення завдань із захисту персоналу у надзвичайних ситуаціях залежить від планування заходів цивільного захисту на об'єкті у випадку надзвичайних ситуацій з метою запобігання і ліквідації наслідків НС безпосередньо на підприємстві з врахуванням його місця розташування та специфіки діяльності. Суть полягає в розробці плануючих документів, які визначають зміст та певний порядок дій персоналу для забезпечення ефективного реагування на надзвичайні ситуації [26].

Основним плануючим документом з питань цивільного захисту є Інструкція щодо дій персоналу у разі загрози або виникненні надзвичайних ситуацій. Інструкція розробляється з метою забезпечення безпеки та захисту працівників, матеріальних і культурних цінностей від негативних наслідків надзвичайних ситуацій у мирний час та в особливий період.

Відповідно до статті 130 Кодексу цивільного захисту України та пункту № 2 Порядку розроблення планів діяльності єдиної державної системи цивільного захисту, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 9 серпня 2017 р. № 626 суб'єктами господарювання з чисельністю працюючого персоналу 50 і менше осіб, з метою захисту персоналу та матеріальних цінностей від надзвичайних ситуацій розробляється Інструкція щодо дій персоналу у разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій.

Для розробки Інструкції, перш за все, необхідно зібрати дані, проаналізувати можливі варіанти розвитку подій, визначити шляхи досягнення поставлених цілей і виконання завдань, зробити попередні розрахунки фінансових і матеріальних витрат для цієї діяльності.

Варто враховувати ймовірність виникнення НС у регіоні техногенного та природного характеру, потенційної небезпеки об'єктів, розташованих поблизу, забезпечення працівників засобами колективного та індивідуального захисту, рівень підготовки працівників з питань цивільного захисту, наявність відповідних засобів, матеріалів та обладнання для запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, заходів щодо забезпечення пожежної безпеки. Важливим є призначення виконавців, їх підготовка та розподіл обов'язків.

Здійснюється практична розробка і визначається конкретний перелік заходів та робіт для досягнення поставлених цілей і виконання завдань, проводиться розрахунок необхідних ресурсів та їх джерела, визначаються безпосередні виконавці заходів і робіт, опрацьовуються питання організації взаємодії з органами управління, установами і організаціями, спільно з якими планується виконання заходів. Усі працівники, не залежно від займаних посад, повинні знати і суворо виконувати вимоги Інструкції щодо дій персоналу при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій.

В Інструкції обов'язково мають бути визначені усі можливі джерела потенційної небезпеки на території або поблизу підприємства.

Сповіднення адміністрації та персоналу про загрозу виникнення надзвичайних ситуацій проводиться по завчасно розробленій схемі: від керівника, з мереж радіомовлення і телебачення, після попереджувального сигналу «Увага всім!» (звукові сигнали - уривчасте звучання електросирен, гудки підприємств і транспорту).

Засоби індивідуального захисту видаються після отримання відповідного розпорядження або за рішенням керівника. Працівники повинні перевірити їх стан та мати постійно при собі або на робочому місці.

Порядок проведення евакуації у разі загрози виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій:

- евакуація з будівлі до визначеного місця збору персоналу здійснюється згідно плану евакуації при пожежі;

- від місця збору евакуація персоналу до безпечного місця здійснюється пішим порядком (автотранспортом, за наявності, або комбінованим способом).

У випадку хімічного чи радіоактивного забруднення повітря всі працівники можуть укритися в захисних спорудах цивільного захисту. Для термінового укриття – в приміщенні із можливістю герметизації.

Особливими і надзвичайно актуальними на сьогодні є вимоги до персоналу щодо додержання протиепідемічних заходів при загрозі розповсюдження особливо небезпечних інфекційних захворювань.

Якщо на території підприємства або поблизу нього виникла небезпека розповсюдження особливо небезпечних інфекційних захворювань усі працівники повинні суворо виконувати вимоги санітарно-епідеміологічної служби щодо проведення термінової профілактики та імунізації, ізоляції і лікування виявлених хворих, дотримуватися режиму, який запобігає розповсюдженню інфекції. Основні з них: наявність маски, яка прикриває ніс і рот, за необхідності і рукавиць, використання антисептика, дотримання дистанції, уникання масових зібрань. Під час виконання заходів захисту від НС або при ліквідації їх наслідків необхідно вживати заходи із попередження можливих збитків підприємства, на забезпечення охорони майна та обладнання.

Особливості дій працівників в деяких надзвичайних ситуаціях:

- ураження хімічно небезпечною речовиною – оповіщення, термінове вимкнення усіх вентиляційних установок та кондиціонерів, закриваються вікна, двері, приміщення герметизується. Видача засобів індивідуального захисту;

- пожежа – суворо виконувати вимоги Інструкції з пожежної безпеки, евакуацію проводити згідно Плану евакуації при пожежі;

- загроза радіоактивного забруднення – уважно слідкувати за мовним повідомленням управління з питань цивільного захисту по радіо і телебаченню після попереджувального сигналу «Увага всім!», суворо виконувати рекомендації із захисту від радіоактивного забруднення;

- загроза або виникнення катастрофічних стихійних лих – виконати усі протипожежні заходи, відключити від електромережі електрообладнання,

підготуватися до евакуації або вивезення у безпечні місця найбільш цінних матеріальних засобів. Постраждалим надається домедична допомога.

При надходженні анонімної інформації про загрозу на території підприємства або поблизу нього терористичного акту – терміново доповісти керівнику і у правоохоронні органи та діяти згідно розпоряджень.

4.3 Висновок до розділу

У розділі розглянута важлива задача захисту людей від впливу електромагнітних полів та випромінювань. Проведено аналіз організаційно-технічних заходів, що забезпечують підвищення рівня охорони праці на підприємствах різного профілю.

На сьогоднішній день використання електромагнітних екранів – найефективніший метод, який захищає працівників підприємств від впливу електромагнітних полів.

Таким чином, дослідження щодо формування комплексу організаційно-технічних заходів захисту працівників від впливу електромагнітних полів ультрависоких і вищих частот, зокрема розробка та дослідження захисних матеріалів, з можливістю поглинання електромагнітних випромінювань, мінімальними коефіцієнтами відбиття та надання практичних, науково обґрунтованих рекомендацій стосовно їх використання у реальних умовах є актуальним завданням і потребує постійного вдосконалення. З цього випливає, що завданням охорони праці є покращення ефективності засобів захисту.

Проаналізовано ефективність вирішення завдань із захисту персоналу у надзвичайних ситуаціях. Безпека персоналу залежить від планування заходів цивільного захисту на об'єкті у випадку надзвичайних ситуацій з метою запобігання і ліквідації наслідків НС безпосередньо на підприємстві з врахуванням його місця розташування та специфіки діяльності. Повинна бути розроблена інструкція щодо дій персоналу у разі загрози або виникнення надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання роботи, було проведено оптимізацію мережі, у середовищі «Forsk Atoll», на прикладі мобільного оператора Vodafone Україна.

Основні результати роботи:

1 Проаналізувавши актуальні стандарти зв'язку, спостерігаємо, що четвертий стандарт LTE є найбільш гнучким та затребуваним в наших реаліях. Даний стандарт може працювати на частотах 700-3500 МГц, що робить його універсальним для вирішення будь-яких задач: покриття сіл, доріг, невеликих міст, мегаполісів та створення точкового покриття в місці великого скуплення людей. Стандарт NR надає більші швидкості, проте через новизну не поширений на 99% клієнтських терміналів, що робить цю мережу некупною в даний час.

2 Обгрунтовано методи проектування базових станцій у різних стандартах зв'язку за допомогою середовища «Forsk Atoll».

3 Проведено експеримент з точкою доступу Wi-Fi, який показав наскільки важлива правильна установка обладнання: висота, кут нахилу, частота та ін. Це дало змогу правильно корегувати базові станції при моделюванні.

4 Визначено та обгрунтовано, що попереднє моделювання та подальша оптимізація бездротової мережі здатна зекономити значні фінансові ресурси для компанії. З вищенаведеного моделювання у сільській місцевості, можемо спостерігати, як одна базова станція низького частотного діапазону здатна замінити три базові станції, які б працювали на частоті 1800 МГц. Але, варто зазначити, що дана оптимізація має місце тільки у локаціях з низькою концентрацією трафіку та абонентів. При збільшенні навантаження (кількості абонентів), пропускна здатність LTE 900 МГц буде програвати 1800 МГц, через меншу в 4 рази ширину каналу. В такому разі, доцільно буде встановити додаткову базову станцію 1800 МГц.

5 Реалізовано фрагмент мережі «Vodafone Україна» у середовищі «Forsk Atoll», що дозволить у майбутньому проводити експерименти зі

стандартами зв'язку 5G (NR). ПЗ «Forsk Atoll», з великою точністю до реальних умов, передбачило всі можливі перешкоди у проходженні сигналу. Також, за потреби, кожен мобільний оператор може розробити власні додатки на мові програмування C++ для розширення функціоналу «Forsk Atoll».

Після опрацювання цих даних, інженери мережі приймають рішення, від яких буде залежати якість покриття швидкісним інтернетом у кінцевих клієнтів та фінансових затрат у компанії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. IEEE 802, Вікіпедія: Вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/IEEE_802 (дата звернення: 22.11.2020).
2. Настройка базовой станции, моста и клиентского устройства Ubiquiti, 2014. URL: <https://lantorg.com/article/nastrojka-bazovoj-stantsii-mosta-i-klientskogo-ustrojstva-ubiquiti> (дата звернення: 20.11.2020).
3. Atoll 3.1.0 User Manual LTE, 2019. URL: <https://www.scribd.com/doc/95763406/Atoll-3-1-0-User-Manual-LTE> (дата звернення: 20.11.2020).
4. LTE Advanced, Вікіпедія: Вільна енциклопедія. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/LTE_Advanced (дата звернення: 19.11.2020).
5. Тихвинский В.О., Бочечка Г.С. Концептуальные аспекты создания 5G. *Электросвязь*. 2013. №10. С.29-33.
6. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. М: Эко-Трендз, 2010. 284 с.
7. Гельгор А.Л., Попов Е.А. Технология LTE мобильной передачи данных: Учебное пособие. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2011. 204 с.
8. Карасёв С. Установлен рекорд скорости передачи данных в 5G-сети: 7,5 Гбит/с. *3D News: Daily Digital Digest*. URL: <http://www.3dnews.ru/tags/5g#903594> (дата звернення: 24.10.2020).
9. Гельгор А.Л., Попов Е.А. Технология LTE мобильной передачи данных. *Учебное пособие*. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2011. 204 с.
10. Бакулин М.Г., Варукина Л.А., Крейнделин В.Б. Технология МІМО: принципы и алгоритмы. М: Горячая линия-Телеком, 2014. 242 с.

11. ММО. Википедия: Свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ММО> (дата звернення: 27.10.2020).
12. Иванов В. Модель геоинформационных систем. *GISTechnik*. URL: <http://gistechinik.ru/fails/модель.doc> (дата звернення: 09.09.2020).
13. Варукина Л. Упражнение по планированию радиосетей LTE, а также о технических предпосылках объединения операторов. *Мобильный форум*. URL: http://www.mforum.ru/arc/20110520_LTE_RNP_Varukina_180511.pdf (дата звернення: 11.08.2020).
14. Бабков В.Ю. Подходы к планированию и оптимизации сетей LTE. *ИнфоТел*. URL: http://www.rpls.ru/seminar/piter2012/2012_SPB_GUT_Vabkov_LTE.ppt (дата звернення: 07.09.2020).
15. Расчет параметров сетей GSM, LTE, WCDMA. *Моя библиотека*. URL: <http://mybiblioteka.su/tom2/11-75652.html> (дата звернення: 11.10.2020).
16. Павлова Г.Г., Надымов А.В., Петросьянц В.В., Цао Чженьюй. Перспективы модернизации сетей связи: от 2G/3G к LTE. *Вестник инженерной школы ДВФУ*. 2013. №1 (14). С.20-25.
17. Якимович С. Пути миграции от сетей 2G/3G к сетям LTE. *Журнал «Технологии и средства связи»*. 2013. №3. URL: <http://www.tssonline.ru/articles2/fix-op/puti-migratsii-ot-setey-2g-3g-k-setyam-lte> (дата звернення: 17.08.2020).
18. Печаткін А.В. Системи мобільного зв'язку. Частина 1. Принципи організації, функціонування і частотного планування систем мобільного зв'язку. *Посібник*. Рибінск: РГАТА, 2008. 122 с.
19. Петров В.П. Производительность сетей связи при пространственно-временном кодировании. *Вестник СибГУТИ*. 2016. №7.
20. Эрик Дальман, Андерс Фурускар, Илва Ядинг. Радиоинтерфейс LTE в деталях. *Журнал «Сети и системы связи»*. 2008. №9. URL: http://www.ccc.ru/magazine/depot/08_09/read.html?0305.htm (дата звернення: 11.08.2020).

21. МУК 4.3.1067-02. Визначення інтенсивності потоку енергії в місцях розміщення радіосистем, які працюють у діапазоні 30 МГц – 300 ГГц. 2018. <https://www.myk.com/doc/95763406/3-1-0-User-Manual> (дата звернення: 20.08.2020).
22. Коваленко В.В. Пріоритетні напрями робіт із захисту працюючих від впливу електромагнітних випромінювань ультрависоких і вищих частот. *Вісник КрНУ ім М. Остроградського*. 2016. №5(100). С. 98 –105.
23. Коваленко В.В. Актуальні проблеми захисту від випромінювань ультрависоких частот. *Безпека життя і діяльності на транспорті та виробництві – освіта наука, практика: зб. наук. праць III міжнар. наук.-практ. конф. (13-15 вересня 2016)*. Херсон, 2016. С. 109-113.
24. МУК 4.3.1067-02 Определение плотности потока энергии в местах размещения радиосредств, работающих в диапазоне 30 МГц – 300 ГГц. 2018. <https://www.myk.com/doc/95763406/3-1-0-User-Manual> (дата звернення: 20.08.2020).
25. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов и дополнения по СанПиН 2.1.8/2.2.4.2302-07. 2019. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294815/4294815421.htm> (дата звернення: 14.09.2020).
26. ДСН 239-96. Державні сан. норми і правила захисту населення від впливу е/м випромінювань. Київ: МОЗ України, 1996. 28 с.
27. Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів. Затверджено Наказом Міністерства Охорони Здоров'я України від 19 червня 1996р. Київ: Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2002. 59 с.
28. Коваленко О.М. Тихенко Н.П. Теорія і практика будівництва КНУБА. Київ. 2015. С. 114.

Додаток А

Текст наукових публікацій дипломної роботи магістра

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя (Україна)
 Національна академія наук України
 Університет імені П'єра і Марії Кюрі (Франція)
 Маріборський університет (Словенія)
 Технічний університет у Кошице (Словаччина)
 Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса (Литва)
 Шяуляйська державна колегія (Литва)
 Жешувський політехнічний університет ім. Лукасевича (Польща)
 Білоруський національний технічний університет (Республіка Білорусь)
 Міжнародний університет цивільної авіації (Марокко)
 Національний університет біоресурсів і природокористування України (Україна)
 Наукове товариство ім. Шевченка
 ГО «Асоціація випускників Тернопільського національного технічного
 університету імені Івана Пулюя»

АКТУАЛЬНІ ЗАДАЧІ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Збірник

тез доповідей

Том II

IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів

25-26 листопада 2020 року



УКРАЇНА
ТЕРНОПІЛЬ – 2020

*Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів.
Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2020.*

- | | | |
|-----|---|----|
| 37. | Т.В. Копина, Р.Б. Трембач
ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ЗА ПАРАМЕТРАМИ
ВІБРАЦІЇ | 56 |
| 38. | Д.О. Гривнак, Р.Б. Трембач
МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ РЕДУКТОРІВ | 56 |
| 39. | А.С. Пензовський, Р.Б. Трембач
МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПАРИ | 58 |
| 40. | Ю.З. Лещин, М.В. Павлюк
ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ
ТЕМПЕРАТУРНИМИ РЕЖИМАМИ «РОЗУМНОГО БУДИНКУ» | 60 |
| 41. | О.В. Палка
ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ІНСТРУМЕНТІВ РОЗУМНОГО МІСТА | 62 |
| 42. | С.Л. Петрук, М.О.Хвостівський
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДУМОК ЛЮДИНИ ПРИ ВИМОВІ БУКВ ПОДУМКИ
ЗА СИГНАЛАМИ МОЗКУ ЛЮДИНИ | 63 |
| 43. | У.В. Поливана
АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ
ПІД ЧАС СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВІВ | 65 |
| 44. | М.О. Слободян, М.О. Лівчук, С.К. Підченко
АЛГОРИТМ ШИФРУВАННЯ ДАНИХ
ЗА ДОПОМОГОЮ ДИСКРЕТНИХ ХАОТИЧНИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ | 67 |
| 45. | А. М. Слободяник
ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИРШЕННЯ ПРОБЛЕМ ІЗ
РЕАЛІЗАЦІЄЮ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ | 69 |
| 46. | П.Д. Стухляк, В.О. Наумов, Р.З. Золотий
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОСТІЙКОСТІ ТА УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ
ЕПОКСИДНОЇ СМОЛИ ПРИ ТРИВАЛІЙ ВИТРИМЦІ | 71 |
| 47. | Є.В. Тиш, В.М. Палюх
МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ
КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ | 72 |
| 48. | І.І. Тхір
ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТИХ ДАНИХ ПРИ РОЗРОБЦІ ОНЛАЙН-
СЕРВІСІВ В УКРАЇНІ | 73 |
| 49. | І.А. Чорняк
МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ
БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ | 75 |

*Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів.
Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 25-26 листопада 2020.*

УДК 1.24

І.А.Чорняк

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ БЕЗДРОТОВИХ
МЕРЕЖ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ**

I.A.Chorniak

**METHODS AND MEANS OF MODELING AND OPTIMIZATION OF WIRELESS
DATA TRANSMISSION NETWORKS**

Сучасний світ тісно зав'язаний на бездротових мережах: від простих користувачів, до корпорацій та виробництв. Уявити життя без швидкісної передачі даних зараз неможливо, що доводить щорічне глобальне зростання інтернет-трафіку у всіх мережах передачі даних. Суспільство прагне бути вільними від будь-якого дротового з'єднання, саме тому розвиваються технології бездротової комунікації: точки доступу Wi-Fi 5 та 6, мобільний швидкісний інтернет 4G та 5G та супутниковий швидкісний інтернет Starlink.

Для підвищення комфорту життя, а також спрощення та забезпечення роботи підприємств - багато приладів, об'єднують в загальну безпроводну мережу для керування віддалено. Тепер комунікація відбувається не тільки між людьми, а ще й між пристроями шляхом «інтернету речей», що збільшує навантаження на мережу вдвічі та викликає перевантаження.

Для задоволення потреб сучасності, розробляються нові швидкісні способи передачі даних, які надають зв'язок в будь-якій частині світу при затримках, які менші за 1 секунду, а швидкість порівнюється до кабельного підключення. Для забезпечення якісного покриття сигналом, проводяться комп'ютерні моделювання з урахуванням рельєфу, забудови та інших чинників у спеціалізованому інженерному програмному забезпеченні.

Правильне моделювання та подальша оптимізація бездротових мереж є запорукою успіху: як технічно, так і фінансово, адже це сприяє не тільки стабільному та рівномірному сигналу у користувачів, а й економить значні фінансові ресурси на встановленні додаткових точок доступу чи базових станцій.

Література

1. Platzer A. Logical Foundations of Cyber-Physical Systems. Springer, Cham, 2018. 659 p. ISBN 978-3-319-63587-3.
2. Перри Ли. Архитектура интернета вещей. ДМК-Пресс, 2019. 456 с. ISBN 978-5-97060-672-8.
3. Одарченко Р.С., Абакумова А.О., Дика Н.В. Дослідження вимог до стільникових мереж нового покоління та можливості їх розгортання в Україні. Проблеми інформатизації та управління. 2016. № 2(54). С. 52–59.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

МАТЕРІАЛИ

VII НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



9–10 грудня 2020 року

**ТЕРНОПІЛЬ
2020**

В. Яцишин, А. Сеньків «МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ АУТЕНТИФІКАЦІЇ НОМЕРНИХ ЗНАКІВ АВТОМОБІЛІВ ПРИ КЕРУВАННІ АВТОМАТИЧНИМ ШЛАГБАУМОМ»	
V. Yatsyshyn, A. Senkiv METHODS AND TOOLS OF INTELLIGENT AUTHENTICATION OF CAR LICENSE PLATES AT AUTOMATIC BARRIER CONTROL	119
М. Тимчук ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ORACLE GOLDENGATE ДЛЯ РОЗРОБКИ ВІДМОВОСТІЙКОЇ АРХІТЕКТУРИ БАЗ ДАНИХ	
M. Timchuk PECULIARITIES OF USING THE ORACLE GOLDEN GATE TO DEVELOP A FAULT-TOLERANT DATABASE ARCHITECTURE	121
В. Яцишин, В. Степчук ТРЕНДИ ТА ЇХ РОЛЬ В АНАЛІЗІ МАРКЕТИНГОВИХ ДАНИХ	
V. Yatsyshyn, V. Stepchuk TRENDS AND THEIR ROLE IN THE ANALYSIS OF MARKETING DATA	122
І. Чорняк ОПТИМІЗАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ LTE В СЕРЕДОВИЩІ «FORSK ATOLL»	
I. Chorniak OPTIMIZATION AND MODELING LTE WIRELESS NETWORK IN «FORSK ATOLL»	123
В. Яцишин, В. Хацюр ПЕРЕВАГИ КОМПОНЕНТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПРОГРАМУВАННЯ	
V. Yatsyshyn, V. Khatsiur BENEFITS OF COMPONENT-ORIENTED PROGRAMMING	124
Ю. Лещишин, І. Міська, Т. Назаревич СТРУКТУРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВИХ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ	
Y. Leshchyshyn, I. Mis'ka STRUCTURAL MODELING OF DIGITAL COMMUNICATION CHANNELS	126
Ю. Лещишин, І. Міська, Т. Назаревич СТВОРЕННЯ ВБУДОВАНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ СТРУКТУРНО- ПАРАМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВИХ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ	
Y. Leshchyshyn, I. Mis'ka EMBEDED SYSTEMS CREATION ON THE BASIS OF STRUCTURAL - PARAMETRIC MODELS OF DIGITAL COMMUNICATION CHANNELS	127
Р. Поліщук ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА РОБОТИ З БАЗАМИ ДАНИХ В ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВА	
R. Polishchuk INFORMATION SYSTEM OF WORK WITH DATABASES IN OPTIMIZATION OF WORK OF THE ENTERPRISE	128
Р. Поліщук СТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ БАЗИ ДАНИХ	
R. Polishchuk CREATION OF INFORMATION SYSTEM OF DATABASE PROCESSING	129
Ю. Лещишин, О. Чепис, В. Наконечний АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ПІД РЕГУЛЯТОРА	
Y. Leshchyshyn, O. Chepys, V. Nakonechnyy PARAMETER OPTIMIZATION ALGORITHM OF PID CONTROLLER	130

УДК 1.24

І.А.Чорняк, студент гр.СІм-61

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя)

**ОПТИМІЗАЦІЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ LTE В
СЕРЕДОВИЩІ «FORSK ATOLL»**

UDC 1.24

I.A. Chorniak, student

**OPTIMIZATION AND MODELING LTE WIRELESS
NETWORK IN «FORSK ATOLL»**

Правильне планування безпроводної комерційної мережі не тільки задовільняє потреби клієнтів, а й економить значні ресурси та впливає на час окупності. Актуальність оптимізації мережі зростає в разі із дозволом в Україні на запуск LTE-стандарту у «низькому» діапазонному ресурсі – 900 МГц. Правильність моделювання та подальше встановлення обладнання даного частотного діапазону, здатне економити великі фінансові ресурси компаній та сприяти швидкому забезпеченню сіл та доріг швидкісним інтернетом.

Для радіопланування обрано програмне забезпечення “Forsk Atoll”, яке набуло значної популярності серед мобільних операторів всього світу.

ПЗ «Forsk Atoll» дозволяє працювати з сервером БД як в connected mode так і в disconnected. Завдяки цьому інженеру немає необхідності бути постійно підключеним до БД. Він може продовжувати працювати в дорозі, відрядженні чи вдома. А по поверненню синхронізувати з основною БД. Підтримка широкого типу RDBMS: Access, MySQL, Oracle. Додаткові безкоштовні розширення дозволяють налаштувати роботу для декількох користувачів одночасно, завантажувати і давати права доступу тільки на певні дані, зберігати історію змін, імпортувати статистику та інші дані з OSS. Можливості з розрахунку карт покриття в масштабах цілого міста, регіону або країни в рамках одного проекту. Не потрібні сторонні модулі і зшивання декількох карт покриття. Підтримка моделювання ICIC (inter cell interference coordination), PRACH планування для LTE. Широкі можливості по кастомізації і автоматизації рутинних операцій. ПЗ надає можливість, за рахунок використання макросів на VBA і додаткових модулів на C ++, власноруч розширювати функціонал планувальника. Також, середовище підтримує використання одночасно декількох карт від різних вендорів, які до того ж, можна завантажувати просто додавши посилання в файл-конфігуратор. Atoll ACP дозволить виконувати оптимізацію мережі з урахуванням санітарних зон. Також дозволяє виконувати оптимізацію в 3D з урахуванням поверхового indoor покриття.

Література.

1. Platzer A. Logical Foundations of Cyber-Physical Systems. Springer, Cham, 2018. 659 p. ISBN 978-3-319-63587-3.
2. Перри Ли. Архитектура интернета вещей. ДМК-Пресс, 2019. 456 с. ISBN 978-5-97060-672-8.
3. Одарченко Р.С., Абакумова А.О., Дика Н.В. Дослідження вимог до стільникових мереж нового покоління та можливості їх розгортання в Україні. Проблеми інформатизації та управління. 2016. № 2 (54). С. 52–59.

Додаток Б
5G (NR) міліметрова сота

