

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

«__» _____ 2023 р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інженерія та програмування
інфокомунікацій»**

спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

**на тему: «Проектування радіорелейної лінії зв'язку на основі
застосування радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ТЗ-91

Сунко Владислав Володимирович _____

Керівник:

Доцент кафедри ТК, к.т.н.,

Авдеєнко Гліб Леонідович _____

Консультант:

Професор кафедри ТК, к.т.н.,

Наритник Теодор Миколайович _____

Рецензент:

Доцент кафедри ІКТС НН ІТС, к.т.н, доцент

Правило Валерій Володимирович _____

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

Студент _____

Київ – 2023 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інженерія та програмування
інфокомунікацій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Сунку Владиславу Володимировичу

1. Тема роботи «Проектування радіорелейної лінії зв'язку на основі застосування радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika», керівник роботи Авдєєнко Гліб Леонідович, доцент кафедри ТК, к.т.н., затверджені наказом по університету від «22» травня 2023 р. № 1884-с.

2. Термін подання студентом роботи 13 червня 2023 року.

3. Вихідні дані до роботи

1. Опис радіорелейного зв'язку та його використання в передачі сигналів на великі відстані.

2. Методика проектування радіорелейної лінії зв'язку з використанням радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika.

3. Аналіз ефективності та надійності радіорелейної лінії зв'язку на основі використання радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika.

4. Зміст роботи

1. Дослідити властивості **електромагнітних** хвиль, їх поширення у місцевих умовах та вплив погодних умов на якість зв'язку на **радіорелейних лініях**.

2. Розробити проект радіорелейної лінії зв'язку, визначивши оптимальну конфігурацію радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika, включаючи кількість, розташування та параметри їх налаштування.

3. Здійснити моделювання та випробування проекрованої радіорелейної лінії зв'язку з використанням радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

1. Тема, актуальність, мета, задачі.
2. Радіорелейний зв'язок та його застосування для передачі сигналів на значні відстані.
3. Особливості радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika.
5. Проектування мережі радіорелейної лінії зв'язку.
6. Моделювання та випробування проекрованої радіорелейної лінії.
7. Результати практичних експериментів та тестувань.
8. Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основні відомості про сучасні системи радіорелейного зв'язку.	Наритник Теодор Миколайович	15.01.2023	01.03.2023

7. Дата видачі завдання 1 січня 2023 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення з особливостями побудови, функціонування, розгортання та експлуатації радіорелейних ліній зв'язку прямої видимості.	01.01.23 - 01.02.23	Виконано
2	Ознайомлення з лінійкою обладнання для радіорелейних ліній зв'язку від провідних світових виробників.	01.02.23 - 01.03.23	Виконано

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

3	Ознайомлення з програмними комплексами для планування та розрахунку показників радіорелейних ліній зв'язку Forsk Atoll, ATDI ICS Telecom, DRRL тощо.	01.03.23 - 01.04.23	Виконано
4	Розроблення макету двоінтервальної радіорелейної лінії зв'язку на основі обладнання радіорелейних станцій DragonWave та SAF Tehnika.	01.04.23 - 01.06.23	Виконано

Студент

Владислав СУНКО

Керівник

Гліб АВДЄЄНКО

РЕФЕРАТ

Текстова частина бакалаврської дипломної роботи містить: 80 сторінок, 61 рисунок, 20 джерел.

Метою дипломної роботи є проведення комплексного дослідження, аналіз технічних характеристик та вимог до радіорелейного зв'язку, удосконалення та оптимізація проекту радіорелейної лінії зв'язку з використанням радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika з метою забезпечення ефективної та надійної передачі сигналів на великі відстані.

Робота охоплює дослідження характеристик і можливостей цих станцій, визначення оптимальних параметрів для побудови радіорелейної лінії зв'язку, а також аналіз пропускної здатності, надійності та якості зв'язку, забезпечуваної цими станціями.

Ключові слова: радіорелейний зв'язок, радіорелейні станції, DragonWave, SAF Teknika.

ABSTRACT

The textual part of the bachelor's thesis includes: 80 pages, 61 figures, and 20 references.

The aim of the thesis is to conduct a comprehensive study, analyze the technical characteristics and requirements of radio relay communication, improve and optimize the design of a radio relay communication line using DragonWave and SAF Teknika radio relay stations to ensure efficient and reliable signal transmission over long distances.

The work encompasses the investigation of the characteristics and capabilities of these stations, determination of optimal parameters for constructing a radio relay communication line, as well as analysis of the throughput capacity, reliability, and communication quality provided by these stations.

Keywords: radio relay communication, radio relay stations, DragonWave, SAF Teknika.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
Розділ 1.....	12
ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СУЧАСНІ СИСТЕМИ РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ	12
1.1 Загальні принципи побудови радіорелейних ліній зв'язку	12
1.2 Класифікація радіорелейних ліній зв'язку	16
1.3 Топології мереж радіорелейного зв'язку.....	17
1.4 Частотні плани та особливості поширення радіохвиль на лініях радіорелейного зв'язку.....	19
1.5 Загальна методика проєктування радіорелейних ліній зв'язку.....	24
Висновки	26
Розділ 2.....	27
МЕТОДИКА ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЄКТУВАННЯ ЛІНІЙ РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ	27
2.1 Методика розрахунку прольоту радіорелейної лінії зв'язку відповідно до рекомендацій МСЕ-Р	27
2.2 Опис функціональних можливостей програмного пакету ICS Telecom для проєктування радіорелейних ліній	29
2.2.1 Методика моделювання радіорелейної лінії зв'язку з використанням програмного пакету ICS Telecom на базі обладнання SAF Teknika.....	30
2.3 Опис функціональних можливостей програмного пакету Forsk Atoll для проєктування радіорелейних ліній	39
2.3.1 Методика моделювання радіорелейної лінії зв'язку з використанням програмного пакету Forsk Atoll.....	40
2.4 Функціональні можливості програмного пакету RadioPlanner для проєктування радіорелейних ліній	46
Висновки	48
Розділ 3.....	50
ПРОЄКТУВАННЯ ЛІНІЇ РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОРЕЛЕЙНИХ СТАНЦІЙ DRAGONWAVE ТА SAF TEKNIKA	50
3.1 Вихідні дані для проєктування лінії радіорелейного зв'язку	50
3.2 Короткі відомості про обладнання радіорелейних станцій компанії DragonWave	52
3.3 Короткі відомості про обладнання радіорелейних станцій компанії SAF Teknika	54
3.4 Результат моделювання радіорелейної лінії на базі обладнання радіорелейних станцій SAF Teknika з використанням програмного пакету ICS Telecom	55
3.5 Результат моделювання в програмному пакеті Forsk Atoll радіорелейної лінії зв'язку на базі обладнання радіорелейних станцій DragonWave	58

3.6 Аналіз отриманих результатів проєктування	61
Висновки	63
РОЗДІЛ 4.....	65
РОЗРОБЛЕННЯ МАКЕТУ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОРЕЛЕЙНИХ СТАНЦІЙ SAF TEKNIKA	65
4.1 Розроблення структурної схеми макету радіорелейної лінії зв'язку.....	65
4.2 Монтування приймально-передавальних модулів SAF Teknika.....	67
4.3 Монтування модемного обладнання радіорелейних станцій SAF Teknika.....	69
4.4 Налаштування модемного обладнання та приймально-передавальних модулів.....	70
4.5 Експериментальне дослідження з передавання та прийому інформації через розроблений макет радіорелейної лінії зв'язку.....	73
Висновки	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ВРК	високочастотний релейний канал
ВРС	вузлова радіорелейна станція
ГГц	гігагерцовий
КРС	кінцева радіорелейна станція
ММА	міжміська мовна апаратна
МСЕ	Міжнародний союз електрозв'язку
МТА	міжміська телевізійна апаратна
МТС	міжміська телефонна станція
ПРС	проміжна радіорелейна станція
ПС	приймальна станція
РРЛ	радіорелейні лінії
РРС	радіорелейна станція
ТВ	телевізійний
ТГц	терагерцовий
ТРЛ	тропосферна радіорелейна лінія
ЧРК	частотно регульований канал

ВСТУП

Актуальність теми полягає в необхідності розробки ефективних систем зв'язку, здатних забезпечити швидкий та надійний передачу даних у сучасному інформаційному суспільстві. Радіорелейна зв'язок є одним з основних засобів передачі інформації на великі відстані без необхідності прокладання провідних ліній, що робить його особливо актуальним у важкодоступних територіях або в умовах швидкого розвитку міської інфраструктури.

Використання радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika є особливо цікавим, оскільки ці компанії володіють передовими технологіями у сфері безпроводового зв'язку. Їхні системи відрізняються високою пропускною здатністю, низькими затримками та високою надійністю передачі даних. Це особливо важливо для високовимогливих додатків, таких як мобільний зв'язок, передача великого обсягу даних, відеоконференції тощо.

Дослідження процесу проєктування радіорелейної лінії зв'язку на основі цих радіорелейних станцій має велике значення для операторів зв'язку та інженерів, які займаються плануванням та розгортанням мереж зв'язку. Вона дозволяє ефективно використовувати наявні ресурси та оптимізувати вартість будівництва та експлуатації мережі. Крім того, розробка методики проєктування на основі конкретних радіорелейних станцій сприяє розширенню наукових знань у цій галузі та вдосконаленню технологій передачі даних.

Можливі галузі застосування результатів роботи на тему "Проєктування радіорелейної лінії зв'язку на основі застосування радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika" включають:

Телекомунікаційні оператори: Результати роботи можуть бути використані телекомунікаційними компаніями для покращення та розширення їхньої інфраструктури зв'язку. Радіорелейні системи можуть

бути ефективним рішенням для забезпечення зв'язку в труднодоступних або віддалених районах.

Корпоративні мережі: Багато компаній потребують швидкого та надійного зв'язку для своїх внутрішніх мереж. Радіорелейна лінія зв'язку може бути використана для побудови приватних мереж з високою пропускною здатністю та низькими затримками.

Екстремальні умови: Радіорелейні станції DragonWave та SAF Teknika мають високу стійкість до погодних умов, що робить їх ідеальними для застосування в екстремальних середовищах, наприклад, в гірських районах, пустелях або на морських платформах.

Мобільний зв'язок: Радіорелейні системи можуть бути використані для розширення мобільних мереж і забезпечення широкосмугового доступу до інтернету в місцях з високою щільністю користувачів, таких як великі міста або туристичні зони.

Таким чином, актуальність дипломної роботи полягає в необхідності вивчення та аналізу сучасних радіорелейних технологій, їхнього впливу на процес проектування радіорелейних ліній зв'язку та розробці ефективних методик проектування з використанням радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika.

РОЗДІЛ 1

ОСНОВНІ ВІДОМОСТІ ПРО СУЧАСНІ СИСТЕМИ РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Загальні принципи побудови радіорелейних ліній зв'язку

Радіорелейні лінії (РРЛ) складаються з послідовного ланцюга приймально-передавальних радіостанцій, включаючи кінцеві, проміжні та вузлові станції. Ці станції забезпечують повторну передачу сигналів через прийом, перетворення, посилення та передачу [1].

Радіорелейні лінії (РРЛ) можна розподілити на дві категорії в залежності від типу поширення радіохвиль: лінії прямої видимості та тропосферні лінії.

Пряма видимість радіорелейного зв'язку є основною технологією для передачі сигналів телефонії, аудіо та відео мовлення, цифрових даних та інших повідомлень на значні відстані. Для передачі сигналів багатоканальної телефонії та телебачення використовуються широкі смуги частот, які зазвичай охоплюють діапазони дециметрових та сантиметрових хвиль. Ці діапазони майже не піддаються впливу атмосферних та промислових перешкод. Відстань між станціями, або протяжність прольоту, залежить від рельєфу місцевості та висоти антен. Зазвичай вона близька до відстані прямої видимості R_0 , з урахуванням атмосферної рефракції на поверхні Землі [2].

$$R_0 \cong 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (1.1)$$

h_1 і h_2 позначають висоту підвісу передавальної та приймальної антен, виміряну у метрах. У реальних умовах, коли місцевість мало пересічена, дальність R_0 становить від 40 до 70 кілометрів при висоті антенних стійок в діапазоні від 60 до 100 метрів.

РРЛ використовує комплекс приймально-передавальної апаратури для передачі інформації на одній частоті, який утворює широкосмуговий канал, відомий як радіоствол. Телефонний ствол використовується для передачі

телефонних повідомлень і включає модеми та обладнання для з'єднання та роз'єднання каналів. Телевізійний ствол використовується для передачі повноцінних телевізійних сигналів зі звуковим супроводом або мовленням. Більшість РРЛ мають багато стволів, включаючи робочі, резервні та службові, і зі збільшенням числа стволів зростає обсяг обладнання на станціях РРЛ.

Рисунок 1.2 показує три типи радіорелейних станцій - кінцеву, проміжну та вузлову - на яких проводиться перетворення повідомлень, що надходять від міжміських телефонних станцій (МТС), міжміських ТВ апаратних (МТА) та міжміських мовних апаратних (ММА) в сигнали, які передаються по РРЛ. Кінцева радіорелейна станція (КРС) починає та закінчує лінійний тракт передачі сигналів [20].

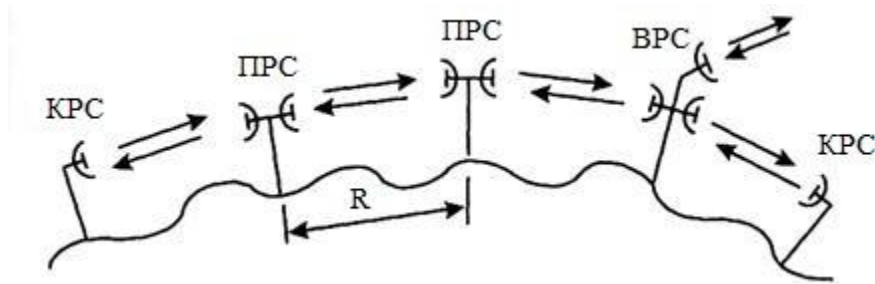


Рис. 1.2 Зображення загальної схеми РРЛ

За допомогою вузлів радіорелейних ліній (РРЛ), потоки інформації розгалужуються і об'єднуються перед тим, як передаватися через різні РРЛ, де розташовані ці вузли. Вузли радіорелейних ліній також включають станції РРЛ, де здійснюється введення та виведення телефонних, телевізійних та інших сигналів, забезпечуючи зв'язок між прилеглими населеними пунктами уздовж цієї лінії.

Вузли радіорелейних ліній (КРС або ВРС) завжди мають технічний персонал, який обслуговує не лише ці вузли, але й забезпечує контроль та управління найближчими радіорелейними станціями за допомогою спеціальної системи телеобслуговування. Ділянку радіорелейних ліній (зазвичай 300-500 км) між сусідніми

радіорелейними станціями розділяють навпіл, так що одна частина станцій входить в зону обслуговування одного вузла радіорелейних ліній (КРС), а інша частина обслуговується іншим вузлом радіорелейних ліній (КРС).

ПРС виконують роль активних ретрансляторів, що не втручаються в передані сигнали електрозв'язку та не вводять нові сигнали. Зазвичай вони працюють без постійного обслуговуючого персоналу. Структурна схема ПРС, яка показана на рисунку 1.3, відображає їхню організацію.

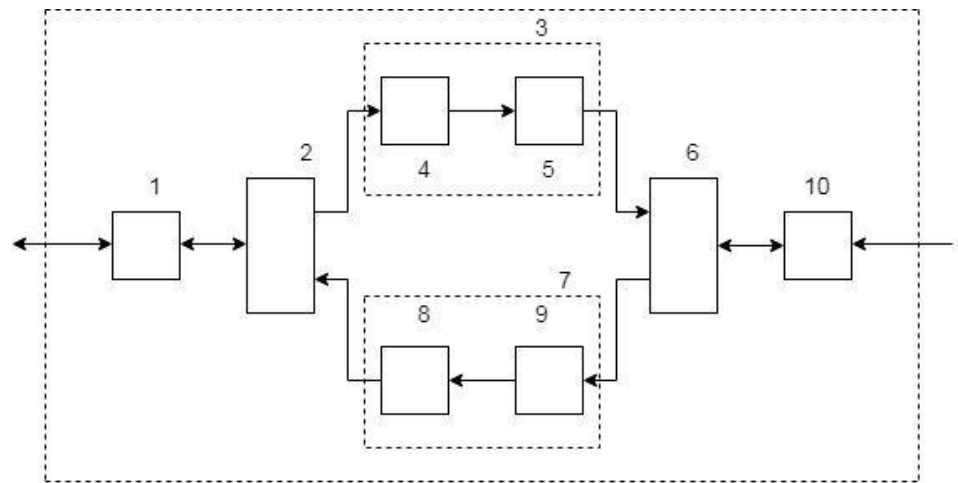


Рис.1.3 Схема одностовольного ретранслятора РРЛ(1, 10 –антени; 2,6 – фідерні тракти; 3,7 – прийомо-передачачі; 4,9 – приймачі; 5,8 – передавачі)

У режимі активної ретрансляції на ПРС застосовують дві антени, що знаходяться на одній щоглі. У таких умовах дуже складно уникнути випромінювання частини потужності передавальної антени на приймальну антену, що може призвести до самозбудження підсилювача ретранслятора на шляху від виходу до входу. Якщо не застосувати спеціальних заходів, це може призвести до неправильної роботи ретранслятора.

Розподіл сигналів на різні частоти є ефективним способом запобігання самозбудженню у ретрансляторі. Для цього необхідно встановити приймачі та передавачі на різних частотах. Якщо потрібний зв'язок передбачає

взаємодію в обох напрямках, то ствол вважається дуплексним і має подвоєну кількість приймачів та передавачів (див. рис. 1.3). В цьому випадку кожна антена використовується як для передачі, так і для прийому високочастотних сигналів на обох напрямках зв'язку. Щоб забезпечити одночасну роботу декількох радіозасобів на станції та на РРЛ, необхідно уникнути взаємовпливу між ними. Цього досягається шляхом створення частотних планів - планів розподілу частот передачі, прийому та гетеродинів на РРЛ.

Згідно з проведеними дослідженнями, в умовах двостороннього зв'язку через РРЛ (двобічний режим), можливе використання лише двох робочих частот: 1 та 2. Рисунок 1.4 ілюструє приклад РРЛ з таким двочастотним планом.

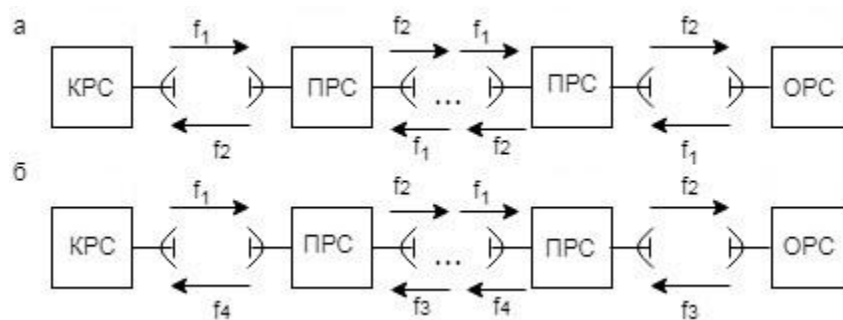


Рис.1.4 Схема розподілу частот в РРЛ

Чим менше робочих частот використовується на лінії зв'язку, тим складніше вирішити проблему взаємовпливу між сигналами, які мають однакову частоту, але призначені для різних приймачів. Щоб уникнути таких проблем на РРЛ, використовують антени з вузьким кутом напрямлення, що мають меншу рівень бічних і задніх пелюсток; хвилі з різним типом поляризації для різних напрямків зв'язку; та розташовують окремі станції таким чином, щоб лінія зв'язку була зігнутою. Застосування цих заходів не є складним, якщо зв'язок відбувається в діапазоні сантиметрових хвиль. Отже, на РРЛ дециметрового діапазону необхідно розносити частоти прийому на кожній станції. В такому випадку для прямого та зворотного напрямків зв'язку використовуються різні пари частот 1, 2 і 3, 4 (чотирихвильовий

план) (див. рис.1.4, б), що призводить до збільшення необхідної для системи зв'язку смуги частот удвічі. Хоча чотирьохчастотний план не вимагає заходів захисту, які були згадані раніше, він є неекономічним з точки зору використання смуги частот. Крім того, кількість радіостволів, які можуть бути утворені в призначеному діапазоні частот, скорочується вдвічі порівняно з двохчастотним планом. Сантиметрові хвилі є основним діапазоном для радіорелейного зв'язку, тому двочастотний план є найбільш поширеним

1.2 Класифікація радіорелейних ліній зв'язку

РРЛ прямої видимості можна класифікувати залежно від різних ознак і характеристик. Давайте розглянемо основні класифікації РРЛ за такими ознаками [1]:

1) за призначенням вони можуть бути поділені на міжміські, магістральні, внутрішньо зонові та місцеві РРЛ;

2) залежно від діапазону робочих (несучих) частот, РРЛ поділяються на лінії дециметрового і сантиметрового діапазонів.

З метою організації радіорелейних ліній у дециметровому і сантиметровому діапазонах, відповідно до Регламенту радіозв'язку, встановлені специфічні смуги частот, що охоплюють 2, 4, 6, 8, 11 та 13 ГГц. Наразі проводяться дослідження щодо можливості використання радіорелейного зв'язку на частотах, що наближаються до 18 ГГц і вище. Збільшення частот дозволить підвищити пропускну здатність передавальних систем. Однак, застосування таких високих частот ускладнюється через значне зниження енергії радіохвиль під час атмосферних опадів.

3) Залежно від способу ущільнення каналів та типу модуляції несучої, можна виділити наступні типи:

а) РРЛ з частотним ущільненням каналів (ЧРК) та амплітудною модуляцією гармонійної несучої;

б) РРЛ з часовим ущільненням каналів (ВРК) та аналоговою модуляцією імпульсів, які подальше модулюють несучу.;

в) цифрові РРЛ, де повідомлення квантуються за рівнями та кодуються.

Класифікація РРЛ використовується для розподілу систем на великі, середні та малі місткості. РРЛ великої місткості включають системи, які можуть підтримувати більше 600 каналів ТЧ в одному стволі і забезпечувати пропускну здатність понад 100 Мбіт/с. РРЛ середньої і малої місткості дозволяють організувати менше 600 або навіть менше 60 каналів ТЧ і забезпечують відповідно меншу пропускну здатність в межах 10-100 Мбіт/с та менше 10 Мбіт/с.

1.3 Топології мереж радіорелейного зв'язку

Однією з ключових характеристик мереж РРЛ є їх топологія. Топологія мережі визначає спосіб, яким взаємодіють компоненти мережі і яким чином передаються дані. Існує кілька видів топологій мереж РРЛ, кожен з яких має свої переваги та недоліки.

Топологія мережі радіорелейного зв'язку визначає структуру мережі та взаємозв'язок між її компонентами. Основні типи топологій мереж радіорелейного зв'язку включають:

1. Точка-до-точки (Point-to-Point): це найпростіша топологія, яка використовується в радіорелейному зв'язку. У такій топології мережі, кожен вузол може передавати та отримувати дані лише від одного іншого вузла. Це забезпечує простоту та надійність мережі, оскільки відсутній ризик колізій передачі даних на мережі. «Точка-до-точки» топологія є досить дорогим варіантом для будівництва мережі, оскільки для з'єднання кожних двох вузлів необхідно окреме обладнання та радіорелейні зв'язки. Однак, це може

бути підходом доцільним у випадках, коли необхідно забезпечити високу якість передачі даних між конкретними точками, наприклад, у випадку забезпечення зв'язку між двома віддаленими офісами або пунктами управління виробництвом.

2. Зірка (Star): топологія мережі радіорелейного зв'язку передбачає центральний вузол, до якого з'єднані інші вузли мережі з допомогою радіорелейних зв'язків. Кожен вузол може передавати та отримувати дані лише через центральний вузол. «Зірка (Star)» топологія мережі дозволяє забезпечити просту та швидку ідентифікацію проблем з мережею, оскільки відсутність зв'язку з центральним вузлом означає неможливість передачі даних. Крім того, така топологія мережі може бути ефективною в умовах обмеженого обладнання, оскільки необхідно забезпечити радіорелейні зв'язки лише між кожним вузлом та центральним вузлом. Однак, «зірка (star)» топологія мережі може бути менш надійною, оскільки при відмові центрального вузла всі інші вузли мережі втрачають зв'язок.

3. Дерево (Tree): топологія мережі радіорелейного зв'язку передбачає структуру мережі, в якій вузли з'єднані між собою у вигляді гілок дерева. Кожен вузол може бути підключений до одного або більше вузлів верхнього рівня, які в свою чергу можуть бути підключені до інших вузлів верхнього рівня. Ця топологія мережі може бути корисною в умовах, коли необхідно забезпечити з'єднання між багатьма вузлами мережі, а також забезпечити надійність мережі в разі відмови одного з вузлів. Однак така топологія мережі може бути менш надійною в разі відмови більше одного вузла, оскільки може виникнути розрив в дереві та втрата зв'язку.

4. Меш (Mesh): топологія мережі радіорелейного зв'язку включає безпосереднє з'єднання кожного вузла мережі з кожним іншим вузлом, що створює густу мережу. У меш топології, кожен вузол може прямо передавати і отримувати дані від інших вузлів, що забезпечує більш високу надійність та доступність мережі. Меш топологія забезпечує більшу пропускну здатність

та меншу затримку передачі даних порівняно з іншими топологіями мережі радіорелейного зв'язку, такими як кільце або зірка. Також меш топологія є більш стійкою до відмов, оскільки якщо один вузол відмовляє, то дані можуть бути передані через інші шляхи. Однак, відносно високі витрати на встановлення та підтримку мережі можуть бути обмеженням для «меш» топології.

1.4 Частотні плани та особливості поширення радіохвиль на лініях радіорелейного зв'язку

Частотні плани систем РРЛ зв'язку визначають розподіл частот передачі та прийому між стволами системи та розподіл частот гетеродинів. Зважаючи на те, що приймальні та передавальні антени одного напрямку зв'язку розташовані поруч, використання одних і тих же робочих частот для прийому і передачі сигналів неможливе через взаємозв'язки між антенами. Тому на ПС потрібно змінювати робочі частоти прийому та передачі, якщо потрібно організувати однобічний або двосторонній зв'язок. Цю зміну частот здійснює кожна станція, використовуючи відповідну схему побудови апаратури.

Таким чином, ПС виконує дві функції:

- 1) підсилення сигналу;
- 2) зміна частоти НВЧ сигналу з метою усунення можливого зв'язку між передавачем і приймачем даної станції.

У радіорелейних системах прямої видимості використовуються три різних плани розподілу частот для ствола:

- двочастотний план (рис.1.5);
- чотирьохчастотний план (рис.1.6);
- шестичастотний план (рис.1.7).

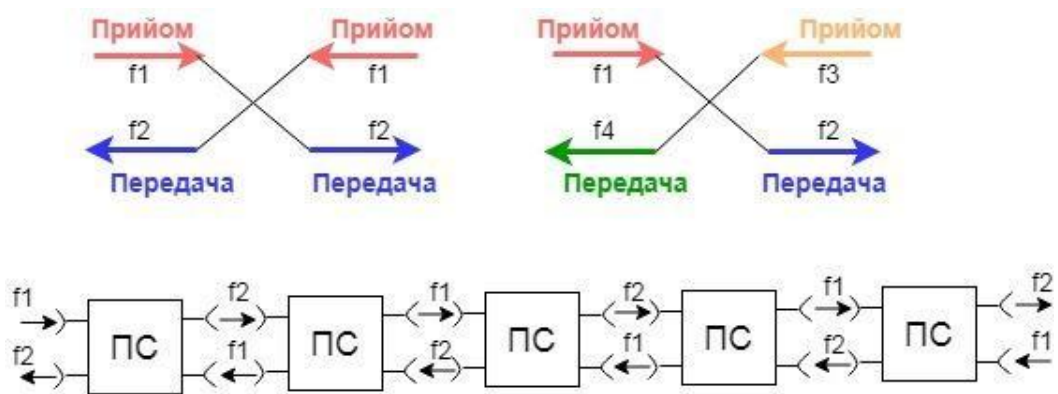


Рис.1.5 Структурна схема двочастотного плану

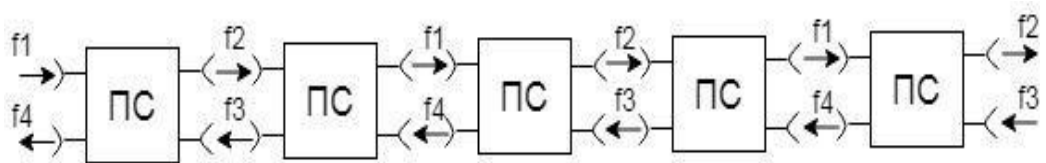


Рис.1.6 Структурна схема чотирьохчастотного плану

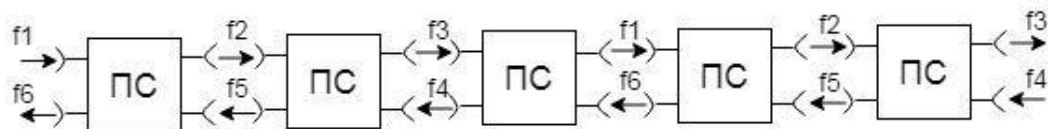


Рис.1.7 Структурна схема шестичастотного плану

Економічною з точки зору використання діапазону частот є двочастотна система, проте вона потребує антен з високим рівнем захисту від прийому сигналів з зворотного напрямку. Для такої системи використовують РПА, параболічні та інші антени, які мають захист на рівні близько 60-70 дБ. Зазвичай таку систему використовують на великих та середніх РРЛ.

Незважаючи на можливість використання простіших та більш економічних антенних систем, таких як перископічні, у чотирьохчастотній системі кількість доступних дуплексних радіостволів, які можуть бути сформовані в даній частотній смузі, скорочується удвічі порівняно з двочастотною системою. Чотирьохчастотна система застосовується у

радіорелейних лініях з середньою та низькою пропускнуою здатністю, які використовуються для місцевих з'єднань та комунікацій на низькій відстані.

Частоти передачі та прийому в одному стволі РРЛ чергуються від станції до станції.

Станції, які приймають сигнали на нижчій частоті (f_1) і передають на вищій (f_2), ідентифікуються за допомогою позначки "НВ". Станції, які приймають на вищій частоті (f_2) і передають на нижчій (f_1), позначаються індексом "ВН".

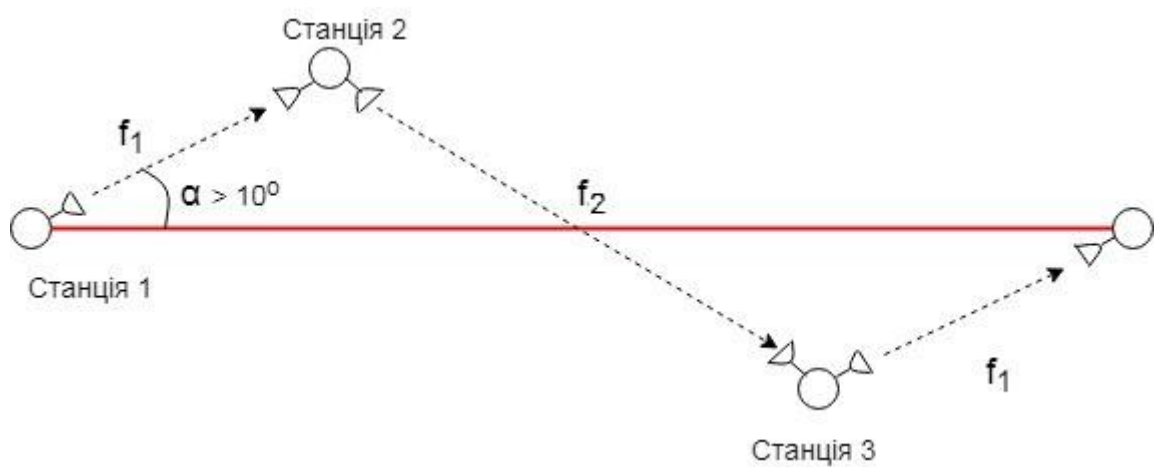


Рис.1.8 Схема розташування станцій РРЛ

Проміжок між станціями, який розташований найближче один до одного, визначається як прольот РРЛ. Довжина прольоту залежить від багатьох факторів і зазвичай становить 50-60 км у діапазонах частот до 6-8 ГГц та кілька кілометрів у діапазонах 30-50 ГГц.

Відрізок між кінцевою станцією та найближчим вузлом або між вузловими станціями визначається як секція РРЛ, а обладнання для прийому та передачі утворює ствол РРЛ. Розрізняються односпрямовані стволы і двонаправлені.

В діапазонах дециметрових і сантиметрових хвиль можна повторювати ту ж саму частоту через інтервал, оскільки сигнал доволі сильно ослаблюється без прямої видимості між антенами. Проте при підвищеній

рефракції можливий прийом сигналу від станції, віддаленої на 3 інтервали, що може призвести до спотворень передачі сигналів. Для уникнення цього, станції РРЛ розташовують на ламаній лінії з метою спрямування паразитного сигналу та його подальшого ослаблення завдяки властивостям антен (див. рис. 1.8).

Для зменшення впливу інтерференції, що виникає у багатоствольних радіорелейних лініях з використанням кількох приймачів та передавачів через спільний антенно-фідерний шлях, застосовуються специфічні плани розподілу частот. Сучасні системи радіорелейного зв'язку використовують плани, де частоти прийому та передачі розташовані у різних половинах діапазону. На Рис. 1.9 показано приклад такого плану розподілу частот.

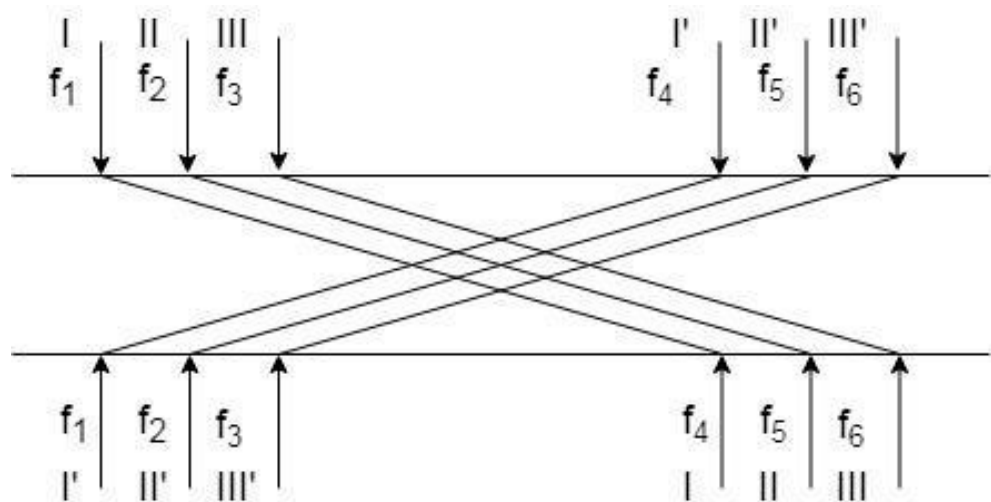


Рис.1.9 Схема плану розподілу частот, де частоти прийому та передачі розміщені на відокремлених діапазонах.

Використання такого розподілу частот дозволяє скоротити різницю між частотами передачі та прийому на одному каналі, що призводить до менших вимог до характеристик приймальних фільтрів. Крім того, у цьому розподілі кожна антена може використовуватись як для передачі, так і для прийому сигналів. Також існує інший план розподілу частот, де передбачається чергування частот передачі та прийому між окремими каналами, що можна бачити на рисунку 1.10.

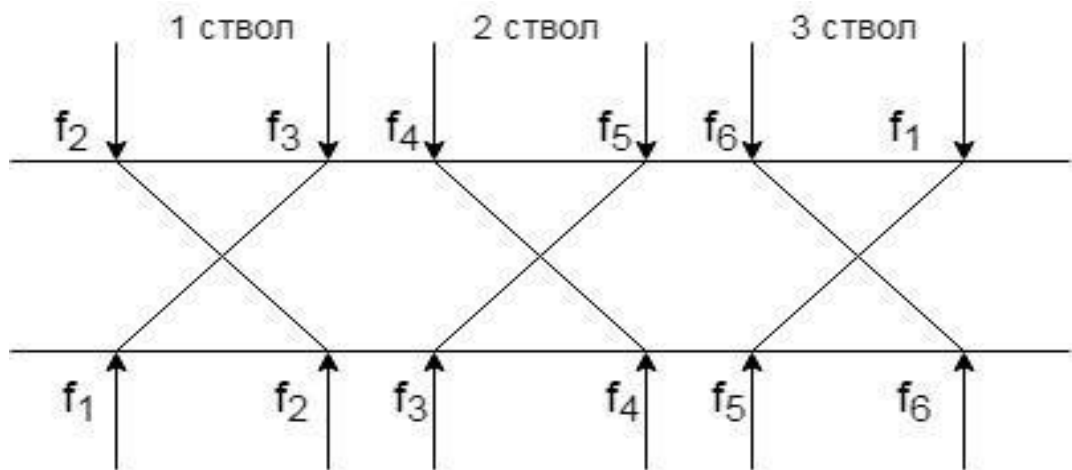


Рис.1.10 Схема плану розподілу частот з чередуванням частот прийому і передачі

Малоканальні РРЛ з обмеженою швидкістю передачі інформації до 2,048 Мбіт/с працюють у діапазонах частот від 400 МГц до 1,5 ГГц і розбиваються на окремі смуги-стволу з відокремленими приймачами. Ці РРЛ, що мають один ствол, широко використовуються в технологічних РРЛ уздовж трубопроводів, газопроводів та залізниць. Документами МСЕ регламентуються частотні плани для РРЛ в діапазонах частот від 2 ГГц і вище. На даний момент існують РРЛ, що працюють в діапазонах частот від 400 МГц до 95 ГГц, а також в оптичному діапазоні частот.

Для магістральних багатоствольних радіорелейних ліній з високою пропускною здатністю, де важлива максимальна відстань між станціями, найбільш вигідними діапазонами частот є 4, 6 і 8 ГГц, а іноді також 11 і 13 ГГц. У вищих діапазонах частот пройдені відстані між станціями скорочуються через велике поглинання радіосигналу під час дощу. Для магістральних радіорелейних ліній середньої пропускної здатності використовуються діапазони частот від 2 до 15 ГГц, а радіорелейні лінії з діапазонами частот 15 ГГц і вище застосовуються для створення зв'язку на коротких відстанях (10-20 км). Для організації останньої милі і розгалуженої мережі використовуються діапазони частот 1,5, 2, 5, 10 ГГц та вище, в режимі "точка-многоточка".

На рис.1.11 зображено типовий частотний план РРЛ діапазону 4 ГГц згідно з рекомендаціями МСЕ[5]. В магістральних РРЛ максимальної комплектації можуть бути використані стволи № 1, 3 та 5, підключені до опромінювача антени з горизонтальною поляризацією радіосигналу, а також стволи № 2, 4 та 6, підключені до опромінювача антени з вертикальною поляризацією для передачі.

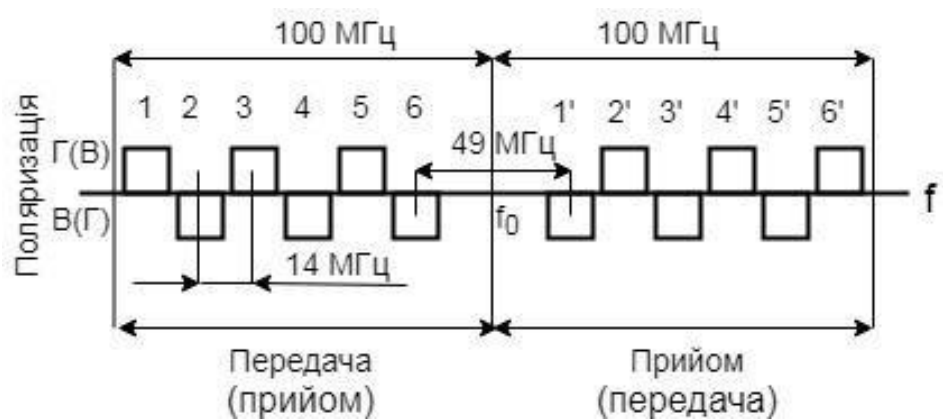


Рис.1.11 Частотний план радіорелейної лінії з використанням діапазону частот від 4 ГГц (3700 - 4200 МГц).

Анени опромінювача, до яких підключені стволи-приймачі 1', 3' та 5', мають горизонтальну поляризацію, тоді як антени опромінювача, до яких підключені стволи 2', 4' та 6', мають вертикальну поляризацію. Цей вибір поляризацій радіосигналу в стволах дозволяє ефективно зменшити вплив передавальних трактів радіорелейної лінії на приймальні тракти шляхом досягнення поляризаційної розв'язки між антенами [4].

1.5 Загальна методика проєктування радіорелейних ліній зв'язку

Проектування радіорелейних ліній зв'язку - це процес створення системи радіозв'язку між двома або більше пунктами, включаючи

визначення вимог до характеристик мережі, вибір технічних засобів, розрахунок каналів зв'язку та місць розташування приймачів-передавачів.

Основні етапи методики проєктування РРЛ включають в себе:

1. Визначення технічного завдання, що передбачає визначення вимог до характеристик мережі зв'язку, її географічного розташування, чисельності користувачів, передбачуваного обсягу передаваної інформації тощо.

2. Вибір частотного діапазону та розрахунок максимально можливої пропускної здатності, вибір діапазону частот, врахування особливостей електромагнітного середовища, що впливають на поширення радіохвиль, розрахунок максимально можливої пропускної здатності, залежно від вибраного діапазону частот.

3. Вибір конкретного обладнання, що передбачає вибір виробника та моделі обладнання, що задовольняє встановлені вимоги до мережі зв'язку, технічних можливостей розташування обладнання, економічних можливостей.

4. Визначення параметрів антенної системи, вибір типу антени, розрахунок коефіцієнтів підсилення та напрямленості антен, вибір точок розташування антен з урахуванням взаємного впливу антен на одній мачті.

5. Розрахунок каналу зв'язку, що передбачає розрахунок затухання сигналу від передавача до приймача з урахуванням втрат в лінії зв'язку, антенної системи та впливу електромагнітних перешкод.

6. Розрахунок стійкості мережі до перешкод та відмов, визначення можливих джерел перешкод та способів їх усунення, визначення запасу пропускної здатності для забезпечення надійної роботи мережі у разі відмов окремих елементів.

7. Розрахунок економічної ефективності мережі, визначення загальних витрат на проєктування та будівництво мережі, а також витрат на її експлуатацію, порівняння з очікуваними прибутками від надання послуг зв'язку.

8. Розробка проектної документації та супровід будівництва, розробка технічного проекту, кошторису на будівництво, організацію виконання будівельних робіт, контроль за їх виконанням та забезпечення безпеки робіт.

9. Проведення випробувань та налагодження мережі, перевірка роботи окремих елементів мережі, визначення характеристик каналу зв'язку, тестування на стійкість до перешкод та відмов, налаштування елементів мережі для досягнення оптимальної продуктивності.

10. Експлуатація та технічне обслуговування мережі, що передбачає регулярну перевірку та налагодження роботи мережі, ремонт та заміну окремих елементів, забезпечення безперебійної роботи мережі та надійного забезпечення послуг зв'язку для користувачів.

Висновки

У даному розділі було представлено основні теоретичні відомості, що стосуються систем радіорелейного зв'язку, а саме: загальні принципи побудови, класифікація та топологія мереж радіорелейного зв'язку, частотні плани та особливості поширення радіохвиль, що відведені для проєктування радіорелейних ліній зв'язку. Розглянуто різні види радіорелейних систем, їхні технічні характеристики та вимоги до монтажу та експлуатації.

В другому розділі буде розглянута методика проєктування ліній радіорелейного зв'язку в відповідних програмних засобах.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ТА ПРОЄКТУВАННЯ ЛІНІЙ РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Методика розрахунку прольоту радіорелейної лінії зв'язку відповідно до рекомендацій МСЕ-Р

Україна є повноправним членом Міжнародного Союзу електрозв'язку (МСЕ). Згідно зі статутом МСЕ та регламентом радіозв'язку, члени Союзу зобов'язані обмежувати кількість частот і ширину спектра, які використовуються, до мінімуму, необхідного для ефективної роботи необхідних служб. Основна мета полягає у впровадженні найновіших технічних розробок з метою раціонального та ефективного використання доступного спектру.

Також важливо враховувати, що радіочастоти є обмеженим природним ресурсом, який має бути використаний раціонально, ефективно та економічно згідно з положеннями регламенту радіозв'язку. Члени Союзу повинні забезпечувати раціональне використання частотних смуг, враховуючи діючі рекомендації МСЕ-Р. (Згідно п.0.3 [18] та ст. п.196 [19])

У контексті апаратури, що використовується на станціях, рекомендується застосовувати методи обробки сигналу, які найефективніше використовують частотний спектр згідно з рекомендаціями МСЕ-Р. Ці методи можуть включати розширення смуги за допомогою певних методів модуляції, а також використання однополосної техніки в системах з амплітудною модуляцією. (п.3.4 стаття 3 [18])

Ці рекомендації спрямовані на забезпечення ефективного та раціонального використання радіочастотного спектру з метою забезпечення надійного та якісного радіозв'язку.

Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ-Р) надає деякі рекомендації щодо розрахунку прольоту радіорелейної лінії зв'язку.

Основні рекомендації МСЕ-Р включають наступне:

1. Вибір маршруту:

Розрахунок оптимального маршруту, який забезпечує мінімальну кількість перешкод та максимальну якість зв'язку.

Врахування фізичних обмежень, таких як рельєф місцевості, наявність будівель, лісів тощо.

2. Вибір частотного діапазону:

Вибір відповідного частотного діапазону, який забезпечує мінімальну інтерференцію та оптимальні передавальні характеристики.

Врахування рекомендацій щодо розмежування каналів та уникнення перешкод від інших радіосистем.

3. Розрахунок висот та профілю місцевості:

Врахування висот та характеристик місцевості вздовж маршруту для оцінки можливих зон перешкод та втрати сигналу.

Використання топографічних карт та моделей місцевості для точного визначення профілю маршруту.

4. Вибір антен та апаратури:

Вибір відповідних антен та радіорелейної апаратури, які забезпечують необхідні передавальні характеристики та покриття.

Розрахунок відстані між антенами та встановлення необхідної висоти для досягнення оптимального зондування та зв'язку.

5. Розрахунок затухання сигналу:

Визначення затухання сигналу, яке включає в себе втрати від вільного простору, затухання в атмосфері, втрати на поверхнях перешкод тощо.

Врахування впливу погодних умов, таких як дощ, сніг, туман, на якість зв'язку та затухання сигналу.

6. Оцінка якості зв'язку:

Оцінка якості сигналу, затримки та інших параметрів, щоб переконатися, що вони відповідають вимогам та критеріям.

2.2 Опис функціональних можливостей програмного пакету ICS Telecom для проєктування радіорелейних ліній

Програмний пакет ICS Telecom є потужним інструментом для проєктування, планування та оптимізації бездротових систем зв'язку. Цей пакет використовується в індустрії зв'язку для виконання розрахунків, моделювання та аналізу різних аспектів бездротових мереж, таких як мобільні оператори, радіорелейна зв'язок, супутникові системи та інші.

Програмний пакет ICS Telecom розроблений для надання ряду функціональних можливостей для проєктування радіорелейних ліній. Деякі з ключових функцій програмного забезпечення включають:

Проектування мережі: програмне забезпечення дозволяє користувачам проєктувати та оптимізувати радіорелейні мережі на основі різних параметрів, таких як відстань, рельєф місцевості, частота та характеристики антени. Програмне забезпечення також надає інструменти для автоматичного мережевого планування та оптимізації.

Моделювання поширення радіохвиль: програмне забезпечення використовує розширені моделі поширення радіохвиль для моделювання поведінки радіохвиль у різних умовах місцевості та навколишнього середовища. Це дозволяє користувачам точно прогнозувати роботу радіорелейних ліній у реальних умовах.

Аналіз перешкод: програмне забезпечення надає інструменти для аналізу перешкод між різними радіорелейними лініями та іншими радіосистемами, що працюють у тому самому діапазоні частот. Це допомагає користувачам оптимізувати дизайн радіорелейних мереж і уникнути проблем із перешкодами.

Керування спектром: Програмне забезпечення також містить інструменти для керування радіочастотним спектром, включаючи розподіл частот, ліцензування та координацію. Це гарантує, що радіорелейні мережі

працюють у межах нормативних вимог і не створюють перешкод іншим радіосистемам.

Звітування та візуалізація: програмне забезпечення надає інструменти для створення докладних звітів і візуалізацій радіорелейних мереж, включаючи карти мережі, карти покриття та аналіз перешкод. Це допомагає користувачам повідомляти інформацію про проект і продуктивність мережі зацікавленим сторонам і особам, які приймають рішення.

2.2.1 Методика моделювання радіорелейної лінії зв'язку з використанням програмного пакету ICS Telecom на базі обладнання SAF Teknika

Методика моделювання радіорелейної лінії зв'язку з використанням програмного пакету ICS Telecom включає наступні кроки:

1. Встановлення та налаштування програмного пакету ICS Telecom на комп'ютері.
2. Створення нового проекту в програмному пакеті, вибір та завантаження шарів карти (див рис 2.2).

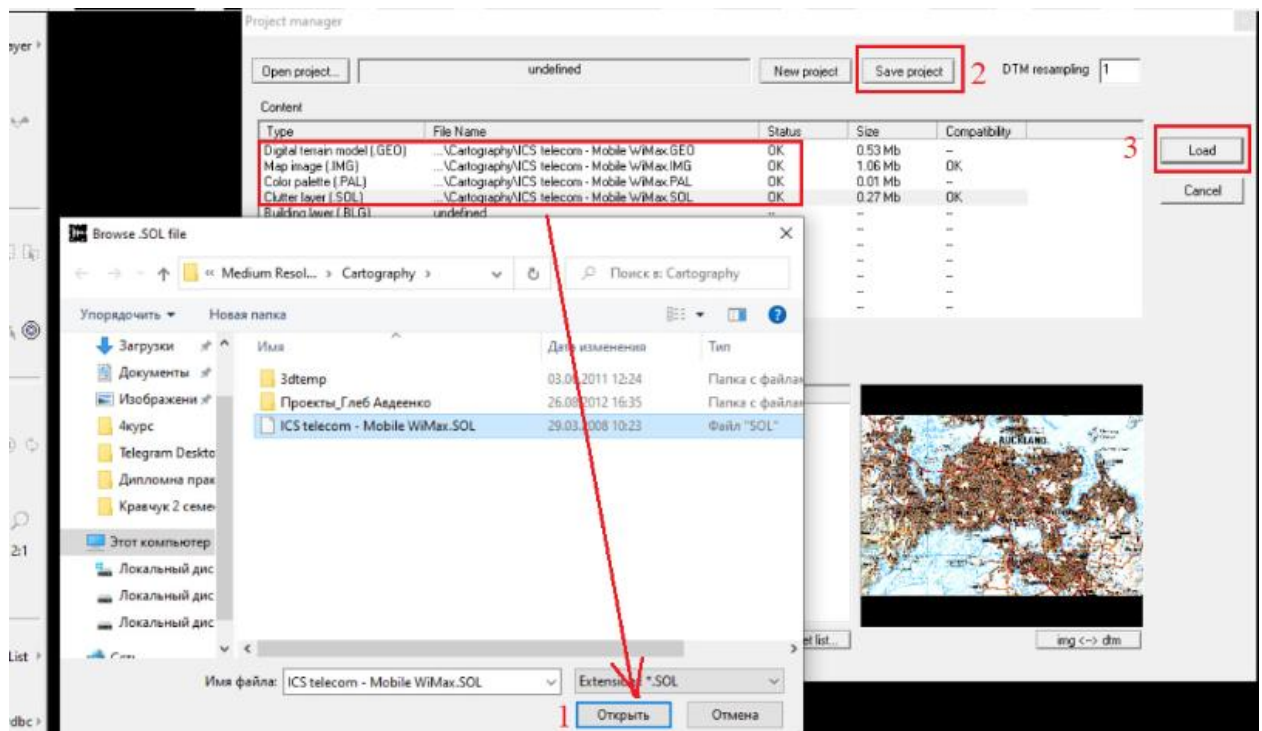


Рис. 2.2 Завантаження шарів карти та збереження проекту

3. Додавання радіорелейної лінії до проекту (див рис. 2.3).

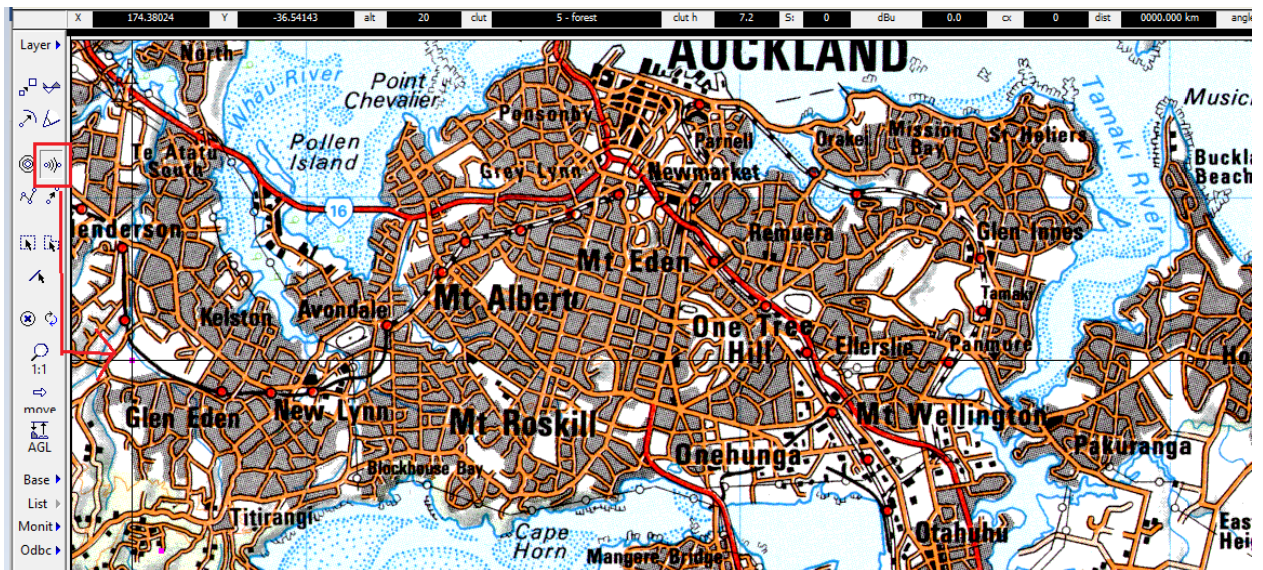


Рис. 2.3 Створення моделі радіорелейної лінії

4. Встановлення параметрів обладнання, таких як частота, тип антени, потужність передавача та інші відповідні параметри (див рис. 2.4).

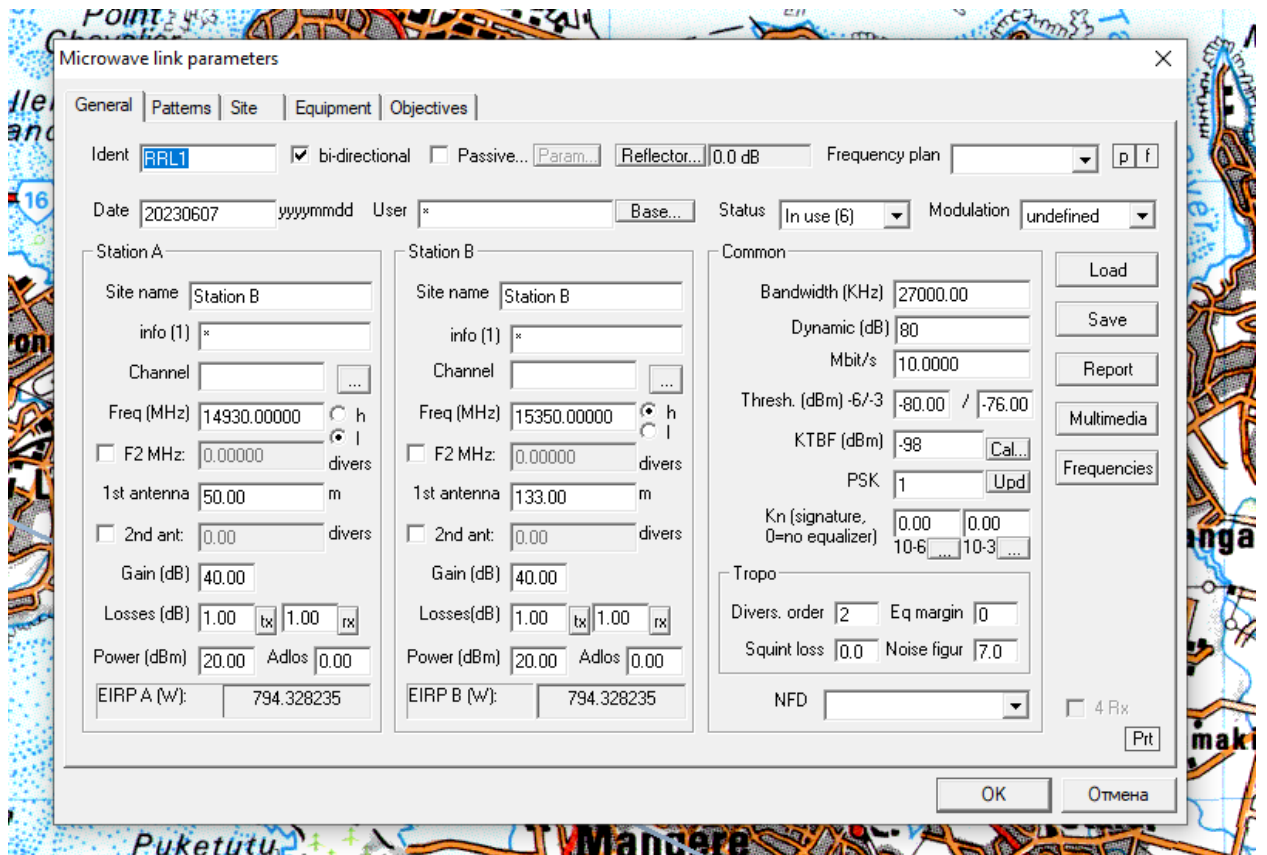


Рис. 2.4 Налаштування радіорелейної лінії

5. У вкладці Patterns здійснюється заповнення форми з параметрами діаграм направленості антен (див рис. 2.5).

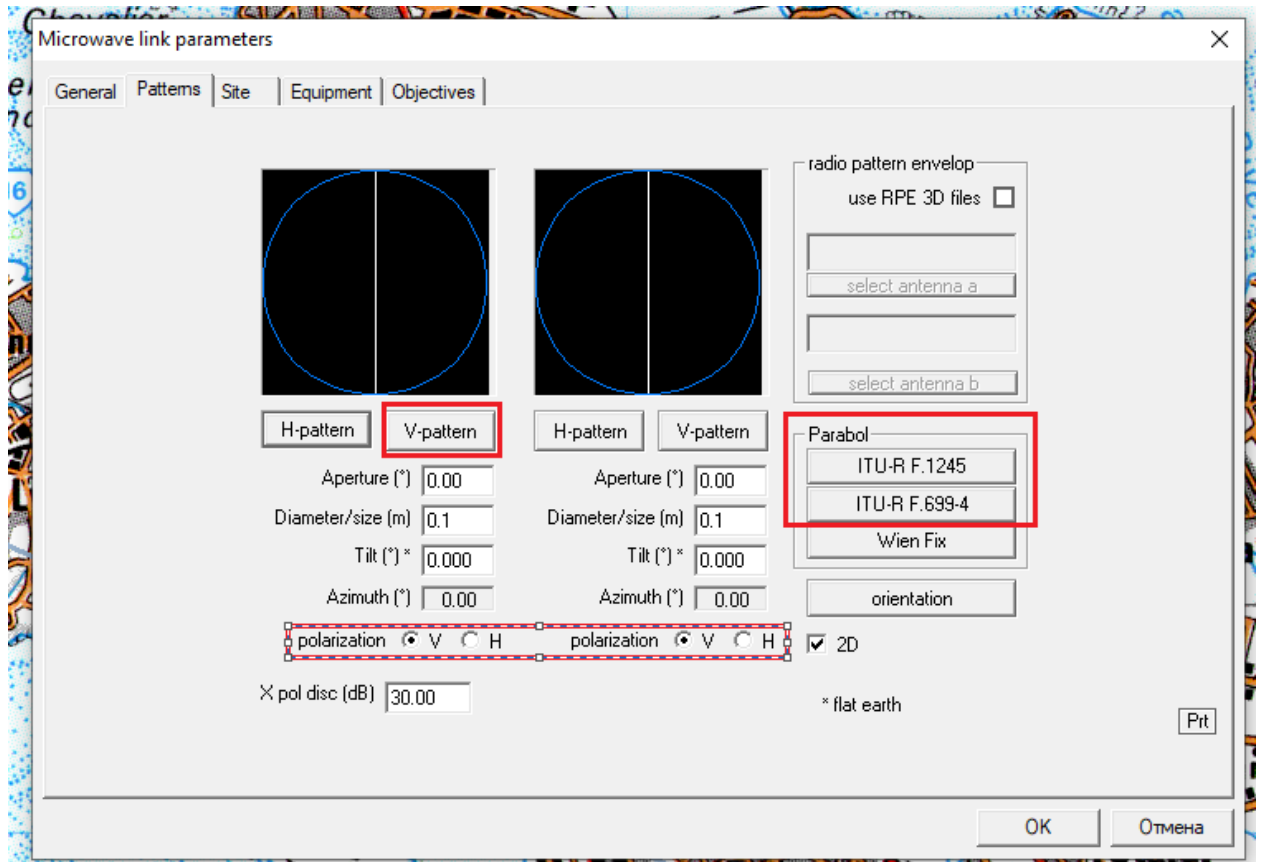


Рис. 2.5 Форма для встановлення параметрів антен радіобладнання

На рисунку 2.6 видно, що доступ до вікна редагування був отриманий шляхом натискання кнопки V-pattern у вкладці Patterns.

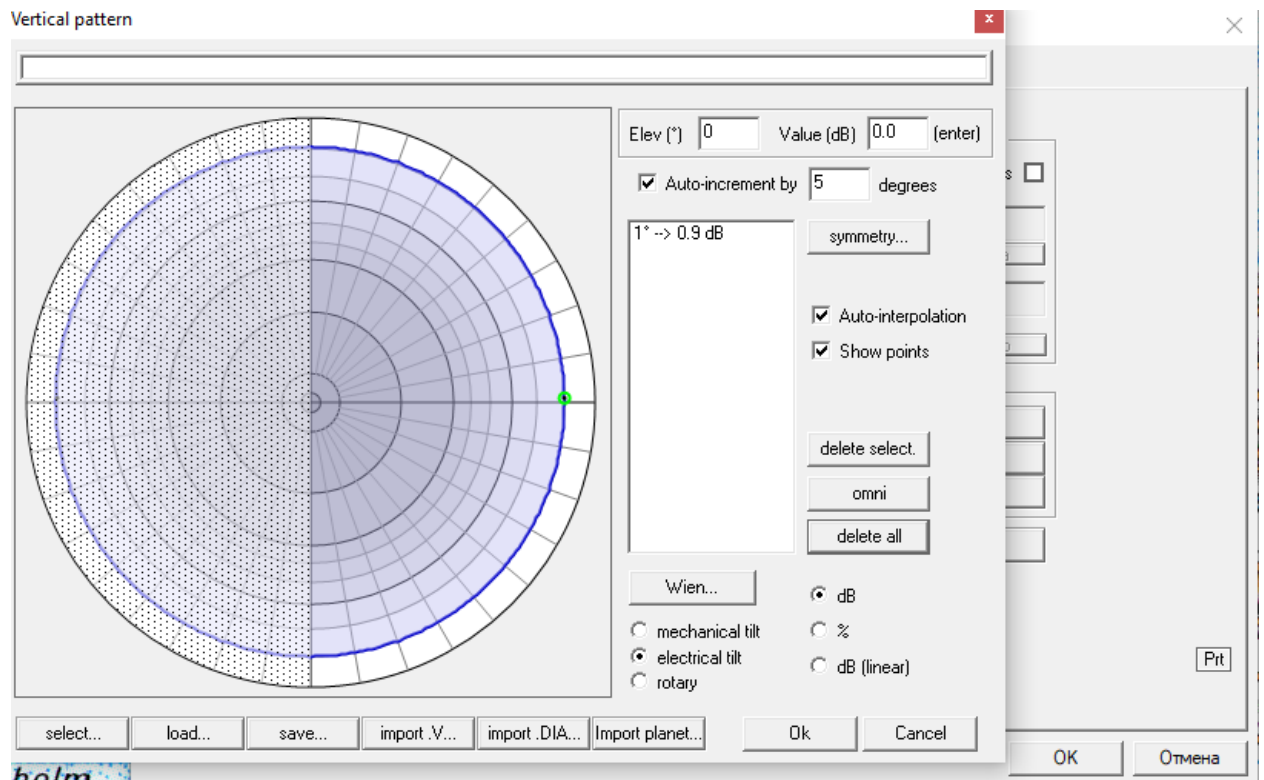


Рис. 2.6 Форма для налаштування, редагування та збереження діаграм направленості антен

6. Встановлення параметрів електромагнітного середовища, таких як втрати, рельєф місцевості та наявність перешкод здійснюється за допомогою закладки Site (див рис.2.7).

Microwave link parameters

General | Patterns | Site | Equipment | Objectives

Reference coordinates: 174.50591 -36.58399 19 4DMS

Reference coordinates: 174.37526 -36.53436 20 4DMS

Passive...

path validity

no checked check

precision (%): 0 optimize*

margin (dB): no *margin<20

availability %: 0.00000

Sites and link color

constraint (m) 200 A... B...

Site name Station B

info (1) *

info (2) F3E

Net ID *

site A code (TRIG) upd A

site B code (TRIG) upd B

location file...

Prt

OK Отмена

Рис. 2.7 Форма для встановлення місця знаходження станцій

7. Дані про фідерну систему лінку можна заповнити, скориставшись закладкою Equipment (див рис. 2.8).

Microwave link parameters

General | Patterns | Site | Equipment | Objectives

Database

A

none lead cable none feeder none lead cable none

none c none c none c none c none

0.00 meter 0.00 meter 0.00 meter

Amplifier (dB) 0.0

none

Station B - Station B: 0 meters

B

none lead cable none feeder none lead cable none

none c none c none c none c none

0.00 meter 0.00 meter 0.00 meter

Amplifier (dB) 0.0

none

Update

☒ Update Info(1) and info(2) fields

Рис. 2.8 Форма для налаштування параметрів фідерної системи станцій

8. Для виконання завдання щодо вимог до лінку використовується закладка Objectives (див рис. 2.9).

Microwave link parameters

General | Patterns | Site | Equipment | Objectives

Type of path

☒ SDH (ITU-T G.828)

☐ VC-11 ☐ VC-12 ☐ VC-2 ☐ VC-3 ☐ VC-4 ☒ Non SDH (ITU-T G.826)

BER-SES: 6.500000e-005

no. blocs per sec / 1000: 8 (ITU-R P.530)

no. bits per bloc: 6120

Distribution of errors (ITU-R P.530)

RBER 10-13 to 10-10	
Multipath	Rain
Alpha 1: 1 10 to 30	0 1 to 30
Alpha 2: 1 1 to 10	0 1 to 20

For mp and rain, Alpha 2 < Alpha 1 expected
For rain, Alpha 1 < 2 x Alpha 2 expected
* from 0 to 100%

Type of portion

☐ International (ITU-R F.1397)

☐ Intermediate country

☐ Terminating country

☒ National (ITU-R F.1491)

☐ Access

☒ Short haul

☐ Long haul

B: 7.5-8.5% 8.00 *

Applicable if d>50 km and average annual mode

Load Save

OK Отмена

Рис. 2.9 Форма для налаштування параметрів фідерної системи станцій

Після натискання кнопки «ОК» на карті з'явиться «лінк» (див рис. 2.10). На лінку можуть бути текстові надписи, що характеризують його (наприклад, частота, поляризація та інше). Статус прямої видимості відображається у вікні профілю лінку. Щоб змінити параметри «лінку», потрібно правою кнопкою миші натиснути на лінію, що з'єднує обидві станції.

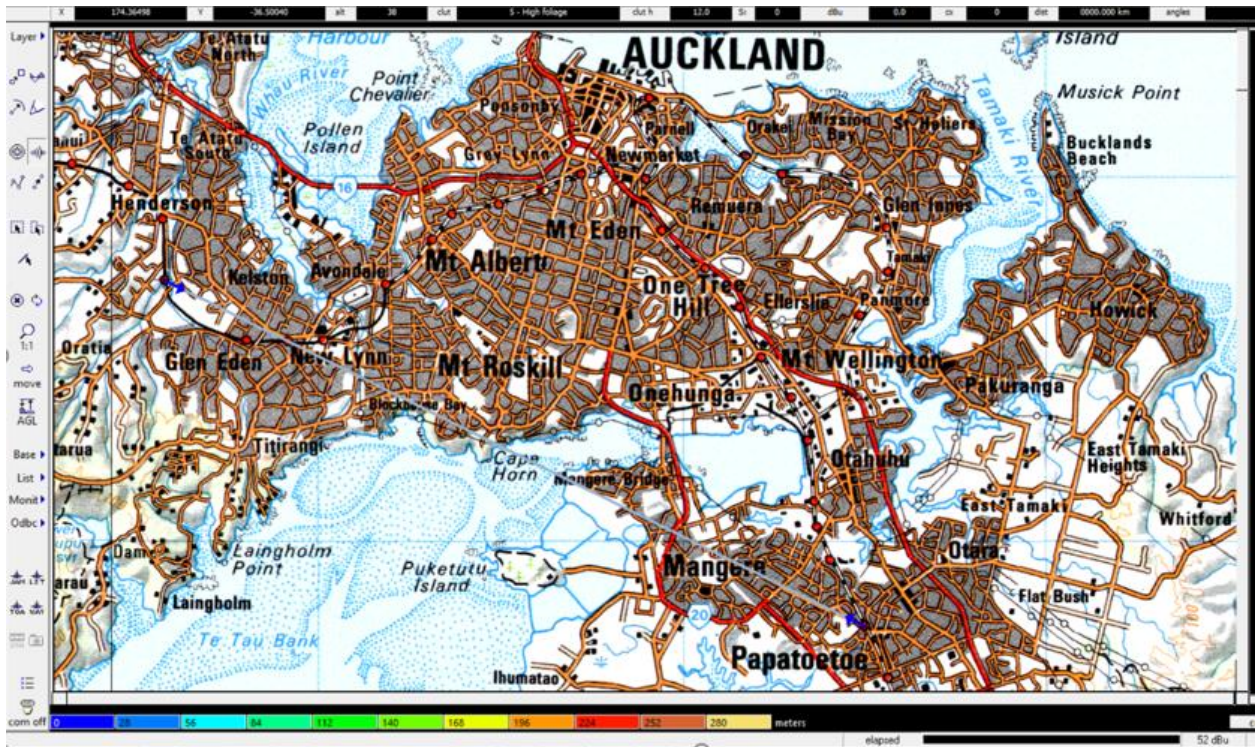


Рис. 2.10 Графічне відображення створеного «лінку»

9. Натискання правою кнопкою миші на будь-якій станції призводить до відкриття списку лінків (див рис. 2.11).

Microwave list

Record	Address A	Address B	Mode	Frequency A	Frequency B	Validity	Site A #	Site B #	Ident	Status
1	Station B	Station A	bi	15350	14930	enable	2	1	RRL1	activated
2	Station B	Station B	bi	14930	15350	enable	3	4	RRL1	activated
3	Station B	Station B	bi	15350	14930	enable	4	3	RRL1	activated

Double click for calculation - Right click for options

3

Goto record Close

Рис. 2.11 Вікно відображення списків «лінків»

Подвійний клік лівою кнопкою миші на рядку списку «Microwave list» викликає відкриття меню профілю лінку (див. рис. 2.12), враховуючи

Path reliability

Siemens method

☐ SIEMENS - Zone B, 3 worst months

Vigants method

☐ CCIR R338 model

☐ NA model

- ☒ Coastal areas
- ☐ Subtropical areas
- ☐ Average terrain
- ☐ Mountainous area:

ITU-R 530 method

☒ ITU-R P.530 (all % of time)

☒ Average annual reliability

☐ Average worst month reliability

☐ Signature undefined

Point refract. gradient dN1 20.00

☐ Upd from Rx location upd map

Earth radius (km)

Land 8500 Sea 8500

Rain

☐ No rain

☒ ITU

Precipitation (mm/h)* 100.00

Time (0.001 to 1) % 0.01000

☒ Upd from Rx location (ITU-R837)

☐ Crane

Power law

☒ Crane coefficients

☐ ITU coefficients

Zones

- ☐ zone A - tundra (dry)
- ☐ zone B - taiga (moderate)
- ☐ zone C - maritime
- ☐ zone D1 - continental (US)
- ☒ zone D=D2 - continental
- ☐ zone D3 - continental (US)
- ☐ zone E - subtropical wet
- ☐ zone F - subtropical Arid
- ☐ zone 8 - tropical moderate
- ☐ zone 9 - tropical wet
- ☐ zone B1 taiga (dry)
- ☐ zone B2 taiga (wet)

Close

Load

Save

* Use precipitation for 0.01% for ITU R530

Threshold for p2p calculation -74

Рис. 2.12 Форма для налаштування параметрів і вибору моделі розрахунку якісних показників «лінку»

11. Після натискання кнопки "sheet" у вікні "Profile" виконується розрахунок енергетичного балансу. Результати цього розрахунку наведені на рисунку 2.13.

Tx: Station B			PATH:			Rx: Station A		
Station A	Value		Path	Value		Station B	Value	
Address	Station B		Distance, K (land...	20.55, 8500/85...		Address	Station A	
Ident	RRL1		PR (no rain)	-44.42 dBm		Ident	RRL1	
Info	*		Margin 10-3/6 (no...	31.58 35.58 dB		Info	*	
Site code			Reliability 10-3 mp...	99.99988 %		Site code		
DTM+clutter elev...	0 m		Reliability 10-3 rai...	99.96518 %		DTM elevation	18 m	
X	2655850.00000		Reliability 10-3 (w/...	99.96506 %		X	2674350.00000	
Y	6476700.00000		Reliability 10-3 mp...	99.99998 %		Y	6467750.00000	
H-angle	115.82 °		Outage time 10-3 ...	0.11731 min/y		H-angle	295.82 °	
Frequency	15350.00000 M...		Reliability 10-3 rai...	99.99369 %		Height of antenna	50.00 m	
Power - EIRP	20.00 dBm - 59...		Outage time 10-3 ...	33.18048 min/y		Diameter	0.00 m	
Height of antenna	133.00 m		Reliability 10-3 (A)	99.99366 %		Gain	40.00 dB	
Diameter	0.00 m		Reliability 10-6 mp...	99.99995 %		Boot cable - MW	0.00 m	
Gain	40.00 dB		Reliability 10-6 rai...	99.97410 %		Feeder	0.00 m	
Boot cable - MW	0.00 m		Reliability 10-6 (w/...	99.97405 %		Boot cable - Ante...	0.00 m	

Print...

Report...

Close

Рис. 2.13 Результати аналізу «лінку»

Натиснути кнопку «Report» у вікні «Profile report» та перевірити виведення підготовленого для друку звіту про розрахунок енергетичного балансу лінку на екрані (див. рис. 2.14).

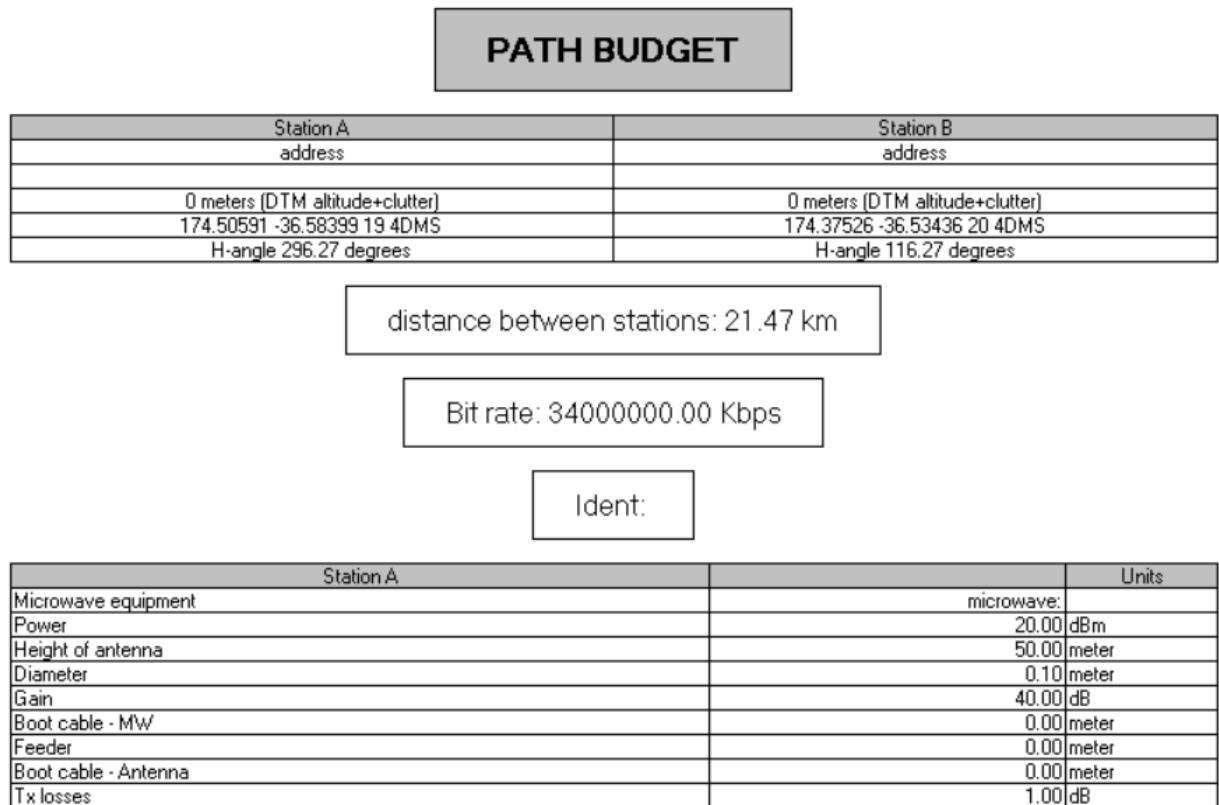


Рис. 2.14 Готовий до друку звіт про енергетичний баланс «лінку»

2.3 Опис функціональних можливостей програмного пакету Forsk Atoll для проєктування радіорелейних ліній

Forsk Atoll - це потужний програмний пакет, розроблений компанією Forsk, який використовується для проєктування, планування та оптимізації бездротових мереж зв'язку, зокрема мобільних мереж стандартів GSM, UMTS, LTE та 5G, включаючи радіорелейні лінії.

Цей програмний пакет надає широкий спектр функціональних можливостей для ефективного та точного проєктування радіорелейних систем. Основні функції Forsk Atoll включають:

Моделювання топології мережі: Forsk Atoll дозволяє створювати географічну модель мережі з врахуванням рельєфу місцевості, розташування веж та перешкод. Це дозволяє точно відтворити реальні умови і врахувати їх вплив на зв'язок.

Розрахунок параметрів зв'язку: Програмний пакет дозволяє розраховувати втрати сигналу, згасання та інші характеристики радіорелейних ліній на основі різних параметрів, таких як відстань між вежами, висота та характеристики антен.

Оптимізація мережі: Forsk Atoll надає можливості для автоматичного планування оптимального розташування веж та станцій з метою досягнення найкращої продуктивності мережі. Він враховує фактори, такі як пропускна здатність, якість зв'язку та використання ресурсів.

Аналіз та візуалізація результатів: Програмний пакет дозволяє графічно відображати радіорелейні лінії та їх характеристики. Це допомагає інженерам аналізувати та порівнювати різні варіанти мережі для вибору оптимального рішення.

2.3.1 Методика моделювання радіорелейної лінії зв'язку з використанням програмного пакету Forsk Atoll

Основні кроки для моделювання радіорелейної лінії зв'язку з використанням програмного пакету Forsk Atoll на базі обладнання Dragonwave включають:

1. Для створення нового проекту необхідно запустити програму Atoll і обрати File – Import (див.рис. 2.15).

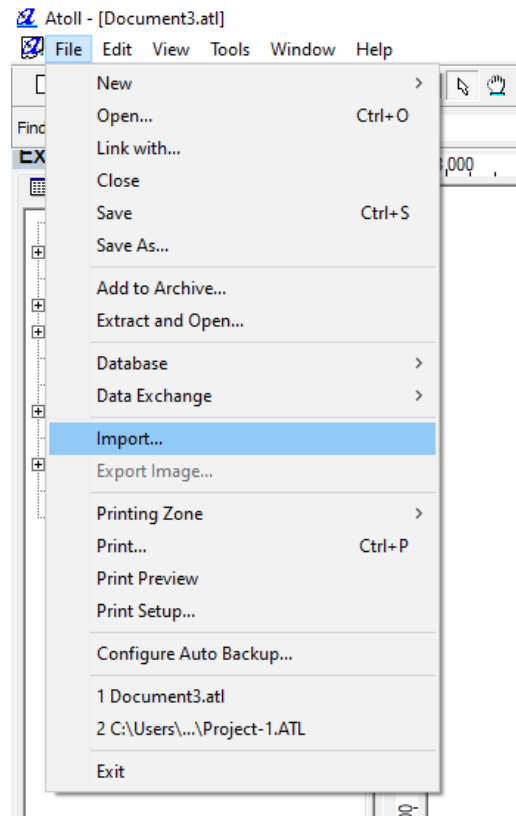


Рис. 2.15 Вікно завантаження карт в робоче середовище Atoll

2. У вікні, що з'явилося вибираємо потрібні формати карти та завантажуюмо. Після вибору цих параметрів у вікні (див. рис. 2.14) не потрібно вносити жодних змін.

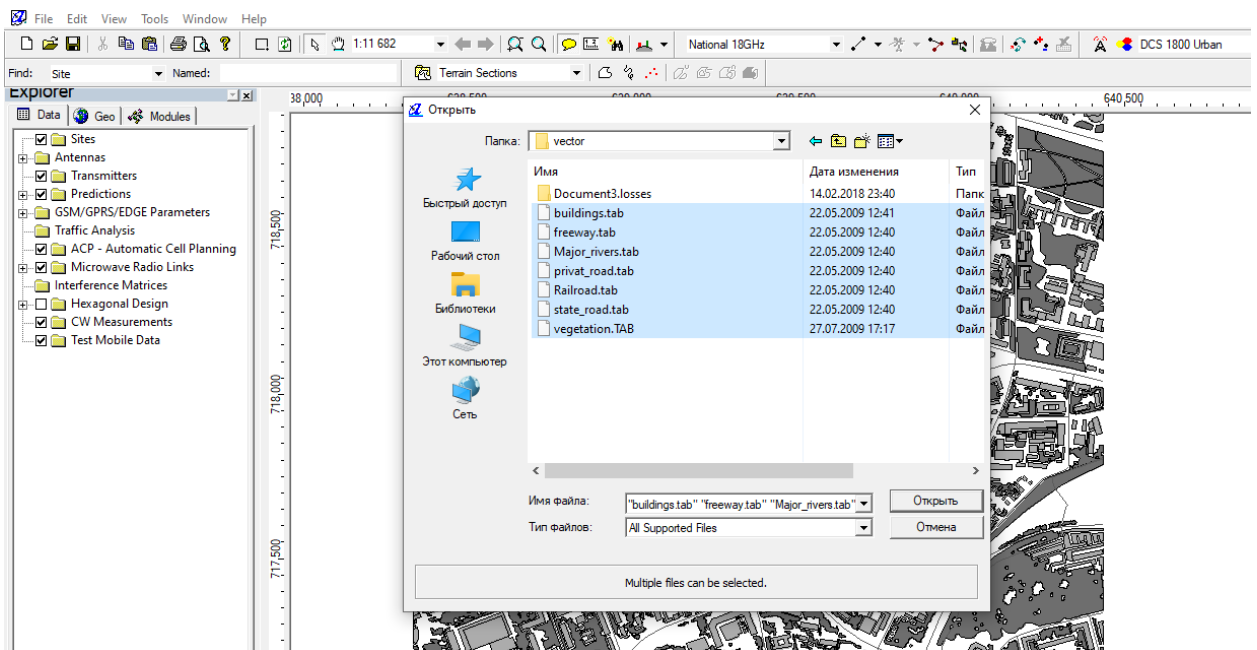


Рис. 2.14 Вікно вибору карт для імпорту

3. Для початку проєктування радіорелейної лінії, потрібно натиснути правою кнопкою миші «Sites» - New (див. рис. 2.15).

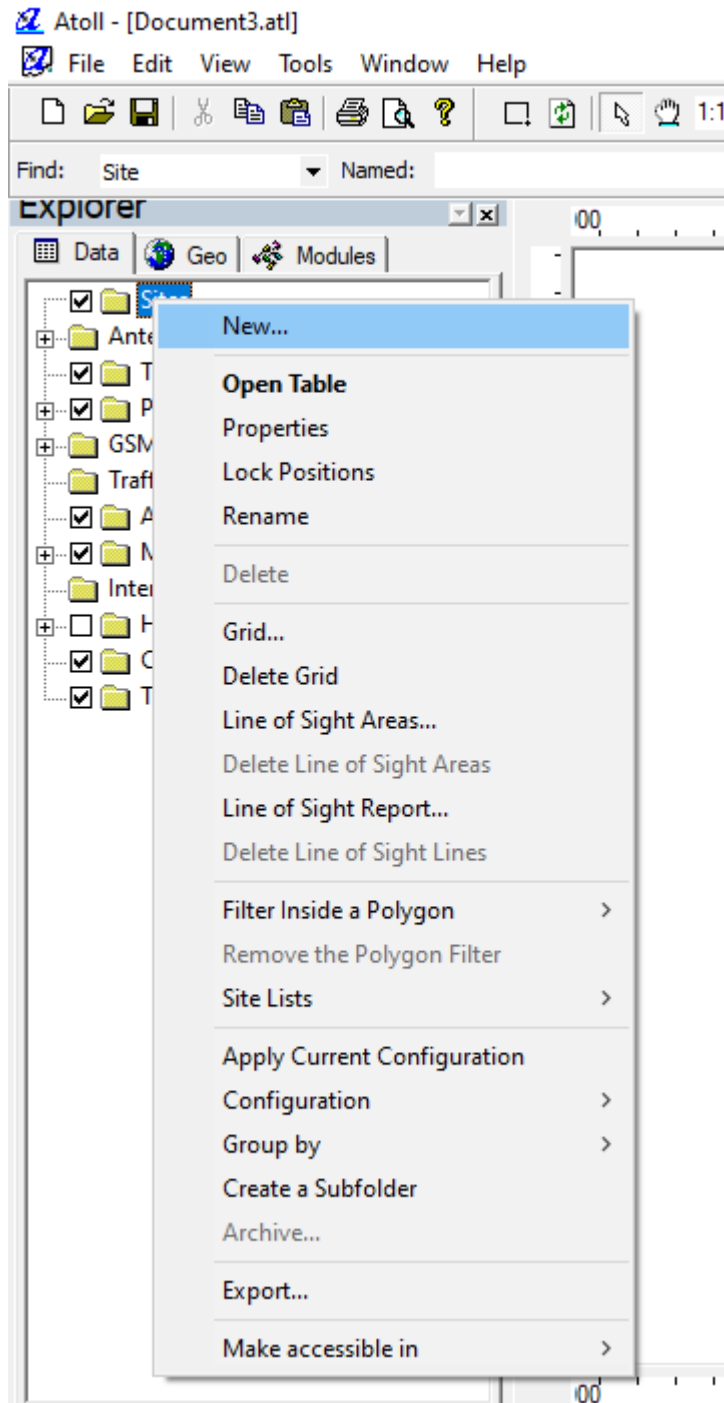


Рис. 2.15 Вікно для створення радіорелейної лінії

4. Створення станції згідно проєкту радіорелейної лінії у вкладці «Pylon» та «General» (див. рис. 2.16).

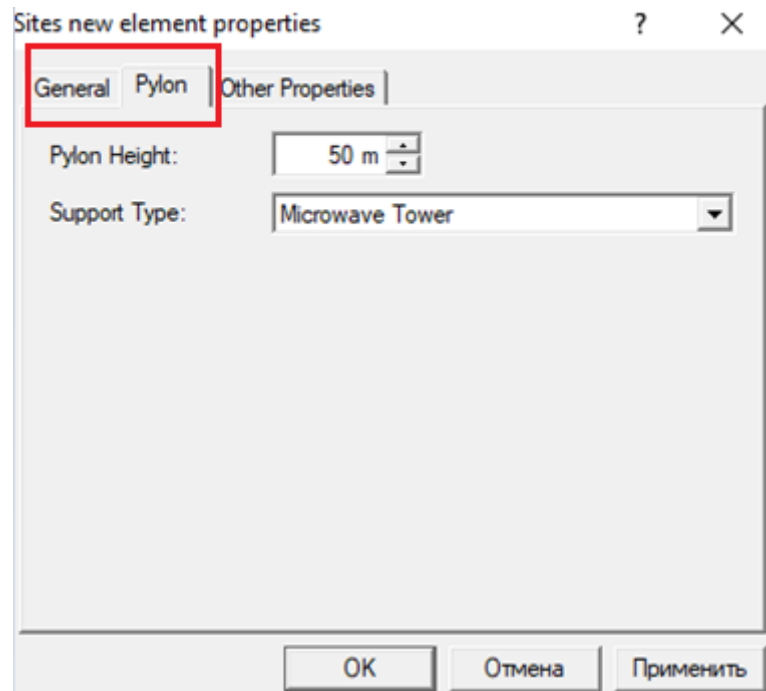


Рис. 2.16 Вікно для створення станції

Таким чином за допомогою цих інструментів створюємо дві радіорелейні станції, враховуючи задані налаштування компанією DragonWave.

5. Натиснувши іконку "New Link" на панелі інструментів РРЛ (див. рис. 2.17), можна встановити радіорелейну лінію.

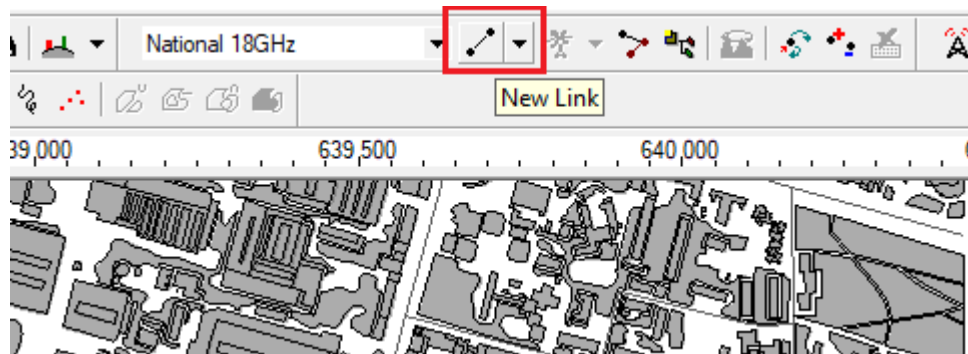


Рис. 2.16 Панель інструментів РРЛ

Щоб створити радіорелейну лінію, спочатку натисніть на іконку New Link. Потім, лівою кнопкою мишки, натисніть на першій станції, а далі виберіть місце розташування другої станції. Між цими двома точками

автоматично з'єднається радіорелейна лінія. Щоб відкрити вікно налаштувань, двічі натисніть на цій лінії (див. рис 2.17).

Site1 - Site0 properties

General Radio Connections Geoclimatic Reliability Propagation Display

☒ A >> B Site1 Site0 A << B ☒

Antennas

Model: GF2-180 <Same As Opposite Site>

Height/Ground: 25 m Polarisation: Vertical 25 m Polarisation: Vertical

Az./Direct Ray: 0 ° Tilt/Direct Ray: 0 ° 0 ° Tilt/Direct Ray: 0 °

Diversity Ant.: ☐ <Same As Opposite Site> ☐ <Same As Opposite Site>

Separation: 0 m 0 m

Equipment

Model: A-9418 UX <Same As Opposite Site>

Maximum Power: 24,5 dBm 24,5 dBm

Tuning: - 0 dB - 0 dB

Nominal Power: = 24,5 dBm = 24,5 dBm

ATPC: - 0 dB - 0 dB

Coordinated Power: = 24,5 dBm = 24,5 dBm

☐ XPIC System ☐ XPIC System

Frequencies

Sub-Band: 18 GHz (110) <Same As Opposite Site>

Frequency: 18 700 MHz 18 700 MHz

Half-band: Lower Upper

Channels: Ports Parameter Settings...

< << >> >

OK Отмена Применить

Рис. 2.17 Панель налаштування створеної РРЛ

У цьому розділі можна налаштовувати параметри, такі як висота приймальної та передавальної антен (Height/Ground), поляризація (Polarisation), тип обладнання та частоти передавання. У вкладці «Geoclimatic», враховуються зовнішні фактори, такі як рельєф місцевості, наявність перешкод і кліматичні умови (див. рис. 2.18).

Site1 - Site0 properties

General | Radio | Connections | **Geoclimatic** | Reliability | Propagation | Display

Current Methods

Quality: Rec. ITU-R P.530-8 Availability: Rec. ITU-R P.530-8

Atmospheric and Climatic Conditions

Climatic Zone: **Temperate Continental (Moderate)** Temperature: 18 °C

Rec. ITU-R P.530

Water Vapour Density: 9 g/m³ Rainfall rate not exceeded for 0.01% of the average year: 21 mm/h

Atmospheric Pressure: 1 013 hPa

Relative Humidity: 3,6 % Rec. ITU-R P.530-12 Rain Height (0°C Isotherm): m

Refractivity

Refractivity Gradient: N-units/km k factor median value: 1

Geoclimatic Factor

Rec. ITU-R P.530-5,-8 and Vigants-Barrett Terrain Type: Plain Zone

Rec. ITU-R P.530-5,-8 PL: 11 %

Rec. ITU-R P.530 K:

K.Q. Method K.Q.: 1,4e-008

Рис. 2.18 Панель налаштування метеорологічних констант

6. Для відкриття профілю траси, спочатку потрібно виділити відповідну РРЛ, натиснувши лівою кнопкою миші, а потім натиснути на іконку ProfileAnalysis (див. рис. 2.19, 2.20).

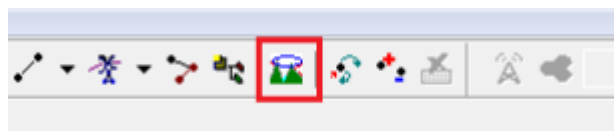


Рис. 2.19 Зовнішній вигляд іконки для аналізу профілю

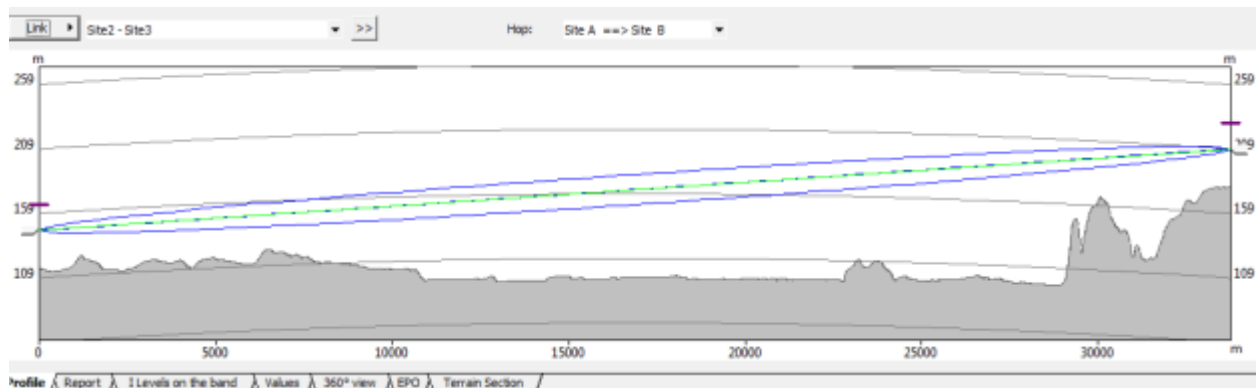


Рис. 2.20 Зовнішній вигляд вікна аналізу профілю траси

Вкладка «Profile» надає можливість аналізувати відстані, висоти і стан зони Френеля. Щоб автоматично оптимізувати, потрібно правою кнопкою мишки натиснути на антену і вибрати опцію «Optimize». Для аналізу необхідно відкрити вкладку «Report» у цьому вікні (див. рис. 2.21).

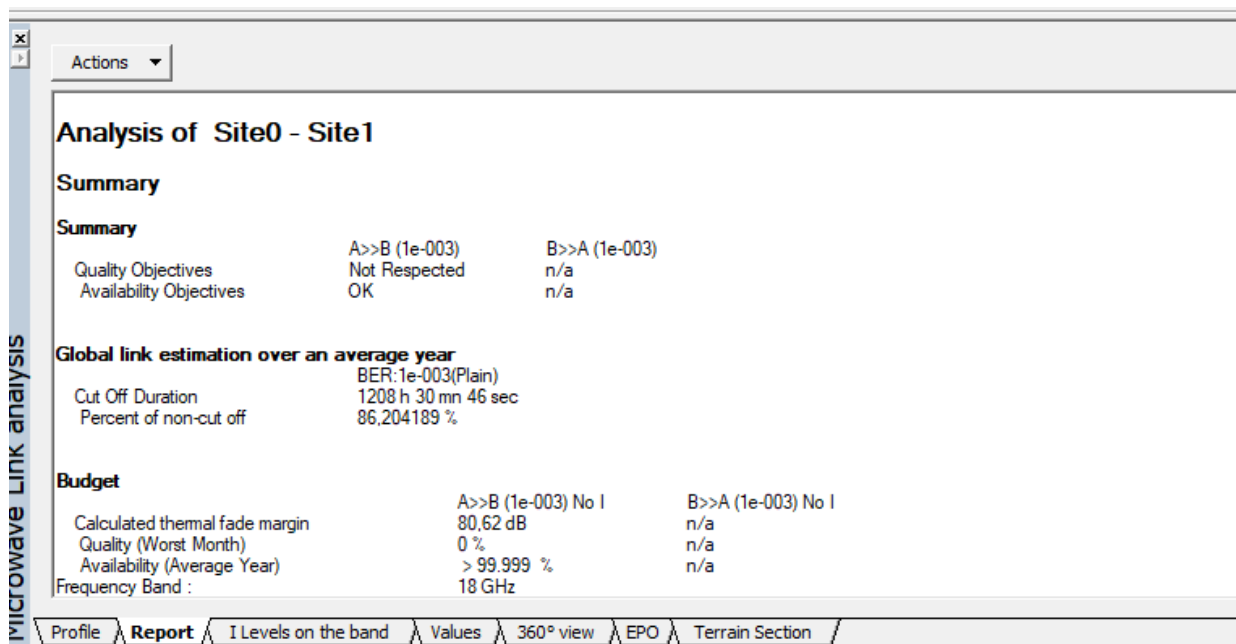


Рис. 2.21 Вкладка «Report» для кількісного аналізу

2.4 Функціональні можливості програмного пакету RadioPlanner для проєктування радіорелейних ліній

RadioPlanner є потужним програмним пакетом, призначеним для проєктування та планування радіорелейних систем зв'язку. Він надає

широкий спектр функціональних можливостей, спрямованих на ефективне та точне моделювання, аналіз та оптимізацію радіорелейних ліній. Основні функції програмного пакету RadioPlanner включають:

1. Моделювання топології мережі: RadioPlanner дозволяє створювати географічну модель мережі з урахуванням рельєфу місцевості, розташування веж та перешкод. Це дозволяє точно відтворити реальні умови та врахувати їх вплив на зв'язок.

2. Розрахунок параметрів зв'язку: Програмний пакет дозволяє розраховувати втрати сигналу, згасання, межу чутливості та інші характеристики радіорелейних ліній на основі різних параметрів, таких як відстань між вежами, висота та характеристики антен.

3. Оптимізація мережі: RadioPlanner надає можливості для автоматичного планування оптимального розташування веж та станцій з метою досягнення найкращої продуктивності мережі. Він враховує фактори, такі як пропускна здатність, якість зв'язку та використання ресурсів.

4. Аналіз та візуалізація результатів: Програмний пакет дозволяє графічно відображати радіорелейні лінії та їх характеристики. Це допомагає інженерам аналізувати та порівнювати різні варіанти мережі для вибору оптимального рішення.

5. Моделювання розповсюдження сигналу: RadioPlanner використовує різні моделі розповсюдження сигналу, такі як модель "Two-Ray Ground", модель "ITU-R P.530" та інші, щоб оцінити сильність сигналу на різних відстанях та умовах.

6. Врахування різних параметрів: Пакет дозволяє враховувати різні параметри, такі як погода, висота розташування, використання антенних систем, тип модуляції та інші, для отримання більш точних результатів при проектуванні радіорелейних ліній.

Програмний пакет RadioPlanner надає інженерам потужний набір інструментів для проектування, аналізу та оптимізації радіорелейних ліній зв'язку. Він допомагає покращити ефективність та надійність мережі,

забезпечуючи оптимальне використання ресурсів та задоволення вимог користувачів.

Висновки

У даному розділі було розглянуто методику розрахунку прольоту радіорелейної лінії зв'язку відповідно до рекомендацій МСЕ-Р. Даний підхід базується на використанні основного документу МСЕ-Р та регламенту радіозв'язку для обмеження кількості частот і ширини використовуваного спектра до мінімуму, потрібного для задоволення потреб необхідних служб.

Далі, було розглянуто функціональні можливості програмного пакету ICS Telecom, який є потужним інструментом для проєктування радіорелейних ліній. Цей пакет надає можливість моделювання мережі, розрахунку параметрів зв'язку, оптимізації мережі та аналізу результатів. Використовуючи ICS Telecom, інженери можуть ефективно планувати топологію мережі та використовувати різні методи і техніки для досягнення оптимальної продуктивності.

Також були розглянуті функціональні можливості програмного пакету Forsk Atoll, який надає розширені можливості для моделювання та аналізу радіорелейних систем. Цей пакет дозволяє розраховувати покриття, потужність сигналу, перешкоди та інші параметри для забезпечення надійної роботи мережі.

Крім того, були розглянуті функціональні можливості програмного пакету RadioPlanner, що також є потужним інструментом для проєктування радіорелейних ліній. Завдяки цьому пакету, інженери можуть моделювати та аналізувати радіорелейну систему, виконувати розрахунки для оптимального розміщення веж та визначення параметрів зв'язку.

Використання програмних пакетів ICS Telecom, Forsk Atoll і RadioPlanner надає інженерам потужні інструменти для ефективного проєктування та розрахунку радіорелейних ліній. Ці програмні засоби

дозволяють інженерам точно моделювати мережу, виконувати розрахунки параметрів зв'язку та оптимізувати мережу для досягнення найкращих результатів. Використання цих програмних пакетів сприяє покращенню якості зв'язку та задоволенню потреб користувачів.

РОЗДІЛ 3

ПРОЄКТУВАННЯ ЛІНІЇ РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОРЕЛЕЙНИХ СТАНЦІЙ DRAGONWAVE ТА SAF TEKNIKA

3.1 Вихідні дані для проєктування лінії радіорелейного зв'язку

Для проєктування лінії радіорелейного зв'язку на базі обладнання радіорелейних станцій SAF Teknika Integra X з використанням програмного пакету ICS Telecom, ми маємо такі вихідні дані:

1. Робочі частоти ПРД/ПРМ РРЛ+поляриз, МГц: 14928 / 15348 - це вказує на робочі частоти передавача та приймача радіорелейних станцій. Ці значення використовуються для встановлення безперервного радіозв'язку між станціями.

2. Вертикальне підсилення антен: 43 дБ - цей показник вказує на підсилення антен в вертикальному напрямку. Він враховується при розрахунках зони Френеля та визначенні максимальної відстані передачі сигналу.

3. Потужність ПРД, дБм: 26 - це значення вказує на вихідну потужність передавача. Враховуючи цю потужність та підсилення антени, ми можемо оцінити максимальну відстань передачі та потенційний рівень сигналу приймача.

4. Модуляція: QAM (Quadrature Amplitude Modulation) - це метод модуляції, який дозволяє передавати більше інформації на одному символі. Це вказує на швидкість передачі цифрового потоку та тип модуляції, які використовуються у системі.

5. Ширина смуги радіоканала: 14 МГц - це значення вказує на ширину смуги, яку використовують для передачі радіосигналу. Ширина смуги впливає на пропускну здатність системи та може бути визначальним фактором для вибору оптимальних налаштувань.

6. Коефіцієнт шуму приймача, дБ / Динамічний діапазон, дБ: 9/67 - коефіцієнт шуму приймача вказує на рівень шуму в системі. Динамічний діапазон вказує на різницю між найсильнішим та найслабшим сигналами, які може обробляти приймач. Ці параметри впливають на якість зв'язку та можливість розрізнення слабких сигналів.

Враховуючи ці вихідні дані, програмний пакет ICS Telecom може використовуватись для проєктування оптимальних параметрів лінії радіорелейного зв'язку, таких як висоти встановлення антен, розрахунок зони Френеля, оцінка максимальної відстані передачі та передавальних потужностей для забезпечення надійного та якісного зв'язку між станціями.

Ключові вихідні дані, які були використані під час проєктування радіорелейної лінії зв'язку з використанням програмного пакету Forsk Atoll та обладнання DragonWave:

Топологія мережі:

1. Кількість радіорелейних станцій: 2 (2 станції в мережі).
2. З'єднання між станціями: пряме з'єднання (прямий лінійний зв'язок між станціями).

Параметри обладнання DragonWave:

1. Діапазон частот: 18 ГГц (діапазон радіочастот, в якому працюють станції)
2. Ширина смуги: 18 700 МГц (ширина спектра, використана для передачі сигналу).
3. Вихідна потужність: 16 дБм (потужність сигналу, яку видає станція на передачу).
4. Чутливість приймача: -81 дБм (мінімальний рівень сигналу, необхідний для успішного прийому).

Параметри антен:

1. Висота встановлення антен: 19 та 11 метрів (висота, на якій встановлені антени станцій).
2. Відстань між радіорелейними станціями: 1,1 км (фізична відстань між станціями).

Загальні налаштування:

1. Модуляція: 4-PSK - використовується метод модуляції 4-фазного зміщення фази, де кожному символу відповідає 4 фазових стани.
2. Формат кадру: Ethernet (формат даних, який використовується для передачі).
3. Режим роботи: Full-Duplex (станції можуть одночасно передавати і приймати дані).

3.2 Короткі відомості про обладнання радіорелейних станцій компанії DragonWave

DragonWave Inc. канадська компанія, заснована у 2000 році і базована у місті Оттава, Онтаріо, Канада. Компанія спеціалізується на розробці та постачанні мікрохвильових передавачів та приймачів для бездротових мереж зв'язку.

DragonWave виробляє високопродуктивні радіорелейні системи, які забезпечують широкосмуговий передачу даних на великі відстані. Їх продукти використовуються операторами зв'язку та провайдерами послуг для побудови та розширення мереж зв'язку, включаючи мобільний зв'язок, широкосмуговий доступ до Інтернету та корпоративні мережі.

Основною технологією, розробленою компанією, є пакетна мікрохвильова технологія, яка забезпечувала високу пропускну здатність і надійність передачі даних на великі відстані. Компанія також надає послуги планування мереж, установки, технічної підтримки та післяпродажного обслуговування.

Ось деякі з ключових частин обладнання, з яких складаються радіорелейні станції DragonWave:

Мікрохвильове радіо Horizon Compact+: це флагманський продукт DragonWave і серце її радіорелейних станцій. Horizon Compact+ — це

компактна мікрохвильова радіостанція, призначена для використання на відкритому повітрі, яка забезпечує високопродуктивне підключення для передачі голосу, відео та даних. Він працює в ліцензованих і неліцензованих діапазонах частот, а його вдосконалені методи модуляції та виправлення помилок забезпечують надійну роботу навіть у складних умовах.

Horizon Quantum Microwave Radio: це останнє доповнення DragonWave до портфоліо продуктів, розроблене для задоволення зростаючого попиту на вищі швидкості передачі даних і ємність мережі. Horizon Quantum — мікрохвильова радіостанція високої потужності, яка працює в діапазоні E (71-76 ГГц і 81-86 ГГц) і забезпечує пропускну здатність до 10 Гбіт/с на канал. Він ідеально підходить для підключення «останньої милі», транзитного зв'язку малих стільникових мереж і програм корпоративного доступу.

Мікрохвильова радіостанція Harmony Enhanced MC: мікрохвильова радіостанція Harmony Enhanced MC розроблена для транспортного зв'язку малих стільникових мереж і додатків корпоративного доступу. Це зовнішня радіостанція, яка працює в ліцензованих і неліцензованих діапазонах частот і забезпечує пропускну здатність до 1 Гбіт/с на канал. Він простий у розгортанні, займає невелику площу та пропонує вдосконалені функції пом'якшення перешкод.

Система моніторингу мікрохвильових каналів PathFinder: PathFinder — це система керування мережею, яка забезпечує моніторинг і аналіз мікрохвильових каналів у реальному часі. Він пропонує повний набір функцій, включаючи керування помилками, моніторинг продуктивності та звітування про угоду про рівень обслуговування (SLA). Він сумісний з усіма мікрохвильовими радіостанціями DragonWave і забезпечує централізований перегляд усієї мережі.

Професійні послуги DragonWave: DragonWave пропонує низку професійних послуг для підтримки розгортання та експлуатації своїх мікрохвильових рішень. До них належать планування та проектування

мережі, встановлення та введення в експлуатацію, навчання, а також поточне обслуговування та підтримка. Команда експертів компанії має великий досвід у проектуванні та розгортанні мікрохвильових мереж і може допомогти клієнтам оптимізувати продуктивність їх мережі та максимізувати віддачу від інвестицій.

3.3 Короткі відомості про обладнання радіорелейних станцій компанії SAF Tehnika

SAF Tehnika - латвійська компанія, яка спеціалізується на розробці і виробництві обладнання для радіорелейних станцій. Заснована в 1999 році, компанія SAF Tehnika швидко стала провідним постачальником високоякісного обладнання для бездротових телекомунікаційних мереж.

Основна спеціалізація компанії SAF Tehnika - це розробка і виробництво радіорелейних станцій, які використовуються для передачі високошвидкісних даних у бездротових мережах. Радіорелейні станції SAF Tehnika дозволяють операторам зв'язку будувати потужні та надійні мережі зв'язку на великій відстані без необхідності прокладати провідний кабель.

Основні особливості обладнання радіорелейних станцій компанії SAF Tehnika:

1. Висока пропускна здатність: Радіорелейні станції SAF Tehnika володіють великою широтою смуги пропускання, що дозволяє передавати великі обсяги даних з високою швидкістю.

2. Великий дальній зв'язок: Обладнання SAF Tehnika забезпечує надійний зв'язок на великій відстані без необхідності прокладати фізичний кабель. Це робить його ідеальним варіантом для віддалених і важкодоступних місць.

3. Висока надійність: Обладнання SAF Tehnika відоме своєю високою надійністю і стійкістю до різних погодних умов. Вони розроблені для

працездатності в екстремальних умовах, таких як висока вологість, сильний вітер та перепади температур.

4. Простота встановлення і обслуговування: Обладнання SAF Tehnika відзначається простотою встановлення і обслуговування. Вони мають інтуїтивний і зручний інтерфейс, що дозволяє операторам легко налаштовувати та керувати радіорелейною мережею.

5. Широкий спектр продуктів: Компанія SAF Tehnika пропонує широкий асортимент продуктів, включаючи радіорелейні станції різних пропускних здатностей та частотних діапазонів, а також аксесуари та програмне забезпечення для управління мережею.

6. Сумісність зі стандартами: Обладнання SAF Tehnika відповідає високим стандартам якості і безпеки, включаючи стандарти, встановлені організаціями, такими як Європейський союз (CE), Міжнародний електротехнічний комітет (IEC) та Федеральна комісія з зв'язку (FCC).

Загалом, обладнання радіорелейних станцій компанії SAF Tehnika відоме своєю високою якістю, надійністю та продуктивністю. Вони забезпечують бездротовий зв'язок на великій відстані з високою швидкістю і є ідеальним вибором для операторів зв'язку, які шукають потужне та стійке обладнання для побудови мереж на віддалених територіях.

3.4 Результат моделювання радіорелейної лінії на базі обладнання радіорелейних станцій SAF Teknika з використанням програмного пакету ICS Telecom

У даному дослідженні використовується обладнання радіорелейних станцій від SAF Teknika CFIP Integra X - відомого виробника, який спеціалізується на наданні високоякісних рішень для бездротових телекомунікаційних мереж. Це обладнання відзначається високою пропускною здатністю, надійністю та стійкістю до різних погодних умов, що робить його привабливим вибором для реалізації радіорелейних систем.

Отриманий та оптимізований профіль лінії дозволить здійснити детальний аналіз та оцінку продуктивності радіорелейної лінії на базі обладнання SAF Teknika Integra X (див. рис. 3.1).



Рис. 3.1 Оптимізований профіль «лінка»

Значення втрат в вільному просторі дорівнює 140,7 дБ. Отже, якщо ми розглядаємо перехід через 1 зону Френеля, можна помітити наявність втрат у вільному просторі, загальних втрат від початку до кінця лінії, а також втрат, що виникають під час дощу. Незважаючи на ці втрати, ми можемо забезпечити потрібний рівень надійності для радіорелейної лінії, і у нас є запас в 8,5 дБ.

Було проведено розрахунки для оцінки енергетичного потенціалу. Виконано підбір оптимального просторового рознесення антен (див.рис. 3.5). Враховувалися параметри радіорелейної лінії, потужність станцій, втрати сигналу, ефективність джерел живлення та інші фактори (див. рис. 3.2, 3.3, 3.4).

PATH BUDGET	
Station A	Station B
address	address
0 meters (DTM altitude+clutter)	0 meters (DTM altitude+clutter)
174.50591 -36.58399 19 4DMS	174.37526 -36.53436 20 4DMS
H-angle 296.27 degrees	H-angle 116.27 degrees

distance between stations: 21.47 km

Bit rate: 34000000.00 Kbps

Ident:

Station A		Units
Microwave equipment	microwave:	
Power	26.00	dBm
Height of antenna	45.00	meter
Diameter	0.10	meter
Gain	43.00	dB
Boot cable - MW/	0.00	meter
Feeder	0.00	meter
Boot cable - Antenna	0.00	meter
Tx losses	1.00	dB

Рис. 3.2 Параметри станції «А»

Station B		Units
Microwave equipment	microwave:	
Power	26.00	dBm
Height of antenna	128.00	meter
Diameter	0.00	meter
Gain	43.00	dB
Boot cable - MW/	0.00	meter
Feeder	0.00	meter
Boot cable - Antenna	0.00	meter
Tx losses	1.00	dB
Rx losses	1.00	dB
Threshold 10-3	-80.00	dBm
Threshold 10-6	-76.00	dBm
TD	0	dB

Calculation		Units
Radiated power	6309.57344	W
Frequency	12000.00000	MHz
Polarization	V	
Gaz attenuation (7.50 g/m3)	0.00	dB
Rain attenuation (30.00 mm/h)	10.89	dB
Earth radius (land)	8500	km
Earth radius (sea)	8500	km
Free space attenuation	140.66	dB
Model attenuation	0.00	dB
Ducting gain	0.00	dB
Diffraction attenuation	0.00	dB
Clutter attenuation	10.0	dB
Reflection attenuation	0.0	dB
V-angle	0.15	degree

Рис. 3.3 Параметри станції «В»

Path budget		Units
Total gains	112.00	dB
Total losses	163.55	dB
Power received (rain)	-51.55	dBm
Power received (no rain)	-40.66	dBm
Margin 10-3 (no rain)	39.34	dB
Margin 10-6 (no rain)	35.34	dB
Reliability 10-6 multi-path (w/M)	99.99978	%
Reliability 10-6 rain (w/M)	99.99828	%
Reliability 10-6 (w/M)	99.99806	%
Reliability 10-3 multi-path (w/M)	99.99991	%
Reliability 10-3 rain (w/M)	99.99888	%
Reliability 10-3 (w/M)	99.99879	%
Reliability 10-6 multi-path (A)	99.99996	%
Outage time 10-6 mp (A)	0.22725	min/y
Reliability 10-3 multi-path (A)	99.99998	%
Outage time 10-3 mp (A)	0.09047	min/y
Reliability 10-6 rain (A)	99.99980	%
Outage time 10-6 rain (A)	1.04558	min/y
Reliability 10-3 rain (A)	99.99988	%
Outage time 10-3 rain (A)	0.63831	min/y
Reliability 10-6 (A)	99.99976	%
Reliability 10-3 (A)	99.99986	%

Рис. 3.4 Результати розрахунку енергетичного потенціалу

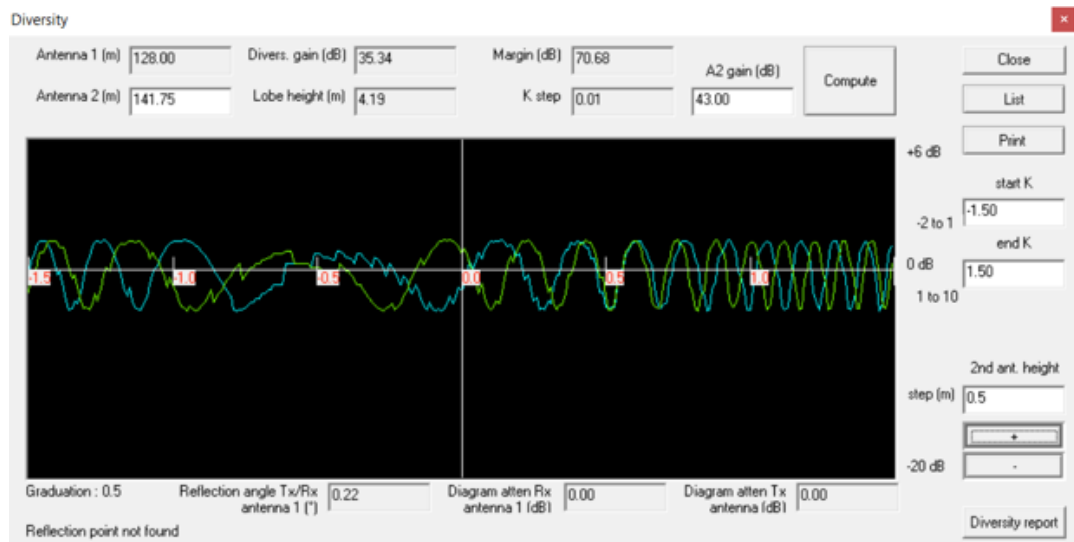


Рис. 3.5 Оптимальне значення параметру рознесення антен

3.5 Результат моделювання в програмному пакеті Forsk Atoll радіорелейної лінії зв'язку на базі обладнання радіорелейних станцій DragonWave

У данному розділі будуть представлені результати моделювання радіорелейної лінії зв'язку, побудованої на базі обладнання радіорелейних станцій DragonWave Harmony XG з використанням програмного пакету Forsk Atoll. Моделювання проведене з метою оцінки ефективності та надійності цієї системи зв'язку.

У результаті моделювання були враховані різні параметри обладнання, такі як модуляція, швидкість передачі даних, ємність, пороги перевантаження та теплового шуму, а також характеристики антен та загальні втрати системи. Застосування програмного пакету Forsk Atoll дозволило провести детальне моделювання та оцінити якість зв'язку, враховуючи фізичні умови і параметри мережі.

Створена радіорелейна лінія на основі високоефективного обладнання радіорелейних станцій DragonWave Harmony XG була розташована на завантаженому карті Києва за допомогою програмного пакету Forsk Atoll (див. рис. 3.6).

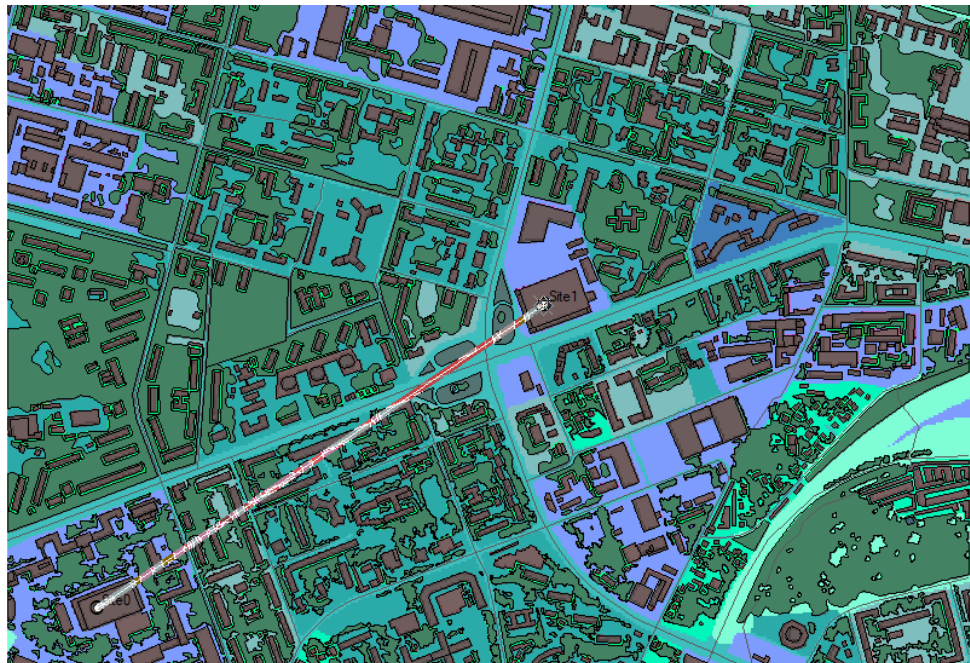


Рис. 3.6 Створена радіорелейна лінія

Отриманий результат профілю прольоту антен на місцевості (див. рис. 3.7).

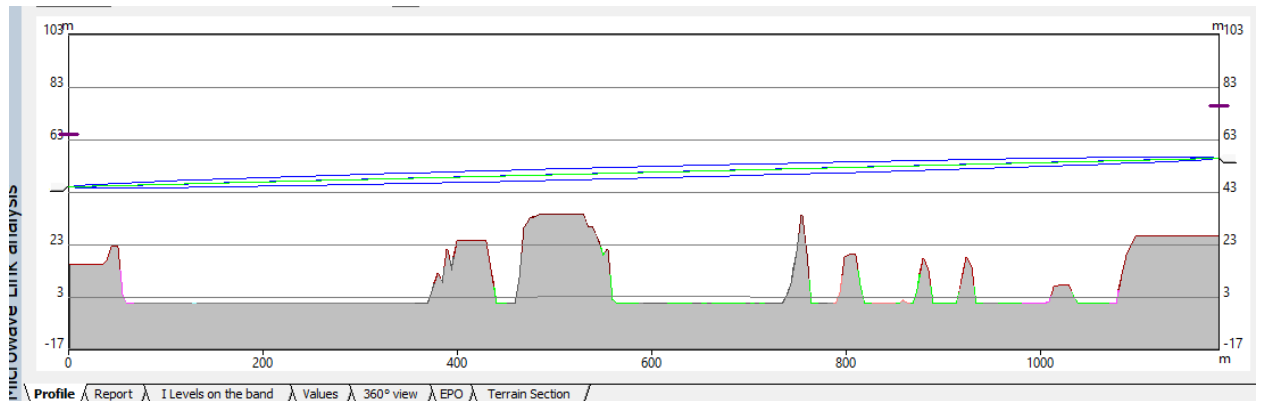


Рис. 3.7 Неоптимізований прольот траси

Шляхом автоматичної оптимізації прольоту антен було досягнуто відповідних результатів. Отриманий результат підтверджує високу якість передачі сигналу та надійність системи DragonWave Harmony XG (див. рис. 3.8, 3.9, 3.10).

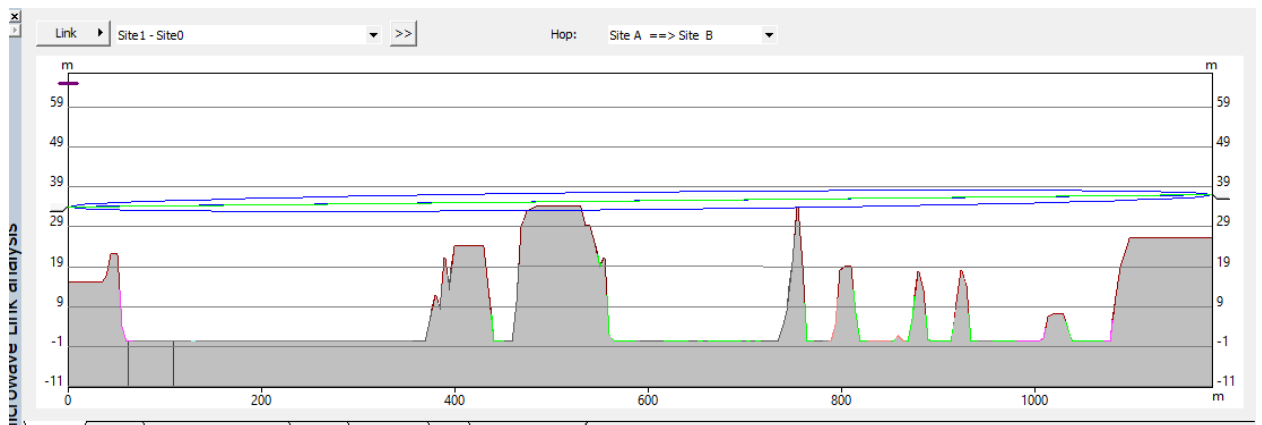


Рис. 3.8 Автоматична оптимізація профілю траси

Antennas

	Site A	Site B
Main Antenna		
Names	HP8-180-B1A	HP8-180-B1A
Height	19 m	11 m
Azimuth	235.82 ° (+0.00)	55.82 ° (+0.00)
Tilt	0.53 ° (+0.00)	-0.54 ° (+0.00)
Gain	51,2 dBi	51,2 dBi
Diameter	2,4 m	2,4 m
Near Field	718,08 m	718,08 m
Beamwidth	0.24 °	0.24 °
XPD Value	0 dB	30 dB

Рис. 3.8 Параметри станцій

Global link estimation over an average year

	BER:1e-003(Plain)
Cut Off Duration	35 sec
Percent of non-cut off	99,999886 %

Рис. 3.9 Оцінка роботи траси протягом середнього року

Equipment

	Site A	Site B
Model	SRA18-16	SRA18-16
Hierarchy	PDH	PDH
Modulation	4-PSK	4-PSK
Payload Rate	1,9 Mbits/s	1,9 Mbits/s
Capacity	E1	E1
Minimal Channel Bandwidth	1 MHz	1 MHz
Configuration	1 + 1	1 + 1

Рис. 3.10 Використане обладнання

Transmission

	A >> B	B >> A
Transmitted Power	0 dBm	0 dBm
EIRP	51,2 dBm	51,2 dBm
Power Control On	No	No
Total Losses	0 dB	0 dB
Channel and Frequency		
System Configuration	Backup (HSB)	Backup (HSB)
Sub-Band		
Channels List		
Calculated Channel	n/a (18 700 MHz)	n/a (18 700 MHz)
Polarisation	Vertical	Vertical

Рис. 3.10 Параметри передачі сигналу

Geoclimatic Parameters

Temperature	15 °C
Water Vapour Density	10 g/m ³
Relative Humidity	4,1 %
Earth Curvature Factor (k)	1,73
Geoclimatic Factor (K)	2,1e-005
Rainfall rate (exceeded during 0.01% of the average year)	22 mm/H

Рис. 3.10 Кліматичні параметри

3.6 Аналіз отриманих результатів проєктування

Аналіз отриманих результатів проєктування радіорелейної лінії на базі обладнання радіорелейних станцій SAF Teknika CFIP Integra X з використанням програмного пакету ICS Telecom дозволяє зробити наступні висновки:

1. Енергетичний баланс: За допомогою ICS Telecom було досягнуто оптимального енергетичного балансу системи. Параметри робочих частот, потужності передавача, чутливості приймача та інші енергетичні показники були налаштовані таким чином, щоб забезпечити якісний та надійний зв'язок.

2. Швидкість передачі даних: З використанням модуляції QAM та широкої смуги радіоканала була досягнута висока швидкість передачі цифрового потоку. Це дозволяє ефективно використовувати радіорелейну лінію для передачі великого обсягу даних.

3. Надійність прольоту: Надійність прольоту РРЛ досягла дуже високого рівня - 99.991%. Це означає, що система забезпечує стабільний зв'язок з мінімальною ймовірністю переривань та втрати сигналу.

4. Коефіцієнт шуму та динамічний діапазон: Значення коефіцієнта шуму та динамічного діапазону приймача вказують на високу якість сигналу та здатність системи працювати в широкому діапазоні інтенсивності сигналу.

Отримані результати свідчать про високу ефективність та надійність радіорелейної лінії, побудованої на базі обладнання SAF Teknika Integra X та з використанням програмного пакету ICS Telecom. Це підтверджує можливість успішного використання такої системи для передачі даних з високою якістю зв'язку.

Радіорелейна лінія, побудована на базі обладнання DragonWave Harmony XG з використанням програмного пакету Forsk Atoll, проявляє високу ефективність та надійність згідно з отриманими результатами.

Завдяки прямому з'єднанню між двома радіорелейними станціями та використанню модуляції 4-PSK, лінія забезпечує швидкість передачі даних на рівні 1,9 Мбіт/с. Параметри обладнання DragonWave Harmony XG, такі як ємність, поріг перевантаження, поріг теплового шуму, номінальний рівень отриманого сигналу та загальне затухання, підтверджують його надійність та високу якість.

Показники якості та доступності радіорелейної лінії також є вражаючими. Percent of non-cut off складає 99,999886%, що свідчить про

мінімальну кількість переривань зв'язку. Quality (Worst Month) досягає 99,999856%, що гарантує стабільну якість зв'язку протягом гіршого місяця. Availability (Average Year) перевищує 99,999%, що свідчить про високий рівень доступності системи протягом року.

Крім того, параметри антен, такі як підсилення, чутливість та мінімальне відношення сигнал/інтерференція, впливають на стійкість і якість сигналу, забезпечуючи оптимальну продуктивність.

Враховуючи нульові загальні втрати та низький рівень BER (Bit Error Rate), можна зробити висновок, що радіорелейна лінія, побудована на базі обладнання DragonWave Harmony XG з використанням програмного пакету Forsk Atoll, є ефективною та надійною системою зв'язку з високою якістю передачі даних та мінімальним ризиком втрати сигналу.

Висновки

У даному розділі дипломної роботи було проведено проектування лінії радіорелейного зв'язку з використанням радіорелейних станцій DragonWave Harmony XG та SAF Teknika CFIP Integra X. Отримані результати і дослідження дозволяють зробити наступні висновки.

Під час проектування лінії радіорелейного зв'язку було ретельно вивчено характеристики та можливості радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika. Було проведено аналіз радіочастотного спектра, визначено доступні частотні діапазони для розгортання мережі.

На основі отриманих даних були розраховані параметри лінії радіорелейного зв'язку, включаючи висоти мачт, відстані між станціями, напрямки та кутові налаштування антен. Виконано моделювання зон покриття та оцінку якості сигналу для різних точок мережі.

Було проведено розрахунки потужності сигналу, максимальної відстані передачі, а також враховано можливі перешкоди на маршруті лінії зв'язку, такі як будівлі, гірські хребти чи інші перешкоди.

На основі проведених досліджень можна зробити висновок, що застосування радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika є ефективним та перспективним рішенням для побудови ліній радіорелейного зв'язку. Вони забезпечують стабільну передачу даних, широкосмуговий зв'язок та високу якість сигналу.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ МАКЕТУ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОРЕЛЕЙНИХ СТАНЦІЙ SAF TEKNIKA

4.1 Розроблення структурної схеми макету радіорелейної лінії зв'язку

Розроблення структурної схеми макету радіорелейної лінії зв'язку з використанням радіорелейних станцій Saf Teknika для організації безпроводового з'єднання є важливим етапом при проектуванні бездротових комунікаційних систем. Така схема дозволяє визначити компоненти та їх взаємозв'язки, необхідні для успішної передачі даних безпроводовим шляхом.

Спочатку необхідно визначити вимоги до системи зв'язку. Це включає потрібну швидкість передачі даних, покриття зв'язку, максимальну дальність передачі, стійкість до перешкод, надійність та пропускну здатність мережі. Організація безпроводового з'єднання на основі радіорелейних станцій Saf Teknika дозволяє врахувати ці вимоги та забезпечити ефективну передачу даних.

Далі необхідно вибрати відповідні радіорелейні станції Saf Teknika, які відповідають вимогам проекту. Ці станції повинні підтримувати потрібну швидкість передачі даних, мати відповідну потужність передавача та чутливість приймача, а також враховувати максимальну дальність передачі та стійкість до перешкод.

Після цього необхідно розробити схему з'єднань та конфігурації мережі. Це включає встановлення з'єднань між радіорелейними станціями Saf Teknika, налаштування параметрів передачі даних, таких як швидкість, модуляція та кодеки, а також налаштування захисту мережі та безпеки передачі даних(див. рис. 4.1).

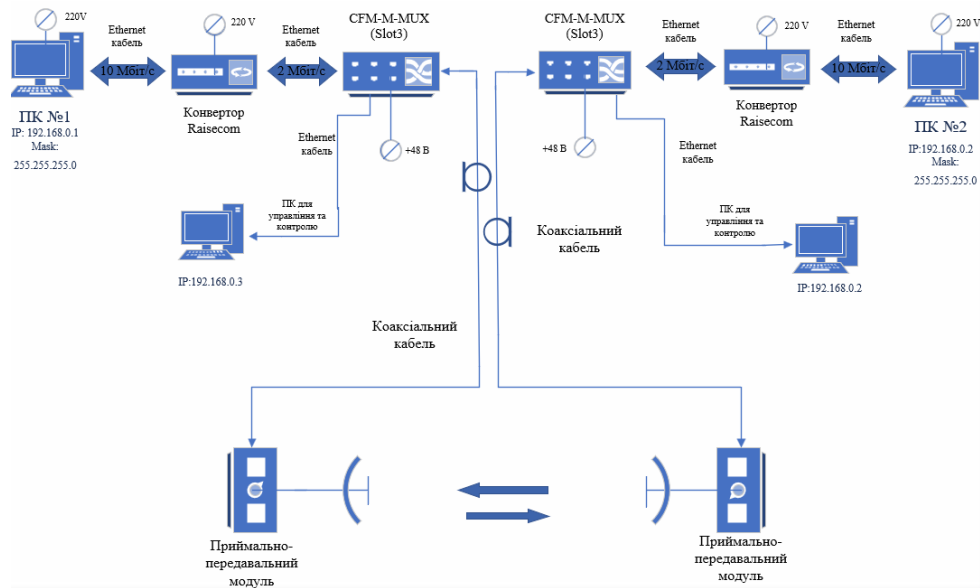


Рис. 4.1 Структурна схема макету

Після вибору радіорелейних станцій Saf Teknika необхідно розробити фізичну архітектуру системи. Це включає визначення місць розташування станцій, антен, вказівників та інших компонентів. Важливо врахувати пряму видимість між антенами для забезпечення надійної передачі сигналу та уникнути перешкод (див. рис. 4.2).



Рис. 4.1 Фізична схема розробленого макету

Розроблення структурної схеми макету радіорелейної лінії зв'язку з використанням радіорелейних станцій Saf Teknika для організації безпроводового з'єднання на швидкості E1 включає визначення вимог, вибір відповідних компонентів, проектування фізичної архітектури, налаштування з'єднань та забезпечення безпеки мережі. Це допомагає створити ефективну та надійну бездротову комунікаційну систему на основі радіорелейних станцій Saf Teknika.

4.2 Монтування приймально-передавальних модулів SAF Teknika

AF Tehnika є визнаним світовим лідером в галузі цифрових мікрохвильових радіо зв'язку. Одним з їх інноваційних продуктів є CFM-18-LM, який входить до серії CFM (Compact Full Outdoor Microwave) радіолінійних систем.

CFM-18-LM є високоефективним засобом бездротового зв'язку, який працює в діапазоні мікрохвильових частот. Він забезпечує широкосмугове з'єднання для передачі даних, голосу та відео між вузлами зв'язку.

Основні особливості CFM-18-LM включають компактний повністю вуличний дизайн, стійкість до негоди та вологості, високу швидкість передачі даних, надійність та довгу дальність зв'язку. Він також підтримує різні режими роботи, включаючи 1+0 (один канал), 1+1 (запасний канал) та 2+0 (подвійний канал) для забезпечення високої надійності передачі даних.

Монтаж та підключення приймально-передавальних антен SAF Teknika, а саме CFM-18-LM виконуються послідовно, дотримуючись такої процедури крок за кроком:

1. Визначте оптимальне місце для розташування антени, забезпечуючи чіткий огляд та мінімальну перешкоду для сигналу.

2. Переконайтеся, що підлога або конструкція, на яку буде встановлена антена, міцна та стабільна.

3. Переконайтеся, що використовувана конструкція або мачта має відповідну надійну підтримку для ваги антени (див. рис. 4.3).



Рис. 4.3 Надійне закріплення антени на пластині

4. За допомогою коаксіального кабелю, під'єднайте вхідну роз'єм антени до виходу приймально-передавального пристрою або антенного роз'єму на стінці приміщення.

5. Переконайтеся, що кабель правильно підключений до антени та приймально-передавального пристрою.

6. Після встановлення та підключення антени, перевірте налаштування приймально-передавального пристрою та забезпечте наявність сигналу.

7. Переконайтеся, що антена налаштована та працює належним чином.

8. Виконайте тестовий зв'язок або перевірку з підключеним пристроєм, щоб переконатися, що антена передає та отримує сигнал належним чином.

Правильне виконання цих процедур гарантує оптимальну роботу антен та якісний прийом та передачу сигналу.

4.3 Монтuвання модемного обладнання радіорелейних станцій SAF Teknika

В якості модемного обладнання використали бездротовий мультиплексор CFM-M-MUX від SAF Teknika для передачі даних. Цей пристрій пропонує бездротові можливості мультиплексування, що дозволяє передавати дані ефективно та швидко. CFM-M-MUX має високу пропускну здатність, може працювати на значній відстані і підтримує певний частотний діапазон для оптимальної передачі даних. Він також надає різноманітні інтерфейси для підключення до інших пристроїв або мереж. Безпека є важливим аспектом, і CFM-M-MUX може пропонувати механізми шифрування та інші заходи безпеки для захисту переданих даних.

Монтuвання модемного обладнання радіорелейних станцій SAF Teknika CFM-M-Mux включає наступні кроки:

1. Визначте відповідне місце для розташування модемного обладнання. Забезпечте наявність достатнього простору, вентиляції та електропостачання.
2. Згідно з інструкціями виробника, встановіть модемне обладнання на підготовленому місці. Забезпечте надійне кріплення обладнання та правильне підключення до розетки електропостачання.
3. За допомогою коаксіальних або Ethernet кабелів, підключіть модемне обладнання до відповідних портів або роз'ємів на радіорелейній станції та інших пристроях, які використовуються в мережі (див. рис. 4.4).



Рис. 4.4 Встановлення та підключення модемного обладнання

4. Після підключення обладнання, виконайте необхідні налаштування згідно з інструкціями виробника та вимогами мережі. Перевірте правильність підключення та протестуйте роботу обладнання для забезпечення його належної функціональності.

Важливо дотримуватись інструкцій виробника та використовувати відповідні інструменти та матеріали під час монтажу модемного обладнання радіорелейних станцій SAF Teknika CFM-M-Mux.

4.4 Налаштування модемного обладнання та приймально-передавальних модулів

Для налагодження модемного обладнання SAF Teknika CFM-M-MUX слід виконати декілька основних кроків. Основні кроки налаштування модемного обладнання та приймально-передавальних модулів можуть включати наступне:

1. Підключення обладнання: Перед початком налаштування підключіть SAF Teknika CFM-M-MUX до комп'ютера або іншого пристрою за допомогою кабелю Ethernet або безпроводового з'єднання Wi-Fi (див. рис 4.5).

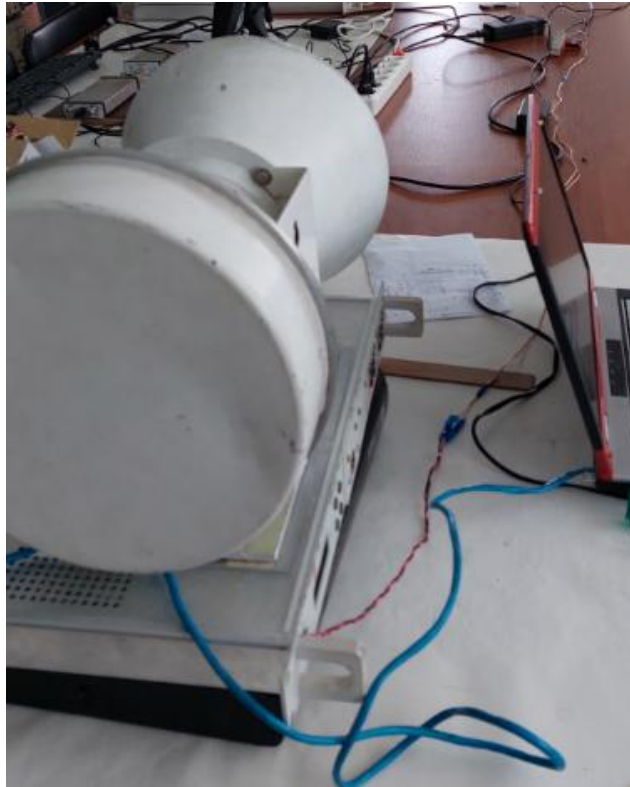


Рис. 4.5 Підключення CFM-M-MUX до комп'ютера за допомогою кабелю Ethernet

2. Встановлення IP-адреси: Модем та модулі потребують встановлення IP-адреси. Це може бути виконано автоматично через протокол DHCP або вручну шляхом введення налаштувань IP-адреси, маски підмережі та шлюзу. (див. рис. 4.6).

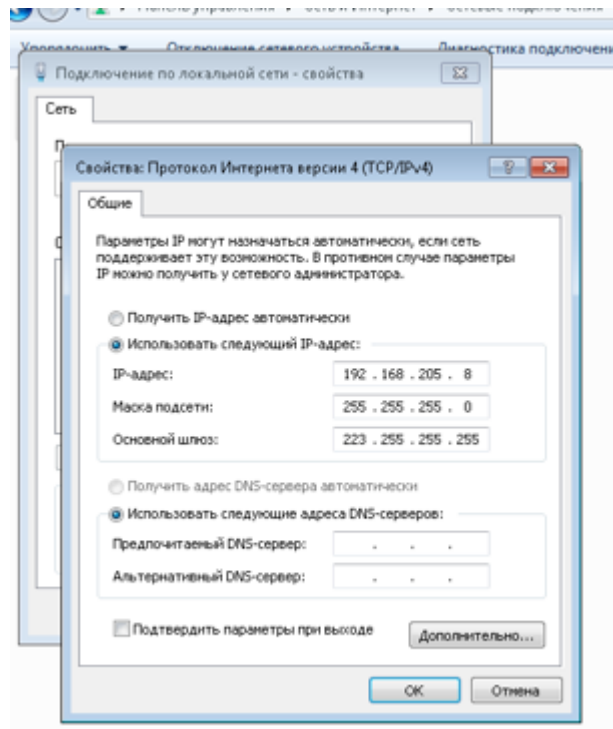


Рис. 4.6 Встановлення статичної IP адреси, маски підмережі, основного шлюзу

3. Оновлення прошивки: Регулярне оновлення прошивки модемного обладнання може покращити його функціональність та безпеку. Періодично перевіряйте доступність оновлень прошивки від виробника та встановлюйте їх, якщо це необхідно (див. рис. 4.7).



Рис. 4.7 Перевірка актуального оновлення прошивки

4. Конфігурація каналів та мультиплексування: SAF Teknika CFM-M-MUX може підтримувати різні канали та мультиплексування сигналів.

Налаштуйте канали відповідно до потреб вашої мережі. Встановіть налаштування мультиплексування для передачі та прийому даних з використанням відповідних протоколів.

5. Тестування та перевірка: Після завершення налаштування проведіть тестування для перевірки працездатності та стабільності з'єднання. Виконайте передачу даних через SAF Teknika CFM-M-MUX та переконайтеся, що вона відбувається належним чином.

4.5 Експериментальне дослідження з передавання та прийому інформації через розроблений макет радіорелейної лінії зв'язку

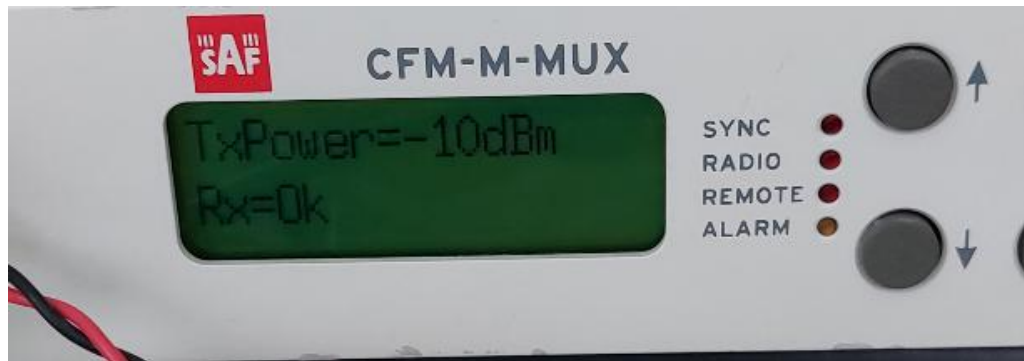
На етапі початку експериментального дослідження передавання та прийому інформації через розроблений макет було налаштовано необхідні параметри, такі як частота, рівень отриманого сигналу та вихідна потужність(див. рис. 4.8, 4.9, 4.10).



Рис. 4.8 Налаштування приймальних (Rx) та передавальних(Tx) частот



Рис. 4.9 Рівень отриманого сигналу (RxLev)



4.10 Поточна вихідна потужність (TxPower)

CFM-M-MUX має веб-інтерфейс, що працює на веб-сервері, і користувач може підключитися до нього через Ethernet-порт для керування пристроєм. За допомогою веб-інтерфейсу можна віддалено налаштовувати та контролювати модемне обладнання (див. рис. 4.11).

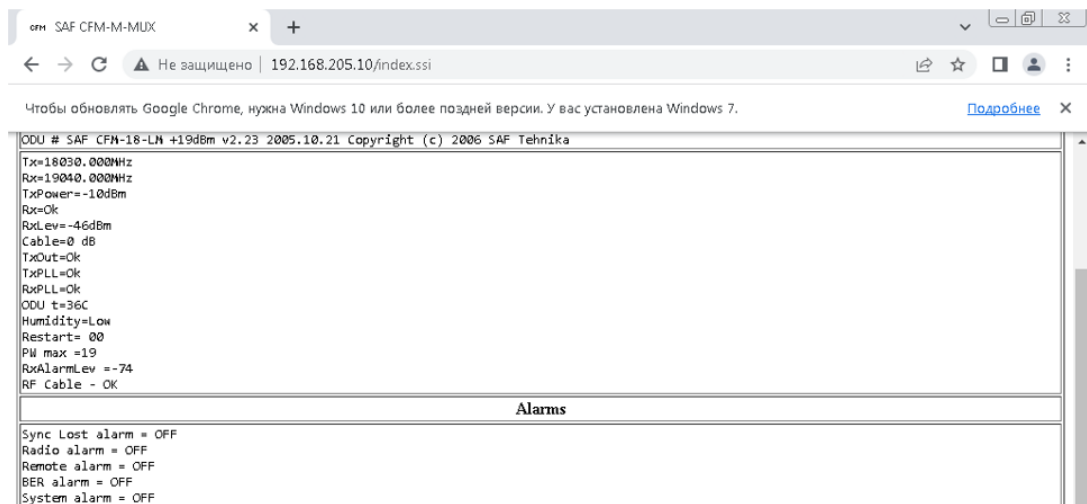


Рис. 4.11 Основне вікно керування вебom

Записи, які виділені червоним кольором, вказують на те, що конкретні параметри не відповідають нормам нормальної роботи, всі інші параметри задовільні. В нашому випадку макет працює стабільно.

Пінгування схеми макета є важливим етапом експериментального дослідження, який дозволяє перевірити наявність та стан зв'язку між відправником і отримувачем на макеті радіорелейної лінії зв'язку (див. рис. 4.12).

```

C:\ D:\Windows\system32\cmd.exe - ping 192.168.205.10 -t
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время=2мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время=4мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время=4мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время=4мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100
Ответ от 192.168.205.10: число байт=32 время<1мс TTL=100

```

Рис. 4.12 Пінгування розробленого макету

Це успішне пінгування демонструє, що розроблений макет радіорелейної лінії зв'язку відповідає вимогам передачі та прийому інформації і може бути використаний для подальшого експериментального дослідження та передачі файлів через цю систему зв'язку.

Під час перевірки передачі файла розміром 260 Мегабайт через розроблений макет радіорелейної лінії зв'язку за допомогою програми NetPerfek були отримані наступні результати, які відображають продуктивність мережі (див. рис. 4.13):

- 1) Поточна швидкість передачі даних становить 1,99 Мб/с.
- 2) Середня швидкість передачі даних складає 1,99 Мб/с.
- 3) Максимальна швидкість передачі даних досягає 2,02 Мб/с.

Ці дані свідчать про успішну передачу файла через розроблений макет радіорелейної лінії зв'язку. Отримані результати підтверджують стабільність та ефективність мережі під час передачі даних.

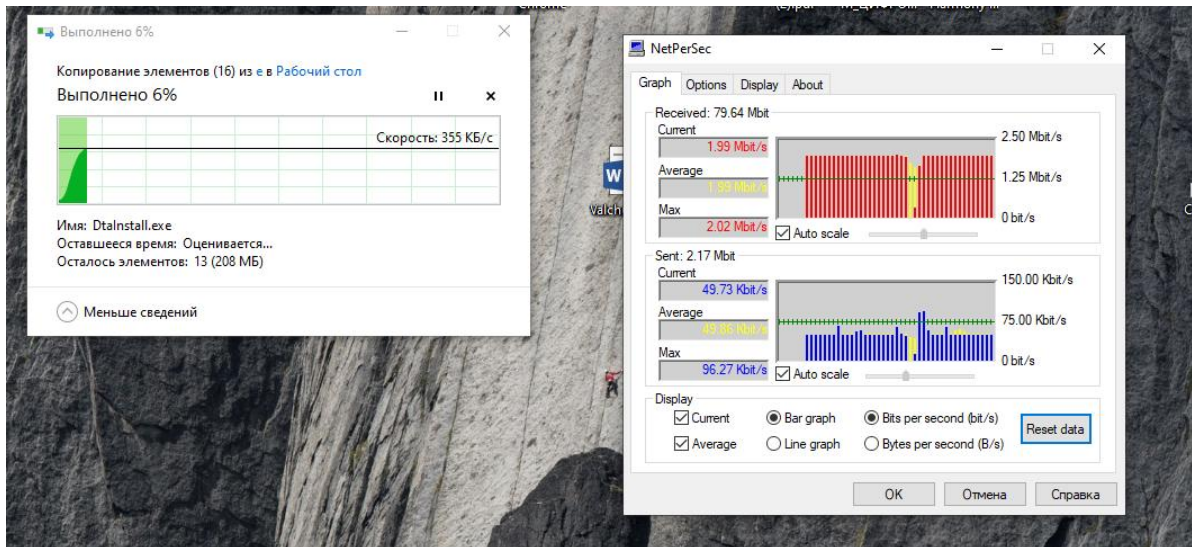


Рис. 4.13 Результат експериментального дослідження через розроблений макет радіорелейної лінії

Висновки

В результаті розроблення структурної схеми макету було визначено необхідні компоненти та їх взаємозв'язки для забезпечення ефективної передачі даних. Монтювання приймально-передавальних модулів SAF Teknika та модемного обладнання радіорелейних станцій SAF Teknika було виконано з урахуванням вимог щодо монтажу та забезпечення стабільної роботи системи.

Після монтажу було проведено налаштування модемного обладнання та приймально-передавальних модулів, забезпечивши оптимальні параметри передачі сигналу. Під час експериментального дослідження з передавання та прийому інформації через розроблений макет радіорелейної лінії зв'язку було перевірено його функціональні можливості та надійність. Отримані результати свідчать про успішну передачу даних з високою якістю та стабільністю.

Отже, розроблений макет радіорелейної лінії зв'язку з використанням радіорелейних станцій SAF Teknika демонструє успішну реалізацію

поставлених завдань, забезпечуючи ефективну та надійну передачу інформації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В результаті роботи було проведено детальний аналіз та проектування радіорелейної системи зв'язку на основі використання високоефективних радіорелейних станцій від компаній DragonWave та SAF Teknika.

Під час дослідження було виявлено, що радіорелейні станції DragonWave та SAF Teknika є передовими технологіями у галузі радіорелейного зв'язку. Вони мають високу пропускну здатність, надійність та широкий діапазон частот, що дозволяє їх використання в різних умовах і при різних вимогах до зв'язку.

У роботі було проведено аналіз характеристик радіорелейної системи, включаючи пропускну здатність, швидкість передачі даних, мінімальні втрати сигналу та максимальну відстань передачі. Застосування радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika дозволяє досягти високої продуктивності та ефективності системи зв'язку.

В процесі проектування були враховані різні фактори, такі як топологія мережі, перешкоди на маршруті передачі сигналу, вимоги до пропускну здатності та відстані передачі. Було визначено оптимальну конфігурацію радіорелейної лінії зв'язку, забезпечивши найкращу продуктивність і надійність.

У результаті дослідження та проектування було встановлено, що використання радіорелейних станцій DragonWave та SAF Teknika в радіорелейних системах зв'язку є досить ефективним і перспективним рішенням. Вони дозволяють передавати великі обсяги даних на великі відстані з високою швидкістю і надійністю.

Результати дослідження можуть бути використані для подальшого розвитку і вдосконалення радіорелейних систем зв'язку, а також для проектування подібних систем у майбутньому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Наритник Т.М., Почерняєв В.М., Повхліб В.С. Цифрові радіорелейні та тропосферні лінії зв'язку (основи розрахунку). – Навчальний посібник/ Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2019. – 166с.
2. Наритник Т.М. Радіорелейні та тропосферні системи передачі. - К: Концерн «Видавничий Дім «Ін Юре», 2003. - 336 с. :іл.
3. Наритник Т.М. , Єрмаков А.В., Бондарчук С.О., Вальчук Д.С. Аналіз терагерцових технологій та їх застосування для створення інноваційних розробок // Проблеми телекомунікацій. – 2017. – № 1 (20). – С. 50 – 56
4. Сайко В.Г., Казіміренко В.Я.. «Конспект лекцій з дисципліни Супутникові та радіорелейні системи передачі». [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dut.edu.ua/ua/lib/1/category/2122/view/863>
5. Ільченко М.Ю., Кравчук С.О. Сучасні телекомунікаційні системи.–К.:НВП „Видавництво „Наукова думка” НАН України. 2008.–328с.:іл.
6. Kizer G. Digital microwave communication: engineering point-to-point microwave systems, John Wiley & Sons, Inc., 2013. –754 p
7. Tomasi W. Advanced Electronic Communications Systems, Harlow: Pearson Education Limited, 2014. – 621p.
8. Головін, Ю. О. Основи теорії радіозв'язку: теоретичні основи та практичні аспекти [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Спеціальні телекомунікаційні системи» спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка / Ю. О. Головін, Д. І. Могилевич ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. - Електронні текстові дані (1 файл: 3.85 Мбайт). - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. - 248 с.
9. Системи передавання радіорелейні прямої видимості. Терміни та визначення. ДСТУ 3936-99.
10. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з

дисципліни «Мережні технології 3. Радіорелейні та супутникові телекомунікаційні системи» для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050903 «Телекомунікації» [Електронний ресурс] / НТУУ «КПІ» ; уклад.: В. С. Лазебний, П. В. Попович, М. Г. Лискова. – Електронні текстові данні (1 файл: 1,65 Мб). – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 57 с.

11. Цифрова радіорелейна система терагерцового діапазону з використанням наноелектронних компонентів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/20262>

12. Системи передавання радіорелейні прямої видимості. Класифікація. Основні параметри. Методи вимірювання. ДСТУ 3937-99.

13. Технічна документація PPC3 «SAF Technika» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.saftehnika.com/>

14. Технічна документація PPC3 «DragonWave» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dragonwavex.com/>

15. Рекомендація ITU.R P.526

16. Рекомендація ITU.R P.530-12

17. Roger L. Freeman "Radio System Design for Telecommunications, 3rd edition", Wiley

18. Radio Regulations (Регламент радіозв'язку). [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://handle.itu.int/11.1002/pub/80da2b36-en>

19. Constitution of the International Telecommunication Union, Geneva, 1992. Режим доступу до ресурсу:

<https://www.itu.int/en/council/2019/Documents/basic-texts/Constitution-E.pdf>

20. Радіорелейний зв'язок [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Радіорелейний_зв'язок