

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Бакалавр

Освітній рівень

Підвищення ефективності радіорелейних ліній зв'язку для різних умов місцевості

Назва теми

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ

172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ

17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва

ОСВІТНЯ ПРОГРАМА

Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології

КвРТР. 2019033.01.12 ПЗ

Виконав:

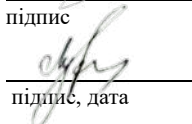
студент 3 курсу, група ТР1с-19-1


підпис

Володимир ЯНЧУК

ім'я, прізвище

Керівник: канд. військ. наук, доцент


підпис, дата

Віктор ЛУЖАНСЬКИЙ

ім'я, прізвище

Нормоконтроль:

канд. техн. наук, доцент


підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА

ім'я, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій:
д-р техн. наук, проф.


підпис

Валерій МАРТИНЮК

Ім'я, прізвище

«___» червня 2022р.

Хмельницький національний університет

Факультет	інформаційних технологій
Кафедра	автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Освітній рівень:	бакалавр
Галузь знань:	17 Електроніка та телекомунікації
Спеціальність:	172 Телекомунікації та радіотехніка
Освітня програма:	Телекомунікації та інформаційно-комунікаційні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру АКТ



Валерій МАРТИНЮК

« 03 » березня 2022 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

ЯНЧУКУ Володимиру Олеговичу

Прізвище, ім'я по батькові здобувача

1 Тема роботи: Підвищення ефективності мобільної передачі даних по технології LTE

Керівник роботи: канд. військ. наук, доц. Лужанський Віктор Ігорович

Затверджено наказом по університету від «01» березня 2022р. № 18

2 Строк подання здобувачем роботи на кафедру 25 травня 2022 року

3 Вихідні дані до роботи:

- Етапи розвитку телекомунікаційних систем
- Основні засади якості обслуговування в IP-мережах
- Аналіз роботи механізму запобігання перевантаженню
- Дослідження роботи механізму WRED
- Розрахунок вимог щодо якості обслуговування в IP-мережах

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

- основна частина;
- експериментальна частина;
- розрахункова частина.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень):

- функціональна схема пристрою;
- презентаційні слайди.

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвища, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль	КОРЕЦЬКА Людмила к.т.н., доцент		
Антиплагіат	ФЕДУЛА Микола к.т.н., доцент		

7 Дата видачі завдання 03 березня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування виду роботи	Форма звітності, термін виконання	Відмітка наукового керівника
1.	Розробка завдання на кваліфікаційну роботу	03.03.2022р.	виконано
2.	Складання індивідуального плану на кваліфікаційну роботу	15.03.2022р.	виконано
3.	Написання першого (теоретичного) розділу	20.03.2022р.	виконано
4.	Написання другого розділу	03.04.2022р.	виконано
5.	Написання третього розділу	15.04.2022р.	виконано
6.	Написання вступу і загальних висновків та пропозицій до кваліфікаційної роботи	30.04.2022р.	виконано
7.	Оформлення кваліфікаційної роботи	10.05.2022р.	виконано
8.	Рецензування кваліфікаційної роботи	15.05.2022р.	виконано
9.	Презентаційні матеріали за результатами виконання кваліфікаційної роботи	20.05.2022р.	виконано

Здобувач

(підпис, дата)

Володимир ЯНЧУК

Науковий керівник

(підпис, дата)

Віктор ЛУЖАНСЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Підвищення ефективності радіорелейних ліній зв'язку для різних умов місцевості»

Автор роботи: Янчук Володимир Олегович

Керівник роботи: канд. військ. наук, доц. Лужанський Віктор Ігорович.

Пояснювальна записка: 66 сторінок, 39 рисунків, 6 таблиць, 20 джерела, 1 додаток.

Графічна частина: 18 презентаційних слайдів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АНТЕНА, ЧАСТОТА, MINI-LINK TN, РАДІОРЕЛЕЙНИЙ ЗВ'ЯЗОК, СТАНЦІЯ, ЦИФРОВІ ПОТОКИ, СИГНАЛ, ВОЛОКНО, ПОТУЖНІСТЬ, РЕПІТЕР.

Мета кваліфікаційної роботи полягає в експериментальному дослідженні впливу параметрів алгоритму WRED на якість передачі і знаходження оптимальних значень параметрів для запобігання перевантаженням в мережах передачі даних. Тобто вирішення актуальної задачі детального дослідження поширення хвилі в РРЛ для різних місцевостей.

У даному кваліфікаційній роботі розглянуто дослідження поширення радіохвиль в радіо релейних лініях щодо різних типів місцевості. Розглянуто питання щодо вибору обладнання, та найкращі варіанти під час планування РРЛ мережі. Розроблено метод аналізу та забезпечення надійності безперебійної роботи мережі. Наведено результати чисельних досліджень розробленої моделі.

У роботі проведені експериментальні дослідження, та представлена розрахункова частина.





25.05.2022 р.



ЗМІСТ

С.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	3
ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ЦРРЛ І ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНОЇ АПАРАТУРИ.....	6
1.1 Особливості побудови апаратури ЦРРЛ.....	10
1.2 Вибір робочих частот	15
1.3 Вибір місць розміщення станцій РРЛ, побудова профілів прольотів і вибір величин підвіси антен	18
2 ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ	34
2.1 Опис використовуваного обладнання та їх характеристики	34
2.1.1 Опис системи MINI-LINK TN	35
2.1.2 Різні частоти, вибір пропускнуої спроможності та типу модуляції	37
2.2 Налаштування репітера	46
3 РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПІДПРИЄМСТВОМ	49
3.1 Розрахунок радіорелейної лінії	49
3.2. Розрахунок висот підвісу антен	49
3.3. Розрахунок стійкості зв'язку	52
3.4. Розрахунок дальності бездротових каналів діапазону 2,4 ГГц	53
3.5 Моделювання процесу передачі трафіку TCP за реальним РРЛ	58
ВИСНОВКИ	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
ДОДАТОК А Лістинг програми реалізації розрахунку висот підвісу антен РРЛ	69

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Підвищення ефективності радіорелейних ліній зв'язку для різних умов місцевості Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Янчук В.О.						2	67
Перевір.		Лужанський В.І.							
Реценз.									
Н. Контр.		Корецька Л.О.							
Затверд.		Мартинюк В.В.						ХНУ, гр. ТР1с-19-1	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

DCN	–	трафіку керування
EEM	–	Embedded Element Manager
ВОЛЗ	–	волоконно-оптична лінія зв'язку
ВРС	–	вузлові радіорелейні станції
ДЦВ	–	дециметрові радіохвилі
КРС	–	кінцеві радіорелейні станції
НВЧ	–	надвисокочастота
ПРС	–	проміжні радіорелейні станції
РРСП	–	радіорелейні системи передачі
СВ	–	сантиметровий діапазон
ЦРРЛ	–	цифрові радіорелейні лінії зв'язку

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

В даний час існують проблеми з покриттям зв'язку як у віддалених місцях, так і в гірській місцевості. Більшість операторів зв'язку з метою економії фінансових коштів намагаються інвестувати вкладення в густонаселені місця. Забезпечити покриття зв'язку у гірській місцевості є проблематичним як з боку фінансової частини, так і з боку установки обладнання. Перше що необхідне для цього – антенно-щогла та підведення електроживлення до споруди. Другим основним аспектом є дозвіл на отримання користування радіочастотами радіорелейних ліній. На даний момент практично у всіх країнах СНД існує проблема розподілу частотного ресурсу. Ця проблема безпосередньо пов'язана з протяжністю радіорелейного інтервалу. Чим більший інтервал, тим меншою має бути частота. Якщо відстань у десять кілометрів можна закрити обладнанням на 23 і 28 ГГц і без особливих труднощів отримати дозвіл на використання даних частот, то для відстані більше необхідно отримати дозвіл на 3,5,7,10 ГГц, що є дуже проблематичним, оскільки по частотному розподілу дані частоти відносяться до силових структур. Також треба врахувати, що для різних частотних діапазонів є свої особливості поширення радіохвиль і чим більша частота, там вище загасання сигналу.

Радіорелейні лінії можна було б замінити оптоволоконними лініями зв'язку, але в районах з малою щільністю населення або складним географічним рельєфом організація наземних каналів зв'язку виявляється дуже складною технічно та вкрай неефективною економічно.

Метою цього кваліфікаційної роботи є вирішення актуальної задачі детального дослідження поширення хвилі в РРЛ для різних місцевостей.

При цьому можна отримати підвищення ефективності використання смуг частот цифровими радіорелейними лініями, що працюють у діапазонах 2,4,6 та 8 ГГц у світлі ідей, висловлених у [5,6]. Смуги частот, виділені для РРЛ у зазначених діапазонах, мають особливе значення з двох причин: по-перше, деякі

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

з цих смуг, згідно з Регламентом радіозв'язку, виділені для спільного використання РРЛ та супутникових систем зв'язку і, по-друге, у цих діапазонах ще практично не виявляється ослаблення радіохвиль в опадах. Смуги частот, виділені для РРЛ у більш високочастотних діапазонах, менш вигідні з техніко-економічної точки зору через значне ослаблення радіохвиль опадами, внаслідок чого виникає необхідність у суттєвому енергетичному запасі для компенсації ослаблень рівня сигналу навіть на коротких прольотах.

					КВРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ЦРРЛ І ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНОЇ АПАРАТУРИ

Радіорелейний зв'язок – це один із видів наземного радіозв'язку, заснований на багаторазовій ретрансляції радіосигналів. Радіорелейний зв'язок здійснюється зазвичай між стаціонарними об'єктами. Історично радіорелейний зв'язок між станціями здійснювався з використанням кількох ретрансляційних станцій, які могли бути як активними, так і пасивними.

Відмінною особливістю радіорелейного зв'язку від інших видів наземного радіозв'язку є використання вузьконаправлених антен так само дециметрових, сантиметрових або міліметрових радіохвиль.

Радіорелейні лінії зв'язку ґрунтуються на принципах багаторазової ретрансляції сигналу, що ілюструється спрощеною структурною схемою, показаною на рис. 1.1. Розрізняються кінцеві, проміжні та вузлові станції.

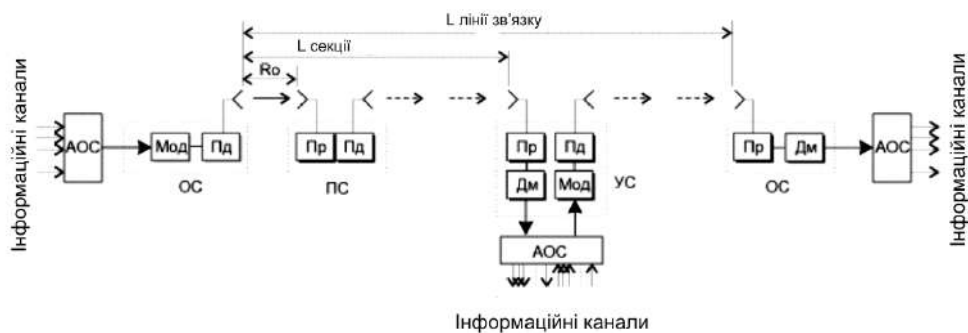


Рисунок 1.1 – Структурна схема одного напрямку радіорелейної лінії зв'язку

Кінцеві станції встановлюються в крайніх пунктах лінії зв'язку та містять модулятори та передавачі у напрямку передачі сигналів та приймачі з демодуляторами у напрямку прийому. Для прийому та передачі застосовується одна антена, з'єднана з трактами прийому та передачі за допомогою антенного розгалужувача (дуплексера). Модуляція та демодуляція сигналів проводиться на одній із стандартних проміжних частот (70 – 1000 МГц). При цьому модеми можуть працювати з приймачами, що використовують різні частотні діапазони.

					КВРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Передавачі призначені для перетворення сигналів проміжної частоти в робочий діапазон НВЧ, а приймачі - для зворотного перетворення та посилення сигналів проміжної частоти. Існують системи РРЛ із безпосередньою модуляцією сигналів НВЧ (наприклад, апаратура Еріком-11), але вони мають обмежене поширення.

Спрощена структурна схема кінцевої станції показано на рисунку 1.2.

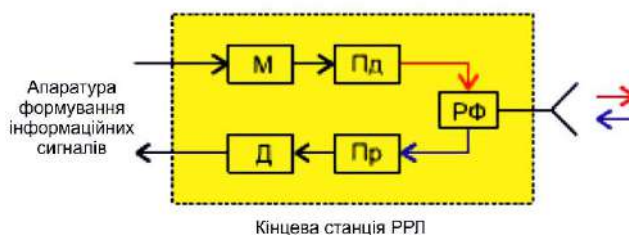


Рисунок 1.2 – Спрощена структурна схема кінцевої станції

Проміжні станції розташовуються на відстані прямої видимості і призначаються для прийому сигналів, посилення їх та подальшої передачі по лінії зв'язку. Прийом та передача сигналів на проміжних станціях повинна проводитися на різних частотах для усунення паразитних зв'язків у приймачах за рахунок впливу зворотного випромінювання близько розташованих антен. Різниця між частотами прийому та передачі називається частотою зсуву ($f_{зсв}$). На рисунку 1.3 показано структурну схему проміжної станції.

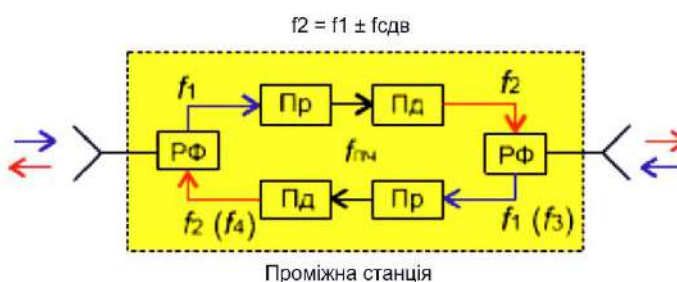


Рисунок 1.3 – Структурна схема проміжної станції

Вузлові станції (рис. 1.4) виконують як функції проміжних станцій, так і функції введення та виведення інформації. Тому вони встановлюються у великих населених пунктах або точках перетину (відгалуження) ліній зв'язку.

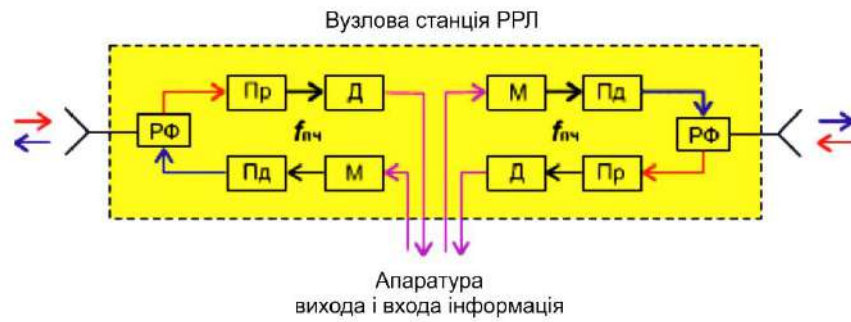


Рисунок 1.4 – Вузлова станція

Проміжок між найближчими станціями називається прольотом (або інтервалом) РРЛ. Протяжність прольоту залежить від багатьох причин і, в середньому, досягає 50 - 60 км у діапазонах частот до 6 - 8 ГГц та кількох км у діапазонах 30 - 50 ГГц. Проміжок між кінцевою станцією та найближчою вузловою або між вузловими станціями називається секцією РРЛ, а сукупність приймально-передавального обладнання утворює стовбур РРЛ. Розрізняються односпрямовані стовбури та двоспрямовані (для дуплексного зв'язку).

При передачі сигналів у прямому та зворотному напрямках застосовуються 2 - частотні та 4 - частотні системи.

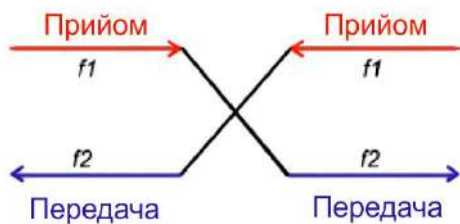


Рисунок 1.5 – 2х частотна система передачі сигналів

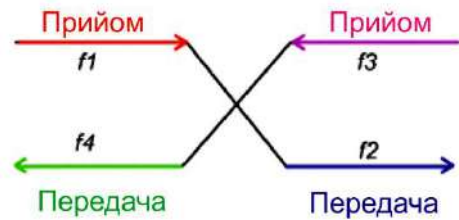


Рисунок 1.6 – 4х частотна система передачі сигналів

2-частотна система (рисунок 1.5) економічна з точки зору використання смуги частот, виділеної для організації радіорелейного зв'язку, але вимагає застосування антен з хорошими захисними властивостями від прийому та передачі сигналів з бокових та зворотних напрямків. У діапазонах частот вище 10 ГГц широко застосовуються параболічні антени покращеного виконання з

додатковими екранами (комірами), що дозволяють досягти необхідних показників.

4-частотна система (рисунок 1.6) допускає застосування більш простих та дешевих антен і дозволяє покращити захищеність лінії зв'язку від взаємних перешкод, але використовується досить рідко. Як правило, чотиричастотну систему можна рекомендувати для організації ліній зв'язку за дуже складної електромагнітної обстановки.

Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускної спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Для підвищення економічної ефективності та пропускної спроможності радіорелейні системи часто роблять багатоствольні, в яких на кожній станції працюють з різними частотами кілька приймачів через загальні антенно-фідерні пристрої.

З метою збільшення надійності роботи лінії зв'язку використовуються різні способи резервування. У діапазонах частот вище 10 ГГц в ЦРРЛ найбільшого поширення набувають системи резервування 1+1, коли на один робочий стовбур припадає один резервний. У складних умовах поширення радіохвиль, обидва стовпи можуть бути використані для організації рознесеного прийому, що істотно покращує стійкість роботи системи зв'язку. Найчастіше будуються прості одноствольні системи зв'язку без резервування з огляду на високу надійність сучасної апаратури. Наприклад, час напрацювання на відмову апаратури ЦРРЛ типу MINI LINK шведської фірми ERICSSON досягає (відповідно до реклами) 20 - 30 років.

Широкий розвиток інформаційних радіомереж змушує суворо регламентувати використання робочих частот у виділених діапазонах хвиль. На рисунку 1.7 показаний приклад плану розподілу робочих частот для системи РРЛ, що працює в діапазоні 11 ГГц відповідно до рекомендацій 387-2 МСЕ-Р.

У більш високочастотних діапазонах хвиль використовуються гнучкі частотні плани. Рознесення частотних каналів у таких випадках визначається

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пропускною здатністю (швидкістю роботи ЦРРЛ) та видом модуляції. Найчастіше застосовується крок рознесення робочих частот, що дорівнює 3.5 МГц. Тоді, наприклад, при швидкості роботи 4 Мбіт/с і 4-рівневої модуляції рознесення частот можна вибрати рівним кроку рознесення, а при кратному збільшенні швидкості рознесення також збільшується і може дорівнювати 7, 14 або 28 МГц.

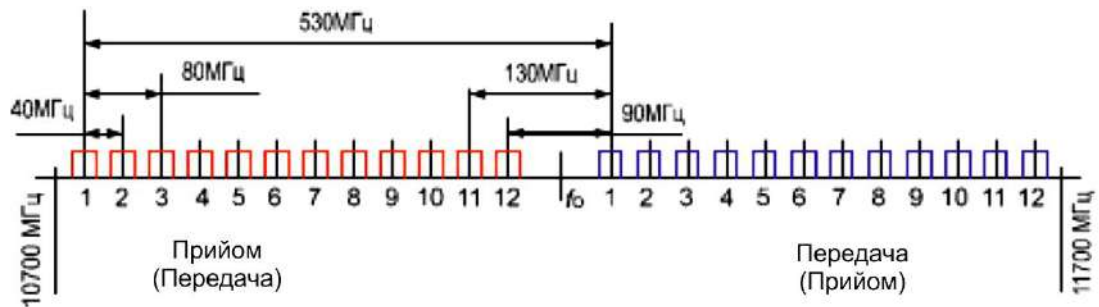


Рисунок 1.7 – Приклад плану розподілу робочих частот

Останніми роками розроблено нові частотні плани з допомогою подвійний поляризації радіохвиль, дозволяють істотно підвищити ефективність використання частотного спектра.

1.1 Особливості побудови апаратури ЦРРЛ

Сучасна апаратура радіорелейних систем для діапазонів частот вище 10 ГГц має певні особливості у конструктивному виконанні порівняно з низькочастотною апаратурою. У діапазонах частот до 10 ГГц приймально-передавальна апаратура, як правило, виконується у вигляді досить громіздких стійок, що розташовуються в апаратних приміщеннях. Зв'язок з антенами здійснюється фідерними хвильоводами, що мають значну довжину і, отже, що спричиняють суттєві втрати. Перехід до діапазонів частот вище 10 ГГц суттєво змінив конструктивне виконання апаратури. Апаратура, що працює в діапазоні

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

вище 10 ГГц, має невеликі габарити та розташовується на вершині антенної опори, об'єднана в єдиний блок з антеною.

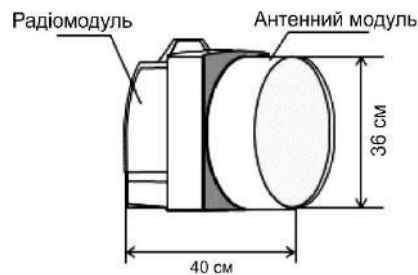


Рисунок 1.8 – Приклад конструктивного виконання приймального блоку цифрової апаратури MINI-LINK

При аналізі причин самоподібності у трафіку стверджується, що самоподібність може виникати в результаті об'єднання безлічі окремих, але дуже мінливих ON/OFF джерел, що виявляють синдром нескінченної дисперсії. Інакше висловлюючись, у результаті накладання утворюється об'єднаний мережевий трафік, що прагне фрактального броуновського руху. Однак автори визнають, що, незважаючи на цінність, ці результати страждають через цілий ряд припущень, які не є реалістичними в умовах реального мережевого оточення. Складність розуміння принципів, що лежать в основі, які можуть призвести до самоподібності в мережевому трафіку, визначається, на думку авторів, тим, що не існує одного фактора, що викликає самоподібність.

На основі аналізу бібліографічних джерел (переважно американських) автори наводять основні фактори, які можуть продукувати в мережевому трафіку довготривалу залежність різних видів: поведінка користувача; генерація, структура та пошук даних; об'єднання трафіку; засоби управління мережею; механізми управління із зворотним зв'язком; розвиток мережі. Детальний аналіз кожного їх проводиться нижче.

Слід зазначити, що дія зазначених механізмів дозволяє впливати на структуру трафіку, змінюючи його природу і якщо самоподібність вже притаманна трафіку, то в деяких випадках посилити її.

						КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
							11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



Рисунок 1.9 – Розташування модулів апаратури на антенній опорі

Компактна апаратура з невеликими габаритами та вагою, яка застосовується в діапазонах частот вище 10 ГГц, допускає використання полегшених антенних щоглів, виконаних у вигляді трикутного перерізу або трубчастих конструкцій, які можна встановити на високих будинках, димових трубах або піднесених місцях. Приймальні блоки з'єднуються коаксіальними кабелями з модемним обладнанням, що розташовується в приміщенні. Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускнуої спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Сучасне модемне обладнання - це комплекс, що легко трансформується, що функціонує під управлінням центрального або місцевого комп'ютера.

Модемне обладнання може забезпечувати формування та обробку цифрових потоків на швидкості від 1 до 34 Мбіт/с, проводити мультиплексування потоків та функціонувати в режимах організації мереж зв'язку будь-якої конфігурації.

Наприклад, на рисунку 1.10 показана схема організації системи зв'язку між локальними комп'ютерними мережами. Подібну схему можна застосувати для зв'язку між базовими станціями рухомого зв'язку.

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

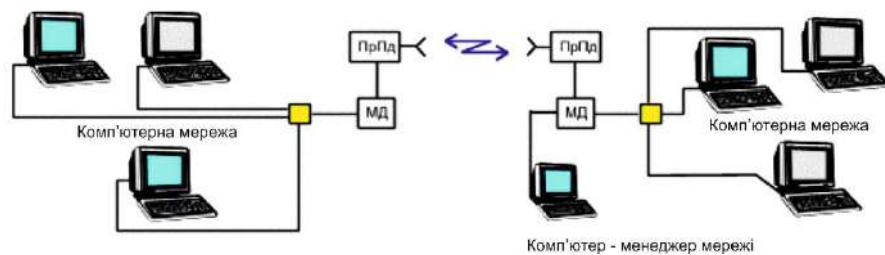


Рисунок 1.10 – схема організації системи зв'язку між локальними комп'ютерними мережами

Приклад типової конфігурації цифрової мережі зв'язку представлений на рисунку 1.11. Тут показані різні типи станцій РРЛ, що працюють з різними цифровими потоками, з резервуванням та без резервування, що функціонують під управлінням комп'ютера – менеджера мережі.

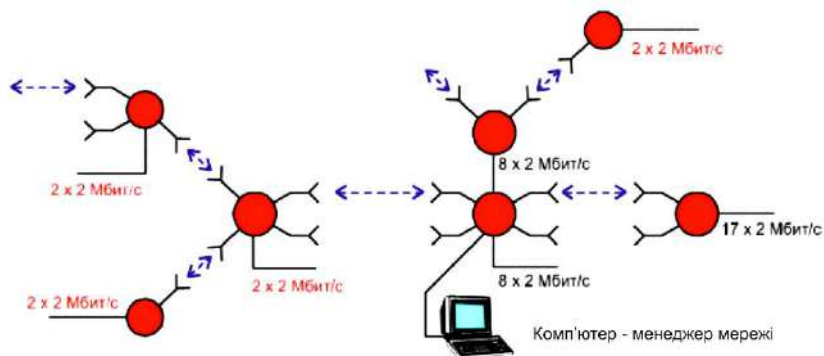


Рисунок 1.11 – Різні типи станцій РРЛ, що працюють із різними цифровими потоками

Останні роки починають бурхливо розвиватися мікрохвильові багатоканальні системи розподілу інформації (MMDS, MVDS, LMDS). Такі системи дозволяють організувати поширення телевізійних програм чи комп'ютерної інформації для індивідуальних чи колективних абонентів. Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускної спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Системи MMDS є мережею базових станцій, що працюють у діапазоні частот 2.7 ГГц, з антенами, що мають кругову діаграму спрямованості в горизонтальній площині і кут

розкриває близько 3 - 6 град. у вертикальній площині ($G = 12-17$ дБ). Безліч прийомних абонентських пристроїв (як індивідуального, і колективного користування), із спрямованими антенами, мають коефіцієнт посилення 25 - 35 дБ, розташовуються у зоні прямої видимості від базових станцій. Обмін інформацією між базовими станціями здійснюється за допомогою різних систем зв'язку, у тому числі за допомогою РРЛ. Найбільш перспективні, з точки зору використання в подібних системах зв'язку, діапазони частот вище. При аналізі причин самоподібності в трафіку стверджується, що самоподібність може виникати в результаті об'єднання безлічі окремих, але дуже мінливих ON/OFF джерел, виявляють синдром нескінченної дисперсії. Інакше висловлюючись, у результаті накладання утворюється об'єднаний мережевий трафік, що прагне фрактального броуновському руху.

Однак автори визнають, що, незважаючи на цінність, ці результати страждають через цілий ряд припущень, які не є реалістичними в умовах реального мережевого оточення. Складність розуміння принципів, що лежать в основі, які можуть призвести до самоподібності в мережевому трафіку, визначається, на думку авторів, тим, що не існує одного фактора, що викликає самоподібність.

На основі аналізу бібліографічних джерел (переважно американських) автори наводять основні фактори, які можуть продукувати в мережевому трафіку довготривалу залежність різних видів: поведінка користувача; генерація, структура та пошук даних; об'єднання трафіку; засоби управління мережею; механізми управління із зворотним зв'язком; розвиток мережі. Детальний аналіз кожного їх проводиться нижче.

Слід зазначити, що дія зазначених механізмів дозволяє впливати на структуру трафіку, змінюючи його природу і, якщо самоподібність вже притаманна трафіку, то в деяких випадках посилити її. Для локальних систем розподілу інформації (LMDS) передбачається використовувати діапазон частот 27 – 29 ГГц. Застосування частот вище 30 ГГц дозволяє приймати інформацію з високою якістю лише на невеликих відстанях (2 - 7 км) через малий коефіцієнт

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

посилення антен базових станцій (у разі застосування кругового випромінювання) та значних втрат при поширенні в гідрометеорах та газах атмосфери. Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускнуої спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Проте габарити користувальницьких антен і ресиверів виходять дуже малими. Тому в Європі виділено діапазон частот 40,5-42,5 ГГц для організації систем розподілу відеоінформації (MVDS).

Різниця в назвах систем дуже умовна, оскільки рекомендації їм розроблялися різних континентах. З технічної точки зору це одні й ті ж пристрої, виготовлені, як правило, виробниками радіорелейного обладнання. Радіотракт такої системи «прозорий» для передачі різних типів аналогових або цифрових сигналів, NTSC, PAL, SECAM або DVB. Відмінності будуть лише серед каналів.

Для передачі сигналів телебачення цілком може бути використаний цифровий стандарт MPEG-2, який набув широкого поширення в супутникових системах телевізійного мовлення, і модуляція COFDM, захищена від інтерференційних спотворень. Для поліпшення енергетичних показників на базових станціях, можливе застосування секторних та багатопелюсткових антенних систем з коефіцієнтами посилення до 30 – 40 дБ.

1.2. Вибір робочих частот

В даний час освоєно дуже широкий діапазон робочих частот для цілей мікрохвильового радіозв'язку, починаючи з діапазону 2 ГГц.

Діапазон 2 ГГц (1.7-2.1 ГГц)

Цей діапазон характеризується можливістю поширення сигналів досить протяжних прольотах (до 50-80 км). Стійкість поширення радіохвиль сильно залежить від екрануючого дії перешкод на інтервалах РРЛ при атмосферній рефракції. У цьому діапазоні хвиль антени мають дуже великі габарити, і тому коефіцієнти посилення не перевищують 35-38 дБ при діаметрах параболічних

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

антен до 5 м. Зі зменшенням розмірів антен ефективність системи зв'язку різко падає. Діапазон схильний до впливу перешкод від інших радіотехнічних засобів.

Діапазон 4 ГГц (3.4-3.9 ГГц)

Найбільш освоєний та завантажений РРЛ діапазон частот. У цьому діапазоні працює багато магістральних систем зв'язку. Характеризується можливістю отримувати досить протяжні прольоти (40-55 км) за хороших якісних показників. Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускної спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Гостронаправленні антени (з коефіцієнтами посилення порядку 40 дБ) мають значні габарити і вагою (прил.2) і, отже, вимагають дуже дорогих антенних опор.

На поширення сигналів істотно впливає атмосферна рефракція, що призводить до екранування сигналу перешкодами на прольотах, і інтерференція прямих і відбитих хвиль.

Діапазон складний з погляду електромагнітної сумісності, тому що в ньому працює безліч радіотехнічних засобів.

Діапазон 6 ГГц (5.6-6.2 ГГц)

Популярний останні десятиліття діапазон частот, призначений для магістральних систем зв'язку. Дозволяє отримати досить ефективні системи РРЛ, які передають великі обсяги інформації. Середня довжина прольоту сягає 40-45 км. Розміри антен не надто великі (наприклад, антена з коефіцієнтом посилення 43 дБ має діаметр 3.5 м).

На поширення сигналів істотно впливає атмосферна рефракція, що призводить до екранування сигналу перешкодами на прольотах, і інтерференція прямих і відбитих хвиль.

Діапазон 8 ГГц (7.9-8.4 ГГц)

Діапазон 8 ГГц освоєний зараз досить добре. У ньому працює велика кількість радіорелейних систем середньої ємності (близько 300-700 ТЛФ каналів у стовбурі для аналогових систем та до 55 Мбіт/с – для цифрових). Існує і апаратура великої ємності, призначена передачі потоків STM-1.

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

У цьому діапазоні на поширення сигналу починають впливати гідрометеори (дощ, сніг, туман та ін.). Крім того, впливає атмосферна рефракція, що призводить до закриття траси або інтерференції хвиль. Середня довжина прольоту РРЛ становить 30-40 км. Антени мають високий коефіцієнт посилення при діаметрах близько 1.5 – 2.5 м.

При аналізі причин самої подібності у трафіку стверджується, що саме подібність може виникати в результаті об'єднання безлічі окремих, але дуже мінливих ON/OFF джерел, що виявляють синдром нескінченної дисперсії. Інакше висловлюючись, у результаті накладання утворюється об'єднаний мережевий трафік, що прагне фрактального броуновському руху. Однак автори визнають, що, незважаючи на цінність, ці результати страждають через цілий ряд припущень, які не є реалістичними в умовах реального мережевого оточення. Складність розуміння принципів, що лежать в основі, які можуть призвести до самоподібності в мережевому трафіку, визначається, на думку авторів, тим, що не існує одного фактора, що викликає саме подібність.

На основі аналізу бібліографічних джерел (переважно американських) автори наводять основні фактори, які можуть продукувати у мережевому трафіку довготривалу залежність різних видів: поведінка користувача; генерація, структура та пошук даних; об'єднання трафіку; засоби управління мережею; механізми управління із зворотним зв'язком; розвиток мережі. Детальний аналіз кожного їх проводиться нижче.

Слід зазначити, що дія зазначених механізмів дозволяє впливати на структуру трафіку, змінюючи його природу і якщо самоподібність вже притаманна трафіку, то в деяких випадках посилити її. Інтенсивний розвиток систем зв'язку спричинило бурхливе освоєння цих діапазонів частот.

Середня довжина прольотів досягає 20 км для зон із помірним кліматом. Апаратура Подано аналітичну та імітаційну моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускну здатності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. виконується

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

як моноблока. Типові параболічні антени мають діаметри 0,6, 1,2 або 1,8 м при коефіцієнтах посилення від 38 до 46 дБ.

У ряді регіонів України діапазон 15 ГГц вже перевантажений радіозасобами. Діапазон 18 ГГц поки що більш вільний.

На поширення сигналів сильний вплив мають гідрометеори та інтерференція. Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускної спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Прямих та відбитих хвиль. Послаблення в

Дощ може становити 1-12 дБ/км (при інтенсивності дощів 20-160 мм/год). Певний вплив має і сама атмосфера (атоми кисню та молекули води), ослаблення якої досягає 0.1 дБ/км. значень затримки, втрати та пропускної спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Сильне вплив дощів призводить до нестійкості роботи системи зв'язку.

Необхідно враховувати, що цей діапазон є майже граничним для створення радіосистем, тому що на частотах вище 60 ГГц спостерігається непрозорість атмосфери для радіохвиль через поглинання енергії в атомах кисню (резонансні частоти поглинання дорівнюють 60 і 120 ГГц [1]). Однак останніми роками з'явився інтерес до цих діапазонів для створення безліцензійних радіосистем з прольотами протяжністю 1-2 км.

В умовах дуже сухого клімату, за малої ймовірності опадів або на коротких прольотах, може використовуватися діапазон частот 84-86 ГГц і вище в Україні є апаратура на діапазон частот 93 ГГц.

1.3 Вибір місць розміщення станцій РРЛ, побудова профілів прольотів і вибір величин підвіси антен

Вибір місць розташування станцій та побудову профілів прольотів необхідно проводити відповідно до рекомендацій, наведених у [1]. При виборі

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

місць розташування станцій потрібно враховувати принцип «зигзагоподібності» лінії зв'язку [1], представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускної спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання наявності під'їзних шляхів та лінії електропередачі, загальний рельєф місцевості, характер ґрунту та ін. Це досить тривалий і неоднозначний процес, оскільки необхідно проводити вибір із безлічі можливих варіантів проведення траси РРЛ. Крім того, зручний вибір місць розташування станцій для одного прольоту може бути неприйнятним для сусідніх прольотів.

При розрахунку цифрових РРЛ необхідно будувати профілі кожного прольоту за нульової атмосферної рефракції, нормальної рефракції для даного кліматичного району та субрефракції.

Відомо, наявність рефракції враховується так званої трансформацією профілю. Докладно з методикою побудови профілів та трансформацією можна познайомитись у [1]. На рис. 1.11 – 1.16 показані характерні приклади поздовжніх профілів прольотів. Розглянемо характерні особливості цих профілів, їх можливі впливи на стійкість роботи лінії зв'язку та галузі застосування в різних умовах.

Поздовжній профіль, показаний на рис. 1.11 не має великих перепадів висот і значна частина поверхні покрита лісом. При довжині хвилі коротше 5 см відбиття від такої поверхні носять дифузний характер і коефіцієнт відбиття $\Phi \rightarrow 0$. Отже, з точки зору інтерференційних завмирань такий вид профілю вдалий. Але він неприйнятний у разі протяжності прольоту в 40 - 60 км, тому що при цьому велика ймовірність закриття траси через субрефракцію (пунктир). Ширина перешкоди на профілі велика, і в моменти закриття траси спостерігатимуться глибокі завмирання, які можуть тривати хвилинами, або навіть годинами [1].

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

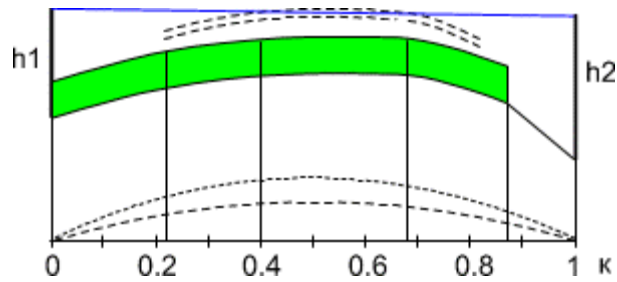


Рисунок 1.11 – Характерний приклад поздовжнього профілю прольоту

Звичайно, можна вибрати таку велику величину просвіту, щоб закриття траси не могло бути, але при значній протяжності прольоту висоти підвісу антен будуть занадто великі, що призведе до високої вартості лінії зв'язку. Тому на довгих прольотах така форма профілю інтервалу небажана.

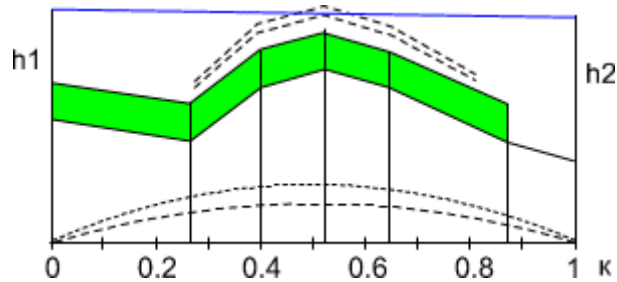


Рисунок 1.12 – Характерний приклад поздовжнього профілю прольоту з переставленою антеною опорою

На рис. 1.12 показаний профіль того ж прольоту, але права антена опора переставлена на інше місце (у даному випадку - на відстань близько 2 км). Видно, що форма перешкоди на профілі суттєво змінилася. Перешкода стала гострішою і, отже, при закритті траси, завмирання сигналу зменшаться порівняно з перешкодою рис. 1.11.

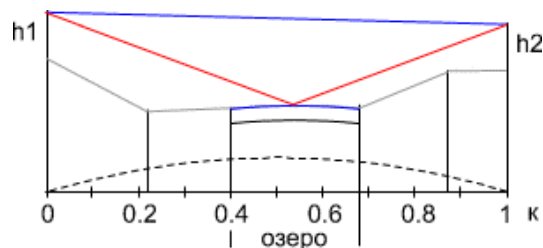


Рисунок 1.13 – Поздовжній профіль

На поздовжньому профілі (рис. 1.13) антенні опори встановлені на піднесених місцях, що, на перший погляд, вигідно, оскільки дозволяє отримати більшу величину просвіту при малих висотах антенних опор. Однак на ділянках прольоту з координатами $k = 0.2$ до 0.7 є плоскі ділянки, від яких можлива поява відбитих хвиль, що призводять до інтерференційних замирань. Становище посилюється тим, що в середині прольоту знаходиться водяний простір. Коефіцієнт відбиття від поверхні води досягає 1 (за відсутності хвилювання) і енергія відбитої хвилі дорівнюватиме енергії прямої хвилі, що призведе до можливого падіння потужності сигналу на вході приймача при інтерференції до 0.

Тривалість інтерференційних замирань становить секунди та частки секунд [1]. У цифрових системах зв'язку інтерференційні замирання визначають якісні параметри лінії. Тому вибирати прольоти з такими профілями небажано. Ці зауваження не відносяться до коротких прольотів, протяжністю кілька кілометрів, тому що відбитої хвилі може тут не бути через спрямовані властивості антенних пристроїв. Наприклад, такий проліт розраховувався на лінії зв'язку, що проходить через Північну Двіну. Протяжність прольоту становить 4 км, величина просвіту – 15 м, робоча частота 11 ГГц, коефіцієнт посилення антен 41 дБ. При цьому радіус поперечного перерізу електромагнітного променя, сформованого спрямованими властивостями антени (діаграмою спрямованості) на середині прольоту близько 12 м (за рівнем половинної потужності). Отже, за цих умов поява відбитої хвилі неможлива, і дана форма профілю цілком прийнятна. При протяжності прольоту 20 км, радіус розкриває діаграми спрямованості антени (на середині прольоту) досягає величин в кілька десятків метрів. Значить за такої форми прольоту для стійкої роботи лінії зв'язку величина просвіту повинна перевищувати ці величини.

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

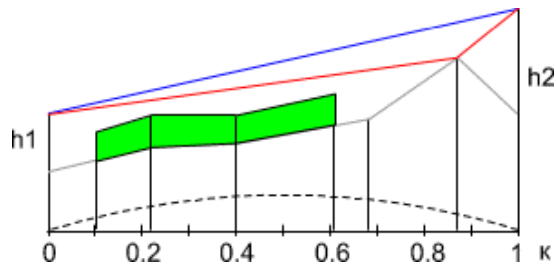


Рисунок 1.14 – Характерний приклад поздовжнього профілю прольоту

Профіль прольоту, показаний на рис. 1.14, містить ділянку ($k = 0.87$) від якої можлива поява відбитої хвилі. Але форма перешкоди така, що відбиток може статися від однієї точки, а чи не від якоїсь поверхні. І тут рівень відбитої хвилі невеликий, і завмирання сигналу через інтерференції дуже глибокі. Параметри, що враховують відбиту хвилю, можна визначити за методикою, наведеною в [1].

Відбитки від найвищої точки перешкоди на профілі прольоту ($k = 0.22$) у разі практично відсутні, оскільки ця точка вкрита лісом. Імовірність закриття траси через субрефракцію для даного профілю невелика через близькість можливих точок відображення до антенних опор (точки відображення розташовані на краях прольоту). Тому такі профілі прольотів дозволяють отримати прийнятні результати роботи лінії зв'язку. Ще кращу якість роботи лінії зв'язку дозволяють отримати прольоти, у яких відбита хвиля екранується будь-якими перешкодами на профілі (наприклад, лісом), як показано на рис. 1.15.

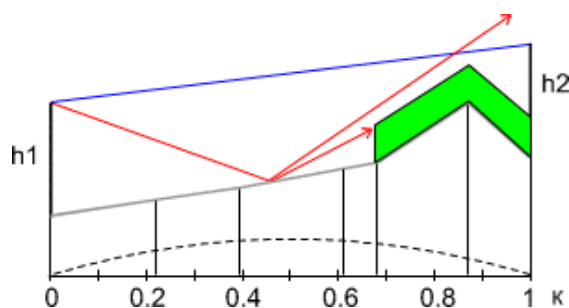


Рисунок 1.15 – Характерний приклад поздовжнього профілю прольоту

За наявності таких профілів необхідно простежити, щоб екранування відбитої хвилі відбувалося за всіх значень градієнта діелектричної проникності атмосфери (тобто за будь-якої можливої трансформації профілю).

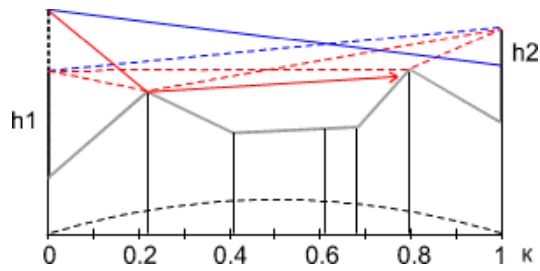


Рисунок 1.16 – Характерний приклад поздовжнього профілю польоту

Профіль польоту (рис. 1.16) має дві можливі точки відображення електромагнітних хвиль. Показані пунктиром лінія прямої видимості і відбиті промені, виходять при приблизно однакових висотах підвісу антен.

Як випливає з практики, досягти сталої роботи цифрової РРЛ при двох або кількох точках відображення дуже складно і дорого. Прагнення отримати лише одну точку відображення змушує вибирати різні висоти підвісу антен (рис. 4.6). При цьому відбита хвиля від однієї з перешкод екранується іншою перешкодою. Звичайно, цю умову необхідно перевіряти при різних трансформаціях профілю.

Розвиток засобів радіозв'язку. За останні три десятиліття завдяки успіхам електроніки та освоєнню діапазонів дециметрових та сантиметрових хвиль отримали розвиток радіорелейні лінії зв'язку. Цифрові радіорелейні лінії визначаються високою якістю передачі сигналів і високою перешкодою для захисту цифрових систем, а також їх значною економічною ефективністю.

У даній кваліфікаційній роботі досліджується поширення радіохвиль в РРЛ для різних типів місцевості. Радіо релейні лінії часто проходять за різними типами географічного рельєфу місцевості. В даний час існують проблеми з покриттям зв'язку як у віддалених місцях, так і в гірській місцевості. Оскільки, це мала щільність населення, віддаленість населених пунктів один від одного.

Успішний розвиток радіозв'язку супроводжується збільшенням швидкостей і обсягів інформації, що передається. Для передачі зростаючих потоків інформації з малими втратами використовують сигнали з ширшою

смугою, що вимагає розширення діапазону частот, займаного системою зв'язку. У свою чергу, передача сигналів з ширшою смугою вимагає переходу на вищі несучі частоти. Тим більше, що розширювати смугу робочих частот систем зв'язку у вже освоєних діапазонах хвиль стає неможливим через тісноту в ефірі. Історично склалося так, що насамперед було освоєно довгохвильові ділянки радіодіапазону, а для перспективних радіотехнічних систем, як міжнародними угодами, так і національними стандартами, резервувалися області більш високочастотних сигналів.

Сьогодні спостерігається складна ситуація у світі телекомунікацій. Багато користувачів хочуть отримати інтегровані послуги телефонії, передачі даних, відео послуги і т.д. У сучасних реаліях для успішної конкуренції на ринку телекомунікаційних послуг оператор повинен уміти працювати з мультисервісним трафіком і, отже, експлуатувати мультисервісну мережу передачі даних. Щоб споживач зміг скористатися якоюсь телекомунікаційною послугою, будь то доступ до Інтернету або сервіс телефонії. Перш за все, оператор, що працює на ринку послуг зв'язку для кінцевих користувачів, повинен вирішити задачу безперебійної надійної роботи зв'язку, організувати доставку послуг зв'язку від точки доступу до абонента. Підтримувати широкосмугову передачу інформації різних типів, бути захищеними від зовнішніх перешкод та фізичних впливів, забезпечувати стабільність технічних параметрів зв'язку, її надійність та економічність.

Особливі властивості, які відрізняють радіорелейний зв'язок від традиційного провідного, роблять його все більш привабливим для використання в глобальних, регіональних та місцевих мережах передачі даних. Багаторічний досвід застосування радіорелейних ліній виявив низку переваг цього виду зв'язку, які значно розширювали можливості галузі загалом:

-забезпечує високу надійність каналу зв'язку, оскільки немає небезпеки фізичної руйнації об'єктів зв'язку вздовж маршруту;

-забезпечує можливість роботи у найважчих географічних зонах;

						КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			24

-забезпечує можливість легкого та швидкого монтажу, РРЛ зручна для технічного обслуговування.

-економічно вигідна, а деяких випадках і єдина можлива організація багатоканального зв'язку на територіях, що мають складний рельєф (ліс, гори, болота тощо), а також у тих місцях, де прокладання кабелю недоцільне;

-можливість аварійного відновлення зв'язку магістралей провідного зв'язку шляхом заміни її пошкоджених ділянок.

-якість зв'язку, що не поступається провідного зв'язку.

З іншого боку, РРЛ забезпечує ефективне використання РЧ спектра з організацією мереж передачі. РРЛ у порівнянні з ВОЛЗ має наступні переваги та недоліки:

-у РРЛ пропускна здатність менше, ніж у ВОЛЗ;

-ремонтпридатність передавального каналу вище у РРЛ, порівняно з ВОЛЗ;

-у ВОЛЗ більш тривалий термін реалізації, порівняно з РРЛ;

-для ВОЛЗ потрібно створення нової інфраструктури, а РРЛ заміна апаратури.

Тому організація у горах наземних (волоконно-оптичних, провідних) каналів зв'язку виявляється дуже складною технічно та вкрай неефективною економічно. Більшість операторів зв'язку з метою економії фінансових коштів намагаються інвестувати вкладення в густонаселені місця. І тут слід враховувати реальний профіль траси.

Компромiсним рішенням при побудові широкосмугових систем зв'язку, призначених для роботи на великих дальностях є застосування радіорелейних ліній зв'язку (РРЛ). Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускної спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Радіорелейні лінії є колом ретрансляторів, що забезпечують почергову передачу радіосигналів між кінцевими станціями. Розрізняють два види радіорелейних

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

систем передачі (РРСП) – РРСП прямої видимості, станції яких розміщуються на відстані прямої видимості, і тропосферні РРСП, що використовують розсіювання та відображення радіохвиль у нижніх областях атмосфери при взаємному розташуванні станцій далеко за межами прямої видимості. У РРСП прямої видимості збільшення відстані між станціями радіорелейних ліній антени ретрансляторів підвішують на високі споруди (щогли, опори, висотні будівлі тощо.). У разі рівнинної місцевості висота підняття антен 60... 100 метрів дозволяють організувати впевнений зв'язок з відривами 40... 60 кілометрів.

Коло радіорелейної лінії складають радіорелейні станції трьох типів: кінцеві радіорелейні станції (КРС), проміжні радіорелейні станції (ПРС), вузлові радіорелейні станції (ВРС). На кінцевій радіорелейній станції починається і закінчується тракт передачі. Умовна радіорелейна лінія зв'язку схематично представлена на рисунку 1.17.

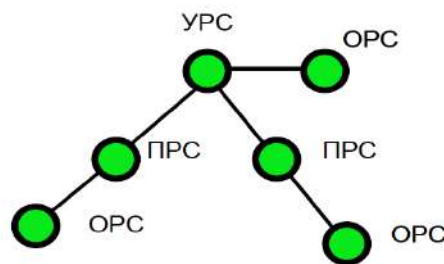


Рисунок 1.17 – Радіорелейна лінія зв'язку

Проміжні радіорелейні станції призначені для прийому сигналів від попередньої станції радіорелейної лінії, посилення цих сигналів та випромінювання у напрямку наступної станції РРЛ. На кожній проміжній радіорелейній станції встановлено дві антени, орієнтовані на сусідні РРСП. Аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускної спроможності, порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Кожна з антен є приймальною, тобто використовується і для прийому, і для передачі сигналів. Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень

						КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
							26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

затримки, втрати та пропускну́ї спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Однією з переваг роботи радіорелейної лінії зв'язку у надвисокочастотному (НВЧ) діапазоні є можливість застосування високоспрямованих антен з малими габаритами. Невеликі розміри антен спрощують їхню установку на високих спорудах. Хороші спрямовані властивості антен НВЧ діапазону дозволяють полегшити вимоги до характеристик приймального тракту

Якби частота випромінюваного сигналу проміжної радіорелейної станції дорівнювала частоті прийнятого сигналу тієї ж ПРС, існувала б небезпека проходження потужного сигналу, випромінюваного в напрямку наступної РРСП, на вхід приймача тієї ж ПРС, що приймає сигнал з протилежного напрямку від попередньої РРСП. Пояснюється це тим, що, незважаючи на хороші спрямовані властивості передавальної та приймальної антен НВЧ діапазону, все ж таки не вдається повністю виключити можливість попадання потужного сигналу передавача (нехай і ослабленого спрямованими характеристиками антен) на вхід приймача з високою чутливістю. Таке несанкціоноване (паразитне) проходження сигналів передавача проміжної радіорелейної станції на вхід приймача тієї ж ПРС намагаються зменшити. В іншому випадку ПРС може перейти в режим самозбудження і замість ретрансляції прийнятих сигналів передавач ПРС випромінюватиме коливання, що не мають жодного відношення до інформації, що передається по РРЛ.

Один із способів зменшення впливу передавача на роботу приймача тієї ж ПРС полягає в тому, що вихідний сигнал ПРС випромінюють на іншій частоті, зміщеній щодо частоти приймається сигналу на величину зсуву, рівного

$$f_{\text{СВД}} = |f_{\text{ПДР}} - f_{\text{ПРМ}}|, \quad (1.1)$$

де $f_{\text{ПРМ}}$ – частота сигналу; $f_{\text{ПДР}}$ – частота сигналу, що випромінюється.

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Величину $f_{сдв}$ вибирають із умови гарантованого виключення взаємного впливу сигналів на вибраних частотах.

Одне коло приймачів РРЛ утворює НВЧ симплексний (тобто призначений для передачі сигналів в одному напрямку) стовбур. Структура симплексного ствола з урахуванням плану розподілу частот наведено на рисунку 1.18.

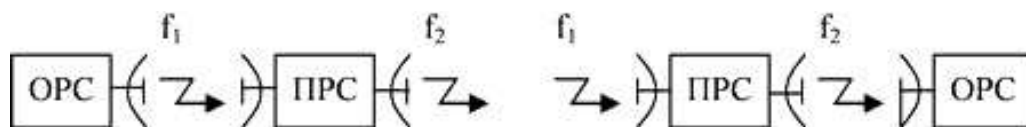


Рисунок 1.18 – Розподіл частот у символному стовбурі радіорелейної лінії

Два симплексних ствола, що працюють у зустрічних напрямках, утворюють дуплексний НВЧ ствол. Для передачі сигналів у зворотному напрямку може бути використана та сама пара частот, що й у прямому напрямку (двочастотна система), або інша пара частот (чотиричастотна система). Структурна схема одноствольної дуплексної проміжної радіорелейної станції наведено на рисунку 1.19.



Рисунок 1.19 – Структурна схема дуплексної ПРС

Ще одним складним питанням є радіочастотний план. Як відомо, радіочастотний ресурс обмежений, тому використовувати його слід економічно. Для цього важливо правильно скласти частотний план радіорелейної лінії. Проект мережі РРЛ, крім відомостей про кількість та місце розташування

мережевих вузлів, повинен містити інформацію про номінали робочих радіочастот.

При правильному складанні частотного плану можна обійтися лише однією парою частот для побудови опорної мережі зв'язку масштабу великого міста з населенням кілька мільйонів. Такий підхід дозволяє заощаджувати кошти як при отриманні дозволу на використання робочих радіочастот, так і при покупці комплектів запасних радіопередавачів (оператор повинен мати кілька запасних комплектів для кожного номіналу частот, що використовуються).

При використанні однієї пари радіочастот число вузлів в опорному кільці мережі має бути парним, що дозволяє чергувати частоти прийому та передачі у шаховому порядку.

При проектуванні радіорелейних ліній слід враховувати і можливі зміни умов розповсюдження радіохвиль. Так, при підвищеній рефракції (викривлення напрямку поширення радіохвиль) сигнали можуть поширюватися далеко за горизонтом. Тому коливання, що випромінюються радіорелейною станцією з частотою, наприклад, f_1 , можуть бути прийняті не тільки сусідньою станцією, а й станцією, що віддалена від неї через три прольоти. Але для останньої станції це буде паразитним сигналом, тому що вона повинна приймати сигнали лише з найближчої станції. Небажані сигнали від інших станцій викликать погіршення якості прийому.

Для усунення подібних явищ ретранслятори радіорелейної лінії зв'язку мають не по прямій лінії, а зигзагом, так, щоб не збігалися головні напрямки сусідніх ділянок траси, що використовують однакові частоти. При цьому використовують спрямовані властивості антен. Радіорелейні станції розносять від генерального напрямку радіорелейної лінії зв'язку таким чином, щоб напрямку на станцію, що віддалялася через три прольоти, відповідали мінімальні рівні діаграми спрямованості антени. На малюнку 1.20 показано три прольоти ділянки траси РРЛ. Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускну здатності. Проведено

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. На крайніх прольотах використовуються однакові частоти. На такій трасі навіть за сильної рефракції радіохвиль сигнали від станцій з номерами ПРС_i та ПРС_{i+2} практично не впливають один на одного. На малюнку помітно, що антени практично не сприймають радіохвилі, що приходять з напрямку, що лежить на прямій станції, що зв'язує.

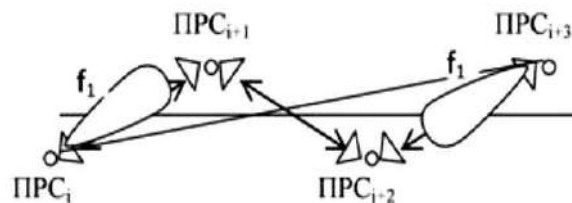


Рисунок 1.20 – Схема розташування ретрансляторів на трасі радіорелейної лінії зв'язку

На відміну від радіорелейних станцій, ретранслятори не додають у радіосигнал додаткової інформації. Ретранслятори можуть бути як пасивними, і активними. Пасивні ретранслятори є простим відбивачем радіосигналу без будь-якого приймального обладнання і, на відміну від активних ретрансляторів, не можуть посилювати корисний сигнал або переносити його на іншу частоту. Пасивні радіорелейні ретранслятори застосовуються у разі відсутності прямої видимості між радіорелейними станціями; активні – збільшення дальності зв'язку.

Як пасивний ретранслятор можуть виступати як плоскі відбивачі, так і антени радіорелейного зв'язку, з'єднані коаксіальними або хвилеводними вставками (так звані антени, з'єднані «спина до спини»). Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускної спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Плоскі відбивачі зазвичай використовуються при невеликих кутах відображення і мають ефективність близькою до 100%. Однак із збільшенням кута відображення ефективність плоского відбивача

зменшується. Перевагою плоских відбивачів є можливість використання для ретрансляції декількох частотних діапазонів радіорелейного зв'язку.

Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускної спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Антени, з'єднані «спина до спини» зазвичай використовуються при кутах відображення близьких до 180° і мають ефективність 50-60%. Подібні відбивачі не можуть використовуватися для ретрансляції декількох частотних діапазонів через обмежені можливості самих антен.

Основною особливістю організації радіорелейних систем зв'язку в гірській місцевості є технічна та адміністративна складність їх створення. Тому організація у горах наземних (волоконно-оптичних, провідних) каналів зв'язку виявляється дуже складною технічно та вкрай неефективною економічно. Більшість операторів зв'язку з метою економії фінансових коштів намагаються інвестувати вкладення в густонаселені місця.

Нині спостерігається складна ситуація у світі телекомунікацій. Багато користувачів хочуть отримати інтегровані послуги телефонії, передачі даних, відео послуги і т.д. Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускної спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. У сучасних реаліях для успішної конкуренції на ринку телекомунікаційних послуг оператор повинен уміти працювати з мультисервісним трафіком і, отже, експлуатувати мультисервісну мережу передачі даних.

Щоб споживач зміг скористатися якоюсь телекомунікаційною послугою, чи то доступом до Інтернету або сервісом телефонії, оператор, який працює на ринку послуг зв'язку для кінцевих користувачів, повинен вирішити перш за все два завдання:

- завдання побудови опорної мережі зв'язку;
- організувати доставку послуг зв'язку від точки доступу до абонента (проблема «останньої милі»).

						КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			31

- при цьому лінії зв'язку повинні відповідати певним вимогам, зокрема:
- забезпечувати надійний безперебійний зв'язок на певній відстані;
- підтримувати широкосмугову передачу інформації різних типів;
- бути захищеними від зовнішніх перешкод та фізичних впливів;
- забезпечувати стабільність технічних параметрів зв'язку, його надійність та економічність.

Традиційні методи вирішення описаних завдань - створення провідної інфраструктури пов'язана з багатьма труднощами (складність прокладання провідних комунікацій в умовах міської забудови, тривалість виконання та висока вартість робіт тощо).

Радіозв'язок по лінії, утвореною колом приймально-передаючих радіостанцій, називається радіорелейним зв'язком. Здійснюється зазвичай на дециметрових та сантиметрових хвилях. Цей вибір обумовлений тим, що ширина смуги частот цих діапазонів дозволяє працювати в ньому одночасно багатьом широкосмуговим радіопередавачам із шириною спектра сигналів до декількох десятків МГц. У цих діапазонах низький рівень атмосферних та індустриальних перешкод радіоприймання, а також можливе застосування гостронаправлених (з малим кутом випромінювання) малогабаритних антен.

Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускнуої спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Особливі властивості, які відрізняють радіорелейний зв'язок від традиційного провідного, роблять його все більш привабливим для використання в глобальних, регіональних та місцевих мережах зв'язку. У тих випадках, коли потрібно здійснити швидке розгортання мережі передачі даних в районах з нерозвиненою зв'язковою інфраструктурою або при створенні мереж передачі даних, що обслуговують рухомих абонентів, радіорелейного зв'язку немає альтернативи. Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускнуої спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Сучасні експертні оцінки

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визнають, що лінії зв'язку на основі радіорелейного обладнання у багатьох випадках можуть бути альтернативою волоконно-оптичним (ВОЛЗ). Справа не лише в дешевизні радіорелейних ліній, а й у тому, що за 60-річну історію розвитку радіорелейного зв'язку обладнання РРЛ досягло такого технічного рівня, що якість побудованих на його основі ліній не поступається ВОЛЗ. При цьому воно дозволяє оперативно розгортати мережі зв'язку з різною топологією: "зірка", "магістраль", "кільце" та ін., а також може бути використане в умовах, коли прокладання оптичного кабелю неможливе.

Висновки до 1 розділу

У даному розділі розглянуто загальні принципи побудови ЦРРЛ і особливості сучасної апаратури.

На основі аналізу бібліографічних джерел наводять основні фактори, які можуть продукувати в мережевому трафіку довготривалу залежність різних видів: поведінка користувача; генерація, структура та пошук даних; об'єднання трафіку; засоби управління мережею; механізми управління із зворотним зв'язком; розвиток мережі.

Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускнуєї спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Сучасна цифрова РРС – складний технічний комплекс, до якого входять приймач, модем, мультиплексор, приймальні антени, система автоматичного резервування, система телеуправління та телесигналізації, контрольно-вимірювальна апаратура, пристрої службового зв'язку, система електроживлення. Розглянемо функції основних пристроїв: приймача, модему та мультиплексора. Приймач РРС – пристрій, який виконує функції прийому та передачі модульованих електричних коливань заданих частот. Приймач виділяє електричний.

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

2 ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Радіохвилі дециметрового (ДЦВ) та сантиметрового діапазонів (СВ) поширюються в основному за рахунок поверхневої хвилі прямолінійно. Тому зв'язок з її допомогою може бути організована лише на дальності прямої видимості. Для того щоб максимально збільшити відстань прямої видимості між РРС, їх антени встановлюють на щоглах або вежах заввишки 70-100 м і на можливості на піднесених місцях залежно від профілю рельєфу, (рис. 2.1).

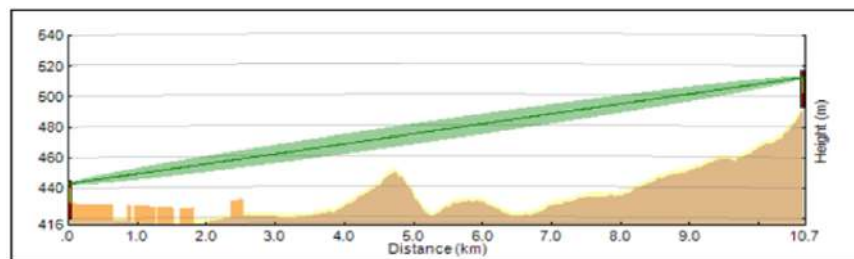


Рисунок 2.1 – Відстань прямої видимості

Максимальна дальність радіорелейного зв'язку визначається не тільки фізичною прямою видимістю, але й радіовидимістю (для високих частот, щоб 1-а зона Френеля не стосувалася поверхні), яка залежить від:

- частотного діапазону використовуваних РРС,
- ємності ствола (швидкість потоку),
- діаметра антен.

На рівнинній місцевості відстань між РРС зазвичай становить 40-70 км.

Проведено експеримент за допомогою програм Mini-Link Craft 2.20, Google Earth, Mentum Ellipse.

2.1 Опис використовуваного обладнання та їх характеристики

MINI-LINK TN є гнучким, масштабованим та ефективним рішенням для організації транспортних радіорелейних каналів. Це рішення застосовується як

						КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			34

для побудови мобільних мереж 2G/3G, так і мереж фіксованого зв'язку, у тому числі надають широкосмугові послуги. Використання MINI-LINK TN дозволяє здійснювати гнучке проектування та швидке розгортання сучасних телекомунікаційних мереж.

До складу системи MINI-LINK TN входять вузли, що масштабуються, з функціями мультиплексування каналів PDH і SDH, маршрутизації трафіку, а також з підтримкою механізмів захисту на рівні вузла і на рівні мережі. Існує можливість гнучкого підбору необхідної конфігурації обладнання в діапазоні від малих вузлів з одним радіо терміналом до великих концентраторів, що агрегують трафік від декількох напрямки в оптичні або радіоканали високої пропускної здатності.

Система управління мережами MINI-LINK використовує протоколи TCP/IP та SNMP, що забезпечує сумісність між різними частинами та службами. Інтеграція мультиплексного обладнання з обладнанням радіопередачі дозволяє мінімізувати трудовитрати при організації каналів користувачів та оптимізувати використання пропускної спроможності мережі.

Компанія Ericsson розроблена єдиний радіо модуль RAU-N для використання в мережах MINI-LINK при організації каналів точка-точка. Даний модуль забезпечує необхідну смугу радіо спектру та підтримує всі необхідні типи модуляції для організації радіоканалів різної пропускної спроможності.

2.1.1 Опис системи MINI-LINK TN

З функціонального погляду система MINI-LINK TN складається з наступних частин:

Основний вузол – складається з корпусу, блоку електроживлення, блоку вентиляторів та системного блоку, що забезпечує керування вузлом. Вузол виконує функції мультиплексування, демультимплексування та крос-комутації каналів, реалізує механізми захисту. В основний вузол встановлюються плати,

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

що забезпечують інтерфейси PDH, SDH та Ethernet для підключення користувачів.



Рисунок 2.2 – Система MINI-LINK TN

Радіо термінал - складається з модемних блоків (внутрішня частина) та радіо модулів з антенами (зовнішня частина). Ці блоки з'єднуються одним коаксіальним кабелем, яким передається несуча і подається електроживлення. Модемні блоки встановлюються в корпус основного вузла і можуть бути налаштовані для роботи як без резерву, так і з резервом 1 + 1. Радіо модулі поставляються у варіантах для різних частотних діапазонів. Для організації каналів точка-точка різної пропускної спроможності використовується єдиний модуль.

Устаткування MINI-LINK TN обладнане вбудованим IP маршрутизатором для обробки трафіку керування (DCN). Канали DCN також можуть бути використані для передачі інформації сторонніх систем управління. Існують різні способи підключення до каналів DCN та передачі трафіку систем керування.

Функція управління вузлами реалізована як вбудований елемент-менеджера (Embedded Element Manager - EEM). Доступ до EEM здійснюється за допомогою стандартного web-браузера. Для централізованого керування вузлами використовується програма MINI-LINK Manager – загальна система керування для всіх продуктів MINI-LINK. Крім того, існує система MINI-LINK Connexion, що має розширену функціональність для організації каналів користувачів в мережах MINI-LINK TN.

Ключові особливості:

						КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			36

Інноваційна архітектура рішення MINI-LINK TN поєднує в єдиній компактній платформі повну функціональність, необхідну для організації бездротових мереж. MINI-LINK TN поєднує функціональність радіорелейних терміналів PDH для різних частот, різної пропускної спроможності та модуляції з функціональністю крос-комутаторів та термінальних мультиплексорів SDH, що мають механізми мережного захисту. Крім того, при використанні системи управління MINI-LINK Connexion, для створення нового каналу потрібно лише вказати кінцеві точки та потрібну пропускну здатність, а система автоматично запропонує маршрут проходження з'єднання.

2.1.2 Різні частоти, вибір пропускної спроможності та типу модуляції.

Рішення MINI-LINK TN забезпечує організацію радіоканалів від 2x2 до 32x2 Мбіт/с у частотних діапазонах від 7 до 38 ГГц, з використанням схем модуляції C-QPSK та 16 QAM. Подальший розвиток продукту передбачає можливість використання модуляції 128 QAM для організації радіоканалів із ємністю до 64x2 Мбіт/с. Радіо термінали можуть бути сконфігуровані для роботи як без резерву, так і з резервом 1 + 1.

Удосконалена технологія, що використовується в обладнанні MINI-LINK TN, дозволяє змінювати пропускну здатність радіоканалу програмно, без будь-яких змін в апаратній частині. Ця гнучкість, з урахуванням розвинених інтелектуальних функцій організації каналів MINI-LINK TN, дозволяє легко здійснювати дистанційне управління мережами.

Архітектура MINI-LINK TN забезпечує можливість організації радіоканалів PDH з високою пропускну здатністю, заповнюючи проміжок між рівнем PDH ієрархії E3 (16xE1) та нижнім рівнем ієрархії SDH (STM-1). Ця особливість дозволяє ефективно використовувати ємності 32xE1 (у перспективі - до 64xE1) в радіорелейних PDH мережах різної топології.

Зручність використання

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лінійка обладнання MINI-LINK TN включає різні типи вузлів, що володіють значною гнучкістю в частині зміни пропускної

Можливості та пропуску різного трафіку. Розвинена система керування дозволяє легко здійснювати конфігурацію вузлів та організацію каналів користувачів.

Випускаються три типи модульних вузлів TN, що мають місця для встановлення двох, п'яти або дев'ятнадцяти змінних модулів (модемних блоків та інтерфейсних плат), а також компактний моноблочний термінал ATU. Це дозволяє вибору оптимального рішення для організації мережевих вузлів - від малих терміналів до великих концентраторів. Основною функцією концентраторів є агрегація трафіку від кількох вузлів та його мультиплексування у канали передачі з великою пропускною здатністю. Інтеграція мультиплексного обладнання та радіочастини зменшує кількість кабельних з'єднань, і, як наслідок, призводить до зниження термінів початку надання послуг, гнучкого нарощування пропускної спроможності та покращення якості обслуговування клієнтів.

Концепція MINI-LINK TN передбачає можливість резервування каналів у кільцевих та коміркових структурах з пропускними здібностями до 155 Мбіт/с. Механізм резервування каналів функціонує лише на рівні E1 і залежить від середовища передачі.

Усі вузли обладнання, вихід з експлуатації яких впливає на трафік користувачів, можуть бути резервовані, причому резервування шини інтерфейсних плат крос-комутації комбінується із захистом фізичних інтерфейсів. Поділ модулів, відповідальних за трафік та керування робить систему дуже надійною і дозволяє, наприклад, проводити гарячу заміну плат.

У майбутньому планується включити у рішення MINI-LINK TN функціональність системи точка-многоточка; його архітектура має можливість забезпечення плавної міграції до мереж з урахуванням комутації пакетів.

Ефективні системи керування.

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рішення MINI-LINK Manager є централізованою системою керування для всього спектра обладнання MINI-LINK. Воно може використовуватися як автономна система або інтегруватися в систему управління вищого рівня з використанням стандартних програмних інтерфейсів.

Рішення MINI-LINK Connexion має розширену функціональність для організації каналів у радіомережі та постійного моніторингу їх характеристик. За допомогою MINI-LINK Connexion у системі управління моделюється повна структура мережі, включаючи мережеві елементи, термінали та канали зв'язку.

Можливості MINI-LINK Connexion також доступні у комбінованому рішенні, що включає обладнання MINI-LINK TN та Ericsson DXX. Воно надає можливості наскрізного керування обладнанням PDH та SDH з єдиного центру, дозволяючи автоматично організовувати канали користувачів між вказаними вузлами.

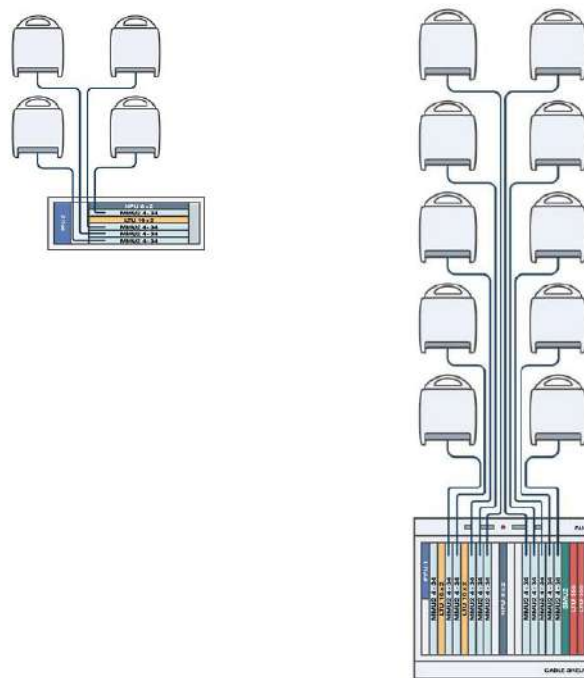


Рисунок 2.3 – Приклади конфігурацій:

Отримані результати введено до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Отримані дані

Link Properties			
Equipment Type	AMM	0	
Site Name	-	SH5233	SH5235
Tower Coordinates	Degrees	69.013725 41.723983	
Elevation (AMSL)	m	420,1	492,6
TX Azimuth	deg	153,31	#ИМЯ?
Distance	km	10,68	
TX Antenna	-	ML18 0.6m HP _2 R2	ML18 0.6m HP _2 R2
Type of Construction		0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	24,5	24,5
TX Height On Tower	m	23	20
Frequency	MHz	17727,5	18737,5
Channel Bandwidth	MHz	14	
Modulation type		QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)	Mbit/s	45	
Protection Mode		0	0
Polarization	-	V	V
TX Radio	-	MLT18_2X 045_4A S	MLT18_2X 045_4A S
TX Power	-	18	18
RX Level	-	-42,98	-42,98
VLAN ID	2G/3G	0	
MMU ID		0	0
DCN Configuration			
Basic NE	IP Address	0	
	Subnet Mask	0	
OSPF Area	Network Address	0	
	Subnet Mask	0	
	Area	0	

SH5233-SH5235

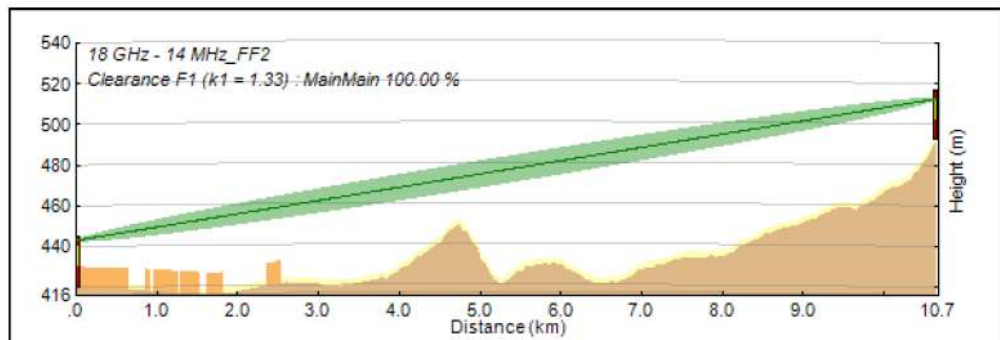


Рисунок 2.4 – Дані з розрахунку РРЛ прольоту для 18GHz антени

Таблиця 2.2 – Отримані дані щодо розрахунку РРЛ прольоту для 23Ghz антени

Link Properties

Equipment Type	AMM	0	
Site Name	-	SH5233	SH5235
Tower Coordinates	Degrees	69.013725 41.723983	69.063006 41.635519
Elevation (AMSL)	m	420,1	492,6
TX Azimuth	deg	153,31	333,31
Distance	km	10,68	
TX Antenna	-	ML23 0.6m HP _2 R2	ML23 0.6m HP _2 R2
Type of Construction		0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	24,5	24,5
TX Height On Tower	m	23	20
Frequency	MHz	21502	22702
Channel Bandwidth	MHz	14	
Modulation type		QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)	Mbit/s	45	
Protection Mode		0	0
Polarization	-	V	V
TX Radio	-	MLT23_2X 043_16A S	MLT23_2X 043_16A S
TX Power	-	18	18
RX Level	-	-43,08	-43,08
VLAN ID	2G/3G	0	
MMU ID		0	0
DCN Configuration			
Basic NE	IP Address	0	
	Subnet Mask	0	
OSPF Area	Network Address	0	
	Subnet Mask	0	
	Area	0	

SH5233-SH5235

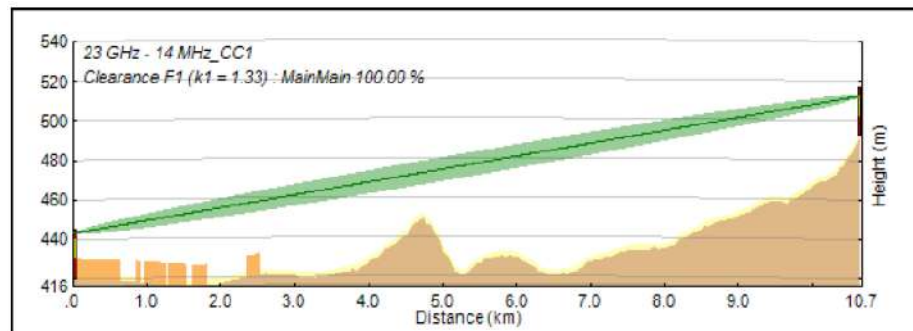


Рисунок 2.5 – Дані з розрахунку РРЛ прольоту для 23Ghz антени

Таблиця 2.3 – Дані з розрахунку РРЛ прольоту для антени 28 ГГц

Link Properties			
Equipment Type	AMM	0	
Site Name	-	SH5233	SH5235
Tower Coordinates	Degrees	69.013725 41.723983	69.063006 41.635519
Elevation (AMSL)	m	420,1	492,6
TX Azimuth	deg	153,31	333,31
Distance	km	10,68	
TX Antenna	-	ML28 0.6m HP _2 R2	ML28 0.6m HP _2 R2
Type of Construction		0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	24,5	24,5
TX Height On Tower	m	23	20
Frequency	MHz	27849,5	28857,5
Channel Bandwidth	MHz	14	
Modulation type		QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)	Mbit/s	45	
Protection Mode		0	0
Polarization	-	V	V
TX Radio	-	MLT28_2X 045_16S S	MLT28_2X 045_16SS
TX Power	-	18	18
RX Level	-	-40	-40
VLAN ID	2G/3G	0	
MMU ID		0	0
DCN Configuration			
Basic NE	IP Address	0	
	Subnet Mask	0	
OSPF Area	Network Address	0	
	Subnet Mask	0	
	Area	0	

SH5233-SH5235

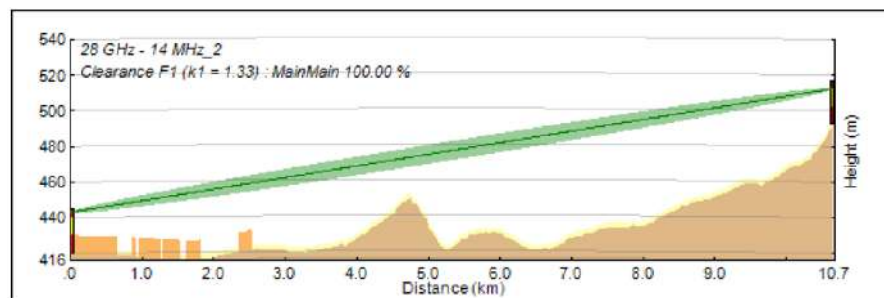


Рисунок 2.6 – Дані з розрахунку РРЛ прольоту для антени 28Ghz

					КВРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

На рисунку 2.6 представлені розрахункові дані для 23Ghz антени так само, задані частоти і конфігурації РРЛ, а нижче на рисунку 2.7 вже рівні прольоту, можна побачити те – що прольоті рівні tx+24 rx-39.1 відповідають даним виміряною вище програмою Mentum Ellipse при 10км з 0,6 антенами.

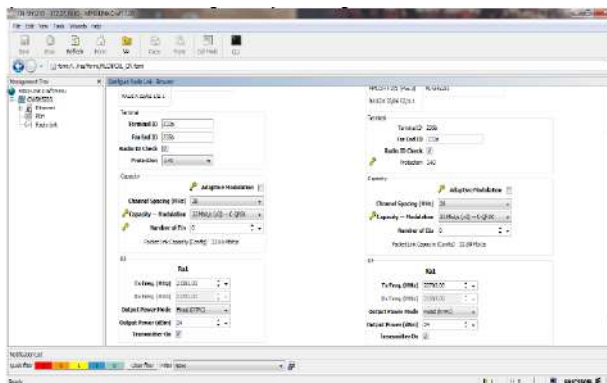


Рисунок 2.7 – Дані з розрахунку РРЛ прольоту для 23Ghz антени, із заданими конфігураціями

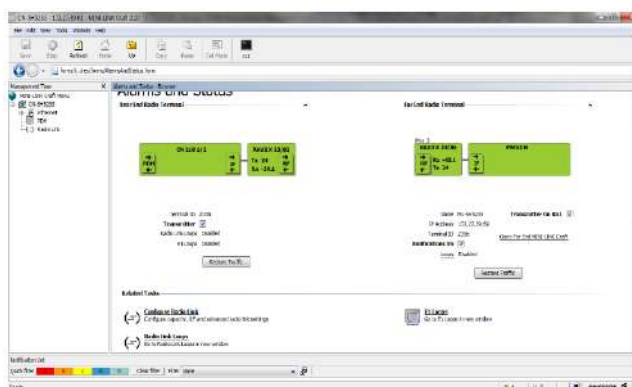


Рисунок 2.8 – Рівень РРЛ прольоту з антеною 23Ghz, із заданими конфігураціями

Рівні РРЛ прольоту також залежать від відстані між антенами, юстировкою антен і ще треба врахувати, чи немає перешкод на прольоті. Наприклад, на відстані 470 метрів при параболі 0,3 розрахунковий рівень TX Power +3 RX-36 Level. А з 0,6 параболою за такої ж відстані рівень TX Power -5 RX-34 Level.

Таблиця 2.4 – Розрахунковий рівень РРЛ прольоту при параболі 0,6 антени

Link Properties

Equipment Type	AMM	exist	
Site Name	-	AL5221	AL3046
Tower Coordinates	Degrees	76.942595 43.219562	76.936855 43.219044
Elevation (AMSL)	m	929.4	914.9
TX Azimuth	deg	261.64	81.64
Distance	km	0.47	
TX Antenna	-	ML28 0.6m HP _2 R2	ML28 0.6m HP _2 R2
Type of Construction		0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	18	20
TX Height On Tower	m	18	19
Frequency	MHz	28087.5	29095.5
Channel Bandwidth	MHz	14	
Modulation type		128QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)	Mbit/s	72	
Protection Mode		1+0	1+0
Polarization	-	V	V
TX Radio	-	MLT28_2X 072_128S S	MLT28_2X 072_128S S
TX Power	dBm	-5	-5
RX Level	dBm	-34.66	-34.96
VLAN ID	2G/3G	0	
MMU ID		A21a	A46f
DCN Configuration			
Basic NE	IP Address	0	
	Subnet Mask	0	
OSPF Area	NetworkAddress	0	
	Subnet Mask	0	
	Area	0	

AL5221-AL3046

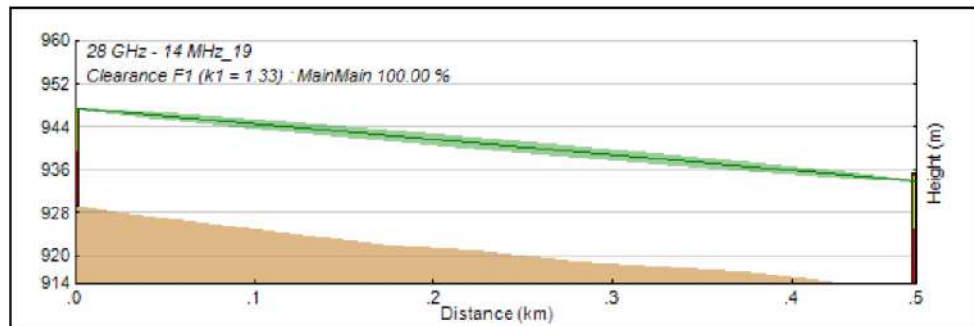


Рисунок 2.9 – Розрахунковий рівень РРЛ прольоту при 0,6 антени

Таблиця 2.5 - Розрахунковий рівень РРЛ прольоту при параболі 0,3 антени

Link Properties	AMM		
Equipment Type	-	exist	
Site Name	Degrees	AL5221	AL3046
Tower Coordinates	m	76.942595 43.219562	
Elevation (AMSL)	deg	929.4	914.9
TX Azimuth	km	262,97	82,96
Distance	-	0.47	
TX Antenna		ML28 0.3m HP_2 R1	ML28 0.3m HP_2 R1
Type of Construction	m	0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	18	20
TX Height On Tower	MHz	18	19
Frequency	MHz	28087.5	29095.5
Channel Bandwidth		14	
Modulation type	Mbit/s	128QAM	
Total Link Capacity (TDM +IP)		72	
Protection Mode	-	1+0	1+0
Polarization	-	V	V
TX Radio		MLT28_2X 072_128S S	MLT28_2X 072_128S S
RAU ID	dBm	42	46
TX Power	dBm	3	3
RX Level	2G/3G	-35.86	-36.16
VLAN ID		0	
MMU ID		A21a	A46f
DCN Configuration	IP Address		
Basic NE	Subnet Mask	0	
	Network Address	0	
OSPF Area	Subnet Mask	0	
	Area	0	

AL5221-AL3046

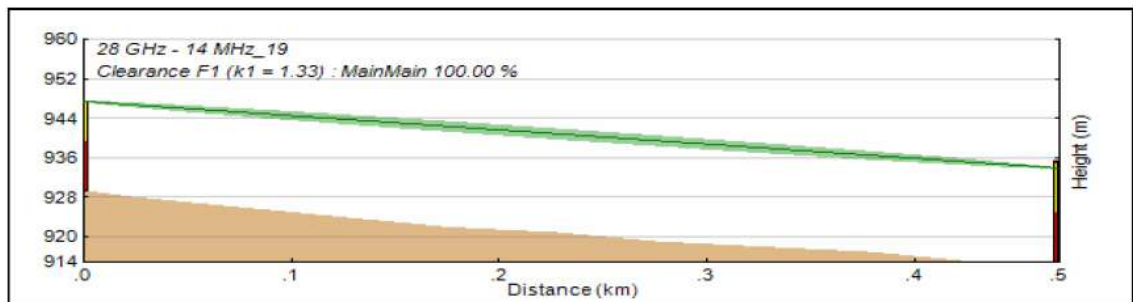


Рисунок 2.10 – Отриманий графік розрахункового рівня РРЛ прольоту при 0,3 антени

2.2 Налаштування репітера

При налаштуванні репітера використовувався вимірювальний пристрій Fluke-114. Репітер – це повторювач сигналу, англ. - Repeater, рус. - Ретранслятор. Репітер/ретранслятор призначений для передачі сигналу, повторення частоти та амплітуди. У стільниковому зв'язку репітер використовується для повторення та ретрансляції сигналу, прийнятого від базової станції до місця, де він був відсутній або був низького рівня. В основі репітера – ретранслятора закладено двосторонній підсилювач сигналу стільникового зв'язку. Завдання підсилювача стільникового зв'язку – прийняти, посилити сигнал, поширити у вільному просторі. Посилення репітера залежить від застосовуваної схеми підсилювача стільникового зв'язку. Репітер - ретранслятор може використовуватися під різні потреби.

Репітери також називають підсилювачами, бустерами, ретрансляторами - це назви того самого пристрою. Але суть залишається та сама.

Зона невпевненого покриття може бути як всередині (офісні будівлі, гаражі, багатоповерхові будинки, великі магазини та готелі), так і поза приміщеннями. Поза приміщеннями низький рівень сигналу може бути обумовлений рельєфом місцевості, наприклад, височинами, низинами, листяними лісами та висотною міською забудовою. Всі ці фактори призводять до ослаблення або повного згасання GSM/3G/CDMA сигналу.

Вирішенням проблеми поганого покриття може стати встановлення активної системи посилення, розрахованої на використання у різних варіантах установки.

Цифрові вимірювальні пристрої Fluke-114 представлені рисунку 2.11 і 2.12. Для проведення експерименту використовувалося обладнання компанії Ericsson – яке було встановлено на даху одного з будинків на висоті 18м Near End та 20м Far End. Робоча частота 28087.50 МГц потужність передавача 5 Вт.

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.11 – Вимірювальний прилад Fluke-114



Рисунок 2.12 – Вимірювальний прилад із спеціальною насадкою для приймання передавача обладнання Ericsson Mini-Link

Отримані дані наведено на рисунку 2.13.

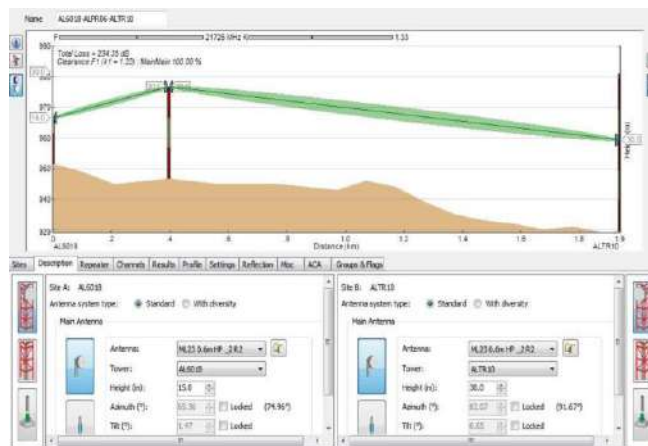


Рисунок 2.13 – РРС через пасивний репітер

									Арк.
									47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРТР.2019033.01.12 ПЗ				

Висновки до 2 розділу

У даному розділі проведено експеримент за допомогою програм Mini-Link Craft 2.20, Google Earth, Mentum Ellipse.

Було проведено розрахункові дані для 23Ghz антени так само, задані частоти і конфігурацій РРЛ, а також визначені рівні прольоту, можна побачити те – що прольоті рівні tx+24 rx-39.1 відповідають даним виміряною вище програмою Mentum Ellipse при 10км з 0,6 антенами. Для проведення експерименту використовувалося обладнання компанії Ericsson – яке було встановлено на даху одного з будинків на висоті 18м Near End та 20м Far End. Робоча частота 28087.50 МГц потужність передавача 5 Вт.

					КВРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3 РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ ОРГАНІЗАЦІЇ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ МІЖ ПІДПРИЄМСТВОМ

3.1 Розрахунок радіорелейної лінії

Розрахунок проводиться для висоти підвісу антен і стійкості зв'язку прольоті РРЛ прямої видимості, реалізованого на базі радіорелейного комплекту MINI-LINK 13-E \18,19\.

Вихідні дані:

- кліматичний район: Західна Україна; середня частота: $f = 13$ ГГц; довжина прольоту РРЛ: $R_0 = 164$ км; відстань до максимальної висоти рельєфу: $R_1 = 12,6$ км; $CD = 615$ м (висота будівлі 19 метрів плюс висота поверхні над рівнем моря 596 метрів); $MN = 613$ м (висота будівлі (максимально висока будівля вздовж прольоту РРЛ) близько 10 метрів плюс висота поверхні над рівнем моря (603 метрів)); $ZY = 619$ м (висота будівлі офісу клієнта близько 21 метрів плюс висота поверхні над рівнем моря 598 метрів); ширина перешкод: $r = 14$ метрів.

Параметри цифрової релейної апаратури MINI-LINK 13-E:

- коефіцієнт системи, дБ: $SG = 110$;
- діаметр антени, м: $D_a = 0$,

3.2. Розрахунок висот підвісу антен

Поширення радіохвиль у межах прямої видимості антен РРЛ істотно впливає явище рефракції. Випадкові зміни вертикального градієнта діелектричної проникності атмосфери (g) призводять до викривлення траєкторії поширення радіопромменя, який, у деяких випадках, може стосуватися земної поверхні і результатом цього є виникнення ефекту дифракції, що знижує рівень сигналу. Через наземну перешкоду можлива навіть повна втрата взаємної видимості антен (відсутність зв'язку).

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тому при проектуванні РРЛ важливо забезпечити достатній просвіт траси шляхом вибору висот підвісу антен. Для побудови профілю прольоту необхідно розрахувати кривизну Землі для середини прольоту, у цій точці ця величина буде максимальною

$$z_1 := R_0^2 \cdot 10^3 \cdot \frac{k \cdot (1-k)}{2 \cdot a}, \quad (3.1)$$

де $k := \frac{R_1}{R_0}$ – відносна координата для середини прольоту,

$$k = 0,768;$$

$a = 6370$ км – радіус Землі;

$$z_1 := 16,4^2 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,768 \cdot (1-0,768)}{2 \cdot 6370} = 3,762, \text{ м.}$$

Основна частина енергії передавача поширюється у бік приймальної антени всередині мінімальної зони Френеля, що представляє еліпсоїд обертання з фокусами в точках передавальної та приймальної антен. Радіус мінімальної зони Френеля у будь-якій точці прольоту можна визначити за формулою:

$$H_0 := \sqrt{R_0 \cdot 10^3 \cdot \lambda \cdot \frac{k \cdot (1-k)}{3}},$$

$$H_0 := \sqrt{16,4 \cdot 10^3 \cdot 0,023 \cdot \frac{0,768 \cdot (1-0,768)}{3}} = 4,733, \text{ м}$$

Визначається середнє збільшення просвіту за рахунок рефракції, існуюче протягом 80% часу:

$$\Delta H(g + \sigma) = -(R_0)^2 \frac{(g + \sigma) \cdot k \cdot (1-k)}{4},$$

					КВРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta H(g + \sigma) = -(16,4 \cdot 10^3)^2 \cdot \frac{(-13 \cdot 10^8 + 10 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,768 \cdot (1 - 0,768)}{4} = 0,359, \text{ м}$$

де g і a – відповідно середнє значення та стандартне відхилення вертикального градієнта діелектричної проникності тропосфери [2] $g = -13 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$, $a = -13 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$);

Визначимо величину просвіту без рефракції радіохвиль

$$H(0) = H_0 - \Delta H(g + \sigma) = 4,733 - 0,359 = 4,374, \text{ м.} \quad (3.2)$$

На практиці здійснюється попередній вибір радіотраси та місць розташування майданчиків (у нашому випадку точки C та Z), потім здійснюється побудова профілю прольоту за допомогою різновисотних контурних карт (за рекомендацією ІТУ масштаб має бути принаймні 1/50000) та облік шляхом огляду місцевості висоти рослинності та будівель.

Потім можна приступити до визначення висот підвісу антен.

Висоти підвісу антен визначають за допомогою формул:

$$h_1 = NM + H(0) + Z_1 - CD \quad (3.3)$$

$$h_2 = NM + H(0) + Z_1 - ZY \quad (3.4)$$

Підставляючи відомі та знайдені раніше значення, отримуємо:

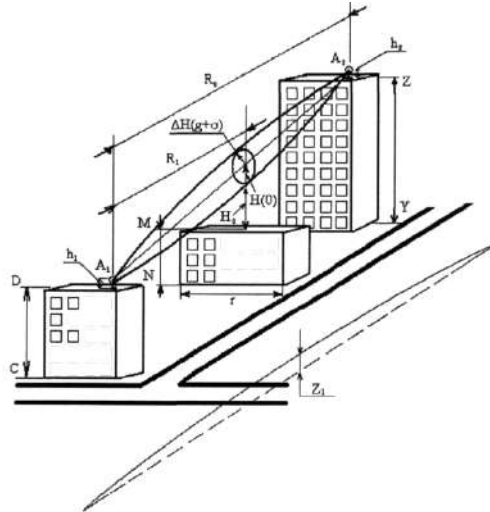
$$h_1 = 613 + 4,374 + 3,762 - 615 = 2,374, \text{ м}$$

$$h_2 = 613 + 4,374 + 3,762 - 619 = -1,626, \text{ м}$$

З отриманих значень можна зробити висновок, що антена на даху будівлі, де розташований офіс клієнта, не вимагає підвісу, що обумовлено малою

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

довжиною прольоту, відповідно, нехтує малим впливом кривизни Землі, і тим, що офіс клієнта перевищує перешкоди. Антену над офісом ТОВ «СА-Телком» піднімаємо на щоглу 2,5 метри.



Рисунку 3.2 – Прийнято позначення для профілю прольоту РРЛ

На рисунку 3.2 наведено профіль прольоту РРЛ (вертикальний розріз місцевості, що проходить через місця встановлення антен). Прийняті позначення:

- A_1, A_2 – приймально-передавальні антени РРЛ; h_1, h_2 – висоти підвісу антен; CD, MN, ZY – висоти місцевості; M – критична точка (вершина перешкоди); Z_1 – реальна кривизна Землі; $H(0)$ – просвіт на прольоті за відсутності рефракції; $\Delta H(g+a)$ – середнє значення зміни просвіту за рахунок рефракції, що існує протягом 80% часу; $H(g+a)$ просвіт на прольоті, що існує протягом 80% часу, який зазвичай беруть рівним H_0 .

3.3. Енергетичний розрахунок РРЛ та програмна реалізація визначення висоти підвісу антен РРЛ

Обчислимо ослаблення сигналу на шляху розповсюдження між антенами за рахунок сферичної розбіжності фронту хвилі:

						КВРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
							52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$L_0 = 20(\log(f) + \log(R_0)) + 32,45 \quad (3.5)$$

$$L_0 = 20(\log(13000) + \log(16,4)) + 32,45 = 139,026, \text{ дБ}$$

де частота підставляється у МГц, а відстань у кілометрах. Визначимо посилення антени (частота підставляється у ГГц):

$$G_a = 20(\log(f) + \log(D_a)) + 18,45 \quad (3.6)$$

$$G_a = 20(\log(13) + \log(0,6)) + 18,45 = 36,292, \text{ дБ}$$

де D_a – діаметр антени, м.

Визначимо запас на завмирання:

$$F_t = SG + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} + L_0 - 2 \cdot \eta \quad (3.7)$$

$$F_t = 110 + 36,292 + 36,292 - 139,026 - 5 = 38,558, \text{ дБ}$$

Для MINI-LINK 13-E коефіцієнт системи дорівнює $SG = 110$ дБ; η – ККД антенно-фідерного тракту ($2\eta \approx 5\text{гВ}$); L_0 – згасання радіохвиль у вільному просторі; $G_{\text{прд}}$, $G_{\text{прм}}$ – коефіцієнт підсилення передавальної та приймальної антен відповідно ($G_{\text{прд}} = G_{\text{прм}} = G_a$). Програма розрахунку висот підвісу антен РРЛ реалізована мовою Borland Delphi 7 і програма наведена в додатку А. Таким чином, були зроблені розрахунки для прольоту радіорелейної лінії зв'язку між вузлом компанії та офісом

3.4. Розрахунок стійкості зв'язку

Суть даного розрахунку полягає у визначенні відсотка часу погіршення якості зв'язку на РРЛ через глибокі замирання сигналу ТΣ і стійкість зв'язку

					КВРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оцінюється за виконанням нерівності: $T_{\Sigma} < T_{\text{доп}}$ (де $T_{\text{доп}}$ допустима ймовірність погіршення якості зв'язку на даній РРЛ відповідно до норм ІТУ-R).

$T_{\Sigma} = \sum T_{\text{прі}}$ (сума для всіх прольотів РРЛ). Оскільки глибокі завмирання на прольоті обумовлені різними незалежними між собою причинами, то загальному випадку

$$T_{\text{пр}}(V_{\text{мін}}) = T_0(V_{\text{мін}}) + T_{\text{ІНТ}}(V_{\text{мін}}) + T_{\text{Д}}(V_{\text{мін}}) \quad (3.8)$$

де T_0 – враховує екрануючу дію перешкоди;

$T_{\text{ІНТ}}$ – враховує інтерференцію прямого та відбитого променів (явище багатопроменевого поширення), відображення радіохвиль від Землі враховується, як правило, лише при слабопересічених прольотах;

$T_{\text{Д}}$ – ослаблення сигналу через дощі.

Кожен із доданків у формулі визначається на основі відповідних статистичних даних, притаманних даного кліматичного району (ці дані у технічній літературі наводяться, зазвичай, у вигляді графіків).

ІТУ рекомендує при глибоких завмираннях внаслідок багатопроменевого поширення оцінювати $T_{\text{ІНТ}}$ у гірший місяць за допомогою наближеного асимптотичного виразу:

$$T_{\text{ІНТ}} = \frac{k_{\text{кр}} \cdot Q \cdot f^B \cdot (R_0) \cdot P_{\text{прм}} \cdot (T)}{P_{\text{прм}} \cdot (100)} = k_{\text{кр}} \cdot Q \cdot f^B \cdot (R_0)^C \cdot 10^{\frac{-Ft}{10}} \quad (3.9)$$

де $k_{\text{кр}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив клімату та рельєфу місцевості;

Q – облік інших параметрів прольоту;

B, C – облік регіональних ефектів;

f – частота (ГГц); R_0 – довжина траси (км); $P_{\text{прм}}(T)$ потужність сигналу на вході приймача, ймовірність якої дорівнює T .

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для території колишнього СРСР рекомендовані емпіричні значення параметрів: $k_{кр} \cdot Q = 0,41 \cdot 10^{-3}$ (для зон із помірно континентальним кліматом або середньоширотних із середньо погіршеним рельєфом); $B=0,89$; $C = 3,6$.

З урахуванням всього перерахованого вище знайдемо T_{INT} :

$$T_{INT} = 0,41 \cdot 10^{-3} \cdot 13^{1,5} \cdot 16,4^{3,6} \cdot 10^{\frac{-38,558}{10}} = 5,358 \cdot 10^{-5}$$

При проектуванні РРЛ ослаблення сигналу через дощі починають враховувати з частоти 5 ГГц і від (тому, що вище частота, тим більше вплив дощу поширення радіохвиль). Приблизна оцінка згасання в осадах може бути виконана відповідно до рекомендації Р. 837 ІТУ-Р. Тут Земля поділена на 15 дощових кліматичних зон (позначення А-Q). Для кожної зони наведено статистику інтенсивності дощу $R_{0,01}$ (мм/год) значення, що перевищує 0,01% часу. Для України, це зона Е, на яку $R_{0,01}=22$ мм/час.

Питоме загасання визначається окремо для горизонтальної та вертикальної поляризації за допомогою формули:

$$\gamma = k \cdot (R_{0,01})^\alpha \quad (3.10)$$

Для 13 ГГц $k_H = 0,0235$; $\alpha_H = 1,201$; $k_V = 0,0215$; $\alpha_V = 1,182$:

$$\gamma_H = k_H \cdot (R_{0,01})^{\alpha_H} = 0,235 \cdot 22^{1,201} = 0,962 \left(\frac{\partial B}{\text{км}} \right)$$

$$\gamma_V = k_V \cdot (R_{0,01})^{\alpha_V} = 0,0215 \cdot 22^{1,182} = 0,830 \left(\frac{\partial B}{\text{км}} \right)$$

Оскільки інтенсивність дощу нерівномірно розподілена по всій довжині прольоту r_0 , вводиться ефективна довжина траси

$$d_e = r \cdot R_0 \quad (3.11)$$

					КВРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де r – коефіцієнт зменшення:

$$r = \frac{1}{1 + \frac{R_0}{d_0}} \quad (3.12)$$

d_0 – опорна відстань:

$$d_0 = R_0 \cdot e^{-0.015R_{0,01}} \quad (3.13)$$
$$d_0 = 16.4 \cdot e^{-0.015 \cdot 22} = 11.73 \text{ (км)}$$

Тоді

$$r = \frac{1}{1 + \frac{16,4}{11,79}} = 0,418$$
$$d_e = r \cdot R_0 = 0,418 \cdot 16,4 = 6,855 \text{ (км)}$$

Оцінка згасання на трасі, яка перевищується на 0,01% часу, визначається виразом:

$$A_{0,01} = \gamma \cdot d_e \quad (3.14)$$

$$A_{0,01H} = \gamma_H \cdot d_e = 0,962 \cdot 6,855 = 6,595 \text{ (дБ)}$$

$$A_{0,01V} = \gamma_V \cdot d_e = 0,830 \cdot 6,855 = 5.69 \text{ (дБ)}$$

Відсоток часу погіршення якості зв'язку через загасання в дощі:

$$11.628 \left(-0.56 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log \left(0.12 \frac{A_{0,01}}{A_T} \right)} \right) \quad (3.15)$$

$T_D = 10$, де $A_T = F_t = 38.558$ дБ

$$\frac{A_{0,01H}}{A_T} = \frac{6,595}{38,558} = 0,171; \quad \frac{A_{0,01V}}{A_T} = \frac{5,69}{38,558} = 0,148$$

Отже отримаємо:

$$T_{DH} = 10^{11.628(-0.56 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log(0.12 \cdot 0,171)})} = 4,77 \cdot 10^{-6} \%$$

$$T_{DV} = 10^{11.628(-0.56 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log(0.12 \cdot 0,148)})} = 1.442 \cdot 10^{-6} \%$$

					КВРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Визначення відсотка часу погіршення зв'язку через субрефракцію (T_0).
Середня відстань просвіту на прольоті.

$$H(g) = H(0) + \Delta H(g) = H(0) - \frac{(R_0)^2}{4} g \cdot k \cdot (1-k) \quad (3.16)$$

$$H(g) = 4,374 - \frac{(16,4 \cdot 10^3)^2}{4} (-13 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,768 \cdot (1 - 0,768) = 5,931 \text{ (м)}$$

Відносний просвіт:

$$P(g) = \frac{H(g)}{H(0)} = \frac{5,931}{4,374} = 1,356 \quad (3.17)$$

Визначаємо параметр μ і l , що характеризує апроксимуючу сферу:

$$\mu = \sqrt[6]{\frac{64 \cdot \pi}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{k^2 \cdot (1-k)^2}{l^2}} \quad (3.18)$$

$$\mu = \sqrt[6]{\frac{64 \cdot \pi}{3}} \cdot \sqrt[3]{\frac{0,768^2 \cdot (1-0,768)^2}{(8,537 \cdot 10^{-4})^2}} = 30,065$$

де $l = \frac{r}{R_0} = \frac{0,014}{16,4} = 8,537 \cdot 10^{-4}$; r – ширина перешкоди.

Визначимо мінімальний множник ослаблення за відомим параметром μ :

$$V_0(\mu) = V_0(30,065) = -8,5 \text{ (дБ)}$$

Знайдемо мінімально допустиме значення множника ослаблення.

$$V_{\min} = \frac{-Ft}{2} = \frac{-38,558}{2} = -19,279 \text{ (дБ)} \quad (3.19)$$

Розрахуємо значення відносного просвіту, у якому настає глибоке завмирання сигналу, викликане екрануванням перешкодою мінімальної зони Френеля:

$$P(g) = \frac{V_0(\mu) - V_{\min}}{V_0(\mu)} = \frac{-8 - (-19,279)}{-8} = -1,41 \text{ (дБ)} \quad (3.20)$$

Розрахуємо параметр:

$$\Psi = 2,31 \cdot A(p(g) - p(g_0)) \text{ (дБ)} \quad (3.21)$$

					КВРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де

$$A = \frac{1}{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{(R_0)^3 \cdot k \cdot (1-k)}} \quad (3.22)$$
$$A = \frac{1}{10 \cdot 10^{-8}} \cdot \sqrt{\frac{0.023}{(16.4 \cdot 10^3)^3 \cdot 0.768 \cdot (1-0.768)}} = 1.711$$

Підставимо значення А та отримаємо:

$$\Psi = 2.31 \cdot A(p(g) - p(g_0)) = 2.31 \cdot 1.711 \cdot [1.356 - (-1.41)] = 10.932.$$

Значення T_0 визначаємо [1]:

$$T_0(V_{\min}) = 0.00001 = 10^{-5} \%$$

Обчислимо T_Σ :

$$T_\Sigma = T_{\text{инт}} + T_D + T_0, \quad (3.23)$$

$$T_\Sigma = 5,358 \cdot 10^{-5} + 4,776 \cdot 10^{-6} + 10^{-5} = 6,836 \cdot 10^{-5}$$

$$T_{\text{дон}} = 0,03 \cdot \frac{R_0}{1600} = 0,03 \cdot \frac{16,4}{1600} = 3,075 \cdot 10^{-4}$$

Оскільки $T_\Sigma < T_{\text{дон}}$, можна дійти невтішного висновку, що зв'язок дільниці стійка.

3.5. Розрахунок дальності бездротових каналів діапазону 2,4 ГГц

Порядок розрахунку

Можливі 5 різних варіантів радіоліній, представлені у першій таблиці. Для обраного варіанта обчислюється значення посилення лінії Y (значення змінних, що входять у формули, представлені в таблицях) і на рисунку 3.4 наведено графік, за графіком визначається дальність.

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

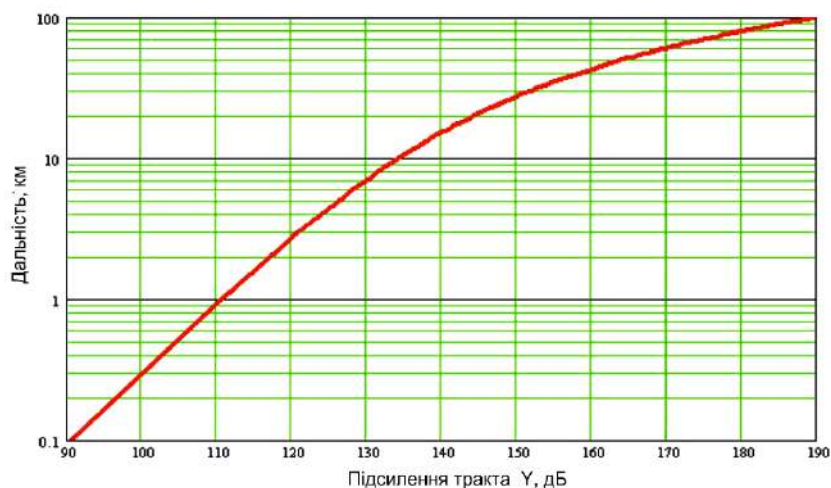


Рисунок 3.4 – Графік залежності посилення лінії Y від дальності.

Таблиця 3.1 – Порядок розрахунку: обчислюється Y і по графіку визначається дальність.

варіант радіолінії	Формула для розрахунку Y
1. З штатними антенами без підсилювачів.	$P_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$
2. З зовнішніми антенами без підсилювачів.	$P_{\text{прд}} - J_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - J_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$
3. З зовнішніми антенами і передаючими підсилювачами.	$P_{\text{ус}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - J_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$
4. З зовнішніми антенами та приймальними підсилювачами.	$P_{\text{прд}} - J_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$ (при $K_{\text{прм}} > J_{\text{прм}}$)
5. З зовнішніми антенами і прийомо-передаючими підсилювачами.	$P_{\text{ус}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} - P_{\text{min}}$ (при $K_{\text{прм}} > J_{\text{прм}}$)

У нашому випадку варіант радіолінії із зовнішніми антенами без підсилювачів.

Вихідні дані до розрахунку Y.

1. Вихідна потужність $P_{\text{прд}}$ та коефіцієнти посилення штатних антен $G_{\text{прд}}$, $G_{\text{прм}}$.

У нас вихідна потужність BU-DS.11D: $P_{\text{прд}} = 24$ дБм.

2. Реальна чутливість приймача P_{min} дБм при BER=1e-5 (залежить швидкості передачі)

У нашому випадку для BreezeNET DS.11 реальна чутливість приймача:

$P_{\text{min}} = -84$ дБм

3. Згасання в кабелі $J_{nрd}$, $J_{nрm}$ визначається як твір

Використовується кабель РК50-17-51, отже погонне згасання становить 0,09 дБ/м. У розрахунку одну антену береться 15 м кабелю. Отримуємо, що згасання в кабелі: $J_{nрd} = 0,09 \cdot 15 = 1,35$ дБ; $J_{nрm} = 0,09 \cdot 15 = 1,35$ дБ.

4. Коефіцієнт посилення антени G

Коефіцієнт посилення антени:

OD12-2400, $G_{nрd} = 12$ дБі; CA130094, $G_{nрm} = 24$ дБі.

5. Характеристики підсилювачів

Підставляємо дані у загальну формулу для значення підсилення лінії та отримуємо:

$$Y = P_{nрd} - J_{nрd} + G_{nрd} - G_{nрm} - P_{\min} = 24 - 1,35 + 12 + 24 - 1,35 - (-84) = 141,3 \text{ дБ}$$

$Y=141,3$ відповідає за графіком дальності, що дорівнює 17 км, що не суперечить розташуванню малих офісів щодо головного офісу. (3 малих офіси знаходяться від головного офісу на відстані 15 км).

Висоту установки антен за умови ідеально гладкої Землі можна визначити за наступним графіком (рис. 3.5).

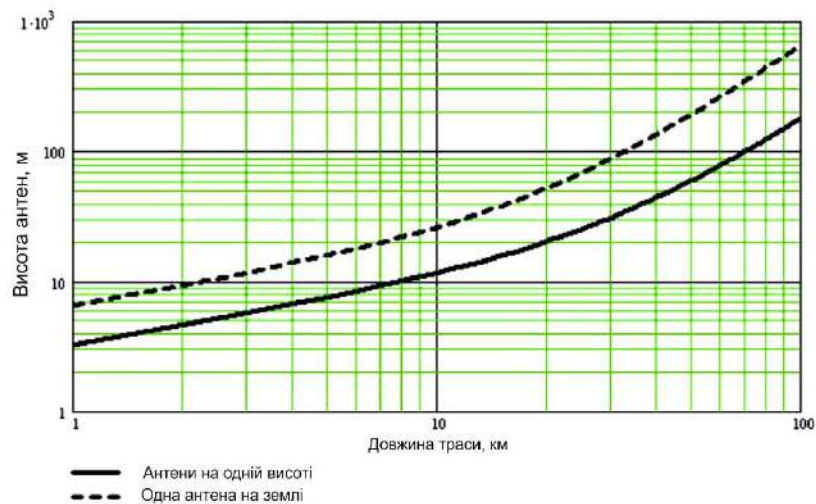


Рисунок 3.5 – Визначення висоти антени від довжини траси.

При відстані між малим офісом та головним офісом в 15 км отримуємо, що антена головного офісу має бути на висоті в 15 метрів, а антена малого офісу, з

огляду на те, що перешкоди не повинні закривати пряму видимість і з огляду на те, що Земля кругла, має бути на висоті 5 метрів.

Майже всі розрахунки в радіотехніці ведуться в децибелах. Для переведення в децибели необхідно взяти десятковий логарифм числа та помножити на 10. Наприклад, 1000000 буде дорівнює 60 дБ, а 0,001 – -30 дБ. Переваги використання децибелів у тому, що замість множення вихідних чисел досить скласти їх у децибелах, а поділу – відняти з діленого дільник, також виражені децибелах. Ще одна перевага – відсутність необхідності написання великої кількості нулів або використання показників ступеня.

Необхідно знати енергетичні параметри радіолінії, що входять у вираз для потужності корисного сигналу на вході приймача та реальну чутливість приймача. Потужність корисного сигналу в точці прийому визначається виразом:

$$P_{\text{прм}} = \frac{P_{\text{прд}} G_{\text{прд}} G_{\text{прм}} \lambda^2}{(4\pi r)^2 L_{\text{дон}} Z}, \quad (3.23)$$

Це ж вираз у децибелах має вигляд

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{прд}} + G_{\text{прд}} + G_{\text{прм}} + 20\lg\lambda - 20\lg(4\pi) - 20\lg(r) - L_{\text{дон}} - Z \quad (3.24)$$

У цих виразах використовуються такі параметри радіолінії:

$P_{\text{прд}}$ – вихідна потужність передавача Обладнання бездротових мереж зазвичай має вихідну потужність у межах від 8 до 20 дБм.

$G_{\text{прд}}$ і $G_{\text{прм}}$ – коефіцієнти посилення передавальної та приймальної антени.

Яку антену призначити передавальної, а яку приймальної - різниці немає.

Коефіцієнти посилення типових антен бездротових мереж мають значення від 2 до 24 дБі, тобто. децибел по відношенню до коефіцієнта посилення ізотропної антени, що рівномірно випромінює у всіх напрямках з одиничним підсиленням (0 дБ).

					КВРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для нашого випадку значення такі:

$$P_{\text{нр\o}} = 24 \text{ дБм}; G_{\text{нр\o}} = 12 \text{ дБі}; G_{\text{нр\m}} = 24 \text{ дБі}; \lambda = 0,125 \text{ м}; r = 15000 \text{ м};$$

$L_{\text{доп}} = 10 \text{ дБ}$, але враховуючи величину погонного згасання в кабелі загальною довжиною 30 метрів (це в розрахунку на 2 антени відразу) при $j_{\text{нр\m}} = 0,09 \text{ дБ/м}$ та $j_{\text{нр\o}} = 0,09 \text{ дБ/м}$, отримуємо:

$$L_{\text{доп}} = 10 + 0,09 \cdot (15 + 15) = 10 + 2,7 = 12,7 \text{ дБ}; Z = 5 \text{ дБ}.$$

Отже, потужність корисного сигналу в точці прийому визначаємо за виразом (3.24):

$$P_{\text{нр\m}} = 24 + 12 + 24 + 20\lg(0,125) - 20\lg(4\pi) - 20\lg(15000) - 12,7 - 5 = -81,26 \text{ дБ}$$

Далі розрахуємо висоту підвісу антен. Для орієнтовної оцінки на рівному рельєфі при однаковій висоті антен можна використовувати просту формулу, що враховує сферичність Землі та відстань між антенами. Висота підвісу антен в метрах дорівнює:

$$h_1 = h_2 = \left(\frac{r}{8,24} \right)^2 + 4,47\sqrt{x} \quad (3.25)$$

де r – відстань між антенами в кілометрах.

Коли одна антена знаходиться на рівні поверхні Землі, коефіцієнт 8,24 у формулі треба замінити на 4,12.

У нашому випадку: $h_1 = h_{\text{нр\o}} = 15 \text{ м}; h_2 = h_{\text{нр\m}} = 5 \text{ м}.$

3.5 Моделювання процесу передачі трафіку TCP за реальним РРЛ

При передачі даних радіоканалу розмір вікна передачі грає велику роль, визначаючи швидкість передачі. При недостатньому розмірі вікна передачі ресурси каналу використовуватимуться неефективно. Відправник надішле без підтвердження обсяг інформації, рівний розміру вікна і чекатиме квитанції. Якщо час передачі надісланих даних та квитанції значно, пропускна здатність каналу буде використана лише частково [2].

						КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			62

Розмір вікна передачі визначається розміром буфера передачі файлу кінцевої точки з'єднання (socket). Залежність швидкості передачі даних TCP супутниковим каналом від величини буфера передачі визначимо наступним чином.

Час передачі сегмента даних дорівнює:

$$T_1 = T_s + \frac{L_s}{C} \quad (3.26)$$

де $T_s \approx 300$ мс – час розповсюдження сигналу, у разі супутникового каналу, L_s – довжина сегмента.

Час передачі квитанції, враховуючи невеликий обсяг квитанції, вважатимемо рівним $T_2 = T_s$.

Сумарний час, що минає з моменту відправлення сегмента з даними на час отримання квитанції дорівнює (3.27)

$$T = T_1 + T_2 = 2T_s + \frac{L_s}{C} \quad (3.27)$$

Швидкість передачі даних, що знаходяться в буфері передачі, при цьому дорівнює (3.28)

$$Q = \frac{L_s}{T} = \frac{L_s}{2T_s + \frac{L_s}{C}} \quad (3.28)$$

де $T_s \approx 300$ мс, L_b – довжина буфера передачі

Для простоти вважаємо всі сегменти однаковими, проте реально останній сегмент через недостатнє місце в буфері передачі може бути меншим. Випадок передачі з прапором TCP_NODELAY, коли дані в буфері передачі не накопичуються, а відправляються в міру появи, не розглядається.

З урахуванням того, що в міру збільшення вікна, буфер передачі не буде переданий повністю на момент прийому квитанції від першого прийнятого одержувачем сегмента, верхню рівність слід переписати в наступному вигляді:

					КВРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q = \frac{L_s}{T} = \frac{\text{MIN}(L_s, 2T_s C)}{2T_1 + \frac{L_1}{C}} \quad (3.29)$$

Враховуючи також, що довжина буфера передачі може бути меншою за розмір сегмента TCP, введемо поправку на цей випадок і остаточно отримаємо:

$$Q = \frac{L_s}{T} = \frac{\text{MIN}(L_s, 2T_s C)}{2T_s + \text{MIN}\left(\frac{L_1}{C}, L_s\right)} \quad (3.30)$$

Максимальне значення швидкості передачі досягається при $L_b = C \cdot 2T_s$

Співвідношення (3.30), наприклад, визначає умова, за якої квитанція відправнику приходиться ще до того, як закінчуються дані у буфері передачі.

Теоретичний та експериментальний графіки залежності швидкості передачі від розміру буфера передачі зображені на графіках нижче (рис. 3.6).

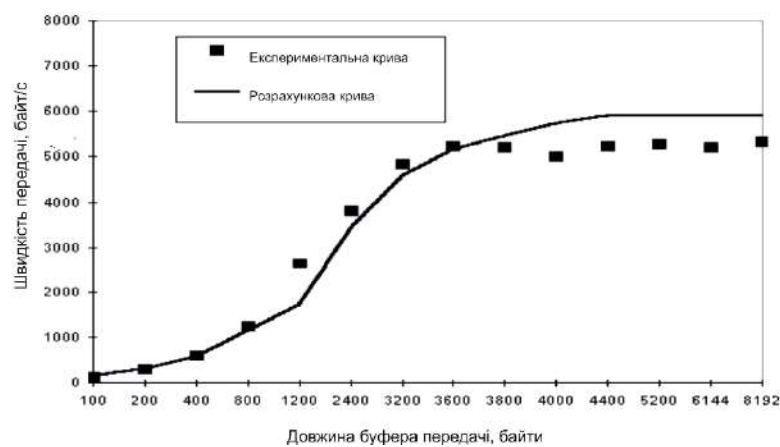


Рисунок 3.6 – Експериментальний та розрахунковий графіки залежності швидкості передачі трафіку TCP від розміру буфера передачі.

Таким чином, при швидкості 64 кБіт/с та затримці "туди-назад" 600 мс груба оцінка необхідного розміру вікна передачі дає величину приблизно 4.7 Кбайт. Імовірність збою цього обсягу даних приблизно 0.3%. Це говорить про те, що приблизно кожен тисячний секунду вміст буфера передачі повністю або частково доведеться передати повторно. Тому в нашому випадку вплив бітової

достовірності каналу на максимальну швидкість передачі даних можна знехтувати. Однак, у міру збільшення швидкості каналу та часу затримки вона збільшуватиметься.

Висновки до 3 розділу

1. Розрахунок РРЛ показав, що антена на даху будівлі, де розташований офіс клієнта, не вимагає підвісу, що обумовлено малою довжиною прольоту, відповідно нехтується малим впливом кривизни землі і тим, що офіс клієнта знаходиться вище за перешкоду. Для MINILINK коефіцієнт системи дорівнює $SG = 110\text{dB}$. Результати розрахунку стійкості зв'язку на РРЛ показали, що $T_{\Sigma} = T_{\text{дон}} (6,836 \cdot 10^{-5} < 3,075 \cdot 10^{-4})$ і що зв'язок на ділянці стійкий.

2. Встановлено, що величина чутливості приймача, визначальна мінімально необхідну для нормального прийому потужності корисного сигналу на вході приймача для бездротових мереж ліній становить в межах від -94 до -67dB ;

4. Для дослідження впливу затримок у каналі на швидкість передачі інтерактивного трафіку було проведено моделювання на супутниковому каналі 64 кБіт/с та встановлено, що середній час передачі одного пакета становив 700мс . У локальній мережі Ethernet за аналогічних умов час затримки $< 10\text{мс}$.

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Згідно з виконаними експертними даними, лінії зв'язку на основі радіорелейного обладнання в багатьох випадках можуть бути альтернативою волоконно-оптичним лініям. І справа не тільки в тому, що за довгу історію розвитку радіорелейного зв'язку обладнання постійно удосконалювалося та досягло високих технічних рівнів, а й у дешевизні радіорелейних ліній. Крім цього, використання радіорелейних технологій дозволяє оперативно розгортати та експлуатувати мережі зв'язку різної топології («зірка», «кільце» тощо). У цьому випадку на мою думку правильно розгортатиме РРЛ зв'язку.

Отримані у кваліфікаційній роботі основні результати зводяться до наступного:

- запропоновано варіанти планування РРЛ мережі та вибір діапазону частот у різних місцевостях таких як гірська місцевість, міська, розглянутий проліт над водою;

- програма розрахунку висот підвісу антен РРЛ реалізована мовою Borland Delphi 7;

- моделювання процесу передачі трафіку TCP за реальним РРЛ.

Розрахунок РРЛ показав, що антена на даху будівлі, де розташований офіс клієнта, не вимагає підвісу, що обумовлено малою довжиною прольоту, відповідно нехтується малим впливом кривизни землі і тим, що офіс клієнта перевищує перешкоди. Для дослідження впливу затримок у каналі на швидкість передачі інтерактивного трафіку було проведено моделювання на супутниковому каналі 64 кбіт/с і встановлено, що середній час передачі одного пакета склало 700мс. У локальній мережі Ethernet за аналогічних умов час затримки < 10мс.

					КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Буров Є. В. Комп'ютерні мережі: Підручник. – Львів: «Магнолія 2006», 2008. – 262 с.
2. Комп'ютерні мережі: підручник / Азаров О.Д., Захарченко С.М., Кадук О.В., Орлова М.М., Тарасенко В.П. – Вінниця: ВНТУ. – 2020. – 378 с.
3. Комп'ютерні мережі: навчальний посібник / Азаров О.Д., Захарченко С.М., Кадук О.В., Орлова М.М., Тарасенко В.П.. – Вінниця: ВНТУ. – 2013. – 371 с.
4. Буров Є. В. Комп'ютерні мережі : підручник / Є. В. Буров – Львів : «Магнолія 2006», 2013. – 264 с.
5. Ткаченко В. А. Комп'ютерні мережі та телекомунікації : навч. посібник / В. А. Ткаченко, О. В. Касілов, В. А. Рябик – Харків : НТУ «ХП», 2011. – 224 с.
6. Николайчук Я. М. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем : навч.посібник / Я. М. Николайчук, Н. Я. Возна, І. Р. Пітух – Тернопіль : ТзОВ «Терно-Граф», 2010. – 394 с.
7. Кравчук С. О. Основи комп'ютерної техніки: компоненти, системи, мережі : навч. посібник для студ. ВНЗ / С. О. Кравчук, В. О. Шанін. – К. : «Політехніка», 2005. –344 с.
8. Олексюк В. Організація комп'ютерної локальної мережі / В. Олексюк, Н. Балик, А. Балик – Тернопіль : Підручники та посібники, 2006. – 80 с.
9. Городецька, О. С. Г70 Комп'ютерні мережі : навчальний посібник / О. С. Городецька, В. А. Гикавий, О. В. Онищук. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 129 с.
10. Пакет К. Создание масштабируемых сетей CISCO / К. Пакет, Д. Тир ; [пер. з англ.]. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2003. – 672 с.
11. Комп'ютерні мережі : навч. посібник / [О. Д. Азаров, С. М. Захарченко, О. В. Кадук та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 374 с.
12. Месюра В. І. Інформаційно-пошукові системи мережі Інтернет. Ч.1. Принципи організації та функціонування Інтернет : навч. посібник / В. І. Месюра, І. Р. Арсенюк, О. М. Роїк – Вінниця : ВДТУ, 2002. – 86 с.

						КвРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			67

13. Бородкіна І. Л. Internet – технології: проектування Web–сторінки / І. Л. Бородкіна, О. В. Матвієнко. – К. : Центр навч. літератури, 2004. – 154 с
14. Building Scalable Cisco Networks, Catherine Paquet, Diane Teare. 792 с.; 2004 p.; ISBN 5-8459-0307-6, 1-5787-0228-3
15. Cisco Router Configuration Handbook (2nd Edition), David Hucaby, Steve McQuerry, Andrew Whitaker 736 с.; 2012 p.; ISBN 978-5-8459-1755-3, 978-1-58-714116-4
16. CCNA ICND2 Official Exam Certification Guide (CCNA Exams 640-816 and 640-802) (2nd Edition), Wendell Odom 736 с.; 2012 p.; ISBN 978-5-8459-1442-2, 978-1-58720-181-3
17. CCENT/CCNA ICND1 Official Exam Certification Guide, 2nd Edition, Wendell Odom 572 с.; 2011 p.; ISBN 978-5-8459-1439-2, 978-1-58-720182-0;
18. Managing Cisco Network Security First Edition, Michael Wenstrom 768 с.; 2004 p.; ISBN 5-8459-0387-4, 1-5787-0103-1
19. 802.11 Wireless Local-Area Network Fundamentals, Pejman Roshan, Jonathan Leary 304 с.; 2004 p.; ISBN 5-8459-0701-2, 1-5870-5077-3;.
20. Telecommunications Technologies Reference, Brad Dunsmore, Toby Skandier 640 с.; 2004 p.; ISBN 5-8459-0562-1, 1-5870-5036-6;

					КВРТР.2019033.01.12 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

ДОДАТОК А

Лістинг програми реалізації розрахунку висот підвісу антен РРЛ

```
unit Unit1; interface uses
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, StdCtrls;
type
TForm1 = class(TForm)
GroupBox1; TGroupBox1;
Label 1: TLabel;
Label 2: TLabel;
Label 3 TLabel;
Label 4: TLabel;
Label 5:
    TLabel;
Label 6: TLabel;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Label7: TLabel;
Label8: TLabel;
Label9: TLabel;
Label10: TLabel;
Label11: TLabel;
Label12 TLabel;
GroupBox2:
    TGroupBox;
Label113; TLabel;
Label114; TLabel;
Label115; TLabel;
Label116; TLabel;
Button1: TButton;
Button2: TButton;
Button3: TButton;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject); private
{Private declarations} public
{Public declarations}end; var
Form1: TForm1; implementation {SR* dfm}
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject); varf,RO,Rl,CD,-
MN,ZY,kl,HO,deltaH,HOO,hl,h2,lyamda:real;
```

```


begin
f:=StrToFloat(Edit1
Text); RO: = StrToFloat
(Edit2. Text); RL: =
StrToFloat (Edit3. Text);
CD: = StrToFloat (Edit4.
Text); "MN: =
StrToFloat(Edit5. Text);
ZY: = StrToFloat(Edit6.
Text);
lyamda: = 300000000/(f * 1 000000000);
kl: = RL/RO;
HO: = sqrt((RO * 1000 * lyamda * kl * (1-kl))/3); deltaH:--sqrt(RO * 1000) * (2 *
1e-8 * kl * (1-kl))/4HOO: = HO-deltaH;
h1:=MN+HOO-CD;
h2:=MN+HOO-ZY;
Labell5.Caption:=FloatToStr(h1);
Labell6.Cation:=FloatToStr(h2); end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender:TObject);
begin
Edit1.Text: =";
Edit2.Text: = lf
;Edit3.Text: =
M;
Edit4.Text:-
'
;
Edit5.Text:
=";
Edit6.Text:
=";
Label 15. Caotion: =";
Label 16. Caption:=
Procedure
TForm1.Button3Click(Sender:TObject);
begin
Form1.
Close;
end;
end.

```

ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра автоматизації
та комп'ютерно-інтегрованих технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
РАДІОРЕЛЕЙНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ
РІЗНИХ УМОВ МІСЦЕВОСТІ**



Виконав:
студент групи ТРС-19-1 Янчук В.О.

Науковий керівник:
кандидат військових наук, доцент Лужанський В.І.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Мета роботи: вирішення актуальної задачі детального дослідження поширення хвилі в РРЛ для різних місцевостей.

Вихідні дані:

- Етапи розвитку телекомунікаційних систем
- Основні засади якості обслуговування в IP-мережах
- Аналіз роботи механізму запобігання перевантаженню
- Дослідження роботи механізму WRED
- Розрахунок вимог щодо якості обслуговування в IP-мережах

Що таке радіорелейний зв'язок та навіщо потрібні РРС системи?

РРС – радіорелейний зв'язок (Relais – проміжна станція) - радіозв'язок за допомогою кількох приймально-передавальних радіостанцій, що знаходяться один від одного в зоні прямої видимості антен.

Основні переваги сучасних РРЛ зв'язку:

- швидке розгортання ліній зв'язку при відносно невеликих фінансових інвестиціях;
- можливість безперешкодного проходження мережі над транспортними магістралями, над водними поверхнями;
- висока рентабельність експлуатації РРМ мереж;
- мінімальна вартість експлуатації мереж;
- фактивна організація якісного зв'язку у складних географічних та кліматичних умовах;
- агатофункціональне використання каналів зв'язку для передачі голосової та відеоінформації, електронних документів, забезпечення доступу до мережі Інтернет;
- ефективне використання смуги частот;
- відновлення зв'язку в районах стихійних лих при рятувальних операціях.

РРС системи класифікують за такими ознаками:

- **швидкість передачі** (високошвидкісні, середньошвидкісні, низькошвидкісні);
- **ємність радіорелейної лінії** (великої ємності, середньої місткості, малоканалні);
- **за кількістю прольотів** – однопрогонові, багатопрольотні.

Як визначити чи є пряма видимість?

$$D = 3,557 (H1 + H2)$$

де D – дальність прямого зв'язку, км;
H1 та H2 – висоти приймально-передавальних антен радіостанцій.



Загальні принципи побудови ЦРРЛ і особливості сучасної апаратури

СТАНЦІЇ:

- кінцеві
- проміжні
- вузлові

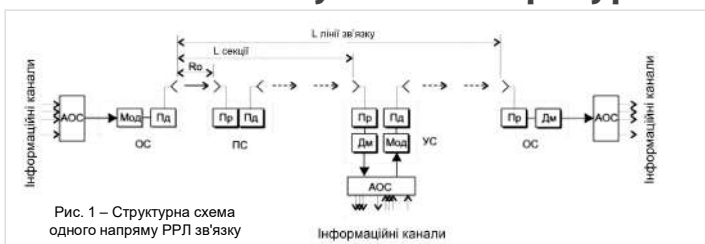


Рис. 1 – Структурна схема одного напрямку РРЛ зв'язку



Рис. 5 – Система передачі сигналів

Розподіл робочих частот для системи РРЛ, що працює в діапазоні 11 ГГц

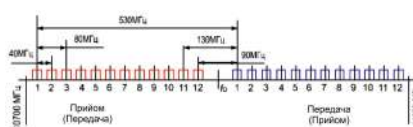


Рис. 6 – Приклад плану розподілу робочих частот

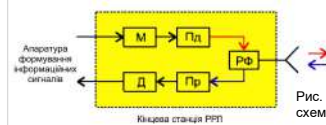


Рис. 2 – Спрощена структурна схема кінцевої станції

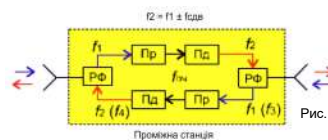


Рис. 3 – Проміжна станція

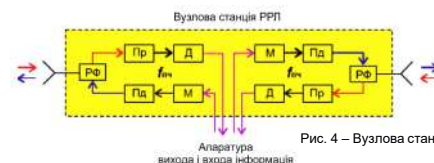


Рис. 4 – Вузлова станція

Особливості побудови апаратури ЦРРЛ

Апаратура, що працює в діапазоні вище 10 ГГц, має невеликі габарити та розташовується на вершині антенної опори, об'єднана в єдиний блок з антеною.

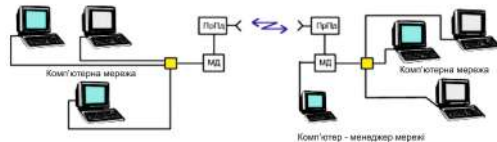


Рис. 3 – Схема організації системи зв'язку між локальними комп'ютерними мережами

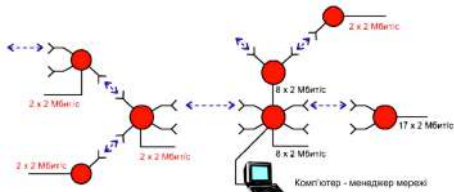


Рис. 4 – Різні типи станцій РРЛ, що працюють із різними цифровими потоками

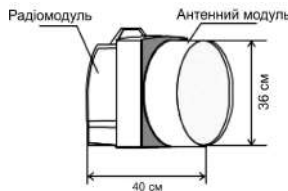


Рис. 1 –Конструктивного виконання приймального блоку цифрової апаратури MINI-LINK

Мікрохвильові багатоканальні мережі розподілу інформації (MMDS, MVDS, LMDS) можуть бути доповненням та конкурентом для систем кабельного, радіорелейного та супутникового зв'язку.

Розташування модулів апаратури на антенній опорі



Рис. 2

Вибір місць розміщення станцій РРЛ, побудова профілів прольотів і вибір величин підвіси антен

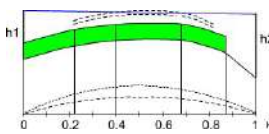


Рис. 1 – Поздовжній профіль прольоту

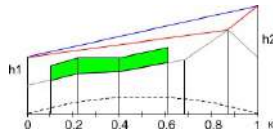


Рис. 4

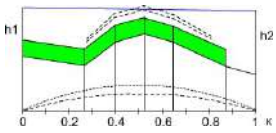


Рис. 2 – Поздовжній профіль прольоту з переставленою антеною опору

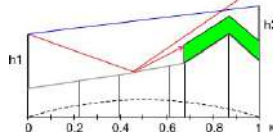


Рис. 5

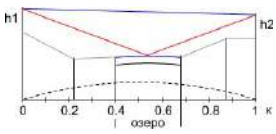


Рис. 3 – Поздовжній профіль

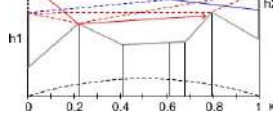


Рис. 6

Основні критерії для вибору прослівів

Критерій	R 0 км	Δh атм
Величина прольоту повинна відповідати радіусу першої зони Френеля за нормальної атмосферної рефракції для даної місцевості.	буль- ників	1,333
Величина прольоту має бути більшою або дорівнює нулю при субрефракції	Δ 15 >15	0,5 0,7

Радіус першої зони Френеля: де R_0 – протяжність прольоту, км, f – робоча частота, (ГГц), k – відносна координата найвищої точки на трасі.

$$R_{1\phi} = 17,3 \sqrt{\frac{R_0 k (1-k)}{f}} \quad (1)$$

Еквівалентний радіус Землі: де a – геометричний радіус Землі (6370 км), g – вертикальний градієнт діелектричної проникності атмосфери (1/м).

$$a_s = \frac{a}{1 + \frac{a \times g}{2}} \quad (2)$$

Коефіцієнт заломлення атмосфери:

$$K_{атм} = \frac{1}{1 + \frac{a \times g}{2}} \quad (3)$$

$K_{атм}$ - коефіцієнт заломлення атмосфери, що є відношенням еквівалентного радіусу Землі (при атмосферній рефракції) до геометричного радіусу Землі

Виконання експерименту

Радіохвилі дециметрового та сантиметрового діапазонів поширюються в основному за рахунок поверхневої хвилі прямолінійно. Тому зв'язок з її допомогою може бути організована лише на дальності прямої видимості. Для того щоб максимально збільшити відстань прямої видимості між РРС, їх антени встановлюють на щоглах або вежах заввишки 70 - 100 м і на можливості на піднесених місцях залежно від профілю рельєфу

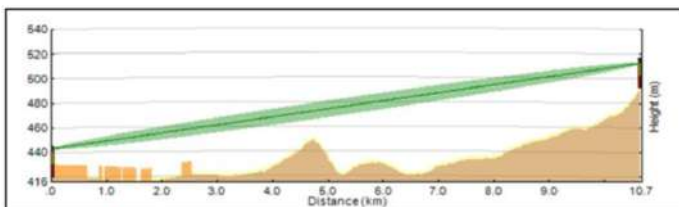
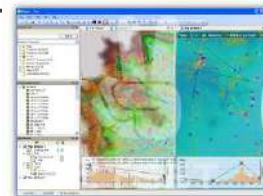


Рис. 1 – Відстань прямої видимості

Максимальна дальність радіорелейного зв'язку визначається не тільки фізичною прямою видимістю, але й радіовидимістю (для високих частот, щоб 1-а зона Френеля не стосувалася поверхні), яка залежить від:

- частотного діапазону використовуваних РРС,
- ємності ствола (швидкість потоку),
- діаметра антен.

На рівнинній місцевості відстань між РРС зазвичай становить 40-70 км.

Проведено експеримент за допомогою програм:



Виконання експерименту

Різні частоти, вибір пропускної спроможності та типу модуляції.

MINI-LINK TN забезпечує організацію радіоканалів від 2x2 до 32x2 Мбіт/с у частотних діапазонах від 7 до 38 ГГц, з використанням схем модуляції **C-QPSK** та **16 QAM**.

Таблиця 1 – Отримані дані щодо розрахунку РРЛ прольоту для 18 Ghz антени

Link Properties			
Equipment Type	AMM	0	
Site Name	-	SH5233	SH5235
Tower Coordinates	Degrees	69.013725 41.723983	69.063006 41.635519
Elevation (AMSL)	m	420.1	492.6
TX Azimuth	deg	153.31	#TBD#
Distance	km	10.68	
TX Antenna	-	ML18 0.6m HP 2 R2	ML18 0.6m HP 2 R2
Type of Construction	-	0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	24.5	24.5
TX Height On Tower	m	23	20
Frequency	MHz	17727.5	18737.5
Channel Bandwidth	MHz	14	
Modulation type	-	QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)	Mbit/s	45	
Protection Mode	-	0	
Polarization	-	V	V
TX Radio	-	MLT18_2X045_4A S	MLT18_2X045_4A S
TX Power	-	18	18
RX Level	-	-42.98	-42.98
VLAN ID	26/70	0	
MDU ID	-	0	
DCN Configuration			
Basic NE	IP Address	0	
	Subnet Mask	0	
OSPF Area	Network Address	0	
	Subnet Mask	0	
	Area	0	



SH5233-SH5235

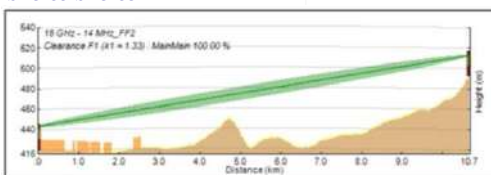


Рис. 2 – Відстань прямої видимості

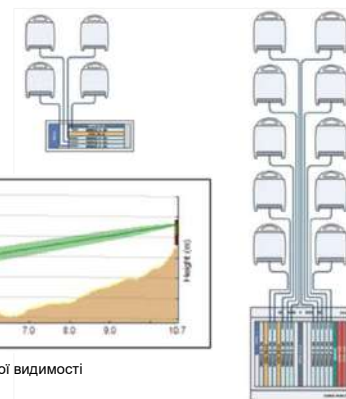


Рис. 1 – Приклади конфігурацій

Виконання експерименту

Розрахунки РРЛ прольоту для різних частот антени

SH5233-SH5235

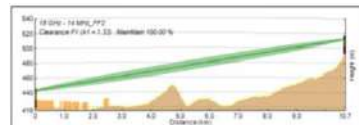


Рис. 1 – Відстань прямої видимості

Таблиця 2 – Отримані дані щодо розрахунку РРЛ прольоту для 23 Ghz антени

Link Properties			
Equipment Type	-	AMM	0
Site Name	-	SH5233	SH5235
Tower Coordinates	Degrees	69.013725 41.723983	69.063006 41.635519
Elevation (AMSL)	m	420.1	492.6
TX Azimuth	deg	153.31	333.31
Distance	km	10.68	
TX Antenna	-	ML23 0.6m HP_2 R2	ML23 0.6m HP_2 R2
Type of Construction		0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	24.5	24.5
TX Height On Tower	m	23	20
Frequency	MHz	21502	22702
Channel Bandwidth	MHz	14	
Modulation type		QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)	Mbit/s	45	
Protection Mode		0	0
Polarization	-	V	V
TX Radio	-	MLT23_2X 043_16A S	MLT23_2X 043_16A S
TX Power	-	18	18
RX Level	-	+43.08	+43.08
VLAN ID	2G/3G	0	0
MMU ID		0	0
DCN Configuration			
Basic NE	IP Address	0	
	Subnet Mask	0	
OSPF Area	Network Address	0	
	Subnet Mask	0	
	Area	0	

Таблиця 3 – Отримані дані щодо розрахунку РРЛ прольоту для 28 Ghz антени

Link Properties			
Equipment Type	-	AMM	0
Site Name	-	SH5233	SH5235
Tower Coordinates	Degrees	69.013725 41.723983	69.063006 41.635519
Elevation (AMSL)	m	420.1	492.6
TX Azimuth	deg	153.31	333.31
Distance	km	10.68	
TX Antenna	-	ML28 0.6m HP_2 R2	ML28 0.6m HP_2 R2
Type of Construction		0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	24.5	24.5
TX Height On Tower	m	23	20
Frequency	MHz	27849.5	28857.5
Channel Bandwidth	MHz	14	
Modulation type		QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)	Mbit/s	45	
Protection Mode		0	0
Polarization	-	V	V
TX Radio	-	MLT28_2X 045_16S S	MLT28_2X 045_16S S
TX Power	-	18	18
RX Level	-	+40	+40
VLAN ID	2G/3G	0	0
MMU ID		0	0
DCN Configuration			
Basic NE	IP Address	0	
	Subnet Mask	0	
OSPF Area	Network Address	0	
	Subnet Mask	0	
	Area	0	

Виконання експерименту

Розрахунки РРЛ прольоту для різних частот антени

SH5233-SH5235

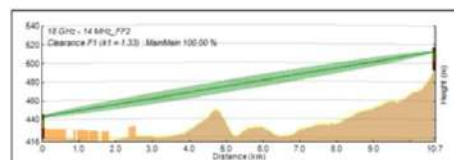


Рис. 1 – Відстань прямої видимості

Прольоті рівні tx+24 rx-39.1 відповідають даним виміряною вище програмою Mentum Ellipse при 10км з 0,6 антенами.

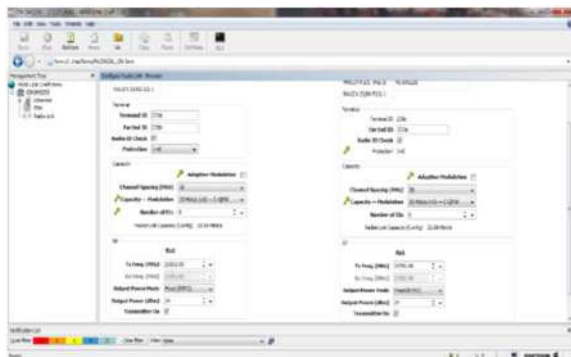


Рис. 2 – Дані з розрахунку РРЛ прольоту для 23Ghz антени, із заданими конфігураціями

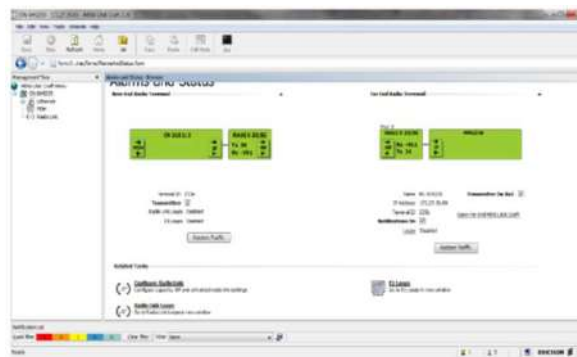


Рис. 3 – Рівень РРЛ прольоту з антеною 23Ghz, із заданими конфігураціями

Виконання експерименту

AL5221-AL3046

Розрахунки РРЛ прольоту для різних частот антени

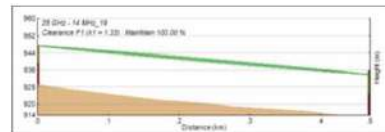


Рис. 1 – Розрахунковий рівень РРЛ прольоту при 0,6 антени

Таблиця 3 –Розрахунковий рівень прольоту при параболі 0,6 антенні

Link Properties			
Equipment Type	AMM	exist	
Site Name	-	AL5221	AL3046
Tower Coordinates	Degrees	76.942595 43.219562	76.936855 43.219044
Elevation (AMSL)	m	929.4	914.9
TX Azimuth	deg	261.64	81.64
Distance	km	0.47	
TX Antenna	-	ML28 0.6m HP _2 R2	ML28 0.6m HP _2 R2
Type of Construction	m	0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	18	20
TX Height On Tower	m	18	19
Frequency	KHz	28087.5	29095.5
Channel Bandwidth	MHz	14	
Modulation type		128QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)	Kbit/s	72	
Protection Mode		1+0	1+0
Polarization		V	V
TX Radio	-	MLT28_2X_072_128S S	MLT28_2X_072_128S S
TX Power	dBm	-5	-5
RX Level	dBm	-34.06	-34.96
VLAN ID	2G/3G	0	0
MMU ID		A21a	A46f
DCN Configuration			
Basic NE	IP Address	0	
	Subnet Mask	0	
	Network Address	0	
OSPF Area	Address	0	
	Subnet Mask	0	
	Area	0	

Таблиця 4 – Розрахунковий рівень РРЛ прольоту при параболі 0,3 антени

Link Properties			
Equipment Type	-	exist	
Site Name	Degrees	AL5221	AL3046
Tower Coordinates	m	76.942595 43.219562	76.936855 43.219044
Elevation (AMSL)	deg	929.4	914.9
TX Azimuth	km	261.97	82.96
Distance	-	0.47	
TX Antenna	-	ML28 0.3m HP _2 R1	ML28 0.3m HP _2 R1
Type of Construction	m	0	0
Building Height	m	0	0
Tower Height	m	18	20
TX Height On Tower	MHz	18	19
Frequency	MHz	28087.5	29095.5
Channel Bandwidth		14	
Modulation type	Mbit/s	128QAM	
Total Link Capacity (TDM + IP)		72	
Protection Mode		1+0	1+0
Polarization		V	V
TX Radio	-	MLT28_2X_072_128S S	MLT28_2X_072_128S S
RAU ID	dBm	42	46
TX Power	dBm	3	3
RX Level	2G/3G	-35.86	-36.16
VLAN ID		0	0
MMU ID		A21a	A46f
DCN Configuration			
Basic NE	IP Address	0	
	Subnet Mask	0	
	Network Address	0	
OSPF Area	Subnet Mask	0	
	Area	0	

Налаштування репітера

Репітер – це повторювач сигналу (*Repeater – Ретранслятор*) Репітер/ретранслятор призначений для передачі сигналу, повторення частоти та амплітуди.

В основі репітера-ретранслятора закладено двосторонній підсилювач сигналу мобільного зв'язку.

Вимірювальний прилад – це багатопільові вимірювальні прилади для вимірювання різних параметрів електричних кіл та електроніку



Рис. 1 – із спеціальною насадкою для приймання передавача обладнання Ericsson Mini-Link

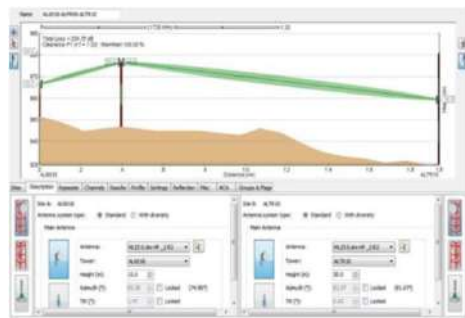
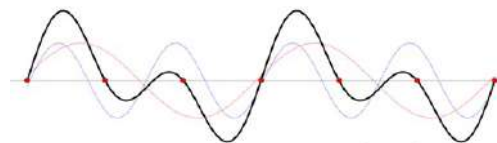


Рис. 2 – РРЛ через пасивний репітер



Розрахунок обладнання РРЛ для організації бездротового зв'язку між підприємством

1. Розрахунок висот підвісу антен

Кривизна Землі для середини прольоту, у цій точці ця величина буде максимальною:

$$z_1 := R_0^2 \cdot 10^3 \cdot \frac{k \cdot (1-k)}{2 \cdot a} \quad (1)$$

$$z_1 := 16,4^2 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,768 \cdot (1-0,768)}{2 \cdot 6370} = 3,762 \text{ м}$$

Радіус мінімальної зони Френеля у будь-якій точці прольоту

$$H_0 := \sqrt{R_0 \cdot 10^3 \cdot \lambda \cdot \frac{k \cdot (1-k)}{3}} \quad (2)$$

$$H_0 := \sqrt{16,4 \cdot 10^3 \cdot 0,023 \cdot \frac{0,768 \cdot (1-0,768)}{3}} = 4,733 \text{ м}$$

Середнє збільшення просвіту за рахунок рефракції, існує протягом 80% часу: $\Delta H(g+\sigma) = -(R_0)^2 \cdot \frac{(g+\sigma) \cdot k \cdot (1-k)}{4}$ (3)

$$\Delta H(g+\sigma) = -(16,4 \cdot 10^3)^2 \cdot \frac{(-13 \cdot 10^8 + 10 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,768 \cdot (1-0,768)}{4} = 0,359 \text{ м}$$

Величину просвіту без рефракції радіохвиль

$$H(0) = H_0 - \Delta H(g+\sigma) = 4,733 - 0,359 = 4,374 \quad (4)$$

Вихідні дані: Розрахунок радіорелейної лінії

- кліматичний район: Західна Україна;
- середня частота: $f = 13$ ГГц;
- довжина прольоту РРЛ: $R_0 = 164$ км;
- відстань до максимальної висоти рельєфу: $R_1 = 12,6$ км;
- CD = 615 м (висота будівлі 19 м плюс висота поверхні над рівнем моря 596 м);
- MN = 613 м (висота будівлі (максимально висока будівля вздовж прольоту РРЛ) близько 10 метрів плюс висота поверхні над рівнем моря (603 м));
- ZY = 619 м (висота будівлі офісу клієнта близько 21 метр плюс висота поверхні над рівнем моря 598 м);
- ширина перешкод: $\gamma = 14$ м.

Параметри цифрової релейної апаратури MINI-LINK 13-E:

- коефіцієнт системи, дБ: SG = 110;
- діаметр антени, м: $D_a = 0$,

Висоти підвісу антен

$$h_1 = NM + H(0) + Z_1 - CD \quad (5)$$

$$h_2 = NM + H(0) + Z_1 - ZY \quad (6)$$

$$h_1 = 613 + 4,374 + 3,762 - 615 = 2,374 \text{ м}$$

$$h_2 = 613 + 4,374 + 3,762 - 619 = -1,626 \text{ м}$$

13

Розрахунок обладнання РРЛ для організації бездротового зв'язку між підприємством

Прийняті позначення:

- A_1, A_2 – приймально-передавальні антени РРЛ;
- h_1, h_2 – висоти підвісу антен;
- CD, MN, ZY – висоти місцевості;
- M – критична точка (вершина перешкоди);
- Z_1 – реальна кривизна Землі;
- $H(0)$ – просвіт на прольоті за відсутності рефракції;
- $\Delta H(g+a)$ – середнє значення зміни просвіту за рахунок рефракції, що існує протягом 80% часу;
- $H(g+a)$ просвіт на прольоті, що існує протягом 80% часу, який зазвичай беруть рівним H_0 .



Рис. 1 – Прийнято позначення для профілю прольоту РРЛ.

3. Енергетичний розрахунок РРЛ та програмна реалізація визначення висоти підвісу антен РРЛ

Ослаблення сигналу на шляху розповсюдження між антенами за рахунок сферичної розбіжності фронту хвилі:

$$L_0 = 20(\log(f) + \log(R_0)) + 32,45 \quad (1)$$

$$L_0 = 20(\log(13000) + \log(16,4)) + 32,45 = 139,026 \text{ дБ}$$

$$\text{Підсилення антени: } G_a = 20(\log(f) + \log(D_a)) + 18,45 \quad (2)$$

$$G_a = 20(\log(13) + \log(0,6)) + 18,45 = 36,292 \text{ дБ}$$

$$\text{Запас на завмирання: } F_i = SG + G_{\text{про}} + G_{\text{прм}} + L_0 - 2 \cdot \eta \quad (3)$$

$$F_i = 110 + 36,292 + 36,292 - 139,026 - 5 = 38,558 \text{ дБ}$$

14

Розрахунок обладнання РРЛ для організації бездротового зв'язку між підприємством

4. Розрахунок стійкості зв'язку

Глибоки завмирання на прольоті

$$T_{пр}(V_{мін}) = T_0(V_{мін}) + T_{ИТТ}(V_{мін}) + T_{д}(V_{мін}) \quad (1)$$

T_0 – враховує екрануючу дію перешкоди;

$T_{ИТТ}$ – враховує інтерференцію прямого та відбитого променів (явище багатопроменевого поширення), відображення радіохвиль від Землі враховується, як правило, лише при слабопересічених прольотах;

$T_{д}$ – ослаблення сигналу через дощі.

$$T_{\Sigma} = 5,358 \cdot 10^{-5} + 4,776 \cdot 10^{-6} + 10^{-5} = 6,836 \cdot 10^{-5}$$

$$T_{доп} = 0,03 \cdot \frac{R_0}{1600} = 0,03 \cdot \frac{16,4}{1600} = 3,075 \cdot 10^{-4}$$

Оскільки $T_{\Sigma} < T_{доп}$, можна дійти невтішного висновку, що зв'язок дільниці стійка.

5. Розрахунок дальності бездротових каналів діапазону 2,4 ГГц

Порядок розрахунку: обчислюється підсилення лінії Y і по графіку визначається дальність

Варіант радіолінії	Формула для розрахунку Y
1. 3 штатними антенами без підсилювачів.	$P_{прд} + G_{прд} + G_{прм} - P_{мін}$
2. 3 зовнішніми антенами без підсилювачів.	$P_{прд} - J_{прд} + G_{прд} + G_{прм} - J_{прм} - P_{мін}$
3. 3 зовнішніми антенами і передаючими підсилювачами.	$P_{ус} + G_{прд} + G_{прм} - J_{прм} - P_{мін}$
4. 3 зовнішніми антенами та приймальними підсилювачами.	$P_{прд} - J_{прд} + G_{прд} + G_{прм} - P_{мін}$ (при $K_{прм} > J_{прм}$)
5. 3 зовнішніми антенами і прямо-передаючими підсилювачами.	$P_{ус} + G_{прд} + G_{прм} - P_{мін}$ (при $K_{прм} > J_{прм}$)

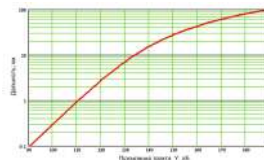


Рис. 1 – Графік залежності підсилення лінії Y від дальності

У нашому випадку варіант радіолінії із зовнішніми антенами без підсилювачів.

$$Y = P_{прд} - J_{прд} + G_{прд} - G_{прм} - P_{мін} = 24 - 1,35 + 12 + 24 - 1,35 - (-84) = 141,3 \quad (2)$$

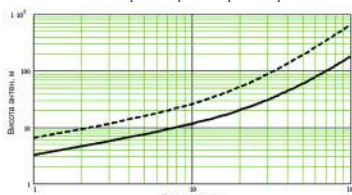


Рис. 2 – Визначення висоти антени від довжини траси

Потужність корисного сигналу в точці прийому:

$$P_{прм} = \frac{P_{прд} G_{прд} G_{прм} \lambda^2}{(4\pi r)^2 L_{доп} Z} \quad (3)$$

$$P_{прм} = P_{прд} + G_{прд} + G_{прм} + 20 \lg \lambda - 20 \lg(4\pi) - 20 \lg(r) - L_{доп} - Z$$

$$P_{прм} = 24 + 12 + 24 + 20 \lg(0,125) - 20 \lg(4\pi) - 20 \lg(15000) - 12,7 - 5 = -81,26$$

Висота підвісу антен:

$$h_1 = h_2 = \left(\frac{r}{8,24} \right)^2 + 4,47 \sqrt{x} \quad (4)$$

У нашому випадку: $h_1 = h_{прд} = 15$ м; $h_2 = h_{прм} = 5$ м.

Розрахунок обладнання РРЛ для організації бездротового зв'язку між підприємством

6. Моделювання процесу передачі трафіку TCP за реальним РРЛ

Залежність швидкості передачі даних TCP супутниковим каналом від величини буфера передачі

Час передачі сегмента даних $T_1 = T_s + \frac{L_s}{C} \quad (1)$

де $T_s \approx 300$ мс – час розповсюдження сигналу, у разі супутникового каналу, L_s – довжина сегмента.

Час передачі квитанції, враховуючи невеликий обсяг квитанції, вважатимемо рівним $T_2 = T_s$.

Сумарний час, що минає з моменту відправлення сегмента з даними на час отримання квитанції:

$$T = T_1 + T_2 = 2T_s + \frac{L_s}{C} \quad (2)$$

Швидкість передачі даних, що знаходяться в буфері передачі:

$$Q = \frac{L_s}{T} = \frac{L_s}{2T_s + \frac{L_s}{C}} \quad (3)$$

Визначення умови, за якої квитанція відправнику приходить ще до того, як закінчуються дані у буфері передачі

$$Q = \frac{L_s}{T} = \frac{\text{MIN}(L_s, 2T_s C)}{2T_s + \text{MIN}\left(\frac{L_s}{C}, L_s\right)} \quad (4)$$

Теоретичний та експериментальний графіки залежності швидкості передачі від розміру буфера передачі

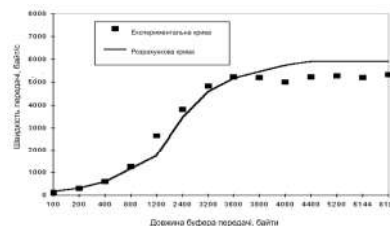
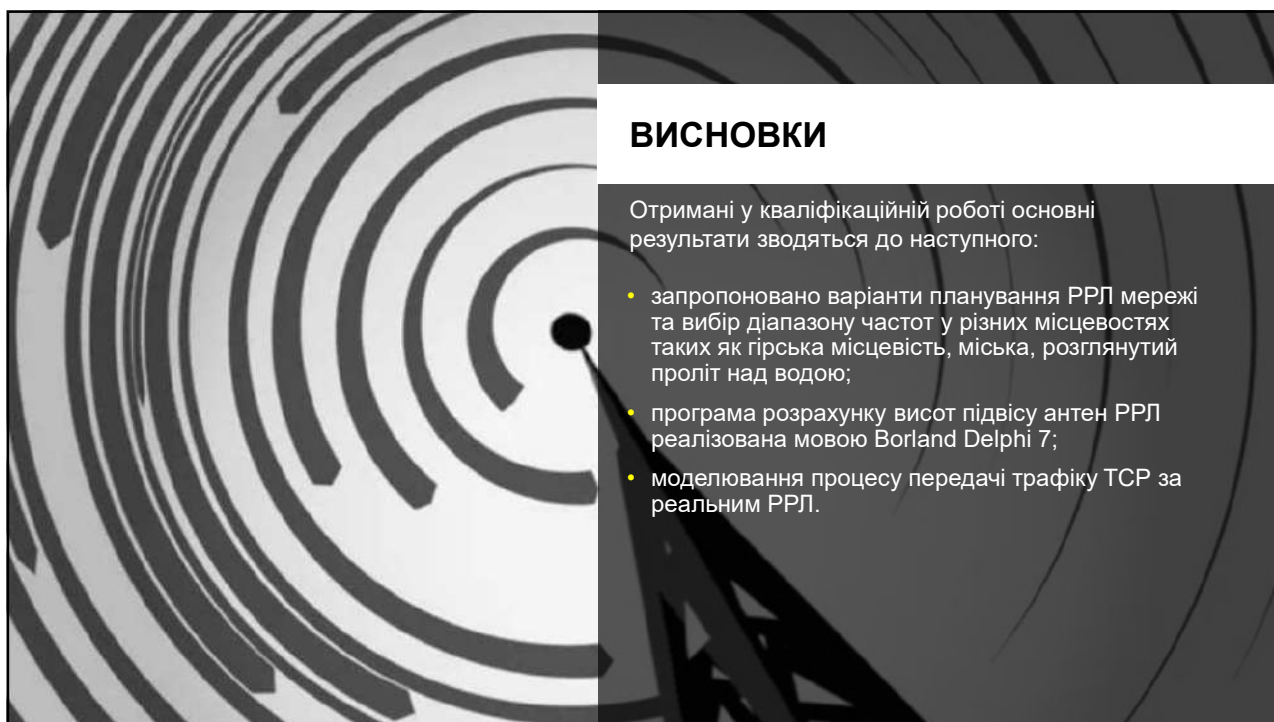


Рис. 1 – Експериментальний та розрахунковий графіки залежності швидкості передачі трафіку TCP від розміру буфера передачі

Таким чином, при швидкості 64 кБіт/с та затримці "туди-назад" 600 мс груба оцінка необхідного розміру вікна передачі дає величину $\approx 4,7$ Кбайт. Імовірність збою цього обсягу даних приблизно 0,3%. Це говорить про те, що приблизно кожну тисячну секунду вміст буфера передачі повністю або частково доведеться передати повторно.

Тому в нашому випадку вплив бітової достовірності каналу на максимальну швидкість передачі даних можна знехтувати. Однак, у міру збільшення швидкості каналу та часу затримки вона збільшуватиметься.



ВИСНОВКИ

Отримані у кваліфікаційній роботі основні результати зводяться до наступного:

- запропоновано варіанти планування РРЛ мережі та вибір діапазону частот у різних місцевостях таких як гірська місцевість, міська, розглянутий проліт над водою;
- програма розрахунку висот підвісу антен РРЛ реалізована мовою Borland Delphi 7;
- моделювання процесу передачі трафіку TCP за реальним РРЛ.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

- Доповідь завершено

Завідувачу кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій
д.т.н., професору Мартинюку В.В,
здобувача вищої освіти
Янчука В.О.
ФІТ, гр. ТР1с-19-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

25 травня 2022 р.

дата



підпис

Ім'я користувача:
Кафедра АКІТІТК

ID перевірки:
1011528512

Дата перевірки:
09.06.2022 22:46:19 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet

Дата звіту:
09.06.2022 22:46:37 EEST

ID користувача:
100005862

Назва документа: КвРТР_ЯНЧУК_ТР1с-19-1

Кількість сторінок: 67 Кількість слів: 11060 Кількість символів: 82272 Розмір файлу: 4.88 MB ID файлу: 1011401741

16.5% Схожість

Найбільша схожість: 6.35% з Інтернет-джерелом (http://ni.biz.ua/2/2_10/2_10718_obshchie-printsipi-postroeniya-tsrrr-i-o..)

16.5% Джерела з Інтернету

28

Сторінка 69

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

126

Fri Jun 10 12:16:47 EEST 2022, Федун Микола Валентинович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 3.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 7%

ID: 104999 Назва: Бакалаврська кваліфікаційна робота Додано в БД: 2022-06-10 Автор: Янчук В. Руководитель: Лужанський В.І. Консультант: Опоненти:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	76947	597	3793 (5%)	50 (8%)

Источники плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

РІШЕННЯ

кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Особливості розповсюдження радіохвиль в радіорелейних лініях зв'язку для різних умов місцевості

Автор: Янчук Володимир Олегович

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: к.в.н., доцент Лужанський Віктор Ігорович

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

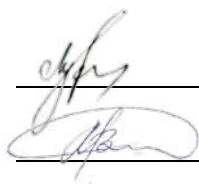
№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	-
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	відповідає
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	-
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	-
5	Інше:	-

Підтвердження: Виявленні запозичення не є плагіатом так як розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження (є власні терміни, визначення тощо), складають 16,5% та мають посилання на приведений список літературних джерел.

«09» червня 2022 р.

Науковий керівник

Завідувач кафедру АКІТ



Лужанський В.І.

Мартинюк В.В.

ВІДГУК

на кваліфікаційну роботу
студента групи ТР1с-19-1 Янчука В.О.

«ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РАДІОРЕЛЕЙНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ РІЗНИХ УМОВ МІСЦЕВОСТІ»

Згідно з виконаними експертними даними, лінії зв'язку на основі радіорелейного обладнання в багатьох випадках можуть бути альтернативою волоконно-оптичним лініям. І справа не тільки в тому, що за довгу історію розвитку радіорелейного зв'язку обладнання постійно удосконалювалося та досягло високих технічних рівнів, а й у дешевизні радіорелейних ліній. Крім цього, використання радіорелейних технологій дозволяє оперативно розгортати та експлуатувати мережі зв'язку різної топології («зірка», «кільце» тощо). У цьому випадку на мою думку правильно розгортатиме РРЛ зв'язку.

У даній кваліфікаційній роботі розглянуто дослідження поширення радіохвиль в радіо релейних лініях щодо різних типів місцевості. Розглянуто питання щодо вибору обладнання, та найкращі варіанти під час планування РРЛ мережі. Розроблено метод аналізу та забезпечення надійності безперебійної роботи мережі. Наведено результати чисельних досліджень розробленої моделі.

Під час роботи над кваліфікаційною роботою Янчук В.О. виконав детальний аналіз вітчизняної, закордонної технічної літератури та патентних матеріалів, що дозволило прийняти оптимальні рішення під час виконання роботи.

Під час виконання роботи Янчук В.О. проявив креативність, ініціативність, старанність, наполегливість, здатність та вміння застосовувати набуті знання для вирішення складних завдань, обізнаність у сучасних системних та інформаційних технологіях.

Кваліфікаційну роботу виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних телекомунікацій, а студент Янчук В.О. заслуговує оцінки «добре».

Керівник:
к.в.н., доцент



Лужанський В.І.

МІНІСТЕРСТВО ОВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Янчук Володимир Олегович

Тема роботи: Підвищення ефективності радіорелейних ліній зв'язку для різних умов місцевості

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи

Кількість листів креслень 0 Кількість сторінок записки 66

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень в результаті виконаного наукового дослідження Мета кваліфікаційної роботи полягає в експериментальному дослідженні впливу параметрів алгоритму WRED на якість передачі і знаходження оптимальних значень параметрів для запобігання перевантаженням в мережах передачі даних. Тобто вирішення актуальної задачі детального дослідження поширення хвилі в РРЛ для різних місцевостей. У даному кваліфікаційній роботі розглянуто дослідження поширення радіохвиль в радіо релейних лініях щодо різних типів місцевості. Розглянуто питання щодо вибору обладнання, та найкращі варіанти під час планування РРЛ мережі. Розроблено метод аналізу та забезпечення надійності безперебійної роботи мережі. Наведено результати чисельних досліджень розробленої моделі. У роботі проведені експериментальні дослідження, та представлена розрахункова частина.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню Кваліфікаційна робота відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки та техніки і передових методів роботи: У першому розділі розглянуто загальні принципи побудови ЦРРЛ і особливості сучасної апаратури. Представлені аналітична та імітаційна моделі роботи вузла з метою визначення значень затримки, втрати та пропускної спроможності. Проведено порівняння результатів аналітичного та імітаційного моделювання. Сучасна цифрова РРС – складний технічний комплекс, до якого входять приймач, модем, мультиплексор, приймальні антени, система автоматичного резервування, система телеуправління та телесигналізації, контрольно-вимірювальна апаратура, пристрої службового зв'язку, система електроживлення. Розглянемо функції основних пристроїв: приймача, модему та мультиплексора. Приймач РРС – пристрій, який виконує функції прийому та передачі модульованих електричних коливань заданих частот. Приймач виділяє

електричний. У другому розділі проведено експеримент за допомогою програм Mini-Link Craft 2.20, Google Earth, Mentum Ellipse. Було проведено розрахункові дані для 23Ghz антени так само, задані частоти і конфігурації РРЛ, а також визначені рівні прольоту, можна побачити те – що прольоті рівні $tx+24 rx-39.1$ відповідають даним виміряною вище програмою Mentum Ellipse при 10км з 0,6 антенами. У третьому розділі приведен розрахунок РРЛ показав, що антена на даху будівлі, де розташований офіс клієнта, не вимагає підвісу, що обумовлено малою довжиною прольоту, відповідно нехтується малим впливом кривизни землі і тим, що офіс клієнта знаходиться вище за перешкоду. Встановлено, що величина чутливості приймача, визначальна мінімально необхідну для нормального прийому потужності корисного сигналу на вході приймача для бездротових мереж ліній становить в межах від -94 до -67dB.

4. Позитивні сторони роботи: Отримані у кваліфікаційній роботі основні результати зводяться до наступного: запропоновано варіанти планування РРЛ мережі та вибір діапазону частот у різних місцевостях таких як гірська місцевість, міська, розглянутий проліт над водою; програма розрахунку висот підвісу антен РРЛ реалізована мовою Borland Delphi 7; моделювання процесу передачі трафіку TCP за реальним РРЛ.

5. Негативні сторони роботи: У роботі бажано було б більш детально розглянути питання експериментального дослідження. Присутні невеликі граматичні помилки. Однак, ці недоліки не мають принципового значення, суттєво не впливають на кінцевий результат і не знижують загального враження від проведеної роботи

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: немає

7. Відгук про роботу в цілому: В цілому кваліфікаційно робота виконано на високому технічному рівні, вона має безперечну актуальність в області сучасних технологій телекомунікацій

8. Інші зауваження: немає

9. Оцінка кваліфікаційної роботи: Кваліфікаційна робота відповідає встановленим вимогам і заслуговує оцінки добре (4,0/5), а її автору Янчук В.О., присвоєння кваліфікації бакалавра зі спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка»

10. Рецензент Бойко Юлій Миколайович – д.т.н., професор кафедри ТМІТ

«07» червня 2022р.


підпис