

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет радіоелектроніки та телекомунікацій  
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій  
(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до магістерської роботи  
(ступінь вищої освіти)

на тему Аналіз системи радіоного зв'язу та  
розрахунок трас між вузлами

Виконав: студент(ка) \_\_\_ курсу, групи \_\_\_\_\_

Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
(код і найменування спеціальності)

Освітньої програми \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник Дмитренко В.П. Логачева Л.М.  
(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

20 19

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

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет радіоелектроніки та телекомунікацій  
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій  
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)  
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
 (код і найменування)  
 Освітня програма 0111 Інформаційні мережі з в'язкою  
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТТ

к.т.н., доц. Морщавка С.В.

«    »    20    року

ЗАВДАННЯ  
 НА МАГІСТЕРСКУ РОБОТУ СТУДЕНТА (КИ)

Волохов Максим Олександрович  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз систем радіорелейного зв'язку та розрахунок ліній зв'язку.

керівник роботи Денисенко Віктор Павлович к.т.н. зр.т.с.; Логова Леоніда Михайлівна ст.в.п.  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «08» листопада 2019 року № 365

2. Строк подання студентом роботи 13.12.2019

3. Вихідні дані до роботи Проаналізувати систему радіорелейного зв'язку. Розширити поточне підвищення швидкості зв'язку в РРЛ. Розширити вплив РРЛ. Використовувати на зовнішнє середовище

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Провести огляд літературних джерел та визначити переваги та недоліки існуючих рішень. Провести аналіз вад модулів та апаратури для РРЛ. Розрахувати канали зв'язку з урахуванням перешкоди місцевості

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Презентація з висвітленням наступних питань існуючих рішень.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Розділ 1	Дмитренко В.П. Логачева І.М.	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Розділ 2	Дмитренко В.П. Логачева І.М.	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Розділ 3	Дмитренко В.П. Логачева І.М.	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Експерт.	Лівошик Т.В. доц. кафедри ІТБД	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Оформив проект	Жилищов Н.В. доц.	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
Контролює	Мороз Т.В. асистент кафедри РТТ	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

7. Дата видачі завдання « 02 » Вересня 2019 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання та ознайомлення з питаннями роботи.	03.03-15.03.19	
2	Ознайомлення з літературою на тему проекту	06.09-13.09.19	
3	Огляд схожих існуючих рішень	14.09-28.09.19	
4	Аналіз видів модуляції та апаратури для РРА	29.09-12.10.19	
5	Розробкунок коталів зв'язку з урахуванням пересіченої місцевості	13.10-29.10.19	
6	Розробкунок сепіторно-захищних зон при роботі РРА	30.10-20.11.19	
7	Оформлення пояснювальної записки	21.11-03.12.19	
8	Оформлення презентації доповіді згідно з проектом	03.12-18.12.19	

Студент(ка) *[Signature]* Войков М.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи *[Signature]* Дмитренко В.П. Логачева І.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ:89арк., 26 рис., 14 табл., 18 джерел.

Об'єктом розгляду в роботі є радіорелейний зв'язок (РРЗ). Предмет дослідження – принципи і основні технології сучасного РРЗ.

Метою роботи є аналіз сучасних систем радіорелейних ліній зв'язку (РРЛ), підходів до збільшення швидкості передачі інформації, вплив електромагнітне випромінювання (ЕМВ) РРЛ на навколишнє середовище.

Завдання, які вирішуються:

Розглянути: особливості і загальні принципи побудови радіорелейних ліній зв'язку прямої видимості, класифікацію радіорелейних ліній, види модуляції, застосовувані в радіорелейних системах передачі, розрахунок впливу дії ЕМВ на навколишнє середовище;

Вивчити: апаратуру радіорелейних ліній прямої видимості, приймально-передавальну апаратуру радіозв'язку, тропосферні радіорелейні лінії.

Привести методи розрахунку: профілю каналу зв'язку, обчислення загасання в радіочастотному каналі, дублювання антен, частот і шляхів поширення радіохвиль.

ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ, КАНАЛ ЗВ'ЯЗКУ, РАДІОРЕЛЕЙНІ ЛІНІЇ, ВИДИ  
МОДУЛЯЦІЇ, РАДІОХВИЛІ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....</b>	<b>7</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>8</b>
<b>1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ .....</b>	<b>9</b>
1.1 Загальні характеристики систем радіорелейного зв'язку .....	9
1.1.1 Загальні відомості.....	9
1.1.2 Короткий історичний огляд .....	10
1.1.3 Основні завдання при розробці РРС .....	12
1.1.4 Переваги та недоліки радіорелейного зв'язку .....	16
1.2 Особливості і загальні принципи побудови радіорелейних ліній зв'язку прямої видимості.....	17
1.2.1 Особливості радіорелейного зв'язку .....	17
1.2.2 Принципи побудови радіорелейних ліній зв'язку .....	20
1.3 Класифікація радіорелейних ліній .....	24
<b>2 АНАЛІЗ ВИДІВ МОДУЛЯЦІЇ ТА АППАРАТУРИ ДЛЯ РРЛ.....</b>	<b>27</b>
2.1 Види модуляції, що повинні застосовуватися в радіорелейних системах передачі .....	27
2.2 Апаратура радіорелейних ліній прямої видимості.....	32
2.3 Тропосферні радіорелейні лінії .....	40
<b>3. РОЗРАХУНОК КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ З УРАХУВАННЯМ ПЕРЕСІЧЕНОЇ МІСЦЕВОСТІ .....</b>	<b>45</b>
3.1 Розрахунок профілю каналу зв'язку .....	45
3.2 Обчислення загасання в радіочастотному канал .....	49
3.3 Дублювання антен, частот і шляхів поширення радіохвиль .....	51
3.3.1 Дублювання антен і частот .....	51
3.3.2 Дублювання шляхів поширення радіохвиль.....	54
3.4 Розрахунок санітарно-захисних зон (СЗЗ) при роботі РРЛ .....	54
3.4.1 Розрахунок СЗС для Антени F1 .....	55
3.4.2 .Розрахунок СЗС для Антени F2 .....	58
<b>4 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ....</b>	<b>61</b>

4.1 Техніко-економічне обґрунтування проекту.....	61
4.2 Організація і планування робіт.....	62
4.3 Кошторис витрат на проектування .....	67
4.3.1 Витрати на матеріали і комплектуючі.....	67
4.3.2 Амортизаційні відрахування.....	68
4.3.3 Основна і додаткова зароблена плата виконавців.....	69
4.3.4 Відрахування у позабюджетні фонди.....	70
4.3.5 Витрати на електроенергію.....	70
4.3.6 Загально виробничі витрати .....	71
4.4 Оцінка економічної ефективності розробки проекту.....	73
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ ...</b>	<b>75</b>
5.1 Аналіз потенційних небезпек .....	75
5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки .....	76
5.3 Заходи по промислової санітарії та гігієни праці.....	77
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	84
5.5 Заходи щодо забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях .....	85
<b>ВИСНОВОК .....</b>	<b>88</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>89</b>

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

БС	– базова станція
ГЕС	– гіпотетичне еталонне з'єднання
ГЕЦЛ	– гіпотетична еталонна цифрова лінія
ГЕЦТ	– гіпотетичний еталонний цифровий тракт
ЕМВ	– електромагнітне випромінювання
ІБЕП	– джерело безперебійного електроживлення
ЗОЗ	– зона обмеження забудови
МСЕ	– міжнародний союз електрозв'язку
ОЦК	– основний цифровий канал
ПЦИ	– плезіохронна цифрова ієрархія
ПЦК	– первинний цифровий канал
РРЛ	– радіорелейна лінія зв'язку
СанПіН	– санітарні норми і правила
СЗЗ	– санітарно-захисна зона
СЦІ	– синхронна цифрова ієрархія
ТМЗК	– телефонна мережа загального користування
ПАТС	– підприємча автоматична телефонна станція
ЦРРЛ	– цифрова радіорелейна лінія
SESR	– коефіцієнт секунд зі значною кількістю помилок
SINAD	– відношення сигнал / шум

## ВСТУП

Одним з основних видів засобів зв'язку є радіорелейні лінії прямої видимості, які використовуються для передачі сигналів багатоканальних телефонних повідомлень, радіомовлення і телебачення, телеграфних та фототелеграфних сигналів, передача газетних смуг. Всі види повідомлень передаються по радіорелейній лінії(РРЛ) на великі відстані з високою якістю і великою надійністю.

В умовах великої дальності передачі інформації з високою швидкістю застосування, РРЛ є одним з найважливіших напрямків розвитку систем зв'язку.

Зараз в світі виробляють радіорелейне обладнання, що має високу надійність, малі габарити, низьке споживання енергії і невисоку вартість. У них використана сучасна елементна база, враховані споживчі вимоги по експлуатації та обслуговуванню, вони забезпечуються сучасними системами телеуправління [1]. При цьому вітчизняні РРС краще пристосовані до експлуатації в наших кліматичних умовах.



# 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАДІОРЕЛЕЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ

## 1.1 Загальні характеристики систем радіорелейного зв'язку

### 1.1.1 Загальні відомості

Радіорелейний зв'язок – це вид дуплексного радіозв'язку на ультракоротких хвилях з багаторазовим переприйманням сигналів. Термін «relay» означає відновлення (зміну бігунів в естафеті, зміну коней і т.і.). Стосовно до радіорелейного зв'язку цей термін означає відновлення сигналів на кожній проміжній станції, заміну слабого сигналу сильним.

Радіорелейні станції діляться на два типи – радіорелейні станції прямої видимості і радіорелейні станції тропосферного розсіювання.

У першому випадку траса вибирається так, щоб між антенами сусідніх станцій була пряма видимість, і зв'язок здійснюється за рахунок радіохвиль, що поширюються уздовж поверхні землі.

У другому випадку радіохвилі досягають точки прийому за рахунок розсіювання на неоднорідностях тропосфери.

Радіорелейний зв'язок забезпечує [2]:

- многоканальність, високу пропускну здатність;
- більшу дальність зв'язку;
- дуплексні каналів і трактів;
- сувору нормативність якісних показників та електричних характеристик каналів і трактів, низький рівень в них шумів і перешкод.

Характерними особливостями радіорелейного зв'язку є [3]:

- застосування методу радіозв'язку на УКХ земної хвилею, дальність якої різко обмежена;
- використання принципу ретрансляції сигналів для забезпечення;
- необхідної дальності зв'язку;
- застосування, як правило, гостронаправлених антен.

Радіорелейні засоби зв'язку застосовуються для розгортання (будівництва) польових і стаціонарних багатоканальних ліній між вузлами

зв'язку. Вони використовуються, як правило, самостійно для будівництва радіорелейних ліній, а також для нарощування ліній радіо- і дротового зв'язку, для дистанційного керування радіостанціями середньої і великої потужності.

Радіорелейні кошти дозволяють здійснювати дуплексну, багатоканальну телефонну, телеграфну, факсимільну і відео телефонний зв'язок при високому їх якості і малої залежності від пори року і доби, від атмосферних і місцевих електричних перешкод.

Канали зв'язку, утворені радіорелейними засобами зв'язку, використовуються, як правило, в комплексі з апаратурою автоматичного засекречування [4].

Зв'язок між двома віддаленими пунктами утворюється шляхом використання ряду приймально-передавальних радіорелейних станцій, віддалених один від одного на відстані прямої геометричної видимості між їх антенами.

### 1.1.2 Короткий історичний огляд

Розвиток багатоканального радіорелейного зв'язку відноситься до початку 40-х років, коли з'являються перші 12-канальні радіолінії, що використовують той же, що і для кабельних ліній, спосіб частотного поділу каналів і ту ж каналоутворюючу апаратуру, а також частотну модуляцію сигналу.

На початку 50-х років з'явилося відразу кілька типів вітчизняної апаратури РРЛ («Стріла», Р-60/120, Р-600). Надалі на мережі зв'язку країни з'явилися радіорелейні системи прямої видимості РРСП «Світанок», «Схід», КУРС (комплекс уніфікованих радіорелейних систем), «Електроніка-зв'язок» та ін. Загальна протяжність РРЛ, експлуатованих в народному господарстві СРСР, становить понад 100 тисяч км [5].

Освоєння природних багатств зажадало різкого збільшення протяжності ретрансляційних ділянок РРЛ для забезпечення зв'язком

важкодоступних і віддалених районів нашої країни. Для створення ліній зв'язку, які відповідають цим вимогам, був використаний відкритий на початку 50-х років ефект далекого тропосферного поширення ДТР дециметрових і сантиметрових радіохвиль. Використовуючи ДТР, вдалося створити новий тип тропосферних радіорелейних систем передачі ТРСП з відстанями між сусідніми станціями 150 ... 300, а в окремих випадках і 600 ... 800 км. До 1965 р в світі експлуатувалося вже понад 100 тисяч км Тропосферних ліній. У Радянському Союзі було створено кілька типів ТРСП «Горизонт-М», ТР-120 / ДТР-12 і ін.

Розвиток космічної техніки, піонерами створення якої були такі радянські вчені, як академіки С.П. Корольов і М.В. Келдиш, дозволило створити супутникові системи передачі ССП. У 1965 р вступила в дію перша радянська супутникова система, яка використовує ШСЗ «Блискавка-1» і призначена для передачі сигналів багатоканального телефону та телебачення. У наступні роки були створені ССП, використовують ШСЗ «Блискавка-2», «Блискавка-3», «Екран», «Веселка», «Горизонт» та ін.

Побудова системи передачі залежить від багатьох факторів, таких як вид повідомлення, критерії якості передачі сигналу, вартості і т. д. Зазвичай при проектуванні системи передачі інформації передбачається заданим вид повідомлення, а також кореспондуючі пункти. Вже на першому етапі проектування повинен бути зроблений вибір найбільш підходящої системи, що задовольняє вимогам до пропускної спроможності, якості передачі та дальності зв'язку і враховує міркування соціально-економічного характеру.

Основним критерієм вибору системи передачі є економічна ефективність, яка визначається капітальними витратами і експлуатаційними витратами. При остаточному виборі враховують і такі показники, як надійність передачі інформації по каналах, тривалість дії і швидкість впровадження системи, підвищення продуктивності праці, витрата електроенергії (особливо при відсутності централізованого енергопостачання) і т.і. [6].

Створення систем, призначених для зв'язку ЕРМ один з одним, породило нові, більш жорсткі вимоги до якості передачі і збільшило без того швидко зростаючий обсяг інформації, що передається. Вимоги зменшити втрати достовірності до 10% і збільшити швидкість передачі інформації до сотень мегабіт в секунду вже сьогодні не є надмірним.

### 1.1.3 Основні завдання при розробці РРС

Передача в одному каналі радіорелейної чи супутникової лінії зв'язку тисячу сигналів, а в найближчому майбутньому десятків тисяч, високоякісних ТЧ сигналів зажадала зменшити всі можливі види спотворень до фантастично малих значень. Наприклад, коефіцієнт нелінійних спотворень в модемах і групових трактах таких ліній обчислюється тисячними частками відсотка, а нерівномірність групового часу запізнювання в смузі 30 ... 40 МГц – одиницями і навіть частками наносекунд. Таке підвищення вимог може бути задоволено лише спільним удосконаленням технічних засобів передачі інформації і теоретичних досліджень.

До завдань, що вимагають теоретичних досліджень, відносяться [7]:

- економічно і технічно доцільне розподіл труднощів, що виникають при виконанні таких високих вимог між кінцевим каналним обладнанням (коднуються складними пристроями) і обладнанням тракту передачі (приймально-передавальними антенами, апаратурою і т. д.);

- знаходження таких методів передачі і кодування, які в умовах впливу адитивних і мультиплікативних завад наближали б швидкість передачі інформації і її точність до співвідношень, які прямують з відомої теореми Шеннона.

Удосконалення технічних засобів передачі інформації йде в основному двома шляхами.

По-перше, це дослідження і розробка нових каналів передачі інформації, заснованих на нових фізичних принципах: використання ефекту далекого тропосферного поширення, освоєння нових діапазонів хвиль,

включаючи оптичні, розробка волоконно-оптичних світловодів, розробка і впровадження супутників Землі – носіїв ретрансляційного обладнання.

По-друге, вдосконалення апаратури, що забезпечує передачу і обробку інформації: використання нових виробів електронної промисловості – інтегральних схем, транзисторів, здатних функціонувати на всіх більш високих частотах, зокрема, використовують нові фізичні процеси; створення на базі мікропроцесорів кінцевого обладнання для прийому і обробки дискретної інформації, яке шляхом динамічного програмування ЕРМ може забезпечити, наприклад, зміну швидкості або навіть способу передачі відповідно до зміни умов в каналі зв'язку [8].

На сучасному етапі розвитку мережу зв'язку не можна розглядати тільки як сукупність окремих пристроїв (кінцевого обладнання, модемів, радіоканалу). Потрібен новий, більш загальний підхід, що дозволяє синтезувати найбільш економічні і надійні мережі з урахуванням реальних можливостей ускладнення цих пристроїв. Слід очікувати ускладнення кінцевого обладнання, що дозволяє виконувати операції кодування і автоматичного управління передачі інформації. При створенні інтегрально-цифрової мережі зв'язку слід очікувати ще більшої зміни співвідношення їх вартості. У найближче десятиліття очікується поступовий перехід до передачі інформації в цифровому вигляді, проте принаймні 10 ... 15 років аналогові системи залишаться основними при передачі сигналів телебачення і телефонії.

Радіорелейна лінія складається з кінцевих і проміжних радіорелейних станцій (РРС), розміщених на місцевості з деякими інтервалами, протяжність якої визначається умовами поширення УКХ уздовж земної поверхні і зазвичай не перевищує 50 км. Для поліпшення умов проходження УКВ на інтервалах і збільшення їх довжини РРС, як правило, розгортають на вершинах і схилах висот місцевості так, щоб на інтервалах між антенами забезпечувалася «пряма видимість», а точніше «радіовидимість», під якою розуміється відсутність екранування рельєфом місцевості або масивами

місцевих предметів (ліс, будови) траєкторій радіохвиль, що поширюються між антенами РРС даного інтервалу в умовах нормальної рефракції радіохвиль.

Для збільшення протяжності інтервалів на рівнинній і малопересіченій місцевості, а також для забезпечення можливості організації радіорелейного зв'язку в умовах лісної місцевості застосовують порівняно високі (до 20-30 м) антенні опори (щогли). В умовах рівнинної місцевості гранична дальність прямої видимості визначається наближеною формулою [9]:

$$R_{km} = 3.57(\sqrt{h1_{(m)}} + \sqrt{h2_{(m)}}), \quad 1.1$$

де  $h1$  і  $h2$  – висоти антенних опор.

Нормальна рефракція радіохвиль викривляє їх траєкторію в сторону поверхні землі (опуклістю вгору), завдяки чому радіовидимість зростає. Гранична дальність радіовидимості при нормальній рефракції радіохвиль визначається виразом:

$$R_{km} = 4,12(\sqrt{h1_{(m)}} + \sqrt{h2_{(m)}}). \quad 1.2$$

При висоті антенних опор до 20-30 м дальність зв'язку складає 35-40 км.

Необхідність застосування для радіорелейного зв'язку УКВ обумовлена низкою причин і перш за все широкосмугових радіосигналів РРС. Ця причина, подвоює витрату смуги частот, призводить до необхідності використовувати діапазони частот, які мають велику частотну ємність, до яких відноситься діапазон УКВ.

Широкосмуговість радіосигналів РРС в свою чергу зумовлена двома причинами: застосовуваними методами модуляції і вимогами багатоканальної, тобто великої пропускну здатності РРС. Справа в тому, що для радіорелейного зв'язку придатні не всякі методи модуляції, а тільки

частотна модуляція (ЧМ) і імпульсні методи модуляції (ІМ), у тому числі найчастіше використовується фазоімпульсна модуляція (ФІМ), рідше кодоімпульсна модуляція (КІМ) і дельта-модуляція [10].

Придатність ЧМ і ІМ для радіорелейного зв'язку пояснюється тим, що при цих видах модуляції рівень корисного сигналу на виході радіоприймальних пристроїв, а отже і в каналах, не залежить від рівня радіосигналу на вході відповідного радіоприймального пристрою. Завдяки цьому в умовах замирання радіосигналів на інтервалах РРЛ залишкове загасання каналів і трактів РРЛ зберігається постійним, тобто виконується важлива вимога, що висувається до будь-яких каналів телекомунікації і, зокрема, до каналів РРЛ. При таких видах модуляції, як, наприклад, амплітудна (АМ) і односмугова (ОПМ), ці вимоги не виконуватимуться, причому внаслідок значної глибини і «швидкості» замирань радіосигналів на інтервалі РРЛ необхідну стабільність залишкового загасання забезпечує виявлювання скрутними, навіть при використанні складних систем АРУ в радіоприймальних пристроях [11].

Однак, як відомо, ЧМ і ІМ характеризуються великою широкосмужністю радіосигналів, що вимагає відповідно більшої витрати смуги частот.

Фактор багатоканальності (високої пропускну здатності) РРЛ в свою чергу так само вимагає відповідного збільшення витрати смуги частот, займаної радіосигналами РРС при ЧМ і ІМ. Взяті в сукупності ці дві причини призводять до того, що радіосигнали РРС нерідко охоплюють смуги частот в сотні і тисячі кілогерц, а іноді і в одиниці і десятки мегагерц.

Другою важливою причиною поряд з широкосмужністю сигналів обумовлює необхідність застосування для радіорелейного зв'язку УКВ, є майже повна відсутність в цих діапазонах атмосферних і промислових перешкод від джерел радіовипромінювання, що знаходяться за горизонтом. Низький рівень зовнішніх перешкод поряд з високою завадостійкістю ЧМ і ІМ дозволяє отримати необхідний нижній рівень шумів в каналах і трактах

РРЛ, тобто забезпечити їх високу шумову захищеність.

В даний час системи радіорелейного і тропосферного зв'язку продовжують удосконалюватися в різних напрямках, збільшуються пропускна здатність і стійкість перед перешкодами, розробляються нові системи зв'язку, радіорелейні лінії в міліметровому діапазоні хвиль і хвильові лінії зв'язку, що володіють величезною пропускною спроможністю. Поряд з цим відбувається перехід аналогової форми повідомлень до передачі повідомлень в дискретної (цифрової) форми, що дає можливість не тільки збільшити стійкість систем зв'язку, а й здешевити виробництво і експлуатацію апаратури. Останнє пояснюється тим, що дискретні елементи радіоелектроніки, використовувані в багатоканальних дискретних системах зв'язку, можуть виготовлятися із застосуванням методів автоматизації, що дозволяють стандартизувати всі конструктивні елементи апаратури. Саме в цьому напрямку сконцентровані зусилля вчених нашої країни.

#### 1.1.4 Переваги та недоліки радіорелейного зв'язку

Радіорелейний зв'язок поєднує в собі переваги як радіозв'язку, так і провідного багатоканального зв'язку і займає проміжне положення: багатоканальні сигнали передаються і приймаються засобами радіозв'язку, але формуються, особливо при частотному ущільненні, засобами дротового зв'язку. При цьому радіорелейні лінії забезпечують таку ж якість зв'язку і достовірність передачі інформації, як і лінії дротової телекомунікації.

Радіорелейний зв'язок широкопоширився у всіх областях народного господарства, а також у збройних силах для управління військами [12].

Радіорелейні лінії широко використовуються для комерційного зв'язку і для обміну програм мовлення та телебачення між різними країнами всіх континентів.

Гідність радіорелейного зв'язку:

– можливість організації багатоканального зв'язку і передачі будь-яких сигналів, як вузько смугових, так і широкосмугових;



- можливість забезпечення двостороннього зв'язку (дуплексного) зв'язку між споживачами каналів (абонентами);
- можливість створення 2-х провідних та 4-х дровових виходів каналів зв'язку;
- практична відсутність атмосферних і промислових перешкод;
- вузько спрямованість випромінювання антенних пристроїв;
- скорочення часу організації зв'язку в порівнянні з провідним зв'язком.

Недоліки радіорелейного зв'язку:

- необхідність забезпечення прямої геометричної видимості між антенами сусідніх станцій;
- необхідність використання високо піднятих антен;
- використання проміжних станцій для організації зв'язку на великі відстані, що є причиною зниження надійності та якості зв'язку;
- громіздкість апаратури;
- складність в будівництві радіорелейних ліній в важкодоступній місцевості.

1.2 Особливості і загальні принципи побудови радіорелейних ліній зв'язку прямої видимості

1.2.1 Особливості радіорелейного зв'язку

В теперішній час найбільш широко для радіорелейного зв'язку використовуються діапазони дециметрових і сантиметрових хвиль. Діапазони метрових хвиль (коротше 5м) використовуються тільки для мало каналного радіорелейного зв'язку.

Діапазони міліметрових хвиль і сантиметрові хвилі коротше 3-х см вважаються перспективними для деяких видів РРЛ, але застосування цих хвиль в даний час обмежено недостатньою їх освоєння і проблемами, пов'язаними з сильним поглинанням цих хвиль гідрометеорологічними явищами (дощ, сніг, туман і т.і.). На практиці для

радіорелейного зв'язку в зазначених діапазонах тобто УВЧ; ДВЧ; СВЧ; КВЧ виділяються лише окремі ділянки, так як в цих діапазонах функціонують і інші радіоелектронні засоби.

Властивості УКХ діапазону:

- велика частотна ємність;
- практична відсутність атмосферних і промислових перешкод;
- мала дифракційна здатність;
- можливість створення антенних пристроїв вузько спрямованого випромінювання і прийому електромагнітних коливань [12].

Перша здатність УКХ діапазону – велика частотна ємність.

Для радіорелейного зв'язку можуть бути використані будь-які частоти УКХ діапазону. У цьому діапазоні для передач повідомлень можна задіяти широкі смуги частот (до декількох МГц) і забезпечувати багатоканальний зв'язок (оскільки для передачі інформації від найбільш поширених джерел потрібна смуга в кілька кГц) або передавати широкосмугові сигнали. Велика частотна ємність дозволяє для зв'язку на кожному інтервалі радіорелейної лінії виділити дві частоти: одну для передачі, іншу для прийому сигналів і організувати завдяки цьому дуплексний зв'язок.

Разом з тим велика частотна ємність дає можливість для передачі інформації використовувати різноманітні методи модуляції, і зокрема такі, які забезпечують як високу стійкість перед перешкодами, так і сталість залишкового загасання ( $a_r$ ) каналів зв'язку. Останнє означає, що різниця рівнів сигналів на вході і виході каналів кінцевих станцій – величина постійна, незалежна від умов зв'язку

$$P_{C_{ВХ}} - P_{C_{ВЫХ}} = a_r = \text{const} \quad 1.3$$

Рівнем прийнято називати значення величини сигналів, виражене в відносних (безрозмірних) одиницях – децибелах:

$$P = 10 \lg(R_1 / P_0) = 20 \lg(U_1 / U_0) \quad (1.4)$$

де  $P_1$  і  $U_1$  – потужність і напруга на виході каналу зв'язку,

$P_0$  і  $U_0$  – потужність і напруга на вході каналу зв'язку.

Необхідність забезпечення сталості залишкового загасання каналів диктується низкою факторів. По-перше, при цьому може бути покращено якість зв'язку, оскільки в каналі зв'язку випадковими величинами є величина шуму і переданих сигналів, а параметри каналів залишаються незмінними. По-друге, з'являється можливість включення на виході каналів диференціальних систем, що забезпечує двопровідні виходи каналів зв'язку. У цьому випадку сполучення каналів радіорелейних ліній з каналами ліній телекомунікації здійснюється не тільки при чотирьох провідних, але і при двопровідних виходах. По-третє, деякі види кінцевої апаратури працюють ефективно при незмінному коефіцієнті передачі сигналів.

Сталість залишкового загасання каналів радіорелейних ліній досягається при використанні таких методів модуляції, при яких рівень корисного сигналу на виході приймача станції не залежить від величини високочастотного сигналу на його вході, якщо останній більше певної порогової, для даного приймача, величини. Це забезпечується при передачі інформації за допомогою частотної і різних методів імпульсної модуляції (крім амплітудно-імпульсної), які вимагають, як правило, широкої смуги частот тракту зв'язку.

Характерною властивістю таких методів модуляції є можливість поліпшення якості зв'язку не тільки за рахунок збільшення енергії сигналів, але і за рахунок збільшення спектру частот, які займають ці сигнали, таким чином, використовуючи для радіорелейного зв'язку широку смугу частот, можна забезпечити передачу великої кількості інформації і домогтися істотного поліпшення якості зв'язку [2].

Друга властивість УКХ діапазону – практична відсутність зовнішніх атмосферних і промислових перешкод – висуває на перше місце внутрішні

флуктуаційні шуми приймальних пристроїв. Рівень внутрішніх шумів легко враховується при проектуванні станції і розрахунку кількості зв'язку і при необхідності може бути зменшено застосування спеціальних малошумливих підсилювачів. Це також сприяє суттєвому підвищенню якості зв'язку на радіорелейної лінії.

Третя властивість УКХ діапазону – мала дифракційна здатність, яка тим менше, ніж коротше використовується для зв'язку довжина хвилі. Це стало основною причиною застосування проміжних станцій для організації зв'язку на великі відстані. Протяжність інтервалів між сусідніми станціями повинна бути такою, щоб забезпечувалася пряма геометрична видимість між їх антенними системами. Упевнений зв'язок на кожному інтервалі забезпечується передавачами порівняно малої потужності.

Перешкоди, що закривають лінію прямої видимості, викликають дуже велике ослаблення радіосигналів, компенсація якого вимагає різкого збільшення потужності передавачів. Це явище особливо характерно для ліній, що працюють в діапазонах дециметрових і сантиметрових хвиль. В діапазоні метрових хвиль допускається часткове закриття перешкодами лінії прямої видимості на інтервалах зв'язку, але і в цьому випадку істотно знижується рівень корисного сигналу в місці прийому та погіршується якість зв'язку.

### 1.2.2 Принципи побудови радіорелейних ліній зв'язку

Радіорелейні лінії (РРЛ) представляють собою ланцюжок приймально-передавальних радіостанцій (кінцевих, проміжних, вузлових), які здійснюють послідовну багаторазову ретрансляцію (прийом, перетворення, посилення і передачу) переданих сигналів.

Ланцюжок радіорелейної лінії складають радіорелейні станції трьох типів: кінцеві радіорелейні станції (КРС), проміжні радіорелейні станції (ПРС), вузлові радіорелейні станції (ВРС). Умовна радіорелейна лінія зв'язку схематично представлена на рис. 1.1 [13].

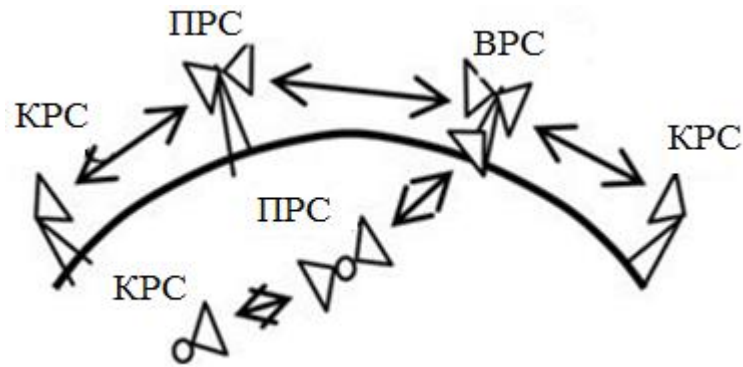


Рисунок 1.1– Принцип побудови радіорелейної лінії зв'язку

На кінцевій радіорелейній станції починається і закінчується тракт передачі. Апаратура КРС здійснює перетворення сигналів, що надходять від різних джерел інформації (телефонні сигнали від міжміського телефонної станції, телевізійні сигнали від міжміського телевізійної апаратної і т.і.) в сигнали, що передаються по радіорелейної лінії, а також зворотне перетворення сигналів, що приходять по РРЛ, в сигнали телерадіомовлення або телефонії. Радіосигнали КРС за допомогою передавального пристрою і антени випромінюються в напрямку наступної, зазвичай проміжної, радіорелейної станції.

Проміжні радіорелейні станції призначені для прийому сигналів від попередньої станції радіорелейної лінії, посилення цих сигналів і випромінювання в напрямку подальшої станції РРЛ.

На кожній проміжній радіорелейної станції встановлені по дві антени, орієнтовані на сусідні РРСП. Кожна з антен є приймально-передавальної, тобто використовується і для прийому, і для передачі сигналів. Одним з переваг роботи радіорелейної лінії зв'язку в надвисокочастотному (СВЧ) діапазоні є можливість застосування високоспрямованих антен з малими габаритами. Невеликі розміри антен спрощують їх установку на високих спорудах. Хороші спрямовані властивості антен СВЧ діапазону дозволяють полегшити вимоги до характеристик приймально-передавального тракту.

Один ланцюжок приймачів РРЛ утворює СВЧ симплексний (тобто

призначений для передачі сигналів в одному напрямку) ствол. Структура симплексного стовбура з урахуванням плану розподілу частот наведена на рис.1.2 [14].

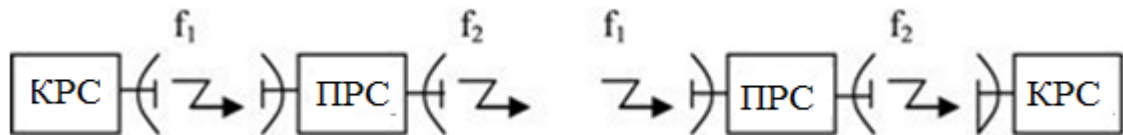


Рисунок 1.2– Розподіл частот в символному стовбурі радіорелейної лінії

Два симплексних стовбура, що працюють у зустрічних напрямках, утворюють двобічний СВЧ ствол. Для передачі сигналів в зворотному напрямку може бути використана та ж пара частот, що і в прямому напрямку (двохчастотна система), або інша пара частот (чотирьох частотна система). Структурна схема односторонньої дуплексної проміжної радіорелейної станції наведена на рис.1.3.



Рисунок 1.3– Структурна схема дуплексної ПРС

Для збільшення пропускної спроможності радіорелейної лінії на кожній радіорелейній станції встановлюють кілька комплектів приймально-передавальної апаратури, підключених до загальної антени. Магістральні радіорелейні лінії зв'язку можуть мати до восьми дуплексних СВЧ стовбурів (з них 6 ... 7 робочих і 1 ... 2 резервних).

Крім КРС і ПРС для введення в радіорелейний лінію додаткових потоків інформації і виведення з РРЛ частини переданої інформації використовують вузлові радіорелейні станції. У вузлових радіорелейних

станціях, як і в КРС, є апаратура перетворення телефонних, радіо- і телевізійних сигналів в сигнали, що передаються по РРЛ, і апаратура зворотного перетворення. Крім того, від вузлових радіорелейних станцій можуть починатися нові радіорелейні лінії (відгалуження).

При проектуванні радіорелейних ліній слід враховувати і можливі зміни умов поширення радіохвиль. Так, при підвищеній рефракції (викривлення напрямку поширення радіохвиль) сигнали можуть поширюватися далеко за горизонтом. Тому коливання, які випромінюються радіорелейною станцією з частотою, наприклад,  $f_1$ , можуть бути прийняті не тільки сусідньою станцією, але і станцією, яка відступає від неї через три прольоти. Але для останньої станції це буде паразитним сигналом, так як вона повинна приймати сигнали тільки від найближчої станції. Небажані сигнали від всіх інших станцій будуть викликати погіршення якості прийому.

Для усунення подібних явищ ретранслятори радіорелейної лінії зв'язку розташовують 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 напряду на станцію, що відстоїть через три прольоти, відповідали мінімальні рівні діаграми спрямованості антени. На рисунку 1.4 [15] показані три прольоти ділянки траси РРЛ. На крайніх прольотах використовуються однакові частоти. На такій трасі навіть при сильній рефракції радіохвиль сигнали від станцій з номерами ПРС $i$  і ПРС $i+2$  практично не впливають один на одного. На рисунку видно, що антени практично не сприймають радіохвилі, що приходять з напряду, якій лежить на прямій, що зв'язує ці станції.

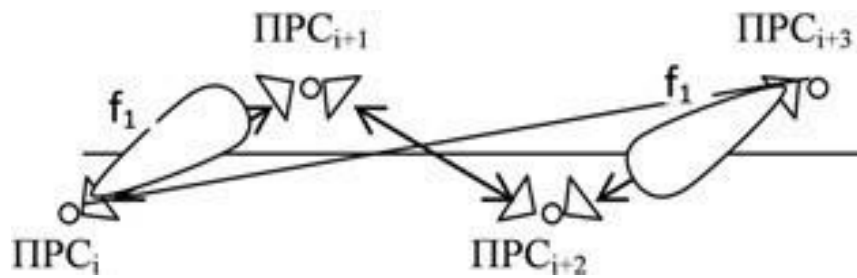


Рисунок 1.4– Схема розташування ретранслятора на трасі радіорелейної лінії зв'язку

### 1.3 Класифікація радіорелейних ліній

РРЛ прямої видимості можна класифікувати за різними ознаками і характеристиками. Розглянемо класифікацію РРЛ по найбільш важливим з них.

За призначенням розрізняють міжміські магістральні, внутрizonові, місцеві РРЛ.

За діапазоном робочих (несучих) частот РРЛ поділяються на лінії дециметрового і сантиметрового діапазонів. У цих діапазонах відповідно до Регламенту радіозв'язку для організації РРЛ виділені смуги частот, розташовані в області 2, 4, 6, 8, 11 і 13 ГГц. В даний час ведеться дослідження умов створення радіорелейного зв'язку на частотах порядку 18 ГГц і вище. Перехід на більш високі частоти дозволив би збільшити пропускну здатність систем передачі. Однак використання таких високих частот утруднено через сильне ослаблення енергії радіохвиль під час атмосферних опадів:

За способом ущільнення каналів і виду модуляції несучої можна виділити:

- РРЛ з частотним ущільненням (поділом) каналів (ЧУК) і ЧС гармонійної несучої;
- РРЛ з тимчасовим ущільненням (поділом) каналів (ВРК) і аналогової модуляцією імпульсів, які потім модулюють несучу;



– цифрові РРЛ, в яких відліки повідомлень квантуються за рівнями і кодуються.

За прийнятою в даний час класифікацію РРЛ поділяють на системи великої, середньої і малої місткості.

До РРЛ великої місткості прийнято відносити системи, що дозволяють організувати в одному стволі 600 і більше каналів тональної частоти (ТЧ), що відповідає пропускній здатності більш 100 Мбіт/с. Якщо РРЛ дозволяє організувати 60-600 або менше 60 каналів ТЧ, то ці системи відносяться до ліній зв'язку середньої і малої місткості. Пропускна здатність таких РРЛ дорівнює відповідно 10-100 і менше 10 Мбіт/с.

У нашій країні в основному використовуються комплекси аналогових уніфікованих радіорелейних систем («КУРС»), до особливостей яких можна віднести застосування уніфікованих блоків, економічність, надійність, можливість створення цифрових трактів. Причому апаратура «КУРС-4», «КУРС-6» відноситься до РРЛ великої місткості, а «КУРС-2», «КУРС-8» – до апаратури середньої місткості. Більш новими РРЛ великої місткості є апаратура «Веселка-4», «Веселка-6». У даних системах використовуються напівпровідникові прилади СВЧ в підсилювачах потужності передавача, транзисторні малошумні підсилювачі, інтегральні мікросхеми, малогабаритні хвилеводи з діелектричним заповненням і мікрополосковими лініями, блоки модульного виконання.

До сучасних РРЛ малої і середньої місткості відносяться вітчизняна цифрова апаратура «Ялиця-2», «Радан», «Радан-МГ», а також аналогова апаратура «Рокита-8».

В сучасних телекомунікаційних системах РРЛ використовуються для створення стаціонарних, магістральних ліній зв'язку в кілька тисяч кілометрів для передачі великих потоків інформації. У цих випадках застосовують системи великої місткості. Магістральні РРЛ зазвичай є багатостовбурні.

Стаціонарні РРЛ середньої місткості використовуються для організації зонового зв'язку. Це лінії протяжністю до 500-1500 км. Подібні РРЛ в більшості випадків розраховані на передачу ТВ сигналів і сигналів радіомовлення. Часто ці лінії є багатостовбурні і відгалужуються від магістральних РРЛ.

РРЛ малої місткості застосовуються в місцевій мережі зв'язку. Крім того, малоканальні РРЛ забезпечують службовим зв'язком залізничний транспорт, газопроводи, нафтопроводи, лінії енергопостачання.

Пропускна здатність РРЛ може бути в кілька разів збільшено за рахунок утворення нових стовбурів. Для цього на РРЛ станціях встановлюються додаткові комплекси приймально-передавального обладнання, за допомогою яких створюються нові високочастотні тракти. Для сигналів різних стовбурів використовуються різні несучі частоти. Всі системи багатостовбурної РРЛ організуються таким чином, щоб всі стовбури працювали незалежно один від іншого, були взаємозамінними. Такий принцип підвищує надійність всієї лінії в цілому.

Підвищення пропускної здатності РРЛ за рахунок багатостовбурної роботи не призводить до пропорційного зростання вартості лінії, так як багато її елементів (антени, станційні споруди, опори для підвісу антен, джерела електропостачання) є загальними для всіх стовбурів.

В даний час в наземної розподільчої телекомунікаційної мережі України ведеться інтенсивне будівництво цифрових РРЛ з великою пропускною здатністю. Особливо слід відзначити вже введену в експлуатацію цифрову РРЛ з пропускною спроможністю одного стовбура 140 Мбіт/с.

## 2 АНАЛІЗ ВИДІВ МОДУЛЯЦІЇ ТА АППАРАТУРИ ДЛЯ РРЛ

2.1 Види модуляції, що повинні застосовуватися в радіорелейних системах передачі

У багатоканальних РРЛ модуляція сигналу являє собою двоступеневий процес. За допомогою першого ступеня формується багатоканальний сигнал.

У системах передачі з частотним ущільненням каналів (ЧРК) на першому місці застосовується односмугова модуляція. В аналогових системах з тимчасовим ущільненням каналів (ВРК) використовується фазоімпульсна модуляція, а в цифрових РРЛ з ВРК - ІКМ і дельтамодуляція. У багатоканальних РРЛ перший ступінь модуляції здійснюється в каналостворюючому і груповому устаткуванні на мережевих станціях і вузлах комутації. У системах передачі сигналів телебачення повний ТВ сигнал формується за допомогою кінцевого обладнання ТВ стовбура на ОРС. Призначенням другого ступеня модуляції є утворення високочастотного радіосигналу, модульованого лінійним сигналом. Другий ступінь модуляції здійснюється в кінцевому обладнанні стовбура.

В аналогових системах передачі сигналів багатоканальної телефонії з ЧРК і телебачення практично завжди застосовується ЧС. При ЧС основною причиною нелінійних спотворень сигналів в радіоканалі є нелінійність фазочастотної характеристики (ФЧХ), в той час як при АМ і односмугової модуляції основна причина спотворень – нелінійність амплітудної характеристики. Так як компенсація нелінійності ФЧХ – значно простіше завдання, ніж боротьба з амплітудними спотвореннями, то прийомо-передавальна апаратура при використанні ЧС в РРЛ є більш простою, ніж при АМ і односмугової модуляції. Крім того, ЧС має більшу завадостійкість щодо теплового шуму в порівнянні з АМ [16].

При ЧС миттєва частота  $f(t)$  модульованого радіосигналу  $U_{ЧМ}(t)$  змінюється відповідно до модулюючого сигналу  $U(t)$ :

$$f(t) = f_0 + \Delta f_D(t) = f_0 + K_{\text{чМ}}U(t), \quad (2.1)$$

де  $f_0$  – несуча частота;

$\Delta f_D(t)$  – відхилення частоти під впливом модулюючого сигналу (девіація частоти);

$K_{\text{чМ}}$ , Гц/В – крутизна модуляційної характеристики частотного модулятора.

Важливою характеристикою ЧС радіосигналу є ширина його спектру, яка визначає необхідну смугу пропускання радіоканалу  $\Pi_{\text{чМ}}$ . При передачі сигналів багатоканальної телефонії мінімальна необхідна смуга  $\Pi_{\text{чМ}}$  повинна визначатися виходячи з допустимого рівня перехідних перешкод, що виникають в результаті обмеження спектра

$$\Pi_{\text{чМ}} = 2f_B q_{\text{чМ}}, \quad (2.2)$$

де  $q_{\text{чМ}}$  – параметр, що залежить від рівня перехідних перешкод і індексу ЧС.

Для прикладу в таблиці 2.1 наведені значення необхідної смуги пропускання радіоканалу при передачі сигналів багатоканальної телефонії для вітчизняних РРЛ з різною ємністю.

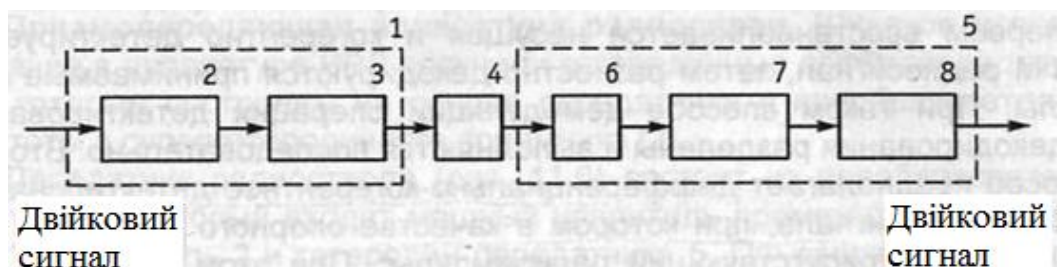
При розрахунках значення смуги пропускання радіоканалу при передачі сигналів багатоканальної телефонії, враховувалася різна потужність перехідних перешкод у верхньому телефонному каналі  $P_{\text{шн}}$ .

Модуляцію в цифрових РРЛ прийнято називати маніпуляцією. Залежно від числа рівнів модулюючого сигналу розрізняють дворівневу (двійкову) і багаторівневу маніпуляції.

Таблиця 2.1– Значення необхідної смуги пропускання

Число каналів ТЧ	12	24	60	120	240	300	360	600	720	1020	1320	1920
П <sub>чм</sub> , МГц при P <sub>шн</sub> = 1пВт	0,61	0,84	3,05	4,33	6,4	8,5	9,67	14,57	17,57	23,37	25,57	35,8
П <sub>чм</sub> , МГц при P <sub>шн</sub> = 1пВт	0,55	0,75	2,72	3,94	5,57	7,64	8,72	13,19	15,9	21,14	23,73	32,9

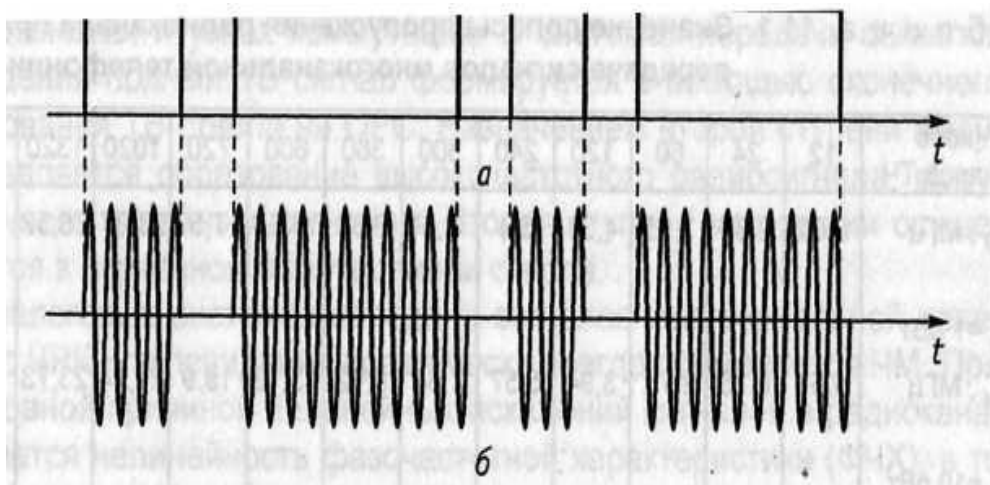
Для багатьох видів маніпуляцій, що застосовуються в цифрових РРЛ, передбачається використання маніпульованими сигналами, що відрізняються за структурою від вихідного переданого довійкового сигналу. Формування зазначених маніпульованих сигналів здійснюється спеціальним пристроєм-кодером модулятора(рис. 2.1). При демодуляції радіосигналів на приймальному кінці за допомогою декодера демодулятора виробляється зворотне перетворення, в результаті чого формується вихідний двійковий сигнал. Декодування передуює реєстрація сигналів, в результаті якої з продетектованного спотвореного сигналу формується сигнал, який має структуру модулюючого сигналу на передавальному кінці. У сучасних цифрових РРЛ застосовуються амплітудна, фазова, частотна і комбінована амплітудно-фазова маніпуляції.



1 – модулятор; 2 – кодермодулятора; 3 – пристріймодуляції; 4 – радіоканал; 5 – демодулятор; 6 – детектор; 7 – регенератор; 8 – декодердемодулятор.

Рисунок 2.1 – Функціональна схема модему для цифрової РРЛ

При амплітудній маніпуляції модульованим параметром радіосигналу є його амплітуда (рис. 2.2). В даний час застосовується лише двійкова амплітудна маніпуляція. У системах з амплітудною маніпуляцією застосовується некогерентного детектування радіосигналів, що забезпечує простоту побудови апаратури в порівнянні з когерентним детектуванням. Модуляція і демодуляція сигналів в системах з двійковою амплітудною маніпуляцією не вимагають спеціального кодування і декодування.



а – маніпулює сигнал; б – амплітудно-маніпульований сигнал

Рисунок 2.2 – Формасигналів при амплітудній маніпуляції

При фазовій маніпуляції (ФМ) модульованим параметром радіоімпульсу є фаза високочастотного заповнення. В сучасних РРЛ застосовуються двійкова, чотирирівнева і восьмирівнева ФМ. При демодуляції фаза ФМ радіосигналу порівнюється з фазою відновленого на приймальному кінці опорного коливання (несучої). Через випадкові спотворені радіосигналу має місце невизначеність фази відновленої несучої, що є причиною так званої зворотної роботи, при якій двійкові послідовності приймаються «в негативі». Для усунення впливу невизначеності фази застосовується різницеве кодування фази переданих радіоімпульсів. ФМ з різницевим кодуванням фази називають фазорозрізною або відносною

фазовою маніпуляцією (ОФМ). У РРЛ з ОФМ при передачі інформації кодується не як така фаза радіосигналу, а різниця фаз (фазовий зсув) двох сусідніх радіоімпульсів.

Застосовуються два способи демодуляції ОФМ радіосигналів. У першому відновлюється несуча і когерентно детектується ОФМ радіосигнал, потім різницево декодуються сигнали, що приймаються. При такому способі демодуляції операції детектування і декодування розділені і виконуються послідовно. Другий спосіб передбачає диференційно-когерентне детектування ОФМ радіосигналу, при якому в якості опорного коливання використовується присутній радіоімпульс. При цьому операції детектування і декодування суміщені.

Ширина спектра ОФМ радіосигналу залежить від швидкості передачі інформації і числа рівнів маніпуляції. Необхідна для ОФМ радіосигналу мінімальна смуга пропускання

$$P_{\text{ОФМ}} = C / \log_2 M, \quad (2.3)$$

де  $C$  – частотапроходження переданих елементів вихідного двійкового сигналу.

При збільшенні числа рівнів маніпуляції смуга частот, необхідна для ОФМ радіосигналу, зменшується. Так, при ОФМ-4 смуга частот вдвічі менше, ніж при ОФМ-2, при однаковій швидкості передачі інформації.

При частотній маніпуляції модулюючим параметром є частота радіосигналів. У РРЛ застосовуються двійкова, трирівнева і восьмирівневачастотні маніпуляції.

Смуга частот  $P_{\text{ЧМ}}$ , необхідна для передачі частотно-маніпульованого сигналу, залежить від швидкості передачі інформації  $C$ , числа рівнів  $M$  і максимальною девіації частоти  $\Delta f_{\text{ДМ}}$ . При  $M = 2, 4, 8$

$$P_{\text{ЧМ}} = C / \log_2 M + 2 \Delta f_{DM}. \quad (2.4)$$

При амплітудно-фазовій маніпуляції (АФМ) передбачається амплітудна маніпуляція синфазної і квадратурної складових сигналу. Застосування багаторівневої АФМ дозволяє забезпечити високу ефективність використання смуги частот. АФМ часто називають квадратурної амплітудної маніпуляцією (КАМ).

Двійкові некогерентні амплітудна і частотна маніпуляції застосовуються в РРЛ з малою пропускною здатністю, двійкова АФМ - в РРЛ з середньою пропускною здатністю. Широке застосування в РРЛ з різною пропускною здатністю отримує АФМ-4. Поряд з АФМ-4 АФМ-16 повинна стати основним видом маніпуляції для цифрових РРЛ з високою пропускною здатністю. Для передачі цифрових сигналів в існуючих аналогових РРЛ широко застосовуються двійкова і багаторівнева частотні маніпуляції з числом рівнів  $M = 3, 4$  і  $8$  при використанні аналогового частотного детектора для демодуляції радіосигналів.

## 2.2 Апаратура радіорелейних ліній прямої видимості

### Прийомо-передаюча апаратура радіозв'язку

Широке використання в апаратурі РРЛ отримали гетеродинні приймачі, які побудовані на основі передавача з перетворювачем частоти і супергетеродинного приймача.

Передавач радіоствола (рис. 2.3) складається з перетворювача частоти, в який входить потужний підсилювач проміжної частоти 1, змішувач 2 і гетеродин передавача 5, ПФ надвисокої частоти 3 і підсилювач сигналу СВЧ 4.



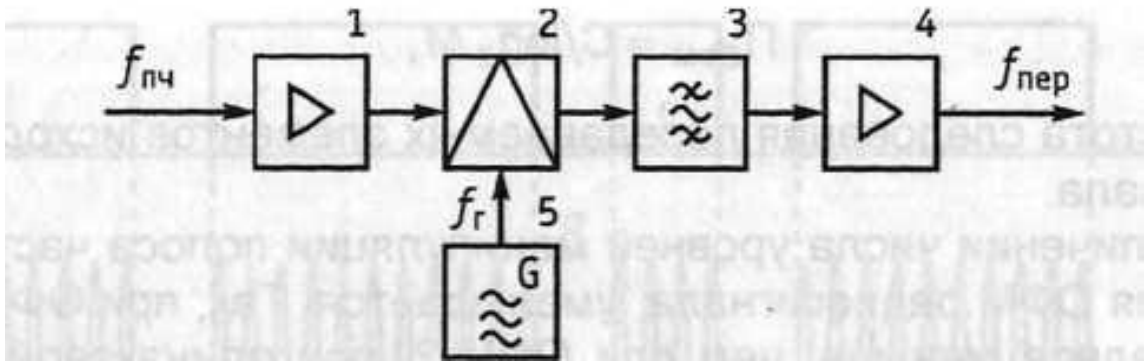


Рисунок 2.3– Функціональна схема передавача функціонального радіоствола

Модульований сигнал проміжної частоти після посилення зміщується в змішувачі з високостабільним коливанням гетеродина  $f_r$ . На виході змішувача в ПФ виділяється сигнал з частотою передачі  $f_{пер}$ . Потім потужність цього сигналу посилюється в підсилювачі НВЧ до необхідного значення.

У радіосистемі малої потужності (менше 1 Вт) підсилювач НВЧ може не встановлюватися.

Приймач радіоствола (рис. 2.4) складається з малошумових підсилювача сигналу СВЧ 1, ПФ 2, перетворювача частоти, в який входять змішувач 3 і гетеродин приймача 5, і підсилювача сигналу проміжної частоти.

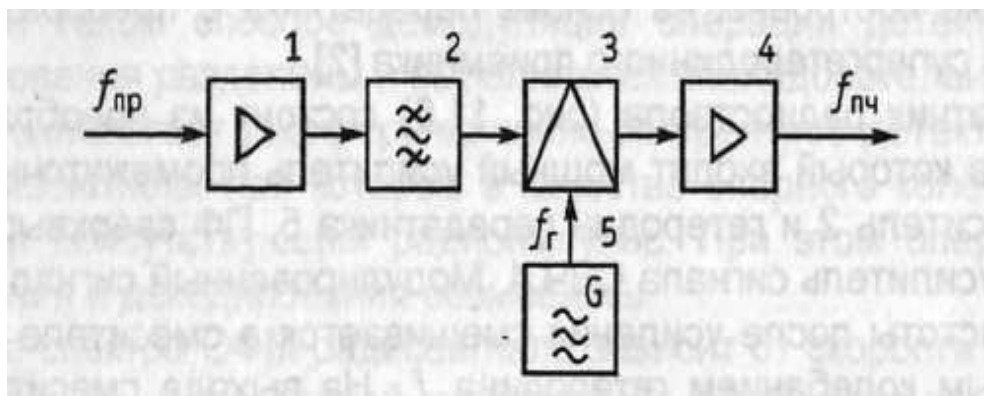


Рисунок 2.4– Функціональна схема приймача радіоствола

Сигнал проміжної частоти утворюється змішуванням сигналу з частотою  $f_{\text{пр}}$  з високостабільним коливанням  $f_r$ .

В тракці проміжної частоти гетеродинного приймача здійснюються такі основні функції: автоматичне регулювання посилення, що компенсує зміни рівня сигналу в середовищі поширення радіохвиль; коригування спотворень частотних характеристик передачі, внесених різними елементами тракту проміжної частоти та НВЧ; амплітудне обмеження ЧМ сигналу в системах з частотним ущільненням.

Тракти проміжної частоти. Тракт проміжної частоти, що входить до складу гетеродинних ретрансляторів, використовується для створення високої вибірконості приймача при малих розладах щодо кордонів смуги пропускання.

Для елементів тракту проміжної частоти характерні наступні параметри: мала нерівномірність АЧХ групового часу запізнювання і диференціального посилення в смузі частот точної корекції, високий ступінь узгодження входів і виходів сигналу проміжної частоти в приймально-передавальній апаратурі.

Структурна схема типового тракту проміжної частоти приймача РРЛ приведена на рисунку 2.5. Модульований сигнал проміжної частоти від змішувача приймача надходить на вхід попереднього підсилювача 1, далі сигнал обробляється ПФ 3 і коректором групового часу запізнювання 2. Коректор 4 служить тільки для корекції спотворень групового часу запізнювання, що вносяться ПФ. У головному підсилювачі 5 здійснюються основне посилення сигналу в приймачі і АРУ, для чого частина сигналу з виходу підсилювача 5 відгалужується на амплітудний детектор 6, а потім на підсилювач постійного струму 8 з ФНЧ 7. Останні пристрої діють як інтегратор і формують напругу регулювання посилення головного підсилювача.

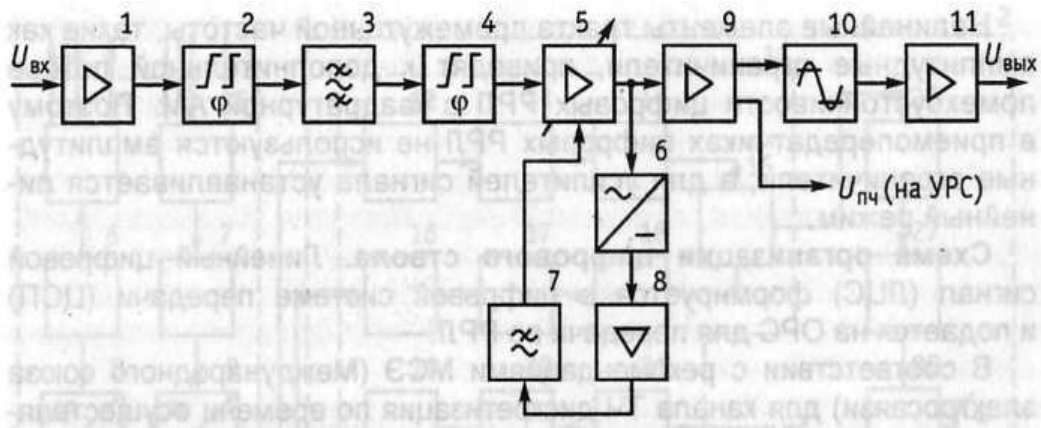


Рисунок 2.5– Структурна схема типового тракту проміжної частоти РРЛ

Таким чином, рівень сигналу проміжної частоти на виході головного підсилювача підтримується постійним в досить великому діапазоні змін рівня сигналу (в приймачах магістральних РРЛ досягає 46-50 дБ). Крайовий підсилювач 9 має два виходи, один з яких використовується для подачі сигналу на вхід передавача (ретрансляція сигналу на ПРС), другий - для виділення сигналу проміжної частоти на УРС. Підсилювач-обмежувач 10 зазвичай встановлюється в РРЛ з частотним ущільненням і ЧС, він пригнічує паразитну АМ. Потужний підсилювач 11 забезпечує на вході змішувача передавача необхідний рівень сигналу проміжної частоти.

Особливості трактів проміжної частоти цифрових РРЛ полягають в різних вимогах до смуг пропускання і точної корекції частотних характеристик тракту, а також в підвищених вимогах до лінійності амплітудної характеристики активних елементів цього тракту.

Нелінійні елементи тракту проміжної частоти, такі як амплітудні обмежувачі, призводять до додаткової втрати завадостійкості цифрових РРЛ з квадратурної АМ. Тому в приймач-цифрових РРЛ не використовуються амплітудні обмежувачі, а для підсилювачів сигналу встановлюється лінійний режим.

Схема організації цифрового стовбура. Лінійний цифровий сигнал (ЛЦС) формується в цифровій системі передачі (ЦСП) і подається на ОРС для передачі по РРЛ.

Відповідно до рекомендацій МСЕ (Міжнародного союзу електрозв'язку) для каналу ТЧ дискретизація за часом здійснюється через період  $T_d = 125$  мкс, і кожен часовий відлік передається ІКМ - восьмирозрядним бінарним кодом ( $q = 8$ ). При цьому виходить, що кожному каналу ТЧ відповідає цифровий канал. Зі швидкістю передачі двійкових символів  $C = 64$  кбіт/с. Первинною ЦСП служить апаратура ІКМ-30, в якій методом ВРК об'єднуються 32 цифрових телефонних сигналу, з них - 30 робочих і 2 службових, використовуваних для циклової синхронізації, управління та взаємодії. Сигнал на виході ЦСП типу ІКМ-30 називається первинним цифровим потоком, його швидкість  $C = 2048$  кбіт / с. Ієрархічний ряд ЦСП і типових цифрових трактів базується на апаратурі ІКМ-30. Коефіцієнт об'єднання для цього ряду дорівнює 4. Тому число каналів для вторинного цифрового тракту виявляється рівним  $30 \times 4 = 120$  і т.і.

Функціональна схема цифрового стовбура РРЛ на прикладі ОРС при  $M = 4$  приведена на рис. 2.6. ЛЦС по з'єднувальним лініях від двох ЦСП 1, 3 типу ІКМ-30 надходить на ОРС 2. До складу передавальної частини ЦСП входять: пристрій амплітудно-імпульсної модуляції (АІМ) 5, на виході якого утворюється багатоканальний сигнал з АІМ; кодер 7, на виході якого отримуємо двійковий цифровий сигнал; перетворювач коду 9, на виході якого формується ЛЦС. Приймальна частина ЦСП містить регенератор ЛЦС 10, перетворювач коду 8, декодер 6 і амплітудно-імпульсний демодулятор 4.

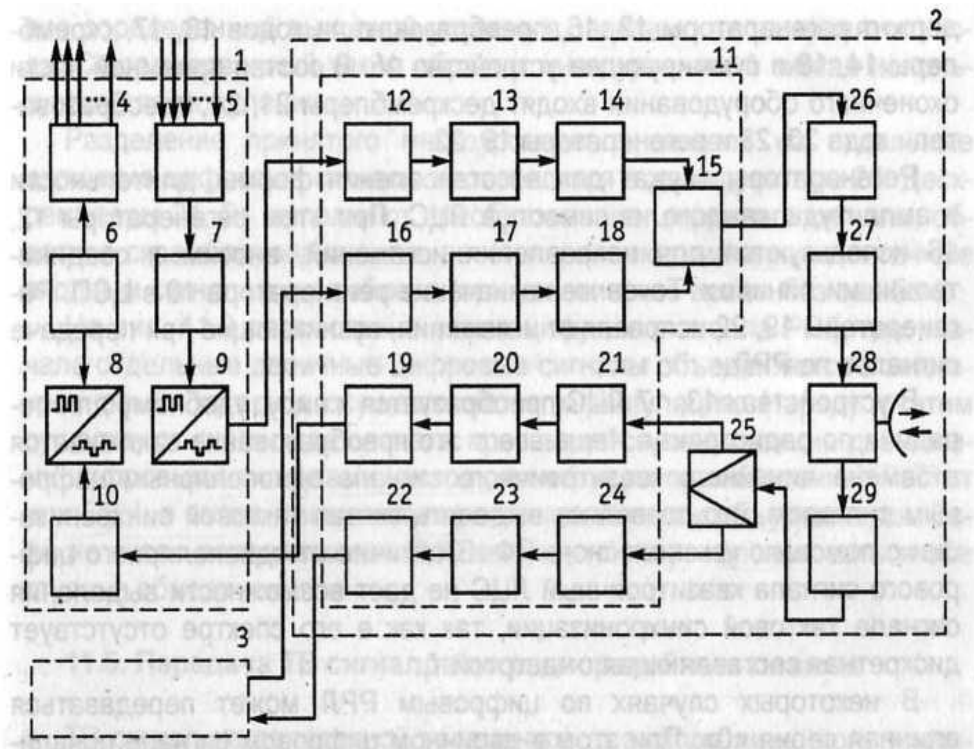


Рисунок 2.6 – Функціональна схема цифрового стовбура РРЛ

Вибір коду ЛЦС визначається особливостями передачі його по з'єднувальним лініях, в якості яких використовуються симетричні або коаксіальні кабелі. Важливим параметром ЛЦС є його спектр. Спектральна щільність однополярного двійкового цифрового сигналу в загальному випадку складається з постійної складової, безперервної частини і дискретних компонент на частотах  $f_k = kf_T$ , де  $f_T$  – тактова частота,  $k = 1, 2, 3$ . На кабельних з'єднувальних ліній постійна складова ЛЦС не передається. Виникають спотворення ЛЦС через обмеження смуги в лінійному тракті як з боку нижніх частот (через наявність перехідних конденсаторів і узгоджувальних трансформаторів), так і з боку верхніх частот (з ростом частоти збільшується загасання кабелю). Тому доцільно вибрати такий ЛЦС, який не містить постійної складової і має максимум спектральної щільності енергії в області середніх частот. Цим вимогам відповідає спектр квазітроїчного ЛЦС.

Зауважимо, що при будь-якому варіанті квазітроїчного коду ЛЦС є трехсимвольно-імпульсна послідовність: -1, 0, +1. Причому «0» кодується відсутністю імпульсу, «1» – по черзі імпульсами позитивної і негативної полярності.

Отже, перетворювачі коду 8, 9 служать для узгодження спектра ЛЦС з частотної характеристикою сполучних ліній. Перетворювач 9 здійснює формування ЛЦС в квазітроїчному коді з двійкового цифрового сигналу, а пристрій 8 виконує зворотнє перетворення.

Безпосередньо ОРС містить кінцеве обладнання, що містить модулятор 26, передавач СВЧ коливань 27, антеннофідерний тракт 28, приймач СВЧ коливань 29, демодулятор 25.

Кінцеве обладнання цифрового стовбура 11 є пристроєм сполучення, так як воно служить для узгодження ЦСП з приймально-передаючим радіорелейним обладнанням. Розглянемо призначення елементів кінцевого обладнання 11. Передавальна частина містить регенератори 12, 16, перетворювачі кодів 13, 17, скремблери 14, 18 і пристрій, що підсумовує 15. До складу приймальної частини кінцевого обладнання входять дескремблер 21, 24, перетворювачі коду 20, 23 і регенератори 19, 22.

Регенератори служать для відновлення форми, тривалості і амплітуди кожного з символів ЛЦС. При цьому регенератори 12, 16 використовуються для виправлення спотворень, що вносяться сполучними лініями. Таке ж призначення регенератора 10 в ЦСП [9]. Регенератори 19, 22 виправляють викривлення, що виникають при передачі сигналів по РРЛ.

У пристроях 13, 17 ЛЦС перетвориться до вигляду, зручного для передачі по радіотракту. Найчастіше це перетворення полягає в заміні лінійного квазітроїчного сигналу однополярним цифровим сигналом, що дозволяє виділяти сигнал тактової синхронізації за допомогою вузькосмугового ПФ. На відміну від однополярного цифрового сигналу квазітроїчний ЛЦС не дає можливості виділення сигналутакової

синхронізації, так як в його спектрі відсутній дискретна складова з частотою  $f_T$ .

У деяких випадках за цифровим РРЛ може передаватися довга серія «0». При цьому в довічнім цифровому сигналі з'являються постійна і низькочастотна складові, а щільність енергії на тактовій частоті зменшується. Якщо такий цифровий сигнал передавати по РРЛ, то на прийомі з нього буде важко виділити коливання тактової частоти, необхідні для нормальної роботи регенераторів і інших пристроїв. В результаті можуть спостерігатися зриви систем тактової синхронізації по всій РРЛ.

Передача таких цифрових сигналів по РРЛ небажана ще й тому, що погіршує умови електромагнітної сумісності. Дійсно, під час передачі довгою серією «0» енергія сигналу на виході передавача виявляється зосередженою в більш вузькій смузі, ніж при передачі послідовності символів «0» і «1». Внаслідок чого при роботі декількох РРЛ в загальній смузі частот зростають перешкоди іншим станціям від цього передавача. Тому двійковий цифровий сигнал до надходження на модулятор піддається спеціальному перетворенню – скремблюванню, в результаті якого послідовності нулів і одиниць надається квазі-випадковий характер. Скремблiranje виконується шляхом додавання за модулем 2 вхідного цифрового сигналу з псевдовипадковою послідовністю (сума по модулю 2 двох однакових символів дає символ 0, тобто  $0 + 0 = 0$  і  $1 + 1 = 0$ , але  $0 + 1 = 1$ ).

Виконавчі цифрові сигнали з виходів скремблерів 14, 18 надходять на суматор 15, що представляє собою перетворювач коду, в якому кожному можливому поєднанню полярностей і імпульсів вхідних двійкових цифрових сигналів ставиться у відповідність певний вихідний рівень в залежності від прийнятого коду. Сформований таким чином багаторівневий сигнал використовується для модуляції.

Поділ прийнятого багаторівневого сигналу на окремі виконавчі цифрові сигнали проводиться в демодуляторі 25. дескремблер 21, 24 виконують перетворення цифрового сигналу, зворотне скремблювання, тобто

відновлюють сигнали, ідентичні вхідним сигналам скремблера (за умови, що прийом без помилок).

На рис. 2.6 розглянута схема цифрового стовбура РРЛ, де спочатку окремі виконавчі цифрові сигнали об'єднуються в багаторівневий, яким здійснюється маніпуляція. Поряд з цим існують схеми, де спочатку проводиться маніпуляція двійковими цифровими сигналами кількох несучих проміжних частот або СВЧ, а потім ці маніпульовані сигнали об'єднуються. Якщо ж число переданих ЛЦС велике, то можуть використовуватися обидві ступені об'єднання.

### 2.3 Тропосферні радіорелейні лінії

Загальні відомості. Відкриття ефекту далекого тропосферного поширення дециметрових і сантиметрових хвиль дозволило істотно розширити інженерні можливості створення багатоканальних РРЛ. Створено тропосферні РРЛ пропускною спроможністю до 120 каналів ТЧ з відстанню між сусідніми станціями 300 ... 400 км, а в окремих випадках і 600-800 км. Для України з її величезною територією тропосферні РРЛ представляють особливий інтерес, оскільки дозволяють забезпечити сучасними засобами зв'язку віддалені і важкодоступні районах. Для тропосферних РРЛ виділені смуги частот в діапазонах 1,0; 2,0 і 4,5 ГГц.

Основні особливості далекого тропосферного поширення радіохвиль ультрависоких частот. По-перше, це дуже сильне ослаблення сигналу на ділянці поширення. Загасання сигналу досягає 210 ... 250 дБ в гірші за умовою поширення радіохвиль зимові місяці, тобто перевищує загасання на ділянці РРЛ прямої видимості на 80 ... 120 дБ. Для забезпечення стійкого зв'язку в умовах великого загального загасання доводиться створювати апаратуру з енергетичними параметрами, значно кращими, ніж параметри РРЛ прямої видимості. Потужність передавача досягає 3 ... 10 кВт, а в окремих випадках – і 100 кВт, розміри антен можуть перевищувати 1000 м<sup>2</sup>,



використовуються малошумні вхідні підсилювачі, спеціальні пристрої зниження порогового рівня ЧМ сигналу.

По-друге, при далекому тропосферні поширенні радіохвиль сигнал піддається швидким, повільним і дуже повільним (сезонним) змін (флуктуацій).

Швидкі флуктуації сигналу визначаються інтерференцією хвиль перевідбиття рухомими неоднорідностями тропосфери. Переміщення неоднорідностей викликає зміна фаз складових хвилі, що приходить, що і призводить до швидких завмирань. Швидкість швидких завмирань характеризується квазіперіодом, тобто середнім за п'ятихвилинний сеанс часом між двома перетинами (в одну сторону) сигналом медіанного рівня. Квазіперіод знаходиться зазвичай в межах 0,1 ... 10 с.

Повільні завмирання - це зміни в часі усереднених за 4 ... 7 хв значень рівня сигналу. Такий інтервал усереднення дозволяє відокремити швидкі інтерференційні завмирання від повільних, природа яких пов'язана зі зміною інтенсивності і кількості неоднорідностей в обсязі розсіювання.

Сезонні зміни сигналу (дуже повільне завмирання) визначаються змінами метеорологічних умов: сигнал влітку на 5 ... 14 дБ більше, ніж взимку.

Для нормального функціонування ділянки лінії в 99,9% часу запас рівня сигналу на швидкі завмирання повинен становити 28 дБ. У тропосферних РРЛ такий запас енергетики забезпечити важко або навіть практично неможливо. Для боротьби з інтерференційними завмираннями можна використовувати такі методи, як рознесений прийом, оптимальний прийом широкосмугових сигналів, адаптивні системи зі зворотним зв'язком.

На практиці для боротьби з завмираннями найчастіше використовуються системи рознесеного прийому, які розглянемо детальніше.

Боротьба з завмиранням на тропосферних РРЛ. Рознесений прийом заснований на тому, що сигнал на виході приймального пристрою утворюється комбінацією декількох вхідних сигналів, що несуть одну і ту ж.

інформацію, але по-різному уражених завмираннями. При цьому комбінування здійснюється так, щоб вихідний сигнал флукутувався значно менше, ніж вхідні.

На тропосферних РРЛ можуть бути застосовані наступні методи рознесення:

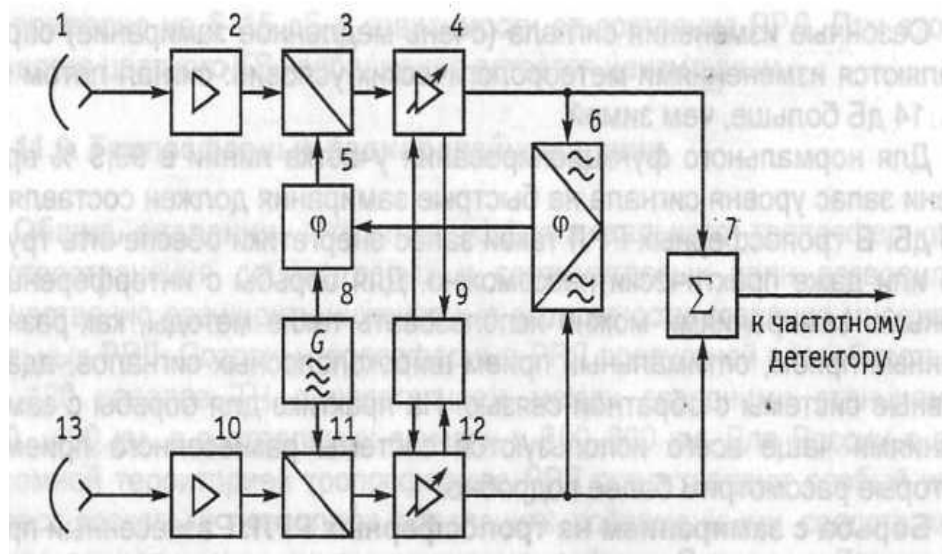
- просторове рознесення антен (зазвичай перпендикулярно трасі) на відстань  $D \times 100\lambda$ , де  $\lambda$ -довжина хвилі;
- частотне рознесення, що використовує незалежність завмирання сигналу на частотах, рознесених на величину, що перевищує радіус частотної кореляції;
- рознесення по куту приходу променю, при якому використовуються одна прийомна антена і кілька опромінювачів, кожен з яких створює свою діаграму спрямованості, зрушену щодо сусідніх по азимуту або по куту місця;
- комбіноване рознесення, наприклад при четвереному прийомі рознесення пар сигналів по частоті і в просторі або по частоті і розі.

Після того як отримано  $N$  копій флукутуючого радіосигналу, необхідно їх найбільш раціонально використовувати, тобто отримати таку комбінацію, при якій втрати переданої інформації будуть мінімальними. Застосовуються три способи комбінування рознесених сигналів:

- автоматичний вибір, при якому до виходу пристрою комбінування підключається завжди той з  $N$  сигналів, рівень якого максимальний;
- лінійне складання, при якому всі  $N$  рознесених сигналів складаються з однаковою вагою. Це означає, що посилення всіхрознесених приймачів має бути однаковим;
- оптимальне складання, використання якого забезпечує максимальне відношення сигнал-шум на виході приймального пристрою.

Технічно реалізація систем складання може здійснюватися як до детектора, так і після (в тракці низької частоти). При додаванні сигналів до детектора необхідно попередньо фазованого радіосигнали окремих гілок

рознесення. Структурна схема приймача з лінійним складанням двох просторово рознесених сигналів представлена на рис. 2.7 [17]. У ньому є пристрій автопідстроювання фази одного з гетеродинів 8, що складається з фазового дискримінатора 6, ланцюги управління фазою (фазообертача) 5 і загальної для двох трактів системою паралельної АРУ 9, що забезпечує ідентичність коефіцієнтів передачі.



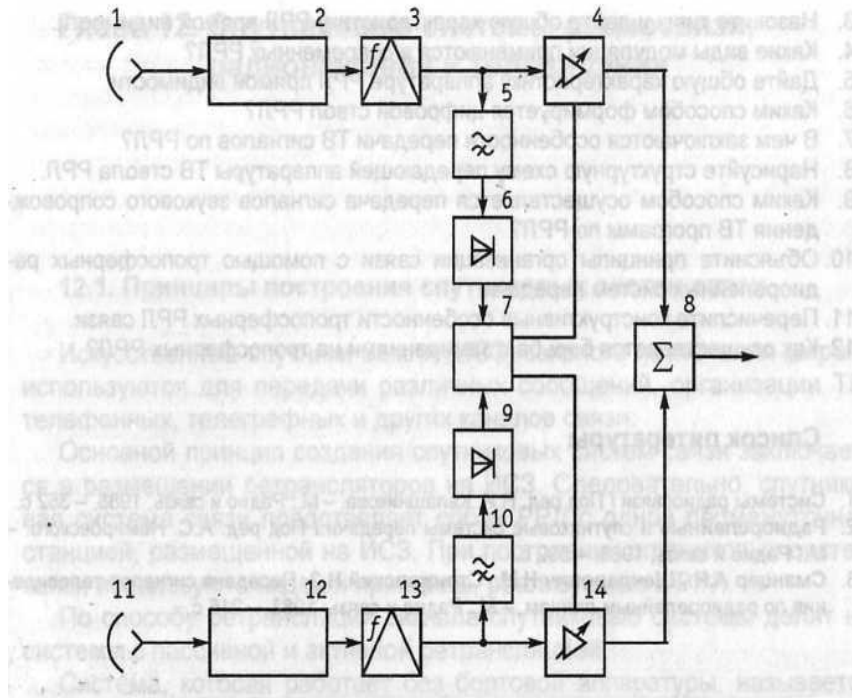
1, 13 – прийомні антени; 2, 10 – підсилювачі високої частоти; 3, 11 – змішувачі; 4, 12 – підсилювачі проміжної частоти; 7 – пристрій, що підсумовує

Рисунок 2.7 – Структурна схема пристрою з двоєного прийому

При оптимальному складанні посилення в кожній гілці рознесення безперервно має підтримуватися пропорційним відношенню напруги сигналу до середньоквадратичного значення шуму.

Спрощена структурна схема приймального пристрою з оптимальним складанням після детектора представлена на рис. 2.8. В даному випадку сигнали з виходів частотних детекторів 3, 13 надходять одночасно на керовані підсилювачі 4, 14 і фільтри шумів. Смуга пропускання фільтрів розташовується вище верхньої частоти переданого корисного повідомлення.

Шуми детектування в детекторах 6, 9 і подаються на пристрій порівняння, яке управляє рівнем складаються сигналів.



1,11 – прийомні антени; 2, 12 – високочастотні частини приймачів;  
5, 10 – ФВЧ; 7 – пристрій порівняння; 8 – пристрій складання

Рисунок 2.8 – Структурна схема приймального пристрою з оптимальним складанням

Потенційні можливості рознесеного прийому обмежені, оскільки збільшення кратності рознесення пов'язано майже пропорційно з ростом обсягу обладнання. Тому подальше поліпшення якості та надійності тропосферних РРЛ зажадало розробки нових методів боротьби з завмираннями. Такими способами є використання оптимального прийому широкосмугових сигналів і адаптивний прийом.

На вітчизняних лініях зв'язку широко застосовується апаратура тропосферного радіорелейного зв'язку типу «ТРИ20», «Горизонт», «Стежка-2,4». Останній тип апаратури є цифровим, які працюють в діапазоні 4,4 ... 4,7 ГГц, який розрахований на передачу до 60 каналів ТЧ.

### 3 РОЗРАХУНОК КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ З УРАХУВАННЯМ ПЕРЕСІЧЕНОЇ МІСЦЕВОСТІ

#### 3.1 Розрахунок профілю каналу зв'язку

Перша умова для отримання якісної радіозв'язку полягає у виборі потрібного профілю поверхні Землі на шляху поширення радіохвиль. Це розріз профілю Землі на шляху поширення радіосигналу, що показує всі особливості ландшафту, перешкоди, типи ландшафту (вода, земля, дерева, будівлі і т.і.) і щогли, на яких встановлені антени. Для відстаней менше ніж кілометр або два, профілі зазвичай не потрібні, оскільки віддалений термінал може бути ясно видно з основної ділянки (але все інші обчислення і пріоритети, описані в методології проекту, повинні бути виконані).

На рис. 3.1 показаний типовий розріз профілю земної поверхні.

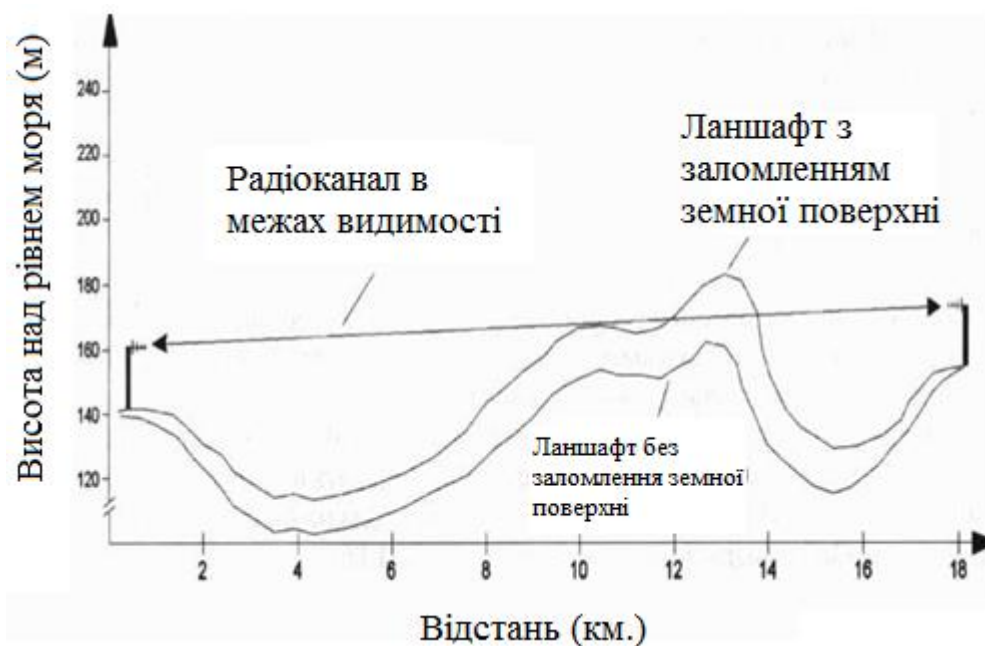


Рисунок 3.1 – Типовий профіль каналу

Перший крок в цьому процесі – отримання контурної карти місцевості. У більшості областей розвинених країн, що розвиваються, ці карти в будь-який момент можна отримати від відповідних відомств і приватних

компаній, які роблять огляди і видають свої матеріали і звіти. Рекомендується, щоб карта мала як мінімум 20-метрові контурні лінії, проте краще двометрові, п'ятиметрові або 10-метрові.

Необхідно визначити знаходження віддаленого терміналу і положення головної ділянки на карті, і намалювати пряму лінію між цими двома місцями розташування олівцем. Потім, припускаючи, що основна ділянка знаходиться на відстані 0 км, йде за лінією, слідуєте за відмітками кілометрів і там, де з'являється контурна лінія, в цій точці також відзначте контурну висоту.

Поверхня Землі звичайно не плоска, а вигнута. Малюнок розрізу поверхні Землі, отриманий завдяки карті, не відображає справжні особливості шляху поширення радіохвиль. Наведена нижче формула допоможе визначити поправочний коефіцієнт, який потрібно врахувати для кожної знаходиться на карті точки, щоб отримати справжній профіль поверхні Землі:

$$h = \frac{d_1 \times d_2}{12,75K} , \quad (3.1)$$

де  $h$  – коефіцієнт виправлення висоти, який додається до висоти контуру, м;

$d_1$  – відстань від точки контуру до одного кінця каналу, км;

$d_2$  – відстань від тієї ж самої точки контуру до іншого кінця каналу, км;

$K$  – відповідний коефіцієнт радіуса Землі.

Коефіцієнт радіуса Землі що потрібний для обліку того факту, що радіохвиля огинає Землю через атмосферного заломлення. радіус вигину змінюється зі зміною атмосферних умов, і тому значення що змінюється з урахуванням цього. Для цілей радіо в частотах нижче 1 ГГц досить припустити, що більше 90% часу що дорівнюватиме 4/3. Щоб врахувати періоди, де зміна що збільшує загасання, треба забезпечити добру

межузавмирання.

Коефіцієнт  $K$  дозволяє завжди намалювати шлях проходження радіохвиль у вигляді прямої лінії і регулює контур Землі для обліку згинається радіохвилі. Як тільки висота розрахована і додана до висоти контуру, то може бути підготовлений профіль каналу.

Тепер по карті можна побачити, чи є які-небудь прямі перешкоди на цьому шляху. Як правило шлях повинен успішно минути всі перепони. Навколо лінії шляху є область у вигляді конуса, яка повинна бути прохідна для радіохвиль. Вона називається зоною Френеля(рис. 3.2).

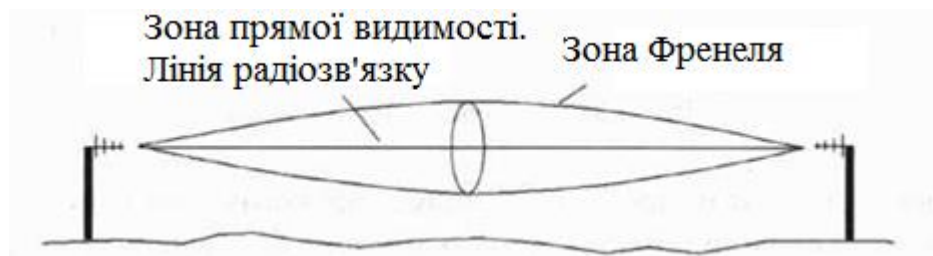


Рисунок 3.2 – Відстаньзони Френеля

Проведення розрахунків зони Френеля має більше відношення до прогнозу роботи мікрохвильового каналу.

Для проведення розрахунків зони Френеля використовується наступна формула:

$$F = 0,55 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(\text{МГц}) \times D}}, \quad (3.2)$$

де  $F$  – розрахунокзони Френеля, тобто радіусу конуса, м;

$d_1$  – відстань від точки контуру до одного кінця каналу, км;

$d_2$  – відстань від точки контуру до іншого кінця каналу, км;

$D$  – повна довжина каналу, км;

$f$  – частота в МГц.

Якщо по карті стає зрозуміло, що радіоканал проходить близько до перешкоді, то варто зробити розрахунок зони Френеля, щоб перевірити умови проходження радіосигналу. Зазвичай висоти щогл вибираються так, щоб забезпечити проходження сигналу в області, що має радіус 0,6 радіуса зони Френеля. Коефіцієнт 0,6 обраний тому що, по-перше, він забезпечує достатню точність розрахунків радіоканалу і, по-друге, допомагає запобігти впливу відображень. При  $F$  менше 0,6 відбувається поглинання сигналу в зоні прямої видимості, і тому відсутня посилення, що досягається за рахунок більш високих щогл.

Інший важливий пункт для розгляду - це той факт, що частоти нижче 1 ГГц мають хороші властивості дифракції. Чим нижче частота, тим більше дифракція. Тому для дуже довгих каналів можна використовувати зв'язок при наявності нечисленних перешкод. Важливо обчислити поглинання за рахунок дифракції та, отже визначити її вплив на впевнений прийом (тобто кордон завмирання) радіосигналу.

Як приклад на рис. 3.3 зображений пагорб, який заважає радіоканалу. Необхідно провести обчислення для визначення загасання сигналу через дифракції на цьому пагорбі. Потім отриманий результат додати до повного ослаблення сигналу в каналі щоб визначити, чи буде зв'язок все ще працювати задовільно.

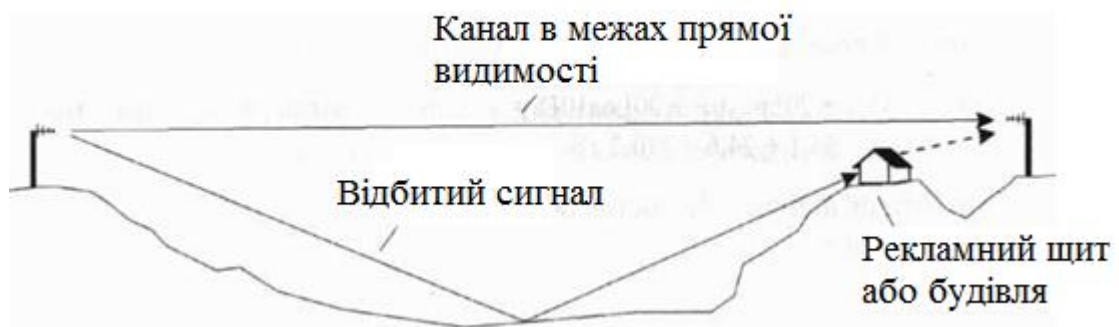


Рисунок 3.3 – Усунення можливих відображень з використанням бар'єрів



### 3.2 Обчислення загасання в радіочастотному канал

На цьому етапі потрібно розрахувати повне ослаблення радіосигналу від антени передавача до антени приймача, що включає:

- ослаблення у вільному просторі;
- дифракційні загасання;
- поглинання дощем;
- втрати відображення.

Поглинання дощем незначно на частотах нижче 1 ГГц.

Втрати відображення важко визначити. По-перше, інтенсивність відбитого сигналу залежить від поверхні, від якої він відбивається (наприклад вода, скеля, пісок). По-друге, відбитий сигнал може надійти в фазі, протифазі або в фазовому зсуві між ними. Так що відображені радіохвилі можуть мати різний рівень – відкатастрофічно низького до повністю збільшеного сигналу. Хороша технічна практика повинна завжди враховувати найгірший варіант, який був би так званої катастрофічною невдачею. Тому при проектуванні зв'язку повинна бути проведена перевірка на наявність відбиття, і якщо вони існують, то необхідно вжити заходів для їх усунення.

Це можна зробити, переміщаючи антени або щогли на різні місця розташування і висоти або поміщаючи бар'єр в каналі відображення, щоб поглинути відбитий сигнал. Наприклад, помістити антену позаду пагорба, будинки, рекламного щита іт.і.

Тому загальне радіочастотне загасання – (a) + (b).

Рис. 3.4 показує, що повне затухання було б:

(b)  $A = 35,2 + 20\text{Log}10F + 20\text{Log}10D = \text{загасання в вільному просторі} = 32,5 + 53,1 + 24,6 = 110,2 \text{ дБ}$ .

(c) Втрата дифракції становить 23 дБ (a) + (b) = 133,2 дБ.

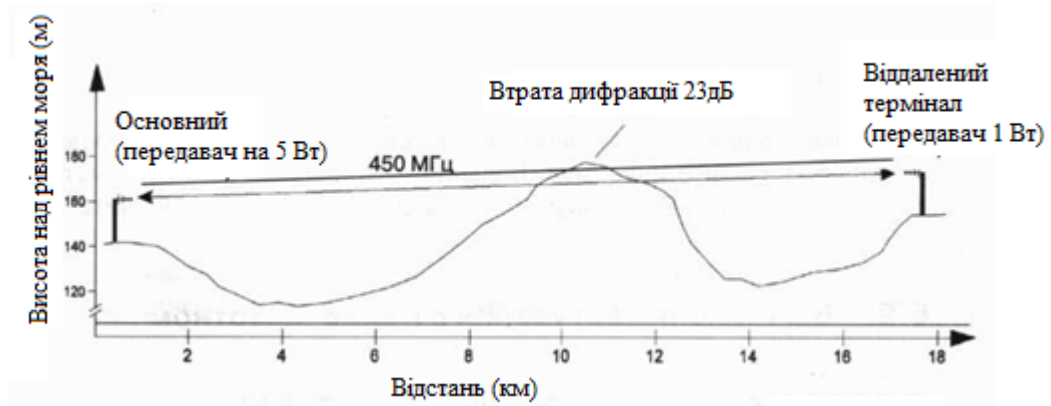


Рисунок 3.4 – Приклад зв'язку

Потужність передавача / чутливість.

Наступним кроком є визначення посилення, забезпеченого передавачами. Якщо в конфігурації зв'язку один передавач працює з меншою потужністю, ніж інший, потрібно розглянути напрям розподілу сигналу від передавача меншої потужності. Тому правила АСА вимагають аналізу шляху поширення сигналу від віддаленого терміналу до основного при потужності сигналу в приймальні антени до 1 Вт, якщо головні станції передають сигнал потужністю 5 Вт.

Передана потужність повинна бути переведена в дБм. Для віддаленого терміналу це робиться в такий спосіб:

$$\text{потужність} = 10 \log \left( \frac{1}{10^{-3}} \right) \text{ дБм} \quad (3.3)$$

Потужність = +30 дБм.

Далі потрібно визначити мінімальний рівень сигналу на вході приймача. Це називається пороговим рівнем чутливості, або іноді рівнем безшумної настройки. Ця цифра може бути отримана з специфікації виробника.

Для радіостанції, що працює при 450 МГц, пороговий рівень чутливості становить = 123 дБм. На цьому рівні сигнал трохи вище шумового

рівня і не дуже чіткий. Тому як правило цифра трохи краще, ніж коли використовується рівень чутливості приймача. Фактичний стандарт використовується, коли радіочастотний сигнал найнижчий, але все ще чіткий. Цей рівень називається рівнем SINAD в 12 дБ. Цю цифру знову ж можна отримати з даних виробника. Для типового радіо на 450 МГц цей рівень дорівнює  $= 117$  дБм.

Використовуючи ці цифри, можна виконати просте обчислення, щоб визначити роботу зв'язку на рис. 3.4.

$T \times Pwr =$  потужність передачі в віддаленому терміналі  $= + 30$ дБм;  
втрата = затухання радіочастотного шляху  $= 133,2$  дБ;

$R \times Sen =$  чутливість приймача для SINAD в 12 дБ  $= -117$  дБ;

$T \times Pwr -$  втрата = Доступна потужність приймача  $= + 30 - 133,2 = -103,2$  дБм.

Так як приймач може прийняти радіочастотний сигнал до  $-117$  дБм, він буде прийнятий приймачем. В даному випадку ми маємо  $13,8$  дБм надлишкової радіочастотної потужності.

### 3.3 Дублювання антен, частот і шляхів поширення радіохвиль

#### 3.3.1 Дублювання антен і частот

Часто радіозв'язок здійснюється за коротким каналом через скелясту місцевість, і інженер каналу повинен бути повністю впевнений, що істотно змінюються умови не будуть проблемою. У цьому випадку головною причиною установки дублюючого обладнання буде просто забезпечення надійності обладнання.

Буває так, що радіозв'язок повинна охопити велику відстань над водою як наприклад в всі міста розміщені біля каховського водосховища та р. Дніпро, і в цій ситуації, не дивлячись на добре розроблений канал з чіткими кордонами завмирання, глибоке завмирання сигналу може викликати ризик погіршення роботи системи або її відмова. В цьому випадку

проектувальник повинен розглянути доцільність встановлення додаткового обладнання.

Різноманітність видів радіозв'язку подібно паралельній дії. Ідея різноманітності повинна забезпечити два варіанти успішного каналу комунікацій, тому використовуються два методу різноманітності.

Перший метод полягає в використанні двох рознесених в просторі антен на приймальному пункті(рис. 3.5). Вони розміщуються на різних висотах на щоглі. Відстань між антенами спеціально вибрано так, що якщо є відбитий сигнал, то два промені, що йдуть на одну антену, будуть в фазі, в той час як ці два промені, що йдуть на іншу антену, будуть в протифазі. Тому, так як коефіцієнт  $K$  змінюється, завжди буде одна антена з двома променями в фазі. Кожна антена пов'язана з окремим приймачем, і частота помилок по бітам буде на кожному приймачі своя. Вибирається вихід приймача з меншою частотою помилок по бітам, сигнал з якого надходить на вихід.

Зверніть увагу на те, що тут потрібно тільки один передавач. Залежно від тригонометрії відображення радіохвиль може виникнути тільки один шлях поширення. Тому різноманітність простору може вимагатися лише на одній ділянці.

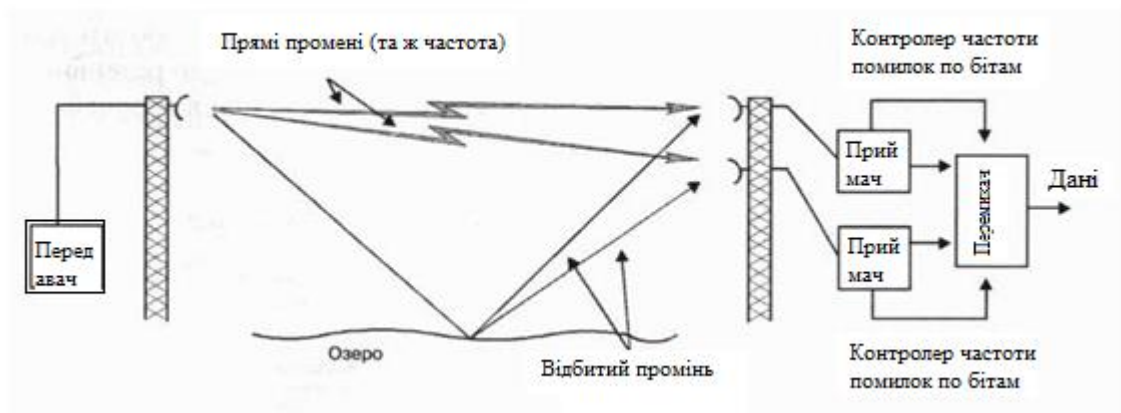


Рисунок 3.5 – Різноманітність простору (один передавач)

Другий метод полягає в використанні різних частот. У цьому випадку та ж сама інформація передається на двох різних частотах. Отже, в передавальному пункті потрібні два передавача, а в приймальному – два приймача (рис. 3.6). Ідея полягає в тому, що різні частоти будуть мати трохи різні характеристики поширення в атмосфері і при відображенні або заломленні від об'єктів одна частота буде неспотвореною, в той час як інша може мати спотворення.

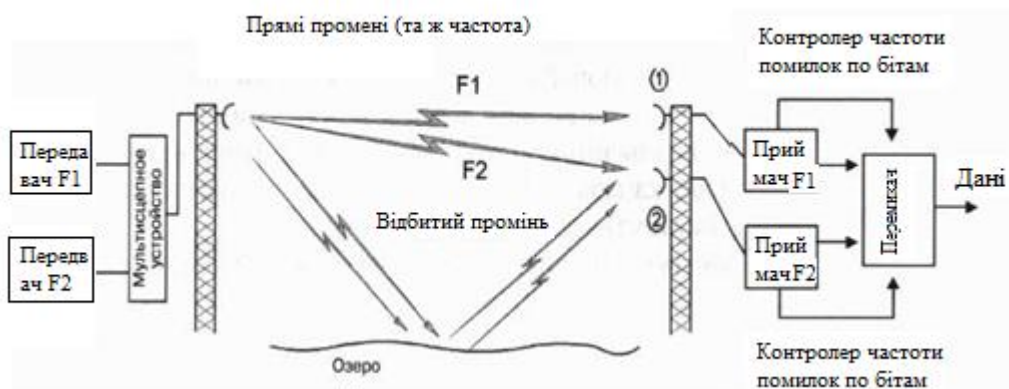


Рисунок 3.6 – Різноманітність простору (два передавачі)

Зверніть увагу на те, що може використовуватися єдина антена, але зазвичай дублювання антен здійснюється разом з дублюванням частот.

Варто зазначити, що використання рознесених антен – це кращий вибір, а дублювання частоти здійснюється тільки тоді, коли потрібно зв'язок з дуже високою надійністю.

Досягнення поліпшення зв'язку за рахунок використання рознесених антен є значно важливіше поліпшення за рахунок різноманітності частот, перш за все, з економічних причин. Якщо застосовано різноманітність частот, то використання рознесених антен забезпечується автоматично як складова частина системи.

### 3.3.2 Дублювання шляхів поширення радіохвиль

Існують ситуації, коли частина або весь трафік, що передається по радіоканалу, є дуже важливим, і стає істотним високий рівень готовності апаратури. Коли подано електроживлення, а радіоустаткування і антени були задубльовані, то можна зробити ще дещо, щоб збільшити надійність, тому специфічному каналу зв'язку. Проблеми на цьому етапі виникати все ще можуть. В областях з високою ймовірністю утворення циклонів або ураганів, можуть бути пошкоджені вежі, щогли, лінії електропередачі, будівлі. Зовнішні пожежі можуть пошкодити кабелі фідера і антени, а внутрішні пожежі можуть повністю знищити установку.

Можна передавати дані на низькій швидкості по окремому каналу УКХ або навіть по короткохвильової системі. Трафік надзвичайної зв'язку може бути направлений в таких системах, якщо їх можна встановити. Якщо доступні громадські послуги зв'язку, можна орендувати один або два голосових каналу або каналу даних на постійній основі або на підставі запиту для здійснення передачі даних.

### 3.4 Розрахунок санітарно-захисних зон(СЗЗ) при роботі РРЛ

При проектуванні будь-якої бездротової системи передачі необхідно для кожного джерела електромагнітного випромінювання ЕМВ розрахувати санітарно-захисну зону і зону обмеження забудови (ЗОЗ), виходячи з шкідливого впливу ЕМВ при перевищенні норми на біологічні організми.

З метою захисту робочого персоналу від впливу ЕМВ РЧ, створюваних передають радіотехнічними об'єктами (ПРТО), встановлюються санітарно-захисні зони і зони обмеження забудови. Санітарно-захисною зоною (СЗЗ) є площа, що примикає до території ПРТО. Зовнішня межа СЗЗ визначається на висоті 2 м від поверхні землі. Зоною обмеження забудови (ЗОЗ) є територія, де на висоті більше двох метрів від поверхні землі інтенсивність ЕМІ РЧ перевищує гранично-допустимий рівень (ПДУ).

Норми на рівень електромагнітного випромінювання визначаються науково-дослідними методами і представлені в зведенні норм і правил, об'єднаних загальною назвою. Гранично допустимі рівні (ПДУ) е/м випромінювання РЕЗ становлять  $10 \text{ мкВт} / \text{см}^2$ .

Для прикладу розрахуємо СЗЗ і ЗОЗ для двох антен.

Висоти точок випромінювання і технічні характеристики антени вказані в паспорті ПРТО, представленому нижче в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1– Основні відомості про передавальні засоби

№	Тип передавача	Діапазон, МГц	Тип модуляції	Потужність, Вт *	Кількість перед	Втратив АФТ, дБи	Антенна						ПДУ
							Тип	Підсилювач, дБи	Поляризація	Висота, м	Азимут	кут місця	
1.	Антенна F1	7455	QAM-128	0.13	1	0	Парабола	40	гориз	50	221°	0°	10 мкВт/см <sup>2</sup>
2.	Антенна F2	7455	QAM-128	0.13	1	0	Парабола	40	гориз	60	41°	0°	10 мкВт/см <sup>2</sup>

Нижче представлені розрахунки розподілу щільності потоку випромінювання е/м поля для обох джерел.

#### 3.4.1 Розрахунок СЗС для Антени F1

Висота досліджуваної ділянки: 2 м. Азимут дослідження: 221°99'.

Як видно з рис. 3.7 і таблиці 3.2 інтенсивність щільності потоку е/м поля на людей не перевищує норми.

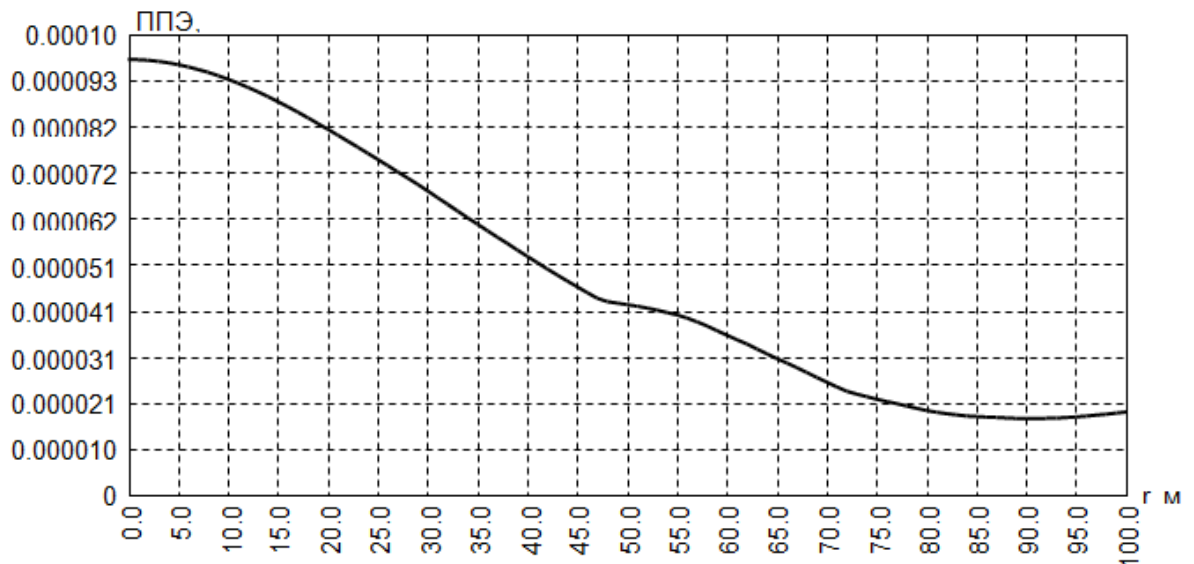


Рисунок 3.7 – Графік розподілу щільності потоку випромінювання ε/м поля

Таблиця 3.2– Розподілення електромагнітного поля для одного джерела ЕМІ

№	г, м	Rm, м	θm, град.	Rгр, м	β, град.	Um	Xm	ППЭ, мкВт/см <sup>2</sup>
1	0	48	90	161.028	90	140.523	0.2980	0.000098
2	5	48.26	84.053	161.028	90	139.767	0.2997	0.000097
3	10	49.031	78.232	161.028	90	137.569	0.3044	0.000094
4	15	50.289	72.646	161.028	90	134.127	0.3123	0.000090
5	20	52	67.38	161.028	90	129.714	0.3229	0.000085
6	25	54.12	62.488	161.028	90	124.632	0.3360	0.000079
7	30	56.604	57.995	161.028	90	119.163	0.3515	0.000073
8	35	59.405	53.902	161.028	90	113.544	0.3689	0.000066
9	40	62.482	50.195	161.028	90	107.953	0.3880	0.000060
10	45	65.795	46.848	161.028	90	102.517	0.4085	0.000054
11	50	69.311	43.831	161.028	90	97.3173	0.4304	0.000051
12	55	73	41.112	161.028	90	92.3993	0.4533	0.000049
13	60	76.837	38.66	161.028	90	87.7847	0.4771	0.000045
14	65	80.802	36.445	161.028	90	83.4773	0.5017	0.000040
15	70	84.876	34.439	161.028	90	79.4704	0.5270	0.000036
16	75	89.045	32.619	161.028	90	75.7501	0.5529	0.000032
17	80	93.295	30.964	161.028	90	72.2991	0.5793	0.000030
18	85	97.617	29.454	161.028	90	69.0985	0.6062	0.000029
19	90	102	28.073	161.028	90	66.1291	0.6334	0.000029
20	95	106.43	26.806	161.028	90	63.3719	0.6609	0.000029
21	100	110.92	25.641	161.028	90	60.8093	0.6888	0.000030



Нижче на рисунках 3.8 і 3.9 наведено горизонтальну і вертикальну площину джерела випромінювання, темним кольором показані біологічно небезпечні зони.

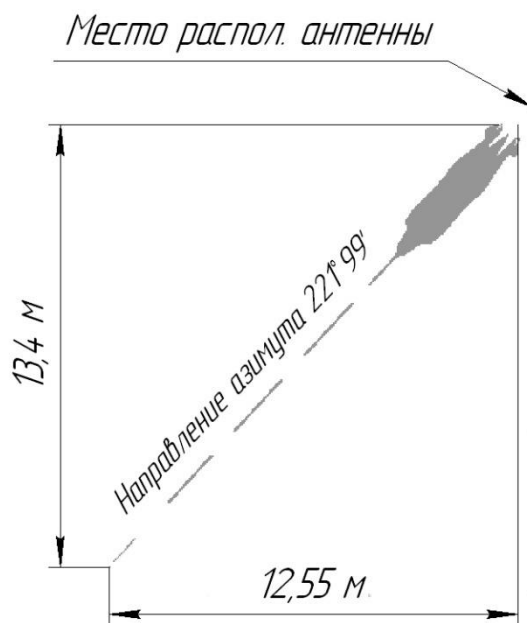


Рисунок 3.8 – Горизонтальна площина перетину інтенсивності випромінювання е/м поля

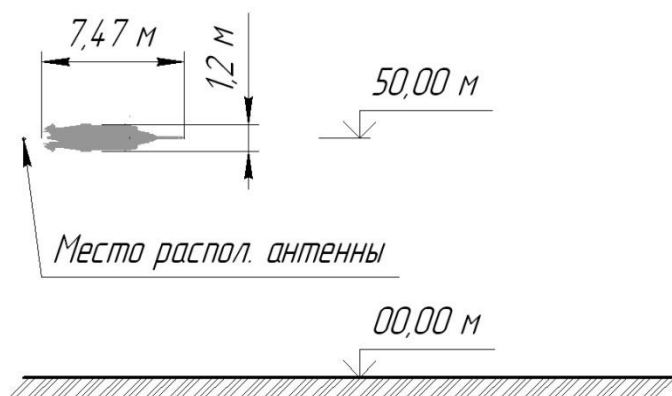


Рисунок 3.9 – Вертикальна площина перетину інтенсивності випромінювання е/м поля

### 3.4.2 Розрахунок СЗС для Антени F2

Висота досліджуваної ділянки: 2 м. Азимут дослідження:  $41^{\circ} 85'$ .

Графікрозподілу щільності потоку випромінювання е/м поля та розподілу електромагнітного поля для одного джерела ЕМІ наведені на рис. 3.10 і таблиці 3.3.

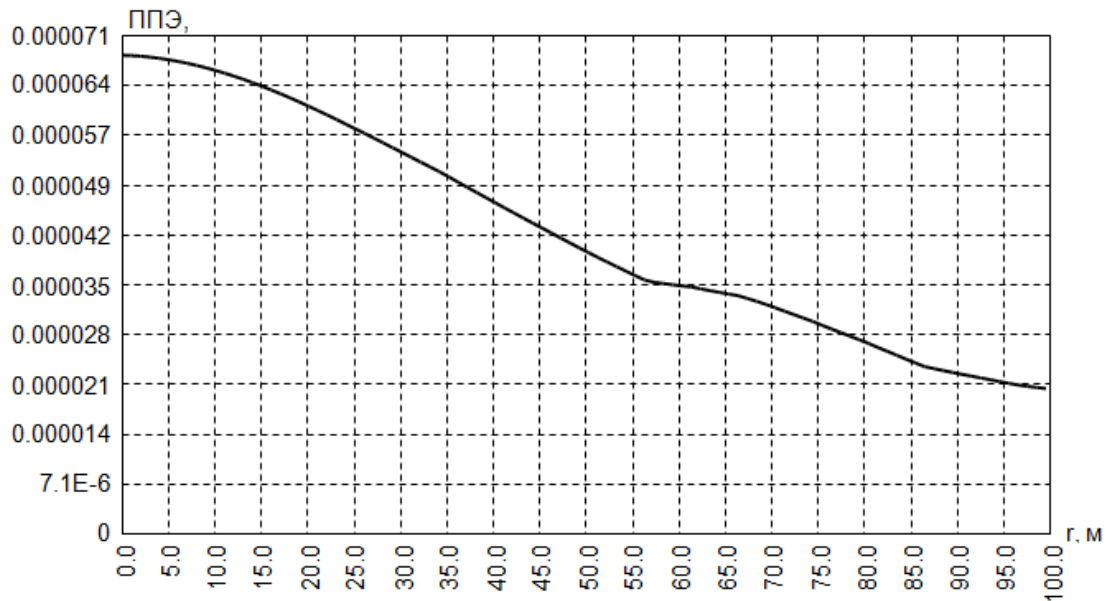


Рисунок 3.10 – Графікрозподілу щільності потоку випромінювання е/м поля

Таблиця 3.3 – Розподілення електромагнітного поля для одного джерела ЕМІ

№	г, м	Rm, м	θm, град.	Rгр, м	β, град.	Um	Xm	ППЭ, мкВт/см <sup>2</sup>
1	0	58	90	161.028	90	140.5234	0.36019	0.000067
2	5	58.215	85.073	161.028	90	140.0042	0.36152	0.000067
3	10	58.856	80.218	161.028	90	138.4803	0.3655	0.000065
4	15	59.908	75.5	161.028	90	136.0475	0.37204	0.000063
5	20	61.351	70.975	161.028	90	132.8472	0.381	0.000061
6	25	63.159	66.683	161.028	90	129.0462	0.39222	0.000058
7	30	65.299	62.65	161.028	90	124.8156	0.40552	0.000054
8	35	67.742	58.891	161.028	90	120.3147	0.42069	0.000051
9	40	70.456	55.408	161.028	90	115.681	0.43754	0.000047
10	45	73.41	52.194	161.028	90	111.0258	0.45588	0.000043
11	50	76.577	49.237	161.028	90	106.4342	0.47555	0.000040

## Продовження таблиці 3.3

№	r, м	Rm, м	$\theta_m$ , град.	Rгр, м	$\beta$ , град.	Um	Xm	ППЭ, мкВт/см <sup>2</sup>
12	55	79.931	46.521	161.028	90	101.9675	0.49638	0.000037
13	60	83.451	44.029	161.028	90	97.66726	0.51824	0.000035
14	65	87.115	41.743	161.028	90	93.55914	0.54099	0.000034
15	70	90.907	39.644	161.028	90	89.65685	0.56454	0.000032
16	75	94.81	37.716	161.028	90	85.96528	0.58878	0.000030
17	80	98.813	35.942	161.028	90	82.48312	0.61364	0.000027
18	85	102.90	34.308	161.028	90	79.20482	0.63904	0.000024
19	90	107.07	32.8	161.028	90	76.12216	0.66492	0.000022
20	95	111.30	31.405	161.028	90	73.22532	0.69122	0.000021
21	100	115.60	30.114	161.028	90	70.5036	0.7179	0.000020

Нижче на рисунках 3.11 і 3.12 наведено горизонтальну і вертикальну площину джерела випромінювання, темним кольором показані біологічно небезпечні зони.

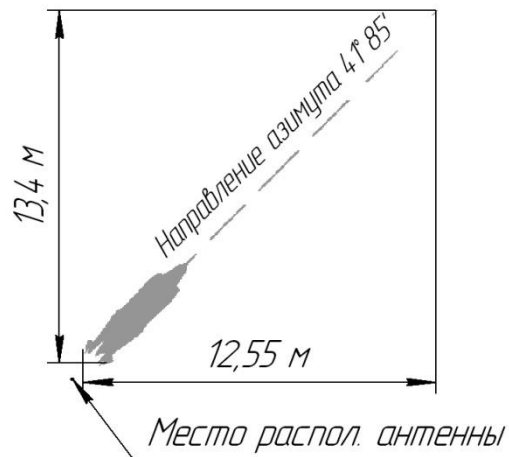


Рисунок 3.11 – Горизонтальна площина перетину інтенсивності випромінювання е/м поля

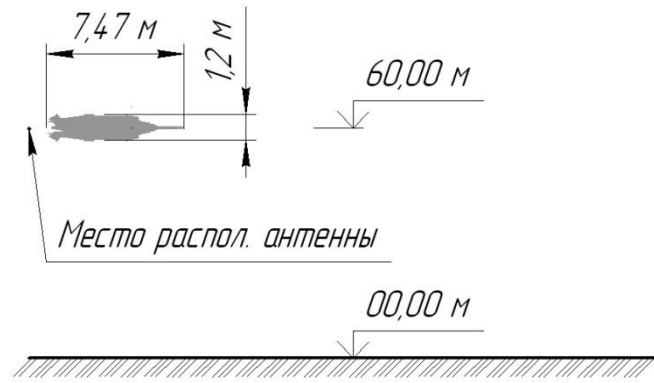


Рисунок 3.12– Вертикальна площина перетину інтенсивності випромінювання е/м поля

Як видно з рисунку 3.11 і таблиці 3.3 інтенсивність випромінювання е/м поля джерела не перевищує допустимі рівні, тому ні на антені F1, ні на антені F2 санітарно-захисні зони не встановлюються. При проведенні тривалих робіт на антенною опорі слід відключати передавальне обладнання.

## 4 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування проекту

Одне із завдань проектування полягає в економічному обґрунтуванні створення радіорелейної лінії технологічного зв'язку на сучасне цифрове радіорелейне обладнання.

Прийняте рішення використання саме цієї технології зводиться до наступних важливих фактів:

- по-перше, потік даних в 34 Мбіт/с був би недостатнім, а використання конфігурації «2+0» і вище не просто через низку технологічних складнощів і економічну недоцільність;

- по-друге, необхідним є створення інформаційного «кільця» системи передачі даних на основі технології SDH;

- по-третє, не виключається можливість здачі в оренду частини каналів місцевим операторам з метою більш швидкої окупності проекту;

- по-четверте, використання схем взаємного резервування з операторами стільникового зв'язку, що додатково збільшує короткочасну завантаженість проектованої лінії.

Експлуатаційно-технічний рівень науково-технічного продукту - це узагальнююча характеристика його експлуатаційних властивостей, можливостей, ступеня новизни, що є основою якості продукту. Основна мета оцінки експлуатаційно-технічного рівня – відповідина питання про відповідність параметрів новостворюваного продукту поставленої мети. Експлуатаційно-технічний рівень продукту, що розробляється визначається після вибору аналога на основі аналізу системи показників. Як аналог мною була обрана система запроектованої РРЛ тільки за допомогою технології PDH, розрахована на швидкість передачі 34 Мбіт/с. Для обліку значимості окремих параметрів скористаємося наступним методом [9]:

$$J_{\text{ЭТУ}} = \sum_{i=1}^n B_i X_i, \quad (4.1)$$

де  $J_{\text{ЭТУ}}$  – комплексний показник якості розроблюваного програмного продукту по групі показників,

$n$  – число розглянутих показників,

$B_i$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го показника в долях одиниці (сума ваг всіх розглянутих показників повинна складати одиницю),

$X_i$  – відносний показник якості, що встановлюється експертним шляхом за обраною шкалою оцінювання (у нашому випадку – 10-ти бальна шкала).

Результати порівняння двох проектів представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати порівняння проектів

Показники якості науково-технічного продукту	коефіцієнт вагомості $B_i$	PDH		SDH	
		$X_i$	$B_i \cdot X_i$	$X_i$	$B_i \cdot X_i$
1. вартість системи	0.15	4	0.6	2	0.3
2. окупність проекту	0.15	5	0.75	10	1.5
3. додатковий дохід	0.1	1	0.1	5	0.5
4. надійність системи	0.25	9	2.25	9	2.25
5. ємність системи	0.15	5	0.75	9	1.35
6. моральне старіння обладнання	0.2	4	0.8	8	1.6
		$J_{\text{ЭТУ}} = 5,25$		$J_{\text{ЭТУ}} = 7,5$	

З поданої вище таблиці добре видно перевага проектування системи радіорелейного зв'язку на обладнанні SDH в порівнянні з обладнанням PDH.

#### 4.2 Організація і планування робіт

Будь-який бізнес-проект розробляється з єдиною кінцевою метою отримання прибутку. При цьому на стадії планування майбутнього проекту слід оцінити всі витрати, пов'язані з його реалізацією. В даному пункті

будемо розраховувати тимчасові і економічні витрати, які пішли на розробку проекту.

Перш ніж приступити до розробки бізнес-проекту, слід приділити увагу складанню плану організаційних робіт. З точки зору послідовності і раціональності використання часу роботи повинні проводитися в встановленому порядку.

#### 1. Стадія передпроектних робіт:

- ознайомлення з основними положеннями майбутнього проекту;
- дослідження існуючої технологічної системи зв'язку;
- складання ТЗ спільно з замовником;
- проведення польових робіт: складання протоколів вимірювання опору суглинку для здійснення заземлення обладнання; рекогносцировка місцевості; визначення координат РРС і азимутів між ними; огляд розміщення обладнання;
- коригування і доопрацювання ТЗ відповідно до отриманих результатів;

#### 2. Стадія проектування:

- вибір обладнання згідно з ТЗ;
- складання загальної проектної документації: технологічної карти, схеми організації зв'язку, структурної схеми і т.і.;
- розрахунок якісних показників прольотів радіорелейної лінії;
- складання планів розміщення обладнання РРС, а також схем розташування антенно-фідерних пристроїв;
- розрахунок санітарної зони для кожного радіоелектронного джерела випромінювання;
- складання пояснювальної записки;
- складання специфікації на обладнання та матеріали, що використовуються в проекті;
- розробка питань охорони праці, економічної частини проекту;
- складання кошторисної документації на проект;

### 3. Стадія доопрацювання:

- виправлення допущених помилок і усунення зауважень замовника;

### 4. Стадія реалізації проекту:

- проведення будівельних робіт;
- монтаж обладнання;
- здійснення пусконаладжувальних робіт.

Всі чотири стадії розробки та реалізації проекту діляться на дві стадії: в нашому випадку з 1 по 3 – проектування, яке здійснює спеціальна організація, що має на це всі відповідні ліцензії; 4-я стадія є рівноцінною першим трьом за обсягом робіт. Як правило, реалізацію проекту здійснює генпідрядник, який визначається на конкурсній основі і може у разі не бути пов'язаний з розробником проекту.

Таким чином, в даній дипломній роботі не буде розглядатися фаза реалізації проекту, отже, бізнес-план буде складений для визначення економічної доцільності. Необхідність реконструкції РРЛ в дійсних проектах визначає організація – замовник проекту.

Для визначення витраченого часу визначимо трудомісткість робіт, що проводяться, в розробці проекту брали участь:

- керівник проектування;
- провідний інженер;
- інженер;
- інженер-конструктор;
- інженер кошторисник.

Трудомісткість робіт будемо розраховувати в трудових днях тривалістю 8 годин. Для кожного виду робіт визначається очікуваний час.

Визначимо очікувану тривалість робіт з проектування системи, для цього можна застосувати метод імовірнісних оцінок очікуваних робіт:



$$T_{ож} = \frac{3T_{min} + 2T_{max}}{5}, \quad (4.2)$$

де  $T_{min}$  – найкоротшатривалість заданої роботи (оптимістична оцінка),

$T_{max}$  – максимальна тривалість роботи (песимістична оцінка).

Оцінка трудомісткості окремих етапів робіт приведена в таблиці 4.2.

Всі розрахунки зроблені відповідно до формули 4.2.

Таблиця 4.2 – Часові витрати на проектування

Етап	Найменування робіт	Виконавці (посада)	Тривалість робіт (Дні)		
			$T_{min}$	$T_{max}$	$T_c$
1	Попереднє складання ТЗ	Керівник	1	2	1.4
2	Вивчення існуючої зв'язку	Керівник	1	1.5	1.2
		Інженер	3	4	3.4
3	Польові роботи	Провідний інженер	2	3	2.4
		Інженер	5	7	5.8
4	Коригування і доопрацювання ТЗ	Керівник	1	2	1.4
		Інженер	1	2	1.4
5	Вибір обладнання	Провідний інженер	0.5	1	0.7
		Інженер	2	3	2.4
6	Складання загальної проектної документації	Керівник	0.5	1	0.7
		Провідний інженер	1	2	1.4
		Інженер	9	14	11
7	Розрахунок якісних показників	Інженер	4	6	4.8
8	Складання планів розміщення обладнання	Інженер-конструктор	4	7	5.2
		Інженер	4	6	4,8
9	розрахунок санітарної зони	Інженер	4	7	5.2
10	Складання ПЗ	Керівник	1	2	1.4
		Провідний інженер	1	3	1.8
		Інженер	2	4	2.8
11	Складання специфікації	Провідний інженер	1	2	1.4
		Інженер	2	4	2.8
		Інженер-конструктор	1	2	1.4
12	Розробка питань охорони праці	Керівник	1	2	1.4
		Інженер	2	3	2.4
13	Складання кошторисної документації	Інженер	1	2	1.4
		Інженер	3	5	3.8
		кошторисник			
14	Виконання графічної і демонстраційної частини роботи	Інженер	5	7	5.8
15	Виправлення зауважень замовника	Керівник	1	2	1.4
		Провідний інженер	1	2	1.4
		Інженер	2	4	2.8

Зведені дані наведено в таблиці 4.3. Графік поетапної оцінки робіт і стрічковий графік робіт наведено на рис. 4.1 і 4.2 відповідно.

Таблиця 4.3– підсумок тривалості робіт виконавців на всіх етапах виконання

Виконавці (посада)	Тривалість робіт (Дні)		
	$T_{min}$	$T_{max}$	$T_c$
Керівник	6,5	11,3	8,9
Інженер	46	67	56,8
Провідний інженер	6,5	11,7	9,1
Інженер-конструктор	5	8,2	6,6
Інженер –кошторисник	3	4,6	3,8

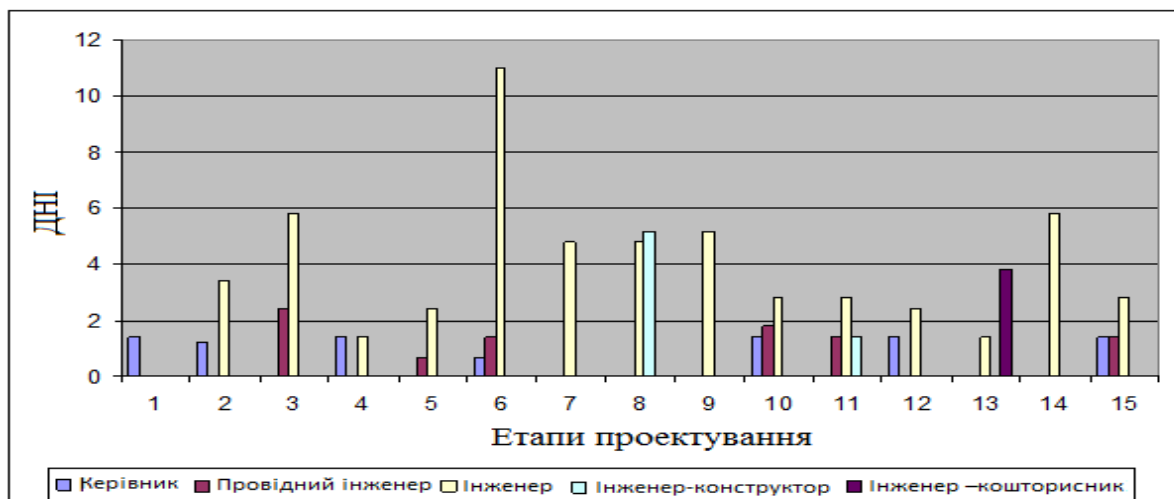


Рисунок 4.1 – Графік поетапної оцінки робіт

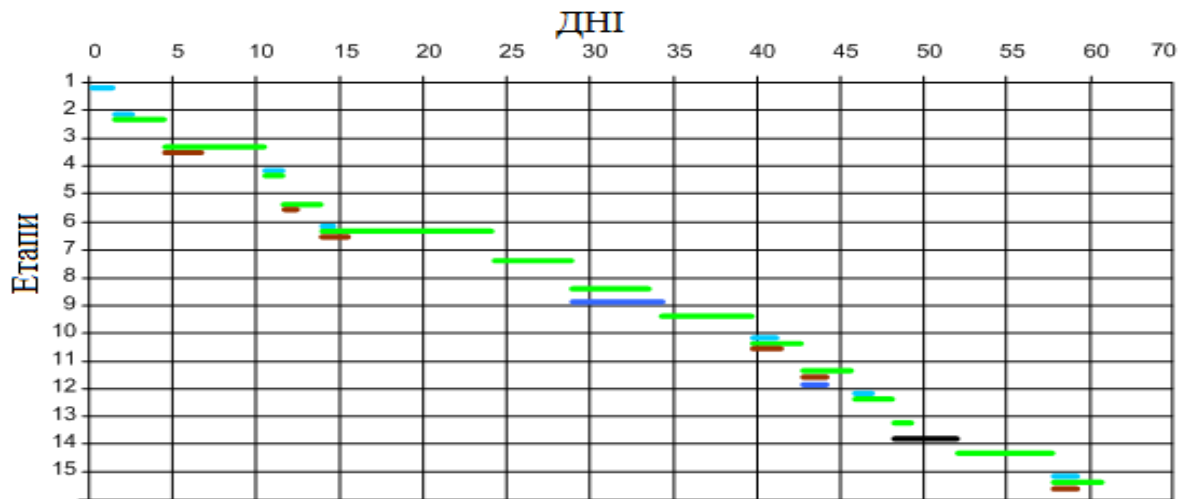


Рисунок 4.2 – Стрічковий графік робіт

#### 4.3 Кошторис витрат на проектування

Кошторис витрат на проектування включає в себе:

- матеріали і комплектуючі;
- амортизаційні відрахування;
- основна і додаткова зароблена плата;
- відрахування у позабюджетні фонди;
- інші прямі витрати;
- накладні витрати;
- послуги сторонніх організацій.

Зробимо розрахунок витрат відповідно до вищевикладеного порядку.

##### 4.3.1 Витрати на матеріали і комплектуючі

Всі матеріальні витрати зведено в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4– Розрахунок потреби в матеріальних ресурсах

Вид ресурсу	Кількість на проект	Ринкова ціна за од. (грн.)	Загальні витрати (грн.)	Джерело забезпечення
Роздрукування плакатів	3	40	120	Роздрібна мережа
Офісний папір	2 пачки	95	190	Роздрібна

«SvetoCopy» A4				мережа
Офісний папір «SvetoCopy» A3	1 пачка	220	220	Роздрібна мережа
Брошюровка	4 комплекта	35	140	Роздрібна мережа
Інша канцелярія	–	50	50	Роздрібна мережа
Всього: 720 грн.				

#### 4.3.2 Амортизаційні відрахування

Зробимо розрахунок амортизаційних відрахувань для спеціалізованого обладнання. Амортизація – процес перенесення вартості використовуваних приладів і обладнання на витрати, що витрачаються на розробку технічного проекту.

$$A = \frac{C \cdot N_a \cdot n}{100 \cdot 12}, \quad (4.3)$$

де  $C$  – вартість приладу, грн.;

$N_a$  – норма амортизації, %;

$n$  – кількість часу використання приладів.

Вартість спеціалізованого обладнання і розрахунок амортизаційних відрахувань зведемо у таблицю 4.5.

Таблиця 4.5– Сума амортизаційних відрахувань

Вид обладнання	Кількість одиниць	Ціна за одиницю (грн.)	n, міс	$N_a$ , %	A, грн.
Комп'ютер	1	33000	3	3.33	2750
GPS-навігатор	1	11500	1	3.33	330
Лазерна лінійка	1	5500	1	3.33	150

Фотоапарат	1	6000	1	3.33	160
МФУ	1	12000	3	3.33	1000
Всього: 4390 грн.					

#### 4.3.3 Основна і додаткова заробітна плата виконавців

Проведемо розрахунок основної заробітної плати виходячи з чисельності виконавців, трудомісткості і середньої оплати за один робочий день. Будемо вважати, що в місяці 21 робочий день, а в неділю 5 днів робочих по 8 годин на день. Загалом 40 робочих годин. Отримання премій в розрахунковий період не передбачено.

Середньоденна зарплата визначається за формулою:

$$Z_{CD} = \frac{OK}{N}, \quad (4.4)$$

де  $OK$  – місячний оклад працівника, грн.;

$N$  – число робочих днів у місяці,  $N=22$  дні.

Розрахунок заробленої плати наведено нижче в таблиці 4.6. У додаткову заробітну плату в нашому випадку входить районний коефіцієнт, що становить 30% від основного окладу.

Таблиця 4.6– Розрахунок заробітної плати

Посада обслуговуючого персоналу	Оклад , грн.	Середньо денна зарплата, грн.	Середній витрачений час, днів $T_c$	Заробітна плата, грн.	Заробітна плата з урахування м дод.з-ти, грн.
Керівник	40000	1818,2	67	121818	158363
Провідний інженер	27500	1250	9,1	11375	14787.5
Інженер	20000	909,1	56,8	51637	67128.1

Інженер-конструктор	18000	818,2	6,6	5400	7020
Інженер кошторисник	18000	818,2	3.8	3109.1	4042
Разом: 251340,6 грн.					

#### 4.3.4 Відрахування у позабюджетні фонди

Відрахування у позабюджетні фонди (ЄСП) складаються лише з єдиного соціального внеску– 22% від заробітної плати.

В сумі відрахування у позабюджетні фонди становлять

$$S_{BH} = \text{фонд зар/плати} \cdot 22\% = 251340,6 \cdot 0,22 = 55295 \text{ грн.}$$

#### 4.3.5 Витрати на електроенергію

Витрати розраховуються за такою формулою:

$$Z_{ел} = W_n * t * C_{ел}, \quad (4.5)$$

де  $W_n$ – встановлена потужність ( кВт);

$t$ – час роботи ;

$C_{ел}$ – тарифна електроенергію (3 грн. За кВт / год).

Результати розрахунку зведемо в таблицю 4.7.

Таблиця 4.7– Розрахунок витрат на електроенергію

Найменування обладнання	$W_n$ , кВт	t, години	$Z_{ел}$ , грн.
Комп'ютер з монітором	0.33	528	522,72
МФУ	0.8	528	1267,2

Разом: 1789,92 грн.

#### 4.3.6 Загально виробничі витрати

Це витрати на управління і господарське обслуговування при розробці проекту. Плануються в розмірі 20% від суми всіх прямих витрат і розраховуються по наступній формулі:

$$C_{\text{нак.}} = \frac{1}{5} (C_{\text{осн+доп}} + C_{\text{відрах.}} + C_{\text{матер.}} + C_{\text{эл.}} + C_{\text{амор.}}), \quad (4.6)$$

З урахуванням формули отримуємо:  $C_{\text{нак.}} = 50268,1$

На основі вище наведених розрахунків складемо повний кошторис витрат на етапі розробки проекту за такою формулою:

$$C_{\text{проект.}} = C_{\text{нак.}} + C_{\text{з/п.}} + C_{\text{отчис.}} + C_{\text{матер.}} + C_{\text{эл.}} + C_{\text{амор.}} + C_{\text{доп.}}, \quad (4.7)$$

Де  $C_{\text{доп}}$  – додаткові витрати.

У нашому випадку додаткові витрати складаються із витрат на проектування. Суми на програмне забезпечення і ліцензію ПЗ представлені в таблиці 4.8. Оскільки дія ліцензій має досить тривалий термін (близько 3-х років), то такі вкладення цілком вигідні. За означений період за оптимістичними прогнозами фірма здатна виконати до 10 схожих проектів, тому при обчисленні рентабельності вкладень будемо виходити з цього принципу. Роботи проводяться в орендованому приміщенні, вартість оренди 3000 грн. на місяць, за 3 місяці це становить 9000 грн. Нижче представлені всі додаткові витрати спільно з орендною платою, а також термін, на який вони розраховані.

Таблиця 4.8– Спеціальні додаткові витрати

Найменування витрат	Вартість, грн.
Оренда приміщення (20 м <sup>2</sup> )	9000

Ліцензія на проектування	100 000
комп'ютер	33000
GPS- навігатор	11500
МФУ	12000
Спеціалізоване програмне забезпечення: – ОС Windows XP Professional SP2 – Kompas 2D фірми «ASCONE» – Спец. програма для розрахунку РРЛ - Territories фірми «Золота корона» – Спец. програма для розрахунку сан. зони РРС «Санзона v.2.2»	4 500 47 000 45 000 40 000
Разом: 302 000 грн.	



#### 4.4 Оцінка економічної ефективності розробки проекту

З урахуванням розрахованих раніше витрат отримуємо загальні витрати на розробку проекту.

Таблиця 4.9– Загальна сума витрат на розробку проекту

Стаття витрат на розробку проекту	Сумма, грн.
Заробітна плата виконавців	251340,6
Витрати на матеріали і комплектуючі	720
Відрахування у позабюджетні фонди	55295
Амортизаційні відрахування	4390
Витрати на електроенергію	1789,92
Накладні витрати	50268,1

$C_{\text{проект.}} = 665803,6$  грн

Розраховуємо ефективність розробки проекту за такою формулою:

$$E_{\phi} = \frac{\mathcal{E}_e}{K1 + K2}, \quad (4.8)$$

де  $K1$  – одноразові капітальні витрати на розробку продукту, що складаються з кошторисної вартості проекту;

$K2$  – витрати на реалізацію проекту;

$\mathcal{E}_e$  – річний економічний ефект від реконструкції ЦРРЛ на основі обладнання SDH, грн. ;

При власному проектуванні існує ще кілька переваг (крім дешевої вартості проекту):

– по-перше, облік власних потреб при подальшій експлуатації системи зв'язку дозволяє значно знизити витрати при обслуговуванні;

– по-друге, людей, що займаються обслуговуванням РРЛ, не треба тривалий час навчати основам проектування, оскільки як сучасне програмне забезпечення, так і практичні навички дозволяють вирішити цю проблему.

Вигідність побудови SDH, замість PDH, пов'язано перш за все з можливістю передачі великого трафіку, в тому числі потік Ethernet, а по-друге, застосування взаєморезервування дозволяє додатково підвищити надійність системи. Крім того, здача в оренду частини потоків дозволить набагато швидше окупити проект, що розробляється. Приблизну оцінку від вигоди здачі в оренду потоків E1 можна відобразити наступними розрахунками. Орієнтовна вартість оренди потоку E1 на місяць становить 30000 грн., За умови, що в оренду буде здаватися до 20 E1. Витрати на реалізацію проекту складе 1,2 мільйонигрн.

За формулою 4.8 визначаємо економічну ефективність розробки проекту тільки від здачі потоків E1 в оренду протягом року:

$$E_{\Phi} := \frac{30000 \cdot 12 \cdot 20}{665803,6 + 12000000} = 3,85$$

Взявши 4.7 зворотну величину 4.8, отримуємо термін окупності проекту від здачі потоків E1 в оренду близько 5 років. Таким чином, розрахований проект визначається економічно вигідним.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

### 5.1 Аналіз потенційних небезпек

Оскільки тема дипломного проекту «Аналіз систем радіорелейного зв'язку та розрахунок трас між вузлами» передбачає проведення робіт в приміщенні, обладнаному персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами, необхідно розглянути заходи щодо забезпечення безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці та пожежної безпеки для приміщення з персональними комп'ютерами.

На основі вивчення та аналізу, існуючих і нових технологічних процесів і обладнання, що застосовується, згідно з ГОСТ 12.0.003-74 «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація», виявляються небезпечні виробничі фактори, вплив яких на працюючих може призвести до погіршення умов праці або травматизму. Робоче місце являє собою набір різної комп'ютерної техніки з візуальними дисплейними терміналами і периферією

Основні небезпечні виробничі фактори, пов'язані з роботою:

- ураження електричним струмом;
- вплив електричного поля через підвищеної напруженості електричних полів, внаслідок чого порушуються фізіологічні функції: ритм серцевих скорочень, рівень кров'яного тиску, активність мозку, хід обмінних процесів і імунна активність;
- вплив електромагнітного випромінювання через підвищення рівня електромагнітного випромінювання, що призводить до розладу центральної нервової системи і захворювань серцево-судинної системи;
- проходження електричного розряду через підвищений рівень статичної електрики і провокування рефлекторного руху людини, що в ряді випадків може привести до різких рухів і травм.

Санітарно-гігієнічні небезпечні виробничі фактори:

- погіршення самопочуття людини через підвищення або зниження температури повітря в робочій зоні, внаслідок порушення обмінну речовин в організмі що призводить до виникнення різних простудних захворювань ;
- потрапляння в легені і на слизові оболонки пилу, через підвищену запиленість повітря робочої зони, що призводить до провокування алергічних захворювань органів зору та дихання;
- зорове стомлення і біль в очах, через недостатню освітленість робочої зони, які призводять до зниження уваги і можливості травмування;
- пошкодження органів слуху і роздратування підвищеним рівнем шуму на робочому місці внаслідок чого відбувається зниження гостроти слуху, порушується функціональний стан серцево-судинної і нервової систем;
- розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів і емоційні перевантаження через недотримання режиму роботи за ПК, що призводить до підвищення стомлюваності, зниження уваги і, як наслідок, до можливості травмування працівника;
- ризик для здоров'я і життя персоналу через недотримання правил протипожежної безпеки;
- отримання травм через неправильне поводження при НС.

## 5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки

Згідно ПУЕ "Правил улаштування електроустановок" і НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» приміщення, в якому знаходяться пристрої, відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом.

Заходи щодо забезпечення електробезпеки розроблено відповідно до ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека. Електрична мережа вмикається і вимикається за допомогою пускової апаратури (рубильником).

Для захисту від ураження електрикою передбачено захисне заземлення опором не більше 4 Ом. Сучасна вимірювальна апаратура і стендове обладнання включаються в розетку за допомогою триполюсною вилки, один з полюсів якої служить для заземлення. З ним електрично з'єднані металеві неструмоведучих частини обладнання, які можуть опинитися під напругою. В лабораторії використовуються тільки триполюсні розетки, у яких відповідний полюс з'єднаний з шиною заземлення.

Умови електробезпеки залежать від параметрів навколишнього середовища, таких як вологість, температура, наявність струмопровідного пилу, матеріал статі. Для роботи вибрано приміщення з струмонепровідними підлогою, без заземлених металевих конструкцій. Для забезпечення потрібних характеристик повітряного середовища передбачена вентиляція і очищення повітря.

Усі струмопровідні частини вимірювальної апаратури і стендового обладнання ізолювані, а шнури живлення виконані з проводів в подвійній ізоляції.

Розрядні струми статичної електрики частіше за все виникають при дотику до будь-якого з елементів ЕОМ. Такі розряди небезпеки для людини не представляють, але крім неприємних відчуттів, вони можуть привести до виходу з ладу ЕОМ. Для захисту від статичної електрики згідно з НПАОП 0.00-1.29-97. «Правила захисту від статичної електрики». Загально технічні вимоги передбачають екранування джерела живлення.

### 5.3 Заходи по промислової санітарії та гігієни праці

Заходи з оздоровлення повітряного середовища плануються відповідно до значень оптимальних метеорологічних параметрів, встановлених ДНАОП 0.03-3.20-00. «Орієнтовно безпечні рівні дії (ОБУВ) шкідливих речовин у повітрі робочої зони» і санітарними нормами НПАОП 0.00-1.31-99. «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» (див. Таблицю 5.1 ). Для забезпечення цих значень метеорологічних

параметрів і чистоти повітря в приміщенні передбачається вентиляція, розроблена відповідно до ДБН В.2.5-67:2013. «Опалення, вентиляція та кондиціонування»

Передбачається очистка повітря, використовуваного для вентиляції. Очищення необхідна не тільки для запобігання негативного впливу пилу на здоров'я працюючих, а й тому, що пил, осідаючи на мікросхемах та інших частинах вимірювальної техніки, веде до виходу її з ладу і поступового зменшення ремонтпридатності. Вентиляція, охолодження і очищення повітря здійснюються побутовими кондиціонерами, встановленими в вікнах.

Таблиця 5.1 – Оптимальні значення метеорологічних параметрів

Назва параметра	Оптимальні значення
Температура	20 - 22 ° С в холодний період, 20 - 24 ° С в теплий період
Відносна вологість	40–60 %
Швидкість руху повітря	не більше 0.2 м / с в холодний період, не більше 0.3 м / с в теплий період

З метою забезпечення потрібної температури в холодну пору року передбачено опалення приміщення і нагрівання повітря, використовуваного для вентиляції згідно з ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Основним напрямком в комплексі заходів по боротьбі з пилом є попередження її утворення або надходження в повітря робочих приміщень. Найважливіше значення в цьому напрямку мають заходи технологічного характеру. Технологічні процеси, відповідні ДСТУ 4840:2007 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони», по можливості проводяться таким чином, щоб освіту пилу було повністю виключено, або,

принаймні, зведено до мінімуму. З цією метою потрібно максимально замінювати сухі пилять вологими, пастоподібних, розчинами і обробку їх вести вологим способом. При неможливості повного виключення пилоутворення, необхідно, шляхом відповідної організації технологічного процесу і використання відповідного технологічного обладнання, не допускати виділення пилу в повітря робочих приміщень. Це досягається, головним чином, шляхом організації безперервного технологічного процесу в повністю герметичній або, принаймні, максимально закритою апаратурі і комунікаціях. До освітлення приміщень пред'являються високі вимоги, пов'язані з явним переваженням зорової інформації (до 90% загального об'єму) при роботі з ЕОМ і периферійним обладнанням.

Передбачається використання як природного, так і штучного освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 «Природне и штучне освітлення». Природне освітлення - бічне, одностороннє, світлові прорізи з північною орієнтацією. Робочі місця операторів, що працюють з дисплеями, розташовують на найбільшій відстані від вікон таким чином, щоб віконні прорізи перебували збоку. Передбачається постачання вікон світлорозсіюючими шторами.

Розміри електронно-обчислювального залу: А - 7м; В - 4,5 м; Н - 3,5 м; hр - 0,8м. У залі мінімальна кількість пилу, світловідбиваючий колір стелі, стін, підлоги відповідно:  $\rho_{\text{пот}} - 70\%$ ,  $\rho_{\text{ст}} - 50\%$ ,  $\rho_{\text{пол}} - 30\%$ .

Для розряду зорової роботи IIIа зробимо розрахунок загальної штучної освітленості при нормованій освітленості  $E_n - 200 \text{лк}$ .

Для даного приміщення обраний тип ламп - ЛДЦ-30, тип світильника - ЛПО (з параметром  $[L / h] - 1,4$ ; на дві лампи), коефіцієнт нерівномірності мінімальної освітленості  $Z - 1.10$ , коефіцієнт запасу  $k_z - 1,4$ .

Зробимо розрахунок індексу приміщення  $i$

$$i = \frac{A \times B}{h \times (A + B)} = \frac{7 \times 4,5}{2,7 \times (7 + 4,5)} = 1,01. \quad (5.1)$$

Знайдемо значення максимально допустимої відстані між рядами ( $L_{\max}$ ) і кількість рядів світильників в приміщенні ( $N_p$ ).

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \times [L/h]} = \frac{4,5}{(3,5 - 0,8) \times 1,4} = 1,19 \approx 2, \quad (5.2)$$

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p} = \frac{4,5}{2} = 2,25 \text{ м.} \quad (5.3)$$

Вибираємо кількість рядів  $N_p - 2$ .

За індексом приміщення, за значеннями коефіцієнтів відбиття поверхонь, типу світильника і джерела світла вибираємо коефіцієнт використання світлового потоку  $\eta - 43\%$ .

Зробимо розрахунок необхідного світлового потоку лампи ( $\Phi_l$ ) і кількості світильників в приміщенні ( $N$ ).

Знайдемо сумарний світловий потік в даному приміщенні.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \times S \times k_s \times z}{\eta} = \frac{200 \times 31,5 \times 1,4 \times 1,10}{0,43} = 22560 \text{ лм} . \quad (5.4)$$

Умовне кількість світильників згідно формули:

$$N^* = \frac{A \times B}{L_{\max}^2} = \frac{7 \times 4,5}{2,25^2} = 6,22 . \quad (5.5)$$

Світловий потік умовного модуля світла:

$$\Phi_l^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N^* \times n} = \frac{22560}{6,22 \times 2} = 1813 \text{ лм} . \quad (5.6)$$



Для ламп ЛДЦ30 потужність Рл - 30Вт, світловий потік Фл - 1500 лм знайдемо реальну кількість ламп в умовному модулі світла (m) і фактична кількість ламп в приміщенні (N).

$$m = \frac{\Phi_{л}^*}{\Phi_{л}} = \frac{1813}{1500} = 1,2 \quad , \quad (5.7)$$

$$N_{л} = N^* \times n \times m = 6.22 \times 2 \times 1,2 = 14,9 \quad . \quad (5.8)$$

Вибираємо реальну кількість, 8 ламп в 2 ряди, Nл - 16 шт.

Визначимо загальну розрахункову освітленість (Ер) при використанні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{1500 \times 16 \times 0,43}{31,5 \times 1,4 \times 1,10} = 212,7 \text{ лк} \quad (5.9)$$

Розрахункова освітленість повинна відповідати умові:

$$E_p = (-10 \dots + 20 \%) E_n \quad . \quad (5.10)$$

Шум в певних умовах може мати значний вплив на здоров'я і поведінку людини. Шум може викликати роздратування і агресію, артеріальну гіпертензію (підвищення артеріального тиску), тиннітус (шум у вухах), втрату слуху.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот 250-4000 Гц не повинні перевищувати значень, встановлених Санітарними нормами допустимих рівнів шуму на робочих місцях № 3223-85 «Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях» і ДСТУ 2867-94. «Шум. Методи оцінювання. Виробничого шумового навантаження. «Загальні вимоги

Зниження шуму і вібрації, що впливають на людину, здійснюється наступними заходами:

- застосуванням звукоізолюючих пристроїв, для ізоляції шумних агрегатів;
- вибором раціонального режиму праці та відпочинку, скороченням часу перебування в галасливих умовах.

Робота за комп'ютерами викликає нервово-психічними перевантаженнями, які пов'язані з розумовою перенапруженням, перенапруженням аналізаторів (особливо зорових), монотонністю праці, емоційними перевантаженнями. Для зменшення впливів цих факторів передбачаються п'ятнадцятихвилинні перерви через кожну годину роботи, згідно з СанПіН 2.4.1340-03 «Гігієнічні вимоги до персональних електронно-обчислювальних машин та організація роботи».

Також впливає на організм людини вплив електромагнітних полів. Проявляється це вплив у функціональному розладі центральної нервової системи, суб'єктивні відчуття при цьому - підвищена стомлюваність, головні болі і т.п. В результаті тривалого перебування в зоні дії електромагнітних полів настають передчасна стомлюваність, сонливість або порушення сну, з'являються часті головні болі, настає розлад нервової системи та ін.

Основні заходи захисту від впливу електромагнітних випромінювань відповідно до НАПБ В.05.024-2005/111. «Інструкція з гасіння пожеж на енергетичних об'єктах України»:

- зменшення випромінювання безпосередньо у джерела (досягається збільшенням відстані між джерелом спрямованої дії і робочим місцем, зменшенням потужності випромінювання генератора);
- екранування джерел випромінювання і робочих місць (застосування відображають заземлених екранів у вигляді листа або сітки з металу, що має високу електропровідність - алюмінію, міді, латуні, сталі)

Періодично проводиться перевірка технічного стану екрануючих комплектів. Результати перевірки реєструються в спеціальному журналі.

Для застереження від вище сказаних небезпек необхідно дотримуватися правила з техніки безпеки.

Приміщення є лабораторією, в якій використовуються ЕОМ. Спроектована відповідно до ДБН В.2.5-67:2013. «Опалення, вентиляція та кондиціонування». При врахуванні вимог НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки України». Лабораторія обладнана згідно ДСТУ ГОСТ 12.2.061: 2009 «Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць».

Оскільки площа приміщення становить  $S_{пр} = 31,5 \text{ м}^2$ , а площа, на якій розташовується одне робоче місце з ВДТ, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» повинна становити не менше  $6,0 \text{ м}^2$ , то в даному приміщенні можна розмістити максимум п'ять комп'ютеризованих робочих місць. Такої кількості достатньо для технічного обладнання виробництва.

Планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць проводимо з урахуванням наступних вимог:

- робочі місця розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями повинна бути не менше 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не повинна бути менше 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має становити не менше 1 м.

Також необхідно врахувати розміри меблів на комп'ютеризованих робочих місцях, зокрема робочого столу. Згідно НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин», рекомендовані розміри столу для робочого місця ВДТ складають: висота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм. Припустимо, робочий стіл має такі розміри: ширина – 1200 мм, глибина – 800 мм.

Найкраще розмістити комп'ютеризовані робочі місця рядами уздовж стіни з вікнами. Це дасть можливість усунути дзеркальне відображення на екрані ВДТ джерела природного світла (вікон) і попадання їх у поле зору операторів, що погіршує умови їх зорової роботи. На рис. 2 зображено спроектоване виробниче приміщення з комп'ютеризованими робочими місцями.

#### 5.4 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки спрямовані на забезпечення безпеки людей, запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, створення умов для успішного гасіння пожежі.

Даний тип приміщення по пожежній відноситься до категорії «D» згідно НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки України». Категорія в приміщенні з пожежної небезпеки, повинно бути не нижче III ступеня.

Передбачається прокладання кабельних ліній під технологічними полами котрі можливо швидко замінити, виконаними з матеріалу з межею вогнестійкості не менше 0.5 години. Більшість електропроводок прокладенні в трубах.

Для відводу надлишкової теплоти служать системи вентиляції і кондиціонування повітря. Використовувана техніка має для цих цілей вбудовані вентилятори. Важлива підтримка в залі нормальної температури і чистоти повітря.

Для запобігання утворенню горючого середовища передбачаються наступні заходи:

- ізолювання ПК від дерев'яних покриттів і меблів вогнестійкими матеріалами або використанням спеціальних меблів для робочого місця;
- складування легкозаймистих носіїв інформації (дискети, диски), а також твердих копій (роздруківок), архівних документів (нормативно-технічної документації), які не потрібні в даний момент (фарбувальні

стрічки, картриджі тощо), а також спиртовмісних рідин в окреме пожеароізольоване приміщення або сейфи.

Згідно норм оснащення приміщень ручними вогнегасниками на випадок виникнення пожежі передбачається наявність в приміщенні з класом пожежі горючих речовин та матеріалів: клас А горіння твердих речовин і клас (Е) пожежі, пов'язані з горінням електроустановок, не менше одного вуглекислотного вогнегасника ВВК-1,4 (ОУ2). Як засіб гасіння пожежі не рекомендовано застосовувати воду, піну або порошок оскільки комп'ютери під напругою і можливо їх пошкодити та вивести з ладу. Оптимальним є вибір вуглекислотного вогнегасника ВВК-1,4 (ОУ2).

Передбачається установка в приміщенні автоматичного сповіщувача автоматичної пожежної сигналізації (АГТС). З огляду на високу вартість обладнання, наявність розгалужених систем кондиціонування і вентиляції повітря, великого числа прихованих комунікацій, а також специфіку загоряння апаратури, обраний димовий сповіщувач ПП-212-41М з розрахунку один сповіщувач на 25 м<sup>2</sup> площі, яка захищається згідно НАПБ А.01.003-2009 «Правила улаштування та експлуатації систем оповіщення про Пожежа та управління евакуацією людей в Будинка та споруд »та ДБН В.2.5-13-98« Інженерне обладнання будннків і споруд. Пожежна автоматика будинків і споруд ». Отже, встановлено 2 сповіщувача.

Таким чином, охорона праці забезпечує безпеку і здорові умови праці при роботі з ЕОМ і периферійним обладнанням.

### 5.5 Заходи щодо забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях

Методи захисту від впливу електромагнітного імпульсу на елементи виробництва. Найбільшу небезпеку для радіоелектронних засобів представляє перша стадія генерування електромагнітного імпульсу (ЕМІ) при ядерному вибуху, на якій, відповідно до закону електромагнітної індукції, через надзвичайно швидкого наростання амплітуди імпульсу (максимум досягається на 3-5 нс після вибуху), наведена напруга може досягати десятків

кіловольт на метр на рівні земної поверхні, плавно знижуючись в міру віддалення від епіцентру вибуху.

Амплітуда напруги, що наводиться ЕМІ в провідниках, пропорційна довжині провідника, що знаходиться в його поле, і залежить від його орієнтації щодо вектору напруженості електричного поля. Так, напруженість поля ЕМІ в високовольтних лініях електропередачі може досягати 50 кВ / м, що призведе до появи в них струмів силою до 12 кА.

ЕМІ генеруються при наступних видах ядерних вибухів: повітряний, наземному. Теоретично встановлено, що в цих випадках його інтенсивність залежить від ступеня асиметричності просторових параметрів вибуху. Тому повітряний вибух, з точки зору генерації ЕМІ, найменш ефективний. ЕМІ наземного вибуху буде мати високу інтенсивність, проте вона швидко зменшується в міру віддалення від епіцентру.

Ідеальною захистом від ЕМВ стало б повне укриття приміщення, в якому розміщена радіоелектронна апаратура, металевим екраном. Разом з тим ясно, що практично забезпечити такий захист в ряді випадків неможливо, тому що для роботи апаратури часто потрібно забезпечити її електричну зв'язку із зовнішніми пристроями. Тому використовуються менш надійні засоби захисту, такі, як струмопровідні сітки або плівкові покриття для вікон, стільникові металеві конструкції для повітрязабірників і вентиляційних отворів і контактні пружинні прокладки, які розміщуються по периметру дверей і люків.

Складнішою технічною проблемою вважається захист від проникнення ЕМІ в апаратуру через різні кабельні вводи. Радикальним вирішенням цієї проблеми міг би стати перехід від електричних мереж зв'язку до практично не схильним до дії ЕМІ волоконно-оптичної. Однак заміна напівпровідникових приладів у всьому спектрі виконаних ними функцій електронно-оптичними пристроями можливо тільки у віддаленому майбутньому. Тому в даний час в якості засобів захисту кабельних ввідів найбільш широко використовуються фільтри, в тому числі волоконні, а

також іскрові розрядники, металлоокисні варистори і високошвидкісні зенеровські діоди.

В основному краще використовувати високошвидкісні зенеровські діоди дія яких заснована на різкому лавиноподібно зміні опору від відносно високого значення практично до нуля при перевищенні прикладеної до них напруги певної порогової величини. Крім того, на відміну від варисторів, характеристики зенеровських діодів після багато разових впливів високих напруг і перемикаць режиму не погіршуються. Найбільш раціональним підходом до проектування засобів захисту від ЕМВ кабельних введів є створення таких роз'ємів, в конструкції яких передбачені спеціальні заходи, що забезпечують формування елементів фільтрів і установку вбудованих зенеровських діодів. Подібне рішення сприяє отриманню дуже малих значень ємності та індуктивності, що необхідно для забезпечення захисту від імпульсів, які мають незначну тривалість і, отже, потужну високочастотну складову. Використання роз'ємів подібної конструкції дозволить вирішити проблему обмеження масогабаритних характеристик приладів захисту.

Сучасний стан проблеми ЕМІ можна оцінити таким чином. Досить добре досліджені теоретично і підтверджені експериментально механізми генерації ЕМІ і параметри його вражаючої дії. Розроблено стандарти захищеності апаратури і відомі ефективні засоби захисту. Що стосується повномасштабних випробувань систем зв'язку і управління, то це завдання навряд чи буде вирішена в найближчому майбутньому. Потужний ЕМІ можна створити не тільки в результаті ядерного вибуху. Сучасні досягнення в області неядерних генераторів ЕМІ дозволяють зробити їх досить компактними для використання з звичайними і високоточними засобами доставки.

## ВИСНОВОК

Інфраструктура світової та національних мереж цифрового зв'язку, яка розвивається як інтегрована первинна транспортна мережа, що забезпечує передачу будь-якого виду інформації, базується на комплексному використанні провідний, радіо, радіорелейного і супутникового (космічної) зв'язку. Радіорелейний зв'язок займає в цій структурі своє гідне місце.

Питання про застосування того чи іншого роду зв'язку або їх комбінації в мережевій інфраструктурі диктується конкретними географічними умовами, а також економічними. Технічні засоби зв'язку і методи їх застосування повинні бути пов'язані в єдину систему. Цим обумовлюється зростаючу увагу до вирішення питань зв'язку та необхідність подальшого розвитку технічних засобів і методів ефективного застосування всіх родів зв'язку, в тому числі і радіорелейного [4].

При виборі систем передачі для побудови телекомунікаційних мереж користувачі все частіше віддають перевагу радіорелейних лініях. Радіорелейні системи економічно вигідні, оскільки не вимагають прокладки кабельних магістралей та їх експлуатації, швидко розгортаються і вводяться в дію, забезпечують надійність передачі інформації та її секретність, пропонують дистанційний моніторинг і діагностику обладнання, оцінку якості передачі.



## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / В.Л. Бройдо– СПб.:Питер. – 2002–688с.
2. Крухмалев В.В. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учебник для вузов / В.В. Крухмалев– М.: Горячая линия – Телеком.– 2004. – 150 с.
3. Сманцер А.Н.Передача сигналов телевидения по радиорелейным линиям/А.Н. Сманцер, Н.М. Шендерович, Н.З. Стрижевский – М.: Радио и связь.– 1983. – 216 с.
4. Волков Л.Н. Системы цифровой радиосвязи / Л.Н. Волков – М.: Эко-Трендз. – 2005. – 392 с.
5. БлушкеА. «Родословная» xDSL, или Попытка классификации технологии xDSL для «последней мили»// Технологии и средства связи. 2000. – №1. – С. ...
6. ОрловС. Ethernet в сетях доступа// LAN. Журнал сетевых решений. 2004. – №1. – С. ...
7. ВесоловскийКшиштоф Системы подвижной радиосвязи / К.Весоловский– М.: Горячая линия – Телеком. – 2006. – 529 с.
8. Гаранин М.В. Системы и сети передачи информации: Учебное пособие для вузов / М.В. Гаранин – М.: Радио и связь. – 2001. – 336 с.
9. Радиорелейныеи спутниковые системы передачи / Под ред. А.С. Немировского. – М.: Радио и связь.– 1986. – 392 с.
10. Фролов С.А., Бухаров С.А. **Источник:** // Технологии и средства связи, 2004. – №2. – С. ...
11. ДолотовД.В.Оптические технологии в сетях доступа// Технологии и средства связи. Специальный выпуск «Системы абонентского доступа».– 2004. – С. ...
12. Мамчев Г.В. Основы радиосвязи и телевидения. Учебное пособие для вузов / Г.В. Мамчев– М.: Горячая линия – Телеком. – 2007. – 416 с.

13. Максимов Н.В. Компьютерные сети. Пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования. – 3-е изд, испр. и доп. / Н.В. Максимов, И.И. Попов – М.: ФОРУМ.– 2008. – 448 с.
14. Котиков И.М. Классификация и сравнительный анализ технологий проводного доступа // Технологии и средства связи. Специальный выпуск «Системы абонентского доступа». – 2004. – С. ...
15. Парфенов Ю.А. «Последняя миля» на медных кабелях/ Ю.А. Парфенов, Д.Г. Мирошников– М.: Эко-Тренз. – 2001. – с.
17. Системы радиосвязи / Под ред. Н.И. Калашникова. – М.: Радио и связь.– 1988. – 352 с.
18. Барабаш П.А. Мультисервисные сети кабельного телевидения. 2-е издание/П. А. Барабаш, С.П. Воробьев, О.В. Махровский, В.С. Шибанов– СПб.: Наука.– 2004. – с.