

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

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка способу організації системи радіорелейного зв'язку

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи РРМ-61  
спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Мидлик Д.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дедів І.Ю.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Тимків П.О.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2022

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 06 » грудня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Мидлику Дмитру Валерійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка способу організації системи радіорелейного зв'язку

Керівник роботи Дедів Ірина Юріївна, к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «06» грудня 2022 року № 4/7-989

2. Термін подання студентом завершеної роботи 21 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання, системи радіорелейного зв'язку

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

1. Аналітична частина

2. Основна частина

3. Науково-дослідна частина

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

1. Загальна характеристика інфокомунікаційних мереж

2. Радіорелейний зв'язок

3. Результати роботи

4. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зелінський І.М., доц. каф. ПВ		
	Клепчик В.М., прор. з АГРБ		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу	06.09.2022	Виконано
2	Написання розділу 1	05.10.2022	Виконано
3	Написання розділу 2	21.10.2022	Виконано
4	Написання розділу 3	04.10.2022	Виконано
5	Написання розділу 4	18.11.2022	Виконано
6	Попередній захист	06.12.2022	Виконано
7	Захист	21.12.2022	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Мидлик Дмитро Валерійович  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Дедів Ірина Юріївна  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Мидлик Дмитро Валерійович. Розробка способу організації системи радіорелейного зв'язку. – Рукопис. Кваліфікаційна робота магістра, ТНТУ ім. І.Пулюя, Тернопіль, 2022.

В роботі розглянуто розробку способу організації системи радіорелейного зв'язку. Проаналізовано технічні засоби реалізації радіорелейних ліній прямої видимості, зокрема структуру та особливості приймальної та передавальної апаратури. Також проаналізовано тропосферні радіорелейні лінії. Проведено розрахунок способів організації профілю каналу зв'язку. Проведено оцінювання степені загасання в радіочастотному каналі та способи його усунення. Розглянуто дублювання антен, частот і шляхів поширення радіохвиль

Ключові слова: радіозв'язок, сигнал, радіорелейна лінія, модуляція.

## ANNOTATION

Mydlyk Dmytro Valeriyovych. Development of a method of organizing a radio relay communication system. - Manuscript. Master's qualification work, TNTU, Ternopil, 2022.

The qualification work considered the issue of developing a method of organizing a radio relay communication system. The technical means of implementing line-of-sight radio relay lines are analyzed, in particular the structure and features of the receiving and transmitting equipment. Tropospheric radio relay lines were also analyzed. The methods of organizing the profile of the communication channel have been calculated. The degree of attenuation in the radio frequency channel and methods of its elimination were evaluated. Duplication of antennas, frequencies and paths of propagation of radio waves is considered

Key words: radio communication, signal, radio relay line, modulation.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Загальна характеристика інфокомунікаційних мереж.....	10
1.2 Мережі електров'язку.....	11
1.3 Особливості інфокомунікаційних технологій.....	12
1.4 Висновки до розділу 1.....	13
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	15
2.1 Радіорелейний зв'язок.....	15
2.2 Перевага ЦСП.....	16
2.3 Кінцева апаратура цифрового ствола.....	18
2.4 Організація передачі ЦРРЛ сигналів багатоканальної телефонії.....	20
2.5 Діапазони частот, відведені для РРЗ.....	22
2.6 Функціональна схема кінцевої ЦРРС.....	26
2.7 Радіопередавальний пристрій.....	30
2.8 Фідери.....	31
2.9 Радіоприймальний пристрій.....	31
2.10 Адаптивні радіорелейні лінії.....	32
2.11 Висновки до розділу 2.....	35
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	37
3.1 Розрахунок форми траси РРЛ.....	37
3.2 Оцінювання ослаблення.....	40
3.3 Оцінювання втрат.....	42
3.4 Моделювання сигналу в РРЛ.....	43
3.5 Висновки до розділу 3.....	47

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	48
4.1 Охорона праці.....	48
4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	50
4.3 Висновки до розділу 4.....	52
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
ДОДАТКИ	

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Поширеними сьогодні є системи радіорелейного (РР) зв'язку, які використовуються для передачі сигналів багатоканальних телефонних повідомлень, радіомовлення, телебачення, фототелеграфних сигналів, передачі даних для технологічних потреб газодобувної промисловості та залізничного транспорту. РРЛ зв'язку належать до широкосмугових систем телекомунікацій.

Найпростіша топологія РРЛС є дві станції, що забезпечують передачу інформації між двома точками. У складніших випадках будуються відгалуження від основної лінії чи створюються мережі розподілу інформації між регіонами, населеними пунктами і між споживачами, якими частіше виступають підрозділи великих компаній.

Міжнародними рекомендаціями МСЕ-Т виділено кілька діапазонів частот НВЧ, у кожному з яких визначено частотні плани для роботи РРЛ; у своїй смузі частот радіоканалу вбирається у 40 МГц.

Щоб покращити пропускну здатність РРЛ часто застосовується багатоствольна робота, при якій організується кілька паралельних радіоканалів, що використовують загальні станції.

У структурі РР зв'язку розрізняють кінцеві, вузлові та проміжні станції. Вузлові та проміжні станції виконують функції ретрансляторів, але на вузлових станціях можна виділяти або вводити інформацію до каналу зв'язку, а також відгалужувати сигнали на інші напрямки.

За характером лінійного сигналу РРЛС можуть бути аналоговими і цифровими. Існують і змішані системи, що працюють з тими та іншими сигналами. В даний час широкого розвитку отримали цифрові системи РРЛ, що забезпечують передачу цифрової форми інформації. Цифрові РРЛ вирішують



центральне завдання, яке полягає у проектуванні завадостійких каналів зв'язку, які давали б можливість передавати інформацію з високою швидкістю та необхідною достовірністю.

В дослідженнях проводиться розробка способу організації системи радіорелейного зв'язку (СРЗ).

**Мета і завдання дослідження.** Розробка способу організації СРЗ. Задачі:

- аналіз проблемної області;
- аналіз способів проектування радіорелейних ліній зв'язку;
- аналіз способів перетворення сигналів в радіорелейних системах;
- технічні засоби реалізації радіорелейних ліній
- способу організації системи радіорелейного зв'язку.

*Об'єкт дослідження:* процес проектування системи радіорелейного зв'язку.

*Предмет дослідження:* система радіорелейного зв'язку.

**Наукова новизна.** Запропоновано спосіб організації структури радіорелейної лінії із врахуванням профілю каналу зв'язку та проведено моделювання проходження сигналу в такій лінії.

**Практичне значення отриманих результатів.** Викристання при проектуванні ефективних систем радіорелейного зв'язку.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

#### 1.1 Загальна характеристика інфокомунікаційних мереж

Донедавна мережі зв'язку були представлені, в основному, телефонними та телеграфними мережами, що надають послуги обміну мовною та текстовою інформацією між людьми, а також мережами телевізійного мовлення. Розробка та розвиток систем факсимільного та відеозв'язку додали можливість надання послуг обміну графічними документами та відеозображеннями, у тому числі, в реальному часі та одразу з багатьма абонентами (відеоконференції).

Поява мереж передачі даних (МПД) дозволила вирішити завдання обміну інформацією між людиною та комп'ютером, а також між комп'ютерами. Передача даних доповнилася такою формою обслуговування користувачів, як віддалена обробка даних та дистанційний доступ до банків даних, наприклад в інформаційно-обчислювальних системах, автоматизованих системах управління (АСУ) різного призначення. З'явилося нове поняття «мультимедійних» послуг, що позначають комплекс послуг одночасного обміну мовною, графічною, відео та текстовою інформацією.

Можливість подання будь-якої інформації в цифровому вигляді добре узгоджується з цифровою комп'ютерною обробкою інформації та її передачею по цифрових каналах зв'язку у вигляді так званих «даних». Тому особливості побудови та тенденції розвитку сучасних ІКС пов'язані саме з розвитком технологій передачі та обробки даних.

## 1.2 Мережі електрозв'язку

Донедавна такі мережі класифікувалися за деякою множиною ознак, кожна з яких характеризувала певну властивість конкретної мережі. Розглянуто типи мереж зв'язку (рис. 1.1).

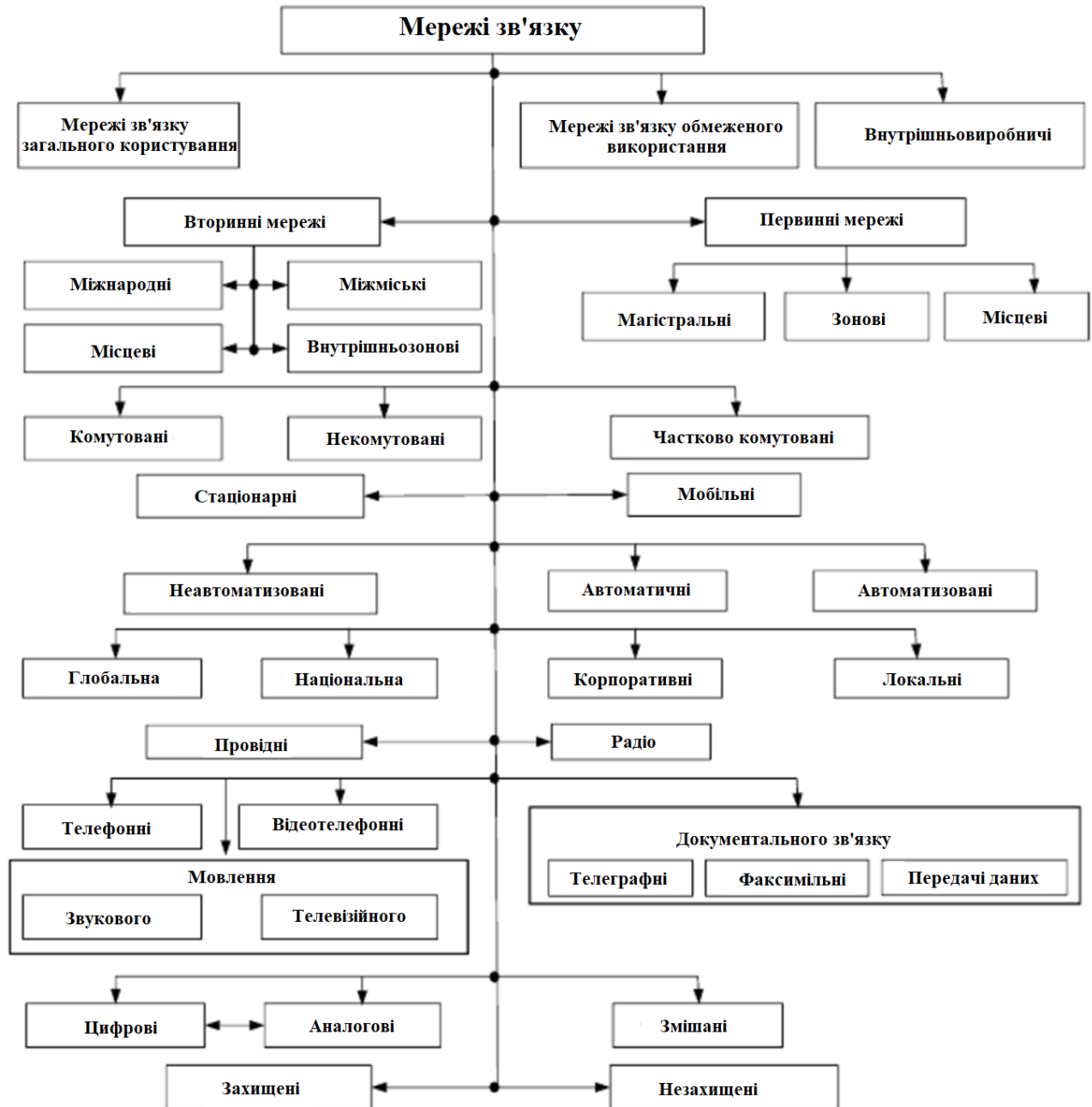


Рис. 1.1. Типи мереж зв'язку

### 1.3 Особливості інфокомунікаційних технологій

Конвергенція інформаційних та телекомунікаційних мереж, що породила поняття «інфокомунікаційні мережі», дає змогу виділити новий клас технологій таких мереж, які ми назвали інфокомунікаційними технологіями. Цей новий клас повинен включати всю множину телекомунікаційних технологій, що використовуються для створення інформаційних служб інфокомунікаційних мереж, до послуг яких забезпечується доступ лише користувачів цих мереж.

Відповідно, враховуючи ситуацію, що історично склалася, пропонується виділити в класифікації інфокомунікаційних технологій два класи технологій: інформаційні та телекомунікаційні (рис. 1.2.)

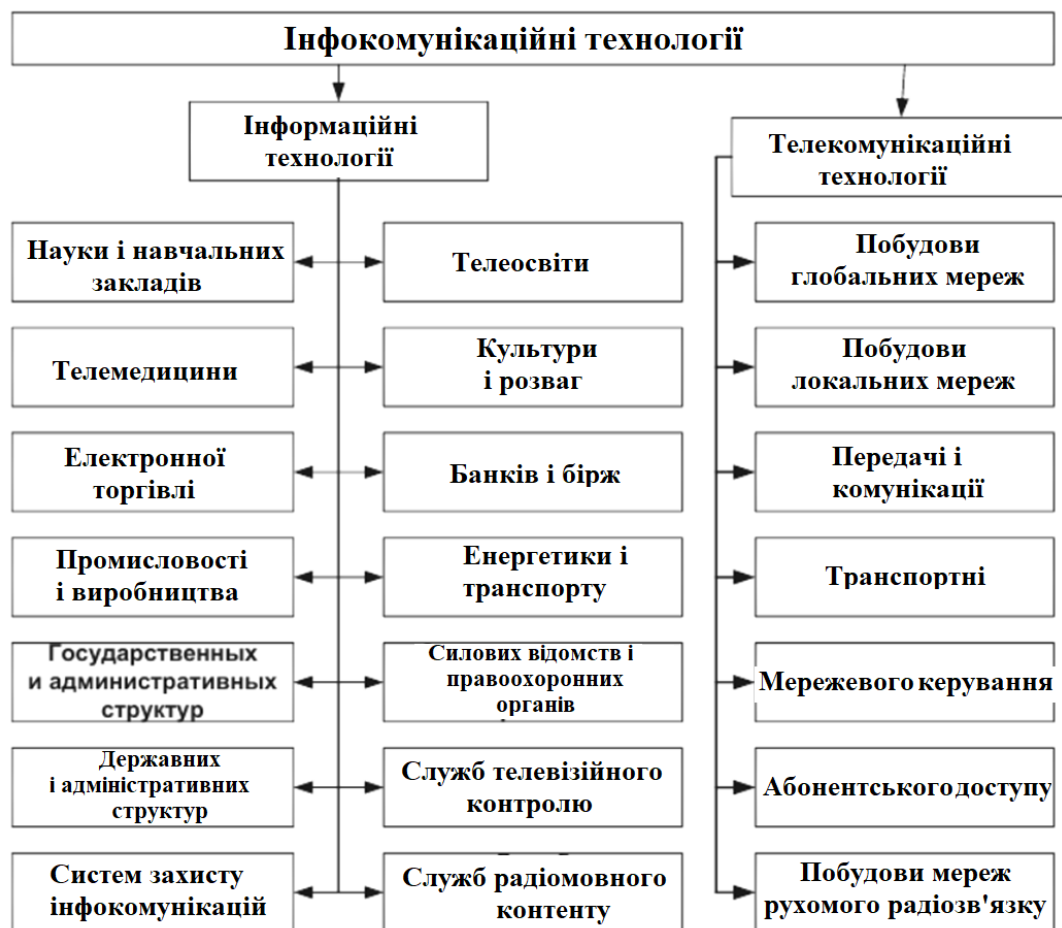


Рис. 1.2. Види інфокомунікаційних технологій

Перспективи розвитку інформаційних технологій для створення різноманітних інформаційних служб та послуг для користувачів практично безмежні. Тому для їхньої класифікації на даному етапі доцільно вибрати як ознаку класифікації групи користувачів інфокомунікаційних мереж, які будуть розглянуті нижче. Відповідно до цього виділяються інформаційні технології для організації інформаційних служб на користь науки та наукових установ, телеосвіти, телемедицини, державних та адміністративних структур, індивідуальних користувачів тощо (рис. 1.2). Очевидно, що для кожної групи користувачів буде створюватись величезна кількість інформаційних технологій, які повинні відстежуватися, класифікуватися, стандартизуватися.

Клас телекомунікаційних технологій на сьогоднішній день вивчений набагато краще та їх класифікація визначається вже сформованою архітектурою телекомунікаційних мереж. Доцільно виділити технології побудови глобальних мереж, до яких належать технології ISDN, B.ISDN, Інтернет та деякі інші, велику групу технологій побудови локальних мереж, мережеві технології передачі та комутації, багато з яких є основою побудови архітектури глобальних мереж (X.25, FR, ATM та ін.), транспортні технології та технології мережевого управління, а також велику групу технологій абонентського доступу та побудови мереж рухомого радіотелефонного зв'язку.

Надалі можуть з'явитися якісь об'єднані технології, які важко поділити на самостійні інформаційні та телекомунікаційні. Такі технології доцільно виділити в окремий клас.

#### 1.4 Висновки до розділу 1

В розділі наведено загальну характеристику інфокомунікаційних мереж, їх суть та основні завдання, для вирішення яких вони і проектуються.

Роглянуто задачу проектування різного типу мереж електрозв'язку, дано їх загальну класифікацію.

Проаналізовано особливості інфокомунікаційних технологій.

## РОЗДІЛ 2

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

#### 2.1 Радіорелейний зв'язок

Розглянемо сфери використання РРЛ. Насамперед це магістральні зв'язки, що дублюють оптоволоконну лінію.

Наступна сфера застосування – компанії стільникового зв'язку. Базові станції стандарту GSM повинні бути рознесені до 80 км. Для зв'язку між базовими станціями компанії стільникового зв'язку орендують цифрові потоки на оптоволоконних лініях. Дуже зручно використовувати для зв'язку між базовими станціями РРЛ зв'язку, тим більше, що можна використовувати загальну систему електроживлення та одну щоглу для розміщення антен базових і радіорелейних станцій.

Не можна не відзначити таку можливість застосування РРЛ, як організація зв'язку у важкодоступних районах. Оскільки така потреба таки існує, виходом стає застосування ЦРРС малої ємності.

Останніми роками дедалі більше зростає ступінь комп'ютеризації населення. Комп'ютер перестав бути засобом розкоші та став ще одним інструментом для роботи. При цьому величезний розвиток набула мережа Інтернет. Все більше людей не влаштовує доступ в Інтернет за звичайним аналоговим модемом по телефонній лінії. Тут головною проблемою залишається організація так званої останньої милі – доставка високошвидкісних каналів до споживачів. Набувають поширення такі види організації зв'язку як ADSL, IDSL, системи супутникового прийому. Використання таких систем зв'язку виправдане під час перегляду сторінок. Якщо ж необхідно встановити Web- або FTP-сервер, то низька пропускна здатність у напрямку до телефонної

станції стане серйозною перешкодою для завантаження даних. Тому, якщо необхідний дійсно високошвидкісний доступ, одним із раціональних рішень буде використання радіорелейної станції передачі цифрового потоку від магістральної лінії зв'язку до споживачів. Таку організацію зв'язку можуть використовувати провайдери Інтернету, які за допомогою ЦРРС організують канал зв'язку з користувачами.

## 2.2 Перевага ЦСП

Системи, за допомогою яких забезпечується передача дискретної інформації, часто називають цифровими, так як інформація, що передається цими системами, може розглядатися як послідовність чисел, виражених у зручній для практичного застосування формі. Цифрові системи передачі часто називають так само кодовими системами чи системами з кодово-імпульсною модуляцією.

Зростаючі потреби в обробці потоків інформації, що швидко збільшуються, стимулюють розвиток систем передачі цифрової інформації не тільки в галузі управління, але і в інших важливих областях, таких, наприклад, як телеметрія, багатоканальна передача мови і т.д.

Передача інформації у цифровій формі має ряд особливостей порівняно з передачею в аналоговій формі, а саме:

- 1) Автоматизована обробка інформації пред'являє підвищені вимоги до якості роботи каналу зв'язку, що визначається швидкістю передачі та її достовірністю.

Принциповий недолік аналогових систем передачі інформації полягає у суттєвому впливі неідеальності та нестабільності апаратурних характеристик системи на якість інформації, що передається. Спотворення інформації, зумовлені цими чинниками, часто є основною причиною суттєвого погіршення



якості роботи системи загалом.

У системах цифрової передачі інформації більшість операцій зводиться до процедур, в основі яких лежать найпростіші логічні операції типу "так-ні", "і", "або" і т.п. Тому такі найважливіші етапи перетворень повідомлень і сигналів, як дискретизація, кодування, модуляція, фільтрація можуть бути здійснені з дуже малими похибками.

Великою перевагою цифрових методів передачі є можливість регенерації (відновлення) цифрової послідовності, суттєво спотвореної різними перешкодами під час передачі лінією зв'язку. Це дозволяє значно послабити ефект накопичення спотворень під час передачі інформації протяжної лінії зв'язку. Можливість суттєвого зменшення впливу апаратурних похибок при цифровій передачі інформації відкриває шляхи значного поліпшення якісних показників системи.

2) Важливим достоїнством передачі у цифровій формі є її універсальність для будь-яких видів переданих повідомлень (мова, телевізійні зображення, дискретні дані, команди тощо.). Універсальна форма подання інформації дозволяє використовувати одні й ті самі канали зв'язку передачі повідомлень найрізноманітнішої фізичної природи.

3) Ключові режими роботи значної частини електронних пристроїв, що входять до складу систем передачі інформації, відкривають ряд нових можливостей по фільтрації, перетворення і посилення повідомлень ЦФ. Маючи абсолютно унікальні властивості (високу стабільність характеристик, можливість зміни різних параметрів фільтра в процесі роботи, високу швидкодію тощо), цифрові фільтри відкривають широкі можливості побудови високоякісних цифрових систем передачі інформації.

4) Цифрові системи принципово гнучкіші, ніж аналогові, дозволяють застосовувати більш досконалі методи передачі/прийому даних та способи їх реалізації. Цифрові системи мають більш високу завадостійкість і надійність

зв'язку, можливість прихованості роботи і т.д.

Переваги систем передачі цифрової інформації пов'язані зі значним ускладненням схем та технологій виготовлення апаратури, а також з необхідністю використання ширшої смуги частот порівняно з аналоговими системами. Проте нині ускладнення апаратури перестало бути принциповою перешкодою, оскільки швидкий розвиток сучасної технології виробництва електронної апаратури створює широкі можливості реалізації цифрових систем з урахуванням новітніх досягнень у сфері мікроелектроніки, інтегральних схем, фізики твердого тіла тощо.

Зменшення розмірів, ваги, споживаної енергії і нарешті, вартості елементів і вузлів апаратури при безперервно зростаючій їх надійності стимулює застосування все більш складних і досконалих схем, що володіють високими інформаційними, технологічними та експлуатаційними якісними показниками.

## 2.3 Кінцева апаратура цифрового ствола

### 2.3.1 Скремблер-дескремблер

Крім перетворення коду в кінцевому обладнанні проводиться операція скремблювання-дескремблювання Скр-Декр. Скремблер Скр полегшує умови виділення тактової частоти в демодуляторі, а також усуває дискретні компоненти в спектрі передаваного сигналу, що утруднюють виконання вимог електромагнітної сумісності. У скремблері формується розподіл ймовірності виникнення нулів і одиниць в двійковому сигналі. Для цього здійснюється додавання за модулем 2 інформаційного сигналу та М-послідовності (псевдовипадкової послідовності з періодом  $2m$ ).

При пропаданні вхідного сигналу або підвищення коефіцієнта помилок до  $10^{-3}$  в кінцевому цифровому обладнанні в напрямку передачі передаються

сигнал індикуювання аварійного стану, що містить одні одиниці (рис. 2.1.).

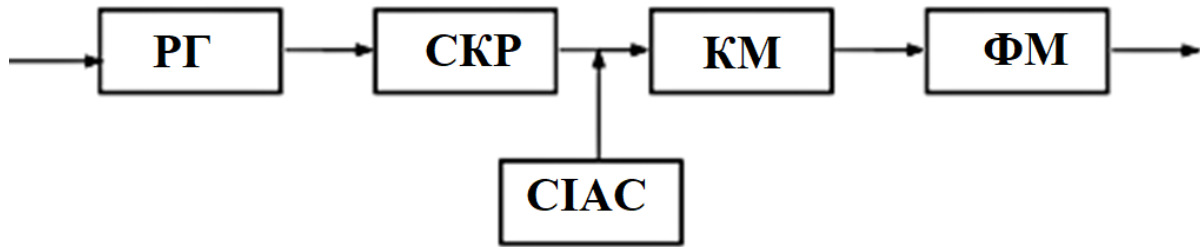


Рис. 2.1. Скремблер-дескремблер

### 2.3.2 Модеми цифрових трактів

Схема має вигляд (рис. 2.2) при ВФМ-2 та (рис.2.3) при ВФМ-4.

У перетворювачі коду модулятора КМ бінарний сигнал розбивається на дві бінарні послідовності з подвоєною тривалістю імпульсу, які методом кодування різницевого перетворюються в дворівневі послідовності. Отримані сигнали надходять через ФНЧ на ФМ, що є перемножувачами відповідно синфазного і квадратурного каналів. Опорні коливання, що подаються з генератора на другі входи цих перемножувачів, зсунуті один щодо одного на  $90^\circ$  за допомогою фазообертача ФО. Кожен із перемножувачів здійснює лінійну балансну АМ. Сигнал ВФМ-4 виходить шляхом складання модульованих сигналів синфазного та квадратурного каналів.

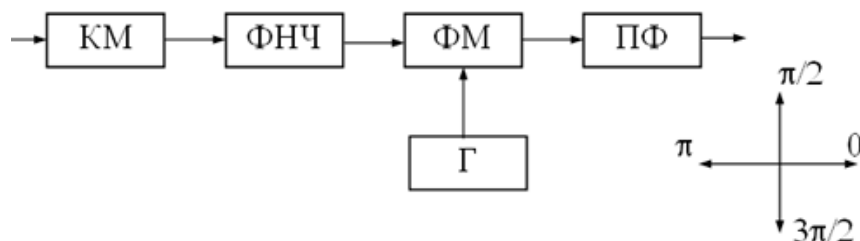


Рис. 2.2. Модеми цифрового тракту при ВФМ-2

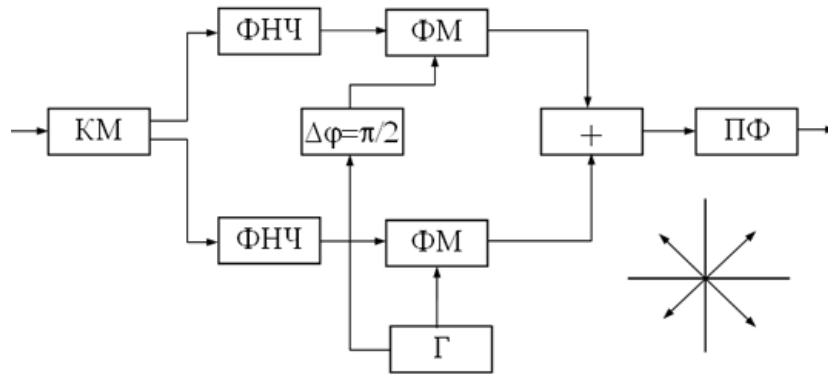


Рис. 2.3. Модеми цифрового тракту при ВФМ-4

Сигнал КАМ-16 отримують додаванням двох сигналів ВФМ-4, один з яких у 2 рази більший за інший по амплітуді. Структурну схему наведено на рис. 2.4.

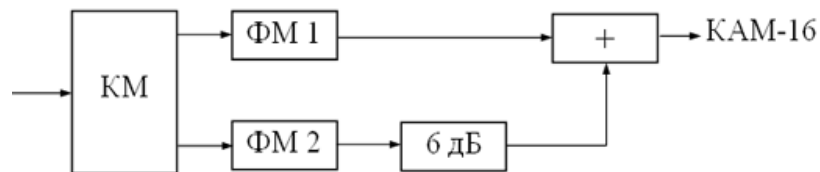


Рис. 2.4. Структурна схема модема з КАМ-16

Сигнали двох модульованих квадратурних складових ВФМ-4 складаються між собою, утворюючи багатопозиційний сигнал ВФМ і КАМ. [4]

## 2.4 Організація передачі ЦРРЛ сигналів багатоканальної телефонії

У загальному вигляді передача сигналів багатоканальної телефонії показано на рис. 2.5.

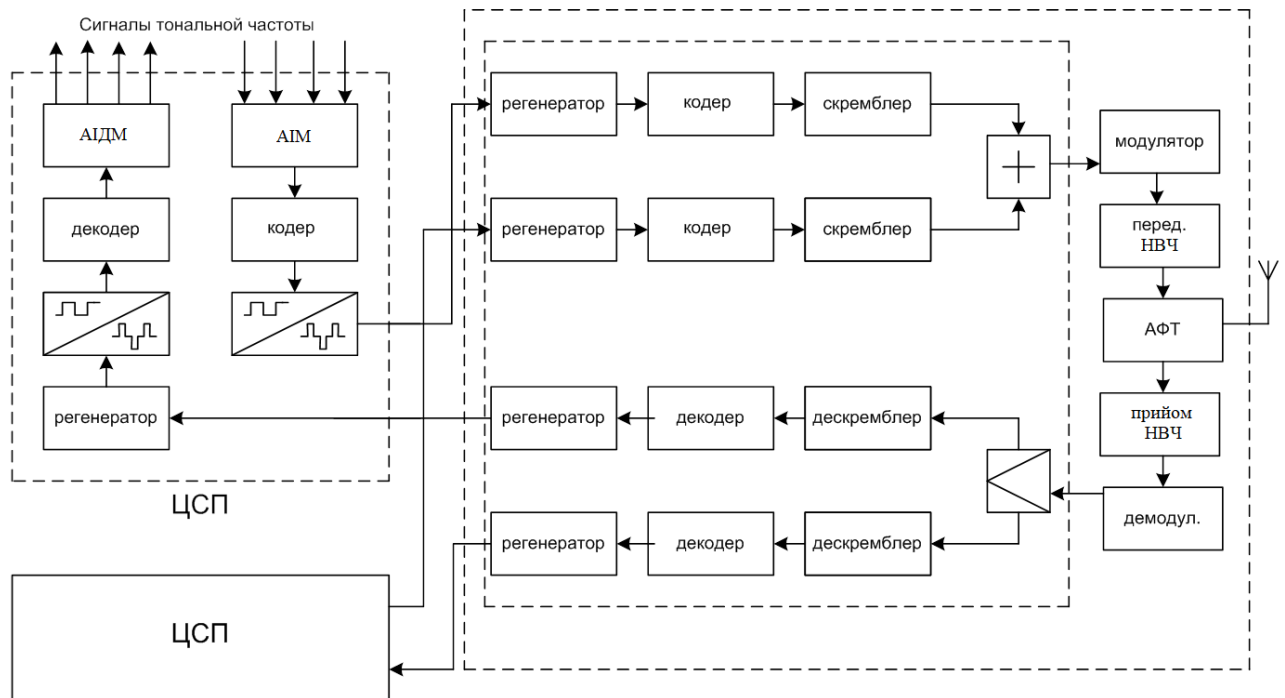


Рис. 2.5. Структурна схема ЦРРЛ

Сигнали тональної частоти для передачі цифрової радіорелейної лінії спочатку в цифровій системі передачі (ЦСП) дискретизуються в амплітудно-імпульсному модуляторі (АІМ) і квантуються за рівнем в кодері. Частота дискретизації дорівнює 8 кГц. Потім двійковий уніполярний сигнал на виході кодера перетворюється на перетворювачі на біполярний, щоб позбутися непотрібної для передачі постійної складової. Лінійний цифровий сигнал (ЛЦС) з ЦСП подається кабелем в ЦРРС, де спочатку відновлюється цифровий сигнал в регенераторі. Потім передається в кодер, де сигнал перетворюється на зручний для передачі код. Після кодування сигнал скремблюється та поєднується з іншими цифровими сигналами. Потім об'єднаний сигнал модулює високочастотний сигнал проміжної частоти в модуляторі і далі надходить у передавач НВЧ, де сигнал ПЧ переноситься у більш високий спектр частот. Через АФТ сигнал передається в іншу ЦРРС по радіолінії.

На приймальній стороні ЦРРС через АФТ сигнал надходить на приймач

НВЧ. Далі в приймачі частота перетворюється на проміжну і надходить у демодулятор. Потім об'єднані сигнали роз'єднуються і надходять у дескремблер. Після цього сигнал декодується і відновлюється в регенераторі. Потім сигнал надходить у ЦСП, де спочатку відновлюється. Потім біполярний сигнал перетворюється на двійковий уніполярний. Двійковий уніполярний сигнал перетворюється на АІМ в декодері та відновлюється сигнал тональної частоти в амплітудно-імпульсному демодуляторі (АІДМ).

## 2.5 Діапазони частот, відведені для РРЗ.

### 2.5.1 Дециметровий діапазон.

Для радіорелейних систем дециметрового діапазону відведені смуги частот біля значень 150 та 400 МГц. Частотний ресурс у цій ділянці спектра невеликий, тому можлива кількість радіоканалів (радіостволів) невелика, як і їх смуга пропускання. Ці величини взаємопов'язані: чим більша швидкість передачі інформації та смуга пропускання радіоканалу, тим менша кількість радіочастот, яку можна організувати в даному діапазоні. У таблиці 2.1 наведено приклад плану частот 150 МГц для організації передачі інформації зі швидкістю 128 кбіт/с і 256 кбіт/с.

Під частотним планом системи РРЛ зв'язку розуміють графічне чи табличне зображення всіх дозволених частот прийому/передачі радіоканалів системи радіозв'язку.

## План розподілу частот у діапазоні 150 МГц

№ ствола	Робоча частота ствола, МГц		Робоча частота ствола, МГц	
	128 кбіт/с		256 кбіт/с	
	прийом	передача	прийом	передача
1	150.55	165.55	150.6	165.6
2	150.65	165.65	150.7	165.7
3	150.75	165.75	150.8	165.8
4	150.85	165.85	150.9	165.9
5	150.95	165.95	151.0	166.0
6	151.05	166.05	151.1	166.1
7	151.15	166.15	151.2	166.2
8	151.25	166.25	151.3	166.3
9	151.35	166.35	151.4	166.4
10	151.45	166.45	151.5	166.5
11	151.55	166.55	151.6	166.6
12	151.65	166.65	165.6	150.6
13	165.55	150.55	165.7	150.7
14	165.65	150.65	165.8	150.8
15	165.75	150.75	165.9	150.9
16	165.85	150.85	166.0	151.0
17	165.95	150.95	166.1	151.1
18	166.05	151.05	166.2	151.2
19	166.15	151.15	166.3	151.3
20	166.25	151.25	166.4	151.4
21	166.35	151.35	166.5	151.5
22	166.45	151.45	166.6	151.6
23	166.55	151.55		
24	166.65	151.65		

В даний час діапазони 150 та 400 МГц переважно використовуються для організації низькошвидкісного технологічного зв'язку в корпоративних мережах.

#### 2.5.2 НВЧ діапазон

Цей діапазон в даний час є найбільш затребуваним для організації РРЗ.

Можна навести графічне зображення плану частот до 15 ГГц (14,4...15,35 ГГц), у якому забезпечується 64 пари робочих частот із кроком 7 МГц (рис. 2.6).

Частотне рознесення передачі двох стволів із взаємоортогональною поляризацією, що працюють на одну антену, повинен бути не менше 28 МГц;

рознесення між частотами передачі (прийому) двох стволів, що працюють паралельно з однією поляризацією на різні антени, має бути не менше 56 МГц.

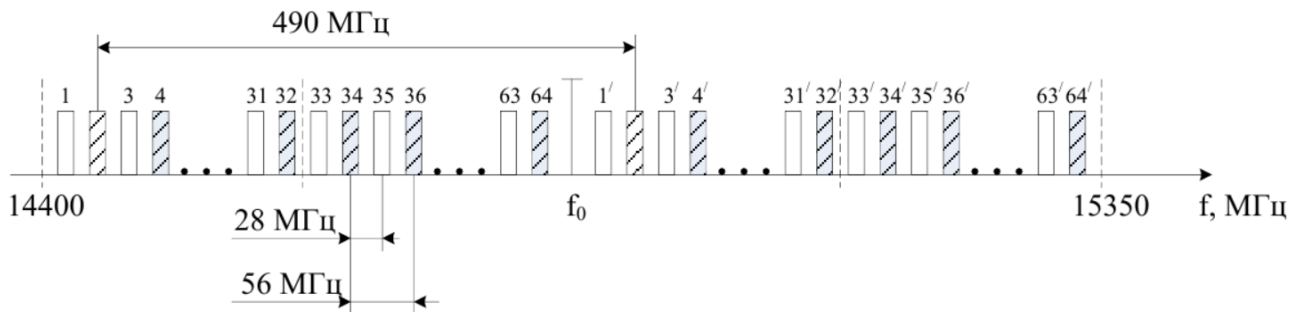


Рис. 2.6. План розподілу частот у діапазоні 15 ГГц

Установка робочих частот РРЛ здійснюється за допомогою вбудованого синтезатора, що дозволяє максимально скоротити кількість літерних виконань РРЛ за частотою. Це полегшує експлуатацію, інсталяцію, процес виробництва.

В даний час НВЧ діапазон для роботи РРЛ освоєно до значень 38 ГГц. Існують і більш високочастотні варіанти радіорелейних систем передачі – до 93 ГГц, які відносять до вкрай високих робочих частот (ВВЧ).

### 2.5.3 Дво- та чотиричастотні плани розподілу частот

Поняття плану розподілу частот пов'язане лише з переліком радіочастот, дозволених до роботи РРЛ, але й їх присвоєнням кожної РРС під час проектування конкретної РРЛ. Як видно з таблиці 2.1 і рис. 2.6 частотний ресурс, що надається радіорелейним лініям певного діапазону, дуже обмежений.

Тому повсюдно використовуються спеціальні способи присвоєння радіочастот РРС, які дозволяють економно використовувати радіочастотний ресурс. Ці способи називаються двочастотними та чотиричастотними планами розподілу частот.

Двочастотний план – варіант у якому кожному напрямі використовуються дві частоти: одна прийом ( $f_1$ ), друга передачу ( $f_2$ ) – рис. 2.7. На наступних прольотах ці дві частоти чергуються між собою.



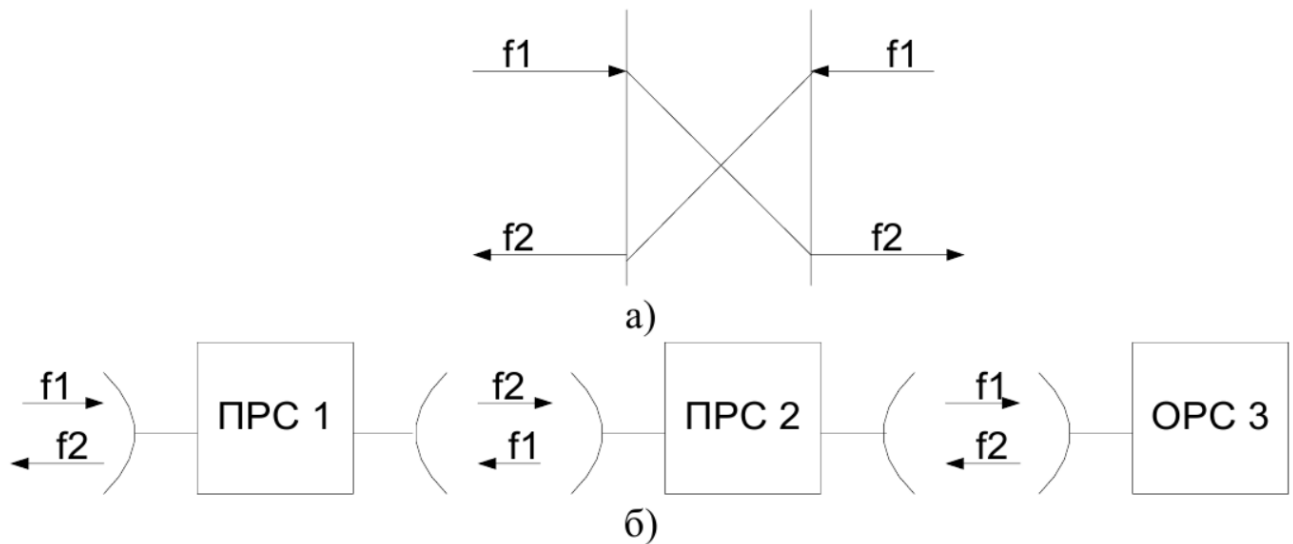


Рис. 2.7. План розподілу частот

Двочастотний план є найбільш економічним і набув найбільшого поширення при використанні РРЛ НВЧ діапазону. Однак, він має і недолік: на рис. 2.7, а видно, що в точку розташування проміжної станції надходять 2 сигнали з різних напрямків з однаковою частотою.

Таким чином, існує можливість попадання сигналу на вхід приймача протилежного напрямку та створення перешкоди основним каналом прийому. Щоб уникнути такого явища (перешкоди "зворотного проходження"), необхідно застосовувати параболічні антени з високими захисними властивостями. Коефіцієнт захисної дії антени - відношення потужності сигналу, що приймається з головного напрямку, до потужності сигналу з протилежного напрямку має бути не менше 70 дБ.

Чотирьохчастотний план - варіант, при якому в різних напрямках використовуються дві частоти: на прийом  $f_1$  і  $f_2$ , на передачу  $f_3$  і  $f_4$  – рис. 2.8.

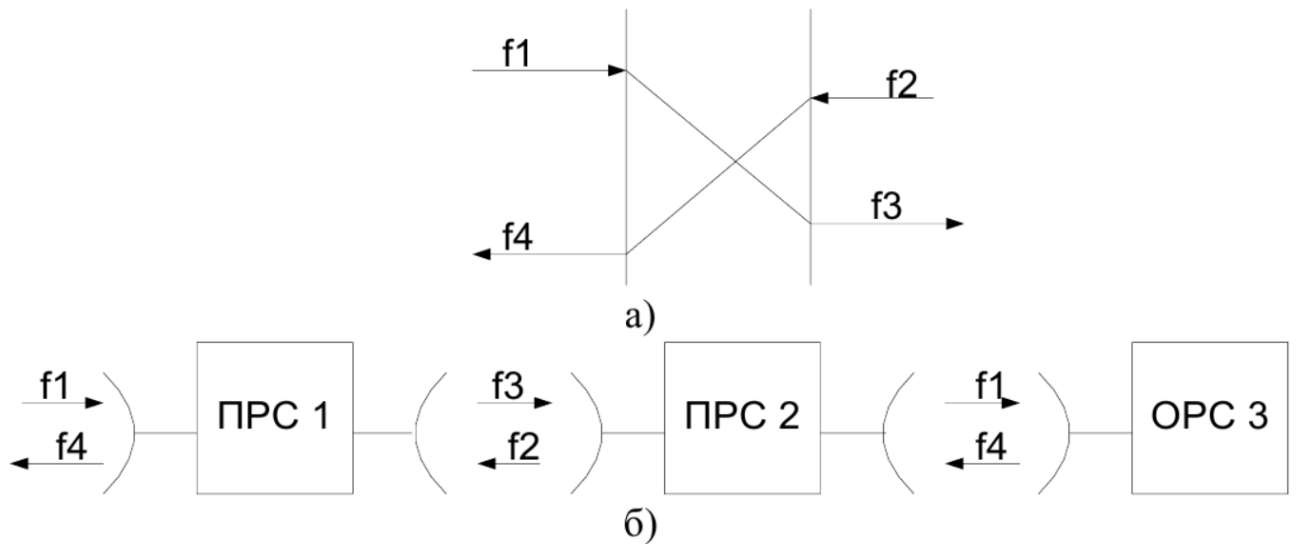


Рис. 2.8. План розподілу частот

В даному випадку розширюється смуга частот, що виділяється лінії, але спрощується конструкція антен (необхідне значення КЗД знижується до 40 дБ).

Цей план розподілу використовується на місцевих та внутрішньозонових мережах, причому його застосування необхідне для РРЛ дециметрового діапазону, а також при застосуванні перископічних антен із малими захисними властивостями.

## 2.6 Функціональна схема кінцевої ЦРРС

На рис. 2.9 представлено функціональну схему кінцевої цифрової РР станції. Слід зазначити, що схема не є відображенням технічної реалізації обладнання будь-якого виробника, а показує перетворення, необхідні для формування радіосигналу для передачі РРЛ.



Рис. 2.9. Функціональна схема ЦРРС

Від джерела даних сигнал надходить на АЦП, який залежно від виду інформаційного сигналу здійснює його оцифрування. Так, при передачі телефонних сигналів традиційним способом формування цифрового сигналу може відбуватися одночасно і з організацією первинного цифрового з часовим поділом каналів за допомогою ІКМ-30 або первинного гнучкого мультиплексора. Передача аудіо та відеоінформації в даний час проводиться

після попередньої обробки зі стисненням, що здійснюється за допомогою вокодерів, аудіокодерів та відеокодерів. Від ступеня стиснення мультимедійної інформації під час оцифрування залежить якість на стороні прийому та швидкість передачі цифрового сигналу. У загальному випадку джерело інформації може розташовуватися на значній відстані від кінцевої РРС, тому для доведення цифрового сигналу до РРЛ потрібна сполучна лінія, яка може бути реалізована з використанням оптичного або електричного кабелю. Цифровий сигнал при розповсюдженні по кабельній сполучній лінії зазнає негативних змін за амплітудою та часом. Перевагою цифрових систем є можливість регенерації сигналу, що має бути зроблено перед будь-якою подальшою обробкою сигналу.

Так як радіорелейні лінії відносяться до транспортних телекомунікаційних систем, швидкість передачі в радіоканалі зазвичай істотно вище первинного цифрового потоку. Для організації високошвидкісного транспортного потоку використовуються мультиплексори синхронної та плезіохронної ієрархії, а у разі використання технологій Ethernet – комутатори чи маршрутизатори.

Таким чином, після формування транспортного потоку, починаються перетворення, що дозволяють передавати цифрові сигнали каналами радіозв'язку. Скремблювання цифрових потоків вирінює можливість появи символів "0" і "1" і виключає їх довгі серії. Ця операція покращує роботу тактової синхронізації на стороні прийому, причому основні параметри цифрового сигналу не змінюються.

Наступний найважливіший блок – модулятор. Саме від обраного методу модуляції залежать такі важливі характеристики системи радіозв'язку як стійкість до перешкод і займана смуга частот. У радіорелейних системах передачі модуляція зазвичай проводиться на проміжній частоті, значення якої становлять сотні МГц.

Перелічені вище перетворення у сучасному РРЛ устаткуванні найчастіше виконується у так званому «блоці внутрішнього розміщення». Отриманий сигнал проміжної частоти доводиться коаксіальним кабелем до зовнішнього обладнання. Це приймальний пристрій, який монтується на антенній опорі біля антени. У деяких випадках антена та ПП випускаються у вигляді моноблоку.

Радіопередавальний пристрій виконує такі основні функції:

- Перетворення проміжної частоти в область НВЧ
- Формування смуги пропускання радіоканалу.
- Посилення сигналу НВЧ до потрібного рівня.

Через антену сигнал випромінюється в ефір у бік сусідньої станції. При поширенні сигналу на прольоті РРЛ із нею відбуваються негативні зміни:

- Поглинання та розсіювання енергії сигналу
- Інтерференція
- Викривлення траєкторії поширення радіохвиль
- Поглинання енергії радіохвиль в опадах

Мала частина переданого сигналу досягає приймальної антени, вловлюється нею і подається на вхід приймального пристрою. Окрім корисного сигналу на вхід приймача потрапляють шуми та перешкоди від сторонніх радіозасобів, тому перше завдання приймача – забезпечити необхідну вибірковість та виділити корисний сигнал для подальшої обробки.

Далі проводиться посилення та перетворення сигналу НВЧ в область проміжної частоти.

Далі проводиться демодуляція та регенерація сигналу. Отриманий цифровий сигнал після демультіплексування може бути поданий споживачам або за наявності багатопрольотної РРЛ цикл перетворення повторюється.

## 2.7 Радіопередавальний пристрій

Модуляція високочастотного сигналу в РРС передачі зазвичай проводиться на проміжній частоті, яка на кілька порядків нижче за частоту радіосигналу. Завдання радіопередавача здійснити це перетворення та посилити отриманий сигнал до необхідного рівня.

Типову структурну схему радіопередавача наведено на рис. 2.10.

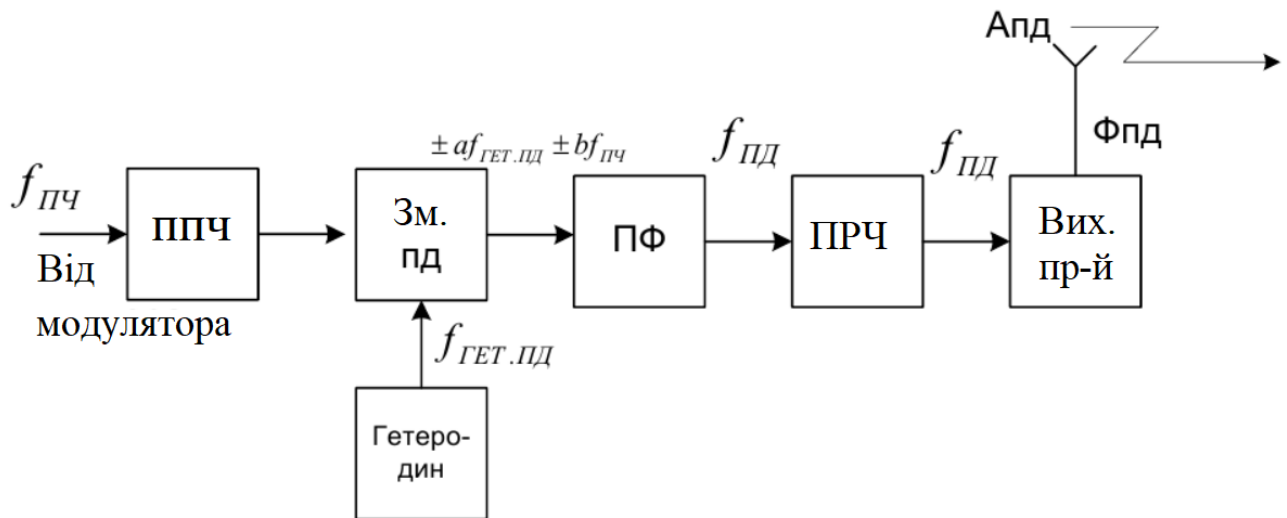


Рис. 2.10. Структурна схема радіопередавального пристрою

Сигнал ПЧ подається на вхід підсилювача ПЧ, який посилює сигнал до рівня, необхідного для роботи змішувача, який здійснює перенесення сигналу ПЧ в область робочих частот з використанням гетеродина передавача. Смуговий фільтр виділяє одну з комбінаційних частот, що відповідає корисному сигналу. Зазвичай це  $f_{ПД} = f_{ГЕТ.ПД} + f_{ПЧ}$ . Підсилювач радіочастот (або підсилювач високих частот) збільшує рівень сигналу радіосигналу до номінального значення, прийнятого в даному обладнанні.

## 2.8 Фідери

Як фідерні пристрої можуть бути використані коаксіальні кабелі, круглі та еліптичні хвилеводи.

Хвилі з ортогональною поляризацією підводять до приймальної антени РРС або по одному фідеру, або по двох хвилеводах еліптичного (іноді прямокутного) перерізу. У першому випадку поділ цих хвиль виконує поляризаційний селектор.

В даний час переважна більшість радіорелейного обладнання мають виносне виконання приймально-передавальних блоків, які монтуються безпосередньо поряд з антеною, при цьому фідер має вкрай малу протяжність (до декількох десятків сантиметрів) і може бути розглянутий як узгоджувальний пристрій між ППУ та антеною.

Приймальний фідер дещо послаблює сигнал та погіршує відношення сигнал-шум приймача. Цей факт потрібно враховувати за енергетичного розрахунку РРЛ

## 2.9 Радіоприймальний пристрій

Як і в більшості систем радіозв'язку в радіорелейних системах передачі найбільшого поширення набули супергетеродинні приймачі, в яких основне посилення проводиться на проміжній частоті, такі приймачі мають гарну вибірковість і універсальність.

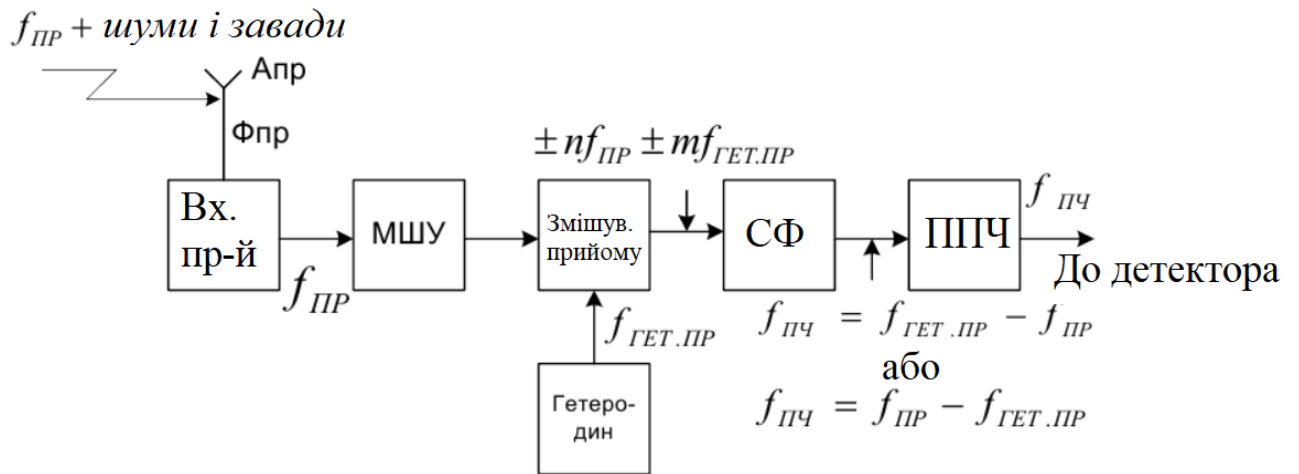


Рис. 2.11. Структурна схема радіоприймального пристрою

Сигнал з виходу АФТ потрапляє на вхідний пристрій, який забезпечує попередню фільтрацію сигналу від впливів. Потім малошумний підсилювач компенсує втрати енергії сигналу на прольоті з мінімальним рівнем власних шумів. Змішувач приймача здійснює перенесення сигналу з робочої області частот область проміжної частоти ПЧ. Далі проводиться фільтрація від побічних продуктів перетворення та основне посилення проміжної частоти та сигнал подається на демодулятор

## 2.10 Адаптивні радіорелейні лінії

У класичних радіорелейних системах енергетичний бюджет каналу розраховується з необхідної надійності передачі та швидкості радіоканалі для найгіршого випадку поширення. При цьому розрахунковий запас на завмирання не використовується за нормальних сприятливих умов поширення. Ідея використання цього запасу лягла в основу технології адаптивної модуляції та кодування.

Використовуючи АСМ, система автоматично налаштовує параметри своєї роботи залежно від поточних погодних умов, що дозволяє запобігти погіршенню характеристик радіосигналу. Коли екстремальні погодні умови



починають негативно впливати на роботу системи, модуль радіосигналу автоматично вибирає найкращий із можливих режимів роботи модуляції/кодування. В результаті це дозволяє знизити до мінімуму вплив погодних умов на показники роботи системи і при цьому максимально ефективно використовувати частотний ресурс у діапазоні.

Розглянемо роботу АСМ з прикладу устаткування, що дозволяє швидко змінювати формат модуляції. Модуль радіосигналу безперервно (тобто кожні кілька мілісекунд) визначає якість прийому та параметри згасання для даної конкретної системи, далі аналізує їх. При досягненні коефіцієнта загасання певної величини, критичної для якості та надійності зв'язку, модуль змінює (зменшує) в демодуляторі модуляцію та/або кодування сигналу (рисунок 5.1) так, щоб відновити необхідний запас енергетики. Перемикання режиму модуляції реалізовано за допомогою алгоритму, що виключає виникнення помилки в момент перемикання, а значить, зовсім не створюючи перешкод додатків реального часу та інших сервісів.

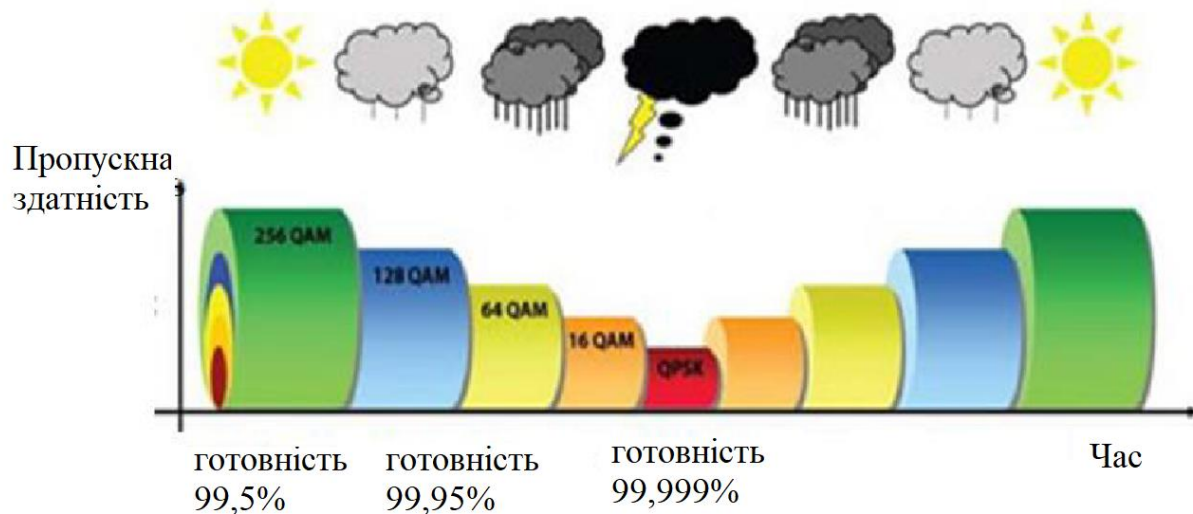


Рис. 2.12. Динамічна зміна модуляції

Тобто система має можливість залежно від умов розповсюдження без обривів переходити на більш захищені типи модуляції та швидкості кодування, зменшуючи при цьому ємність у радіоканалі.

При цьому повного розриву зв'язку немає, пріоритетний трафік продовжує передаватися, відкидається лише трафік із низьким пріоритетом. При поверненні до нормальних умов поширення система автоматично відновлює вихідну швидкість передачі.

Принцип адаптивної модуляції має бути коротко пояснений у наступному. Передавач передає дані радіоканалом до приймача. У передавачі спочатку дані, що підлягають передачі, кодують і ущільнюють за допомогою кодера і перемежувача імпульсів. Після цього дані залежно від характеристики каналу модулюють з різним ваговим коефіцієнтом модуляції. Придатними для цього способами модуляції є, наприклад, відомі способи амплітудно/фазової маніпуляції, двійкова маніпуляція фазова, квадратурна фазова модуляція, квадратурна амплітудна модуляція 16 QAM і т.д. з відповідними ваговими коефіцієнтами модуляції. При високому відношенні сигнал/шум відповідна піднесуча повинна модулюватися високим числом бітів, у той час як при малому відношенні сигнал/шум потрібне досить мале число бітів. Співвідношення сигнал/шум зазвичай оцінюють у приймачі і перетворюють для окремих піднесучих у так звану таблицю завантаження бітів. Така таблиця завантаження бітів може, наприклад, містити інформацію про відношення сигнал/шум або альтернативний ваговий коефіцієнт модуляції для кожної окремої піднесучої. Цю таблицю завантаження бітів передають передавачу так, що він може керувати відповідно демультимплексором і мультимплексором для адаптивної модуляції.

При роботі адаптивної модуляції використовується п'ять типів модуляції, вибір між якими здійснюється динамічно завдяки блоку обробки, що реагує на флуктуації загасання на тракті зі швидкостями до 100 дБ/с. Для смуги частот 7,

14 або 28 МГц зміна модуляції з QPSK до 16 QAM призводить до дворазового, а з QPSK до 256 QAM - чотириразового збільшення пропускної спроможності радіоканалу.

Адаптивна модуляція дозволяє уникати збільшення розмірів антен та потужності передавачів. Наприклад, для радіоканалу 7 МГц з модуляцією QPSK і пропускною здатністю  $5 \times E1$  при надійності 99,999% вплив адаптивної модуляції призводить до збільшення індексу модуляції до 256 QAM і пропускної здатності до 45 Мбіт/с, доступної, як правило, не менше 99,5% часу. При цьому розміри антен і потужності передавачів залишаються незмінними.

Адаптивна модуляція та кодування дають можливість, з одного боку, максимально використовувати обмежений частотний ресурс, з іншого – максимально захистити від перерв зв'язку трафік найвищого пріоритету. Використання адаптивної модуляції та кодування стало невід'ємною частиною радіорелейних систем нового покоління.

## 2.11 Висновки до розділу 2

Проаналізовано стан радіорелейного зв'язку та перспективи його розвитку. Зокрема розглянуто системи цифрового радіорецейного зв'язку. Наведено переваги таких систем в порівнянні із кабельними чи волоконно-оптичними системами.

Розглянуто кінцеву апаратуру цифрового ствола, зокрема скремблер-дескремблер, який полегшує умови виділення тактової частоти в демодуляторі, а також усуває дискретні компоненти в спектрі передаваного сигналу, що утруднюють виконання вимог ЕМС.

Також розглянуто типи та структуру модемів цифрових трактів.

Також проаналізовано організацію передачі цифровими радіорелейними лініями сигналів багатоканальної телефонії та діапазони частот, що виділяються для таких ліній.

### РОЗДІЛ 3 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Розрахунок форми траси РРЛ

Проектується цифрова лінія РРП в діапазоні частот 7,125 - 8,5 ГГц, довжини хвилі  $\lambda = 4$  см; швидкість передачі даних R: 2,048 Мбіт/с; модуляція O-QPSK; некогерентний прийом, ймовірність помилки  $P = 10^{-5}$ .

На рис. 3.1 показано типовий розріз профілю земної поверхні.

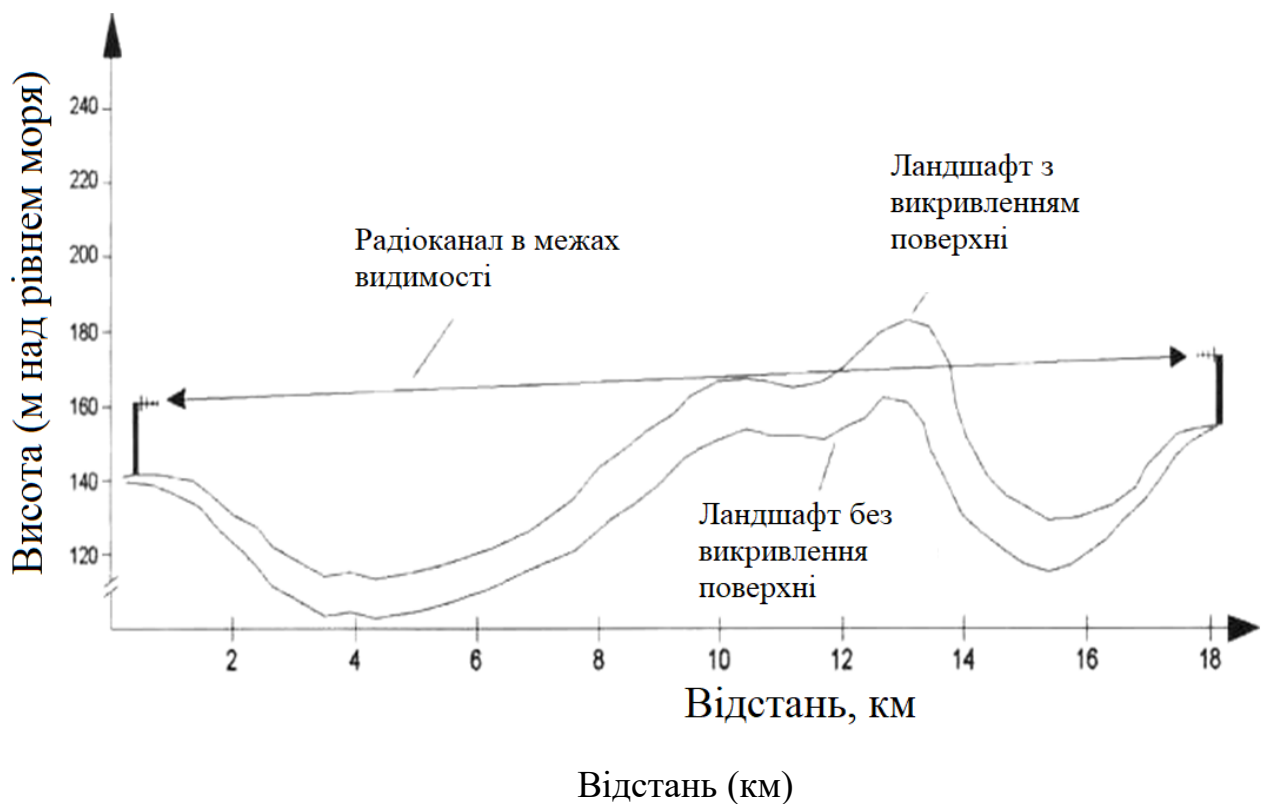


Рис. 3.1. Типовий профіль каналу

Дані висотні позначки та відстані між ними занесені до таблиці 3.1:

Таблиця 3.1

Дані для форми траси

Номер точки	R, (мм)	R, (км)	h, (м)	k	y	y+h
1	0	0	74,2	0,0000	0,00	74,20
2	56	5,6	70	0,1186	18,28	88,28
3	69	6,9	70	0,1462	21,83	91,23
4	79	7,9	70	0,1674	24,37	94,37
5	85	8,5	70	0,1801	25,82	95,82
6	102	10,2	70	0,2161	29,62	99,62
7	125	12,5	60	0,2648	34,04	94,04
8	140	14	50	0,2966	36,48	86,48
9	146	14,6	40	0,3093	37,36	77,36
10	158	15,8	50	0,3347	38,94	88,94
11	162	16,2	50	0,3432	39,42	89,42
12	173	17,3	40	0,3665	40,6	80,6
13	188	18,8	30	0,3983	41,91	71,91
14	222	22,2	20	0,4703	43,56	63,56
15	228	22,8	20	0,4831	43,67	63,67
16	250	25	20	0,5297	43,56	63,56
17	272	27,2	20	0,5763	42,7	62,7
18	275	27,5	30	0,5826	42,52	72,52
19	288	28,8	30	0,6102	41,59	71,59
20	306	30,6	30	0,6483	39,87	69,87
21	342	34,2	20	0,7246	34,9	54,9
22	344	34,4	20	0,7288	34,56	54,56
23	389	38,9	10	0,8242	25,34	35,34
24	425	42,5	20	0,9004	15,68	35,68
25	431	43,1	10	0,9131	13,88	23,88
26	439	43,9	20	0,9301	11,37	31,37
27	472	47,2	22,7	1,0000	0,00	22,70

Результати розрахунку відносних координат висотних позначок проектованої форми наведено у таблиці 3.1.

За отриманими значеннями таблиці 3.1 будуємо профіль форми РРЛ. Профіль форми проектованої РРЛ зображено рис. 3.2:

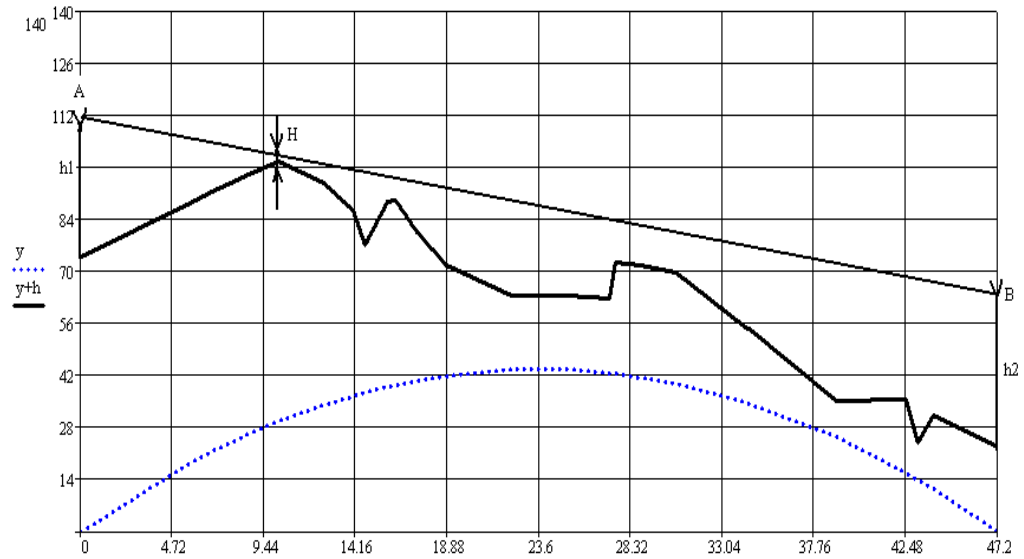


Рис. 3.2. Профіль форми РРЛ

Просвіт знайдемо з виразу:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} R_0 \lambda \kappa (1 - \kappa)}, \quad (3.1)$$

Відповідно до вихідних умов знайдемо  $\kappa$ :

$$\kappa = \frac{10,2}{47,2} = 0,22$$

Обчислимо тепер  $H_0$ :

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot 47200 \cdot (0,04) \cdot 0,22 \cdot (1 - 0,22)} = 10,4 \text{ м}$$

Зміна просвіту за рефракції враховується величиною  $\Delta H(g)$ :

$$H(g) = H + \Delta H(g), \quad (3.2)$$

$$\Delta H(g) = -\frac{R_0^2}{4} g \kappa (1 - \kappa), \quad (3.3)$$

При  $g < 0$  збільшення просвіту  $\Delta H(g) > 0$ ,

При  $g > 0$  величина  $\Delta H(g) < 0$ .

На нашій території  $g = -12 \cdot 10^{-8} \frac{1}{m}$

Проведемо обчислення  $\Delta H(g)$ :

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

$$\Delta H(g) = -\frac{47200^2}{4} \cdot (-12 \cdot 10^{-8}) \cdot 0,22 \cdot (1 - 0,22) = 11,47 m$$

### 3.2 Оцінювання ослаблення

Коефіцієнт ослаблення знайдемо з виразу:

$$V = \sqrt{1 + \Phi^2 + 2\Phi \cos \gamma}, \quad (3.4)$$

$$\Theta = \frac{H(g)}{2R_0 \kappa (1 - \kappa)}, \quad (3.5)$$

В нашому випадку:



$$\Theta = \frac{15,47}{2 \cdot 47200 \cdot 0,22 \cdot (1 - 0,22)} = 9,55 \cdot 10^{-4}$$

Зсув фаз між хвилями, що інтерферують, можна розрахувати за виразом:

$$\gamma = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r + \beta, \quad (3.6)$$

де  $\Delta r$  - різниця ходу між хвилями, що інтерферують.:

$$\Delta r = \frac{H^2(g)}{2R_0\kappa(1-\kappa)}, \quad (3.7)$$

$$\Delta r = \frac{15,47^2}{2 \cdot 47200 \cdot 0,22 \cdot (1 - 0,22)} = 0,015$$

$\beta$  - фаза коефіцієнта відбиття.

Оцінимо тепер величину зсуву фаз між інтерферуючими хвилями:

$$\gamma = \frac{2\pi}{0,04} 0,015 + \pi \approx 1,75\pi$$

$$V = \sqrt{1 + \Phi^2 - 2\Phi \cos \frac{\pi p^2(g)}{3}}, \quad (3.8)$$

$$p(g) = \frac{H(g)}{H_0} = \frac{H + \Delta H(g)}{H_0}, \quad (3.9)$$

$$p(g) = \frac{15,47}{10,4} = 1,488$$

### 3.3 Оцінювання втрат

Загальне послаблення сигналу:

$$L = (\alpha_1 + \alpha_2) R_0 + \alpha_3 \cdot \text{КД} R_0, \quad (3.10)$$

де  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  - згасання сигналу.

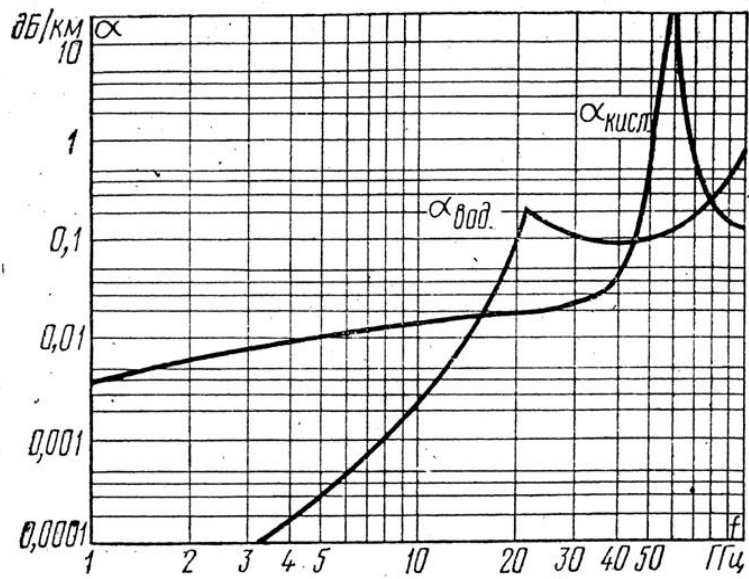


Рис. 3.3. Згасання сигналу в різних умовах

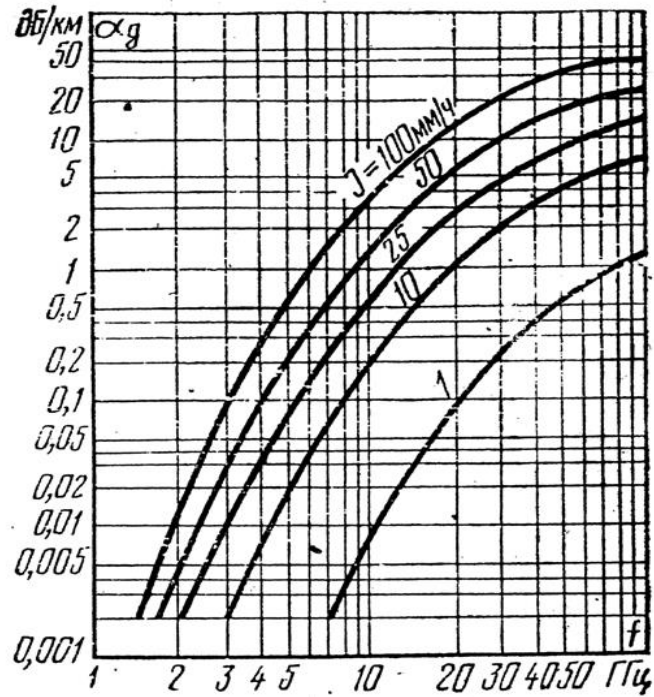


Рис. 3.4. Ослаблення сигналу залежно від умов

### 3.4 Моделювання сигналу в РРЛ

Моделювання виконано у MatLab, додаток Simulink. Покажемо, як проходить сигнал із цифрового модему з частотою 70 МГц та з модуляцією ВФМ-4. Швидкість цифрового сигналу на вході модему 34 Мбіт/с.

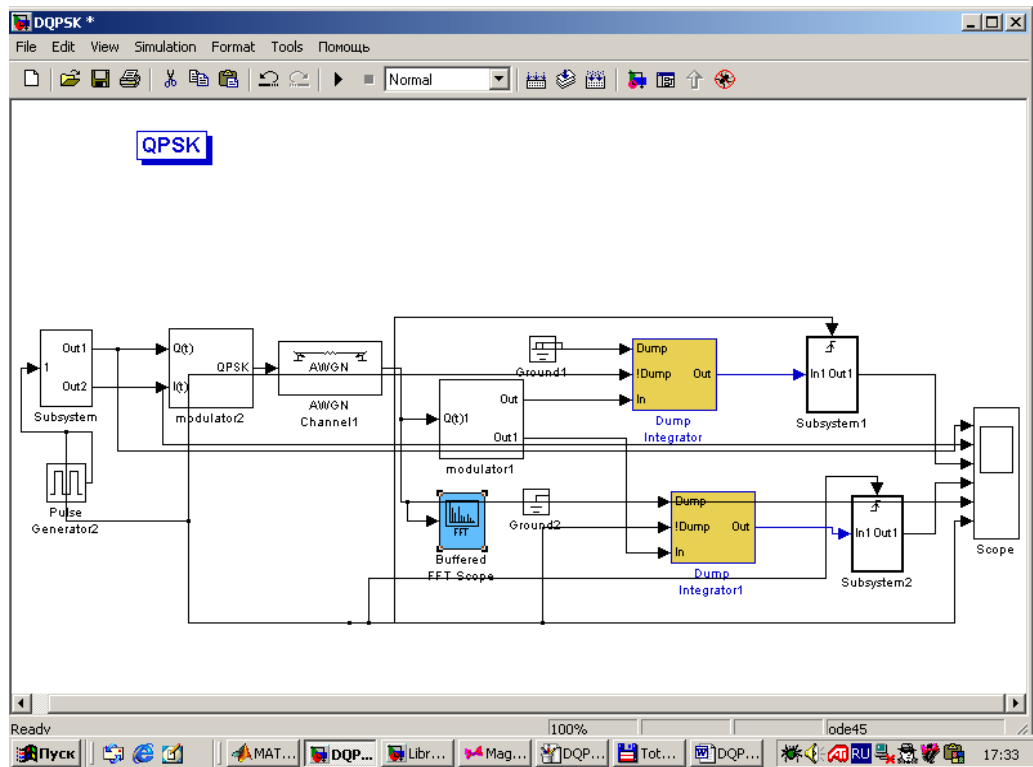


Рис. 3.5. Модель проходження сигналу

В середовищі Matlab модуля Simulink було складено схему та проімітовано принцип її роботи та особливості проходження сигналу ВФМ-4 без шумів та із шумами. Відповідні графіки наведено на рисунках нижче.

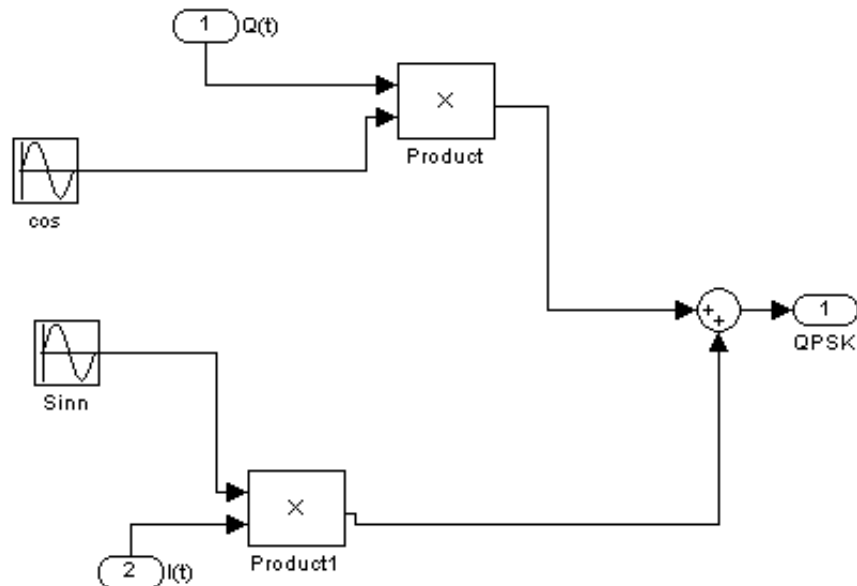


Рис. 3.6. Структурна схема модулятора ВФМ-4

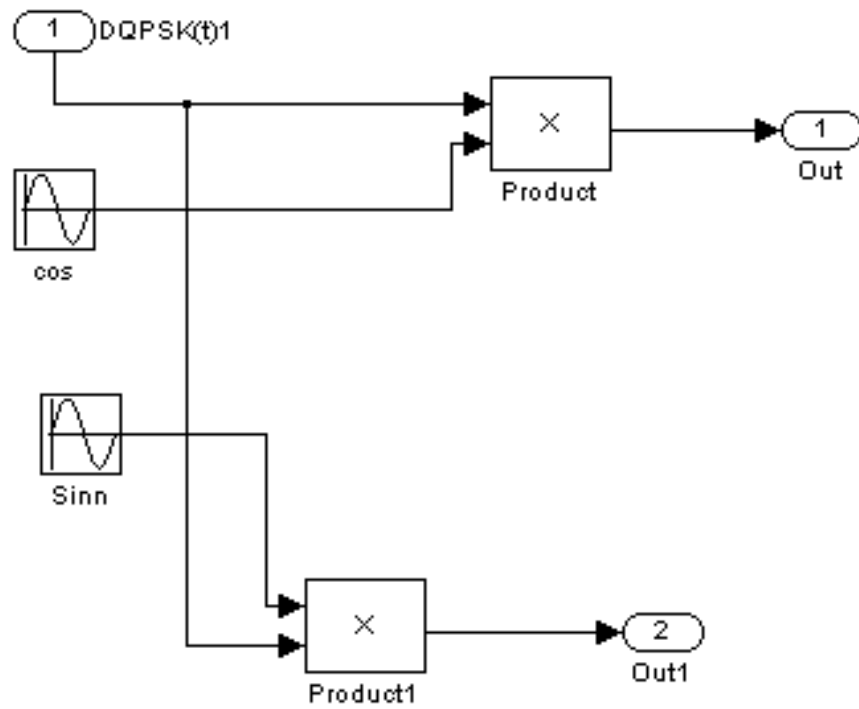


Рис. 3.7. Структурна схема демодулятора ВФМ-4

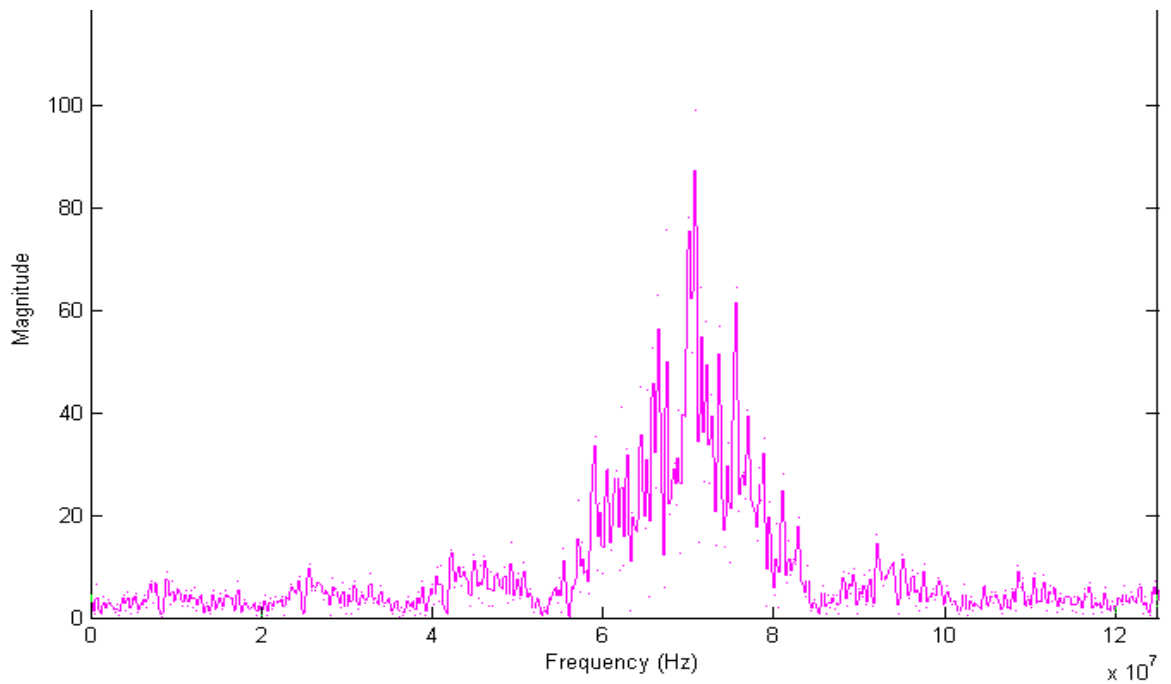


Рис. 3.8. Спектр сигналу без шумів

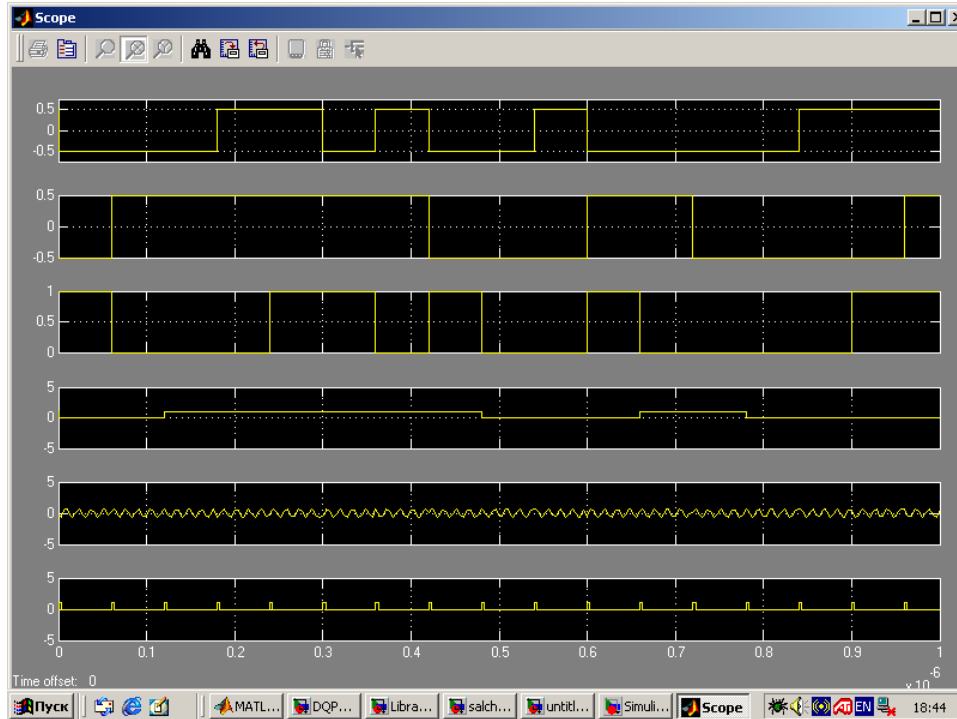


Рис. 3.9. Вид сигналів на осцилографі: 1 - сигнал на вході модулятора  $Q(t)$ ; 2 - сигнал на вході модулятора  $I(t)$ ; 3 - Сигнал на виході демодулятора  $Q(t)$ ; 4 - Сигнал на виході демодулятора  $I(t)$ ; 5 - Сигнал ПЧ із частотою 70 МГц у каналі; 6 - Тактові імпульси

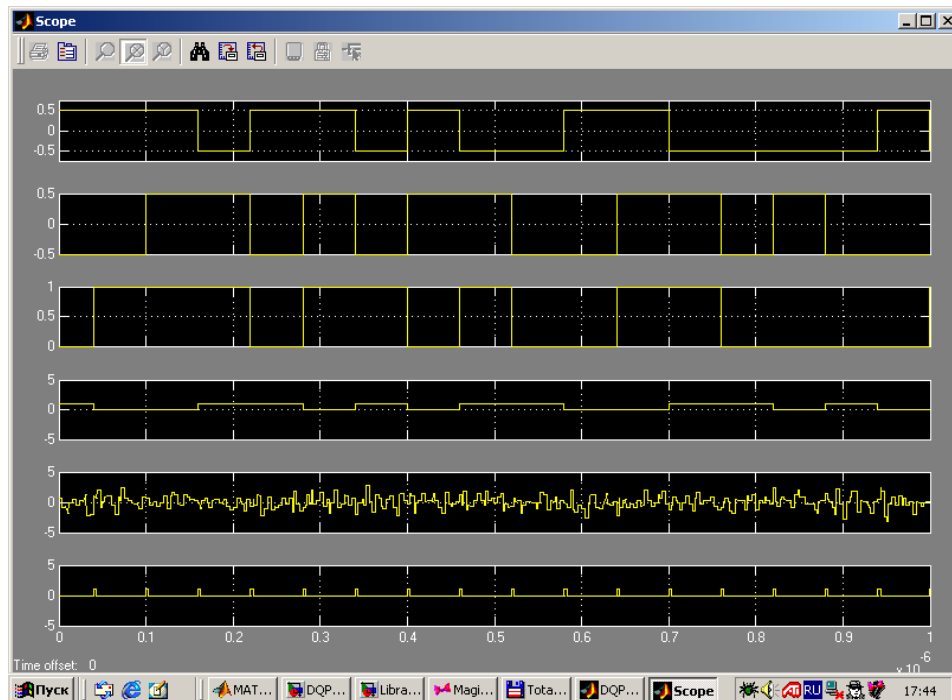


Рис. 3.10. Вид сигналів на осцилографі з шумами

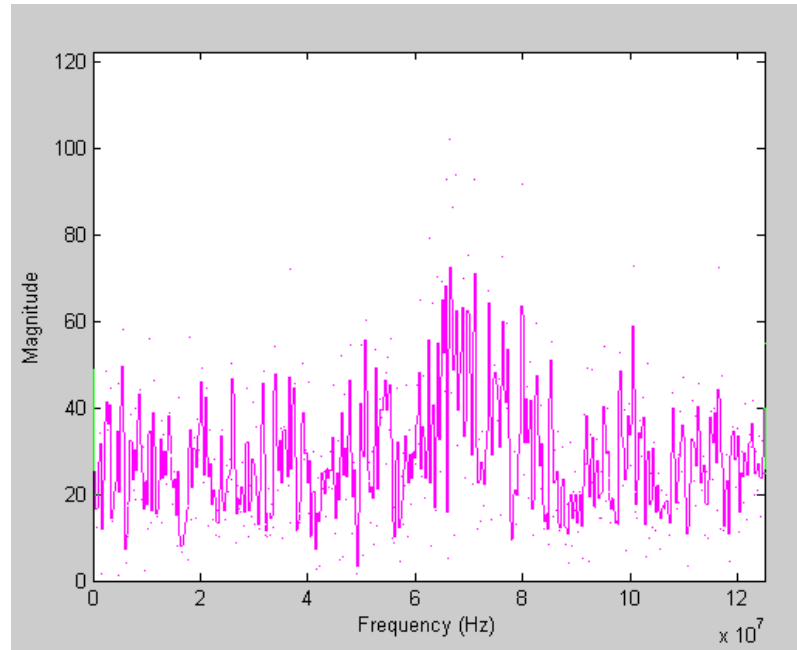


Рис. 3.11. Спектр сигналу з шумами

З моделі видно, що цифровий модем з ВФМ-4 дуже стійкий до шумів.

### 3.5 Висновки до розділу 3

Описано принципи роботи проектованої радіорелейної системи передачі.

Проведено врахування рельєфу місцевості при розрахунку та проектуванні лінії передачі та розраховано форму траси.

Проведено розрахунок величини ослаблення сигналу.

Проведено моделювання сигналу в РРЛ.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1 Охорона праці

Електромагнітне випромінювання в оптичній області, що примикає з боку коротких хвиль до видимого світла і має довжину хвиль в діапазоні 200...400 нм, називають ультрафіолетовим випромінюванням (УФВ). Вплив його на людину оцінюють еритемною дією (почервоніння шкіри, що приводить через 48 годин до її пігментації - засмазі).

Проблема ультрафіолетового випромінювання як виробничого та екологічного чинника обумовлена широким використанням джерел постачання в народному господарстві, збільшенням рівнів сонячного випромінювання у зв'язку зі зменшенням озонового шару, зростанням кількості захворювань, зокрема злоякісних і доброякісних пухлин шкіри, та інших порушень стану здоров'я, що викликаються ультрафіолетовою радіацією.

При тривалій відсутності УФВ в організмі розвивається «світлове голодування». Тому воно необхідно для нормальної життєдіяльності людини. Однак, при тривалому впливі великих доз УФВ можуть наступити серйозні поразки очей і шкіри. Зокрема, це може призвести до розвитку раку шкіри, кератитів (запалень рогівки) і помутніння кришталика очей (фотокератиту, який характеризується прихованим періодом від 0,5 до 24 годин). Для профілактики несприятливих наслідків, викликаних дефіцитом УФВ, використовують сонячне випромінювання, влаштовуючи солярії, інсоляцію приміщень, а також застосовуючи штучні джерела УФВ.

На промислових підприємствах джерелами ультрафіолетових випромінювань є дуга електрозварювання, ртутно-кварцові лампи, лазери, інші



прилади та установки. Формування й вплив на працюючих оптичного випромінювання в ультрафіолетової області відбувається при електрогазозварювальних процесах, на роботах з плазменними технологіями (різка металу, напилювання, наплавлення металу), при використанні різних світильників та випромінювачів з кварцовими, ртутними, галогенними лампами, інших спектральних джерел. У різних галузях економіки та народного господарства широке застосування знаходять такі сучасні технології, як ультрафіолетове сушіння, установки для знезараження повітря, поверхонь та води, різні медичні та інші випромінювачі (перукарське устаткування, манікюрні лампи, солярії та інші).

Професіональному впливу УФВ піддаються електрогазозварювальники, копіювальники друкованих форм, працівники тепличних господарств, медичний персонал (фізіотерапевти, стоматологи, педіатри) та інші працівники, обслуговуючі різні джерела ультрафіолетового випромінювання. З іншого боку, при дорожніх, сільськогосподарських, будівельних та інших видах робіт, виконуваних на свіжому повітрі, відбувається вплив на працюючих природного УФ-випромінювання, як складової сонячної радіації. Окремо слід виділити групу працівників різних професій (звані "прихвачувальники"), які виконують спільні зі зварником роботи з фіксації деталей великогабаритних конструкцій в останній момент накладення первинного шва. Ці роботи виконують самі зварювальники (різних спеціальностей), і працівники інших професій - слюсарі механозбиральних робіт, монтажники та інші. Особливість таких робіт - короткочасність використання зварювальної дуги, її "імпульсний" характер під час "прихвачування" деталей зварювальної конструкції. Зазначені роботи, необхідно виконувати в окулярах із захисними фільтрами.

При впливі надлишкового ультрафіолетового випромінювання можливий розвиток низки захворювань і патологічних станів, насамперед, із боку органу зору, серед яких найчастіше відзначаються катаракта чи помутніння

кришталика очі, запалення роговиці (кератит), слизових оболонок (фотоофтальмія). УФ-переопромінювання може призвести до хвороб шкірних покривів: запалювальне почервоніння шкіри чи еритема, прискорення старіння шкіри, алергічні реакції, пухлини шкіри, в тому числі злоякісні (рак шкіри, меланома).

До засобів колективного захисту від УФВ відносяться різні пристрої (огороджувальні, вентиляційні, автоматичного контролю і сигналізації, дистанційного управління), а також знаки безпеки. Індивідуальний захист від УФВ здійснюють різними екранами: фізичними (у вигляді різних предметів, що поглинають, розсіюють або відображають промені) і хімічними (хімічні речовини та захисні креми, що містять інгредієнти, які поглинають УФВ). Для захисту також використовують виготовлений із тканини (попліну та ін) спеціальний одяг, окуляри із захисними фільтрами. Повний захист від УФВ усіх хвиль забезпечує флінтглас (скло, що містить окис свинцю) товщиною 2 мм. При влаштуванні приміщень враховують, що відображуюча властивість різних оздоблювальних матеріалів для УФВ і видимого світла різна.

## 4.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

### *Режим зони надзвичайної екологічної ситуації*

Режим зони надзвичайної екологічної ситуації - це особливий правовий режим, який може тимчасово запроваджуватися в окремих місцевостях у разі виникнення надзвичайних екологічних ситуацій і спрямовується для попередження людських і матеріальних витрат, відвернення загрози життю і здоров'ю громадян, а також усунення негативних наслідків надзвичайної екологічної ситуації.

Запровадження відповідного правового режиму передбачає виділення державою (або органами місцевого самоврядування) додаткових фінансових та інших матеріальних ресурсів, достатніх для нормалізації екологічного стану і відшкодування завданих збитків, запровадження спеціального режиму поставок продукції для державних потреб, реалізації комплексних та цільових програм громадських робіт.

Законодавство про зону надзвичайної екологічної ситуації становлять:

- Закон України від 25 червня 1991 року "Про охорону навколишнього природного середовища";
- від 14 грудня 1999 року "Про аварійно-рятувальні служби";
- від 16 березня 2000 року "Про правовий режим надзвичайного стану";
- від 13 липня 2000 року "Про зону надзвичайної екологічної ситуації";
- а також прийняті відповідно до них нормативно-правові акти.

Підставами для оголошення окремої місцевості зоною надзвичайної екологічної ситуації можуть бути:

- значне перевищення гранично допустимих норм показників якості навколишнього природного середовища, визначених законодавством;
- виникнення реальної загрози життю та здоров'ю великої кількості людей або заподіяння значної матеріальної шкоди юридичним, фізичним особам чи навколишньому природному середовищу внаслідок надмірного забруднення навколишнього природного середовища, руйнівного впливу стихійних сил природи чи інших факторів;
- негативні зміни, які сталися у навколишньому природному середовищі на значній території і які неможливо усунути без застосування надзвичайних заходів з боку держави, або які суттєво обмежують чи виключають можливість проживання населення і провадження господарської діяльності на відповідній території;

- значне збільшення рівня захворюваності населення внаслідок негативних змін у навколишньому природному середовищі. Окрема місцевість України оголошується зоною надзвичайної екологічної ситуації Указом Президента України, затвердженим Верховною Радою України за пропозицією Ради національної безпеки і оборони України або за поданням Кабінету Міністрів України.

В такому Указі Президента України має бути зазначено:

- обставини, що стали причиною та обґрунтуванням необхідності оголошення окремої місцевості зоною надзвичайної екологічної ситуації;
- межі території, на якій вона оголошується;
- заходи щодо організаційного, фінансового та матеріально-технічного забезпечення життєдіяльності населення в такій зоні;
- основні заходи, що запроваджуються для подолання наслідків надзвичайної екологічної ситуації;
- обмеження на певні види діяльності в цій зоні;
- час, з якого окрема місцевість оголошується зоною надзвичайної екологічної ситуації;
- строк, на який ця територія оголошується такою зоною.

За наявності достатніх підстав у межах зони надзвичайної екологічної ситуації може бути введений правовий режим надзвичайного стану в порядку, встановленому відповідним законом із запровадженням додаткових заходів.

Юридичні та фізичні особи, винні у порушенні правового режиму в зоні надзвичайної екологічної ситуації, несуть відповідальність згідно з законами України.

#### 4.3 Висновки до розділу

В розділі «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» описано вплив ультразвуку на організм людини, також режими зони надзвичайної екологічної ситуації.

## ВИСНОВКИ

Проведено загальну характеристику інфокомунікаційних мереж, їх суть та основні завдання. Розглянуто задачу проектування різного типу мереж електрозв'язку, дано їх загальну класифікацію. Проаналізовано особливості інфокомунікаційних технологій.

Проаналізовано стан радіорелейного зв'язку та перспективи його розвитку. Зокрема розглянуто системи цифрового радіорецейного зв'язку. Наведено переваги таких систем в порівнянні із кабельними чи волоконно-оптичними системами.

Розглянуто кінцеву апаратуру цифрового ствола, зокрема скремблер-дескремблер, який полегшує умови виділення тактової частоти в демодуляторі, а також усуває дискретні компоненти в спектрі передаваного сигналу, що утруднюють виконання вимог ЕМС.

Також розглянуто типи та структуру модемів цифрових трактів.

Також проаналізовано організацію передачі цифровими радіорелейними лініями сигналів телефонії і діапазони частот, що виділяються для таких ліній.

Описано принципи роботи проекрованої радіорелейної системи передачі.

Проведено врахування рельєфу місцевості при розрахунку та проектуванні лінії передачі та розраховано форму траси.

Проведено розрахунок величини ослаблення сигналу.

Проведено моделювання проходження сигналу через радіорелейну лінію. Встановлено, що цифровий модем з ВФМ-4 дуже стійкий до шумів

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНХ ДЖЕРЕЛ

1. Дідковський В.С. та ін. Шуми і вібрації: Підручник / В. С. Дідковський, О. В. Коржик, О. Г. Лейко. - К.: ТОВ "Імекс-ЛТД", 2010. - 336 с: іл.
2. Л. С. Житецкий. В. И. Скурихин. Адаптивные системы управления с параметрическими и непараметрическими неопределённостями. Проект "Наукова книга", Киев, Наукова думка, 2010, 298 с.
3. Карпуша В.Д. Моделювання та проектування реляційних баз даних: навч. посіб. /В.Д. Карпуша, Б.С. Панченко. - Суми: Сумський державний університет, 2010. - 385 с.
4. Теорія радіолокаційних систем : підручник / Б. Ф. Бондаренко, В. В. Вишнівський, В. П. Долгушин та ін.; за заг. ред. С. В. Ленкова. - К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2008. - 359 с.
5. Електромагнітна сумісність у системах електропостачання: Підручник / І. В. Жежеленко, А. К. Шидловський, Г. Г. Півняк, Ю. Л. Саєнко. - Д., Нац. гірнич. ун-т, 2009. - 319 с: іл.
6. Чумаков В. І., Таранчук А. А., Харченко О. І. Моделювання пристроїв радіоавтоматики в системі MathCAD : навч. посібник / В. І. Чумаков, А. А. Таранчук, О. І. Харченко. -Хмельницький : ХНУ, 2011. - 151 с.
7. Поширення радіохвиль в зоні покриття безпроводових мереж зв'язку. Теоретичні основи та приклади розв'язання задач [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. С. О. Кравчук, Л. О. Афанасьєва, Д. А. Міночкін, І. М. Кравчук. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 107 с.
8. Лошаков В.А., Наритник Т.Н., Шостко І.С., Сабурова С.О., Ощепков М.Ю., Півнюк О.В. Системы и стандарты цифрового телевидения Навч.посібник. - Харків.: ХНУРЕ. - 2014. 638с.

9. Брагін А.С., Вульпе О.А. "Передавальні та приймальні пристрої систем радіозв'язку". Навчальний посібник. - ІВЦ "Політехніка" 2009, -130с.
10. Наритник Т.М., Волков В.В. "Радіорелейні та тропосферні системи передачі" Навчальний посібник, 2009р. -331с.
11. И. И. Горбань. Обработка гидроакустических сигналов в сложных динамических условиях. Научно-издательский отдел физико-математической и технической литературы, Киев, Наукова думка, 2008, 270 с.
12. Калюжний О.Я. Моделювання систем передачі сигналів в обчислювальному середовищі MATLAB-Simulink. – К., “Політехніка”, 2004. – 135 с.
13. Хвостівська Л.В., Осухівська Г.М., Хвостівський М.О., Шадріна Г.М., Дедів І.Ю. Розвиток методів та алгоритмів обчислення періоду стохастичних біомедичних сигналів для медичних комп'ютерно-діагностичних систем. Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування, (79). 2019. С. 78-84.
14. Дедів І. Комп'ютерне опрацювання дихального шуму синфазним методом для підвищення інформативності аускультативних систем Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Комп'ютерні науки та інформаційні технології. Львів : НУЛП, 2011. №744. С. 77-81.
15. Джичка Н., Дедів І., Дозорський В., Драган Я. Модель акустичного сигналу для виявлення порушень стану дихальної системи та голосового апарату як частковий випадок стохастичної коливної системи. Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". 2011. № 710. С. 155-158.
16. Бачинський М.В. Обґрунтування структури системи відбору акустичних сигналів для задач медичної діагностики систем дихання та голосотворення / М.В. Бачинський, В.Г. Дозорський, І.Ю. Дедів // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – №3. – С.192-195.

# ДОДАТКИ



УДК 627.722.6

Д.Р. Колісник, Д.В. Мидлик, І.Ю. Дедів, к.т.н., доцент, Л.Є. Дедів, к.т.н., доцент  
 Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

### ЗАДАЧА ОЦІНЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ У ВІДКРИТОМУ ПРОСТОРИ

**D.R. Kolisnyk, D.V. Midlik, I.Yu. Dediv, Ph.D., Assoc. Prof., L.E. Dediv, Ph.D., Assoc. Prof.**

### THE PROBLEM OF EVALUATING THE PROPAGATION OF RADIO SIGNALS IN OPEN SPACE

Важливим питанням в області створення нових радіотехнічних засобів обміну даними є врахування степені впливу особливостей та характеристик середовища, в якому відбувається поширення радіосигналів.

Так, поширення радіосигналів в атмосфері характеризується їх ослабленням. Ослаблення випромінювання в атмосфері відбувається не тільки за рахунок поглинання, а й за рахунок розсіювання. Внаслідок оптичної неоднорідності атмосфери на цих неоднорідностях відбувається заломлення, відбиття і дифракція електромагнітних коливань. Якщо розміри зважених в атмосфері частинок малі порівняно з довжиною хвилі коливань, то відбувається молекулярне розсіювання, яке підкоряється закону Релея. Відповідно до цього закону інтенсивність розсіювання випромінювання обернено пропорційна довжині хвилі в четвертому ступені. Молекулярне розсіювання є значним у видимій та інфрачервоній областях спектру. Ослаблення випромінювання внаслідок релєївського розсіювання може у багато разів перевищувати молекулярне поглинання. При розмірах частинок, співмірних з довжиною хвилі випромінювання, спостерігається дифракційне розсіювання. Якщо розміри частинок значно перевищують довжину хвилі, то виникає геометричне розсіювання, яке проявляється переважно в інфрачервоній області спектра оптичного випромінювання. У реальній атмосфері мають місце всі три типи розсіювання, оскільки в ній присутні частинки майже всіх зазначених розмірів.

Радіус дії радіопередавачів в умовах земної атмосфери обмежений характеристиками поширення сигналів по трасі передавання. Зазвичай атмосфера (особливо тропосфера) має локально неоднорідну структуру (пил, теплові коливання її параметрів, забруднення повітря тощо), що призводить до поглинання та розсіювання, тобто до ослаблення випромінювання сигналу при його поширенні. При роботі передавача в атмосфері поле на осі первинного пучка випромінювання на досить великій відстані від передавача практично повністю визначається розсіяною складовою випромінювання. Крім того, наявність неоднорідностей у середовищі викликає значну просторову дифузію енергії в напрямку від осі випромінювання: сигнал поширюється в просторі в міру віддалення від джерела випромінювання. Це призводить до додаткового ослаблення випромінювання на осі променя, що, в свою чергу, спричиняє додаткове зменшення дальності дії радіотехнічних засобів обміну даними.

Таким чином, актуальною є задача розроблення способу врахування параметрів середовища поширення радіосигналів та впливу присутніх в ньому неоднорідностей на зміну параметрів таких сигналів.

#### Література

1. Немировский М.С. Цифровая передача информации в радиосвязи. — М.: Связь, 1980. — 256 с.
2. Скляр Бернанд. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. — М.; СПб.; Киев; Вильяме, 2003. — 1100 с.