

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 Дослідження якісних показників цифрової  
радіорелейної лінії зв'язку на спроектованій мережі  
Запоріжжя - Херсон

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи РТ-918М

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

Освітньої програми Інформаційні мережі зв'язку

(прізвище та ініціали)

Керівник Аматоренко В.П. Лосаківська Л.М.  
(прізвище та ініціали)

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

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 другій (магістерський)  
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
 (код і найменування)  
 Освітня програма Інформаційні мережі зв'язу  
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

З А Т В Е Р Д Ж У Ю  
 Завідувач кафедри РТТ  
 к.т.н., доц. Морщавка С.В.  
 «    » 20 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА (КИ)**

Авбаш Валентин Віталійович  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження якісних показників цифрової радіорелейної лінії зв'язку на спроектованій ділянці «Запоріжжя – Херсон»

керівник роботи к.т.н., доцент Ашуренко В.П., ст. викладач Логачова Л.М.  
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Строк подання студентом роботи 13.12.19

3. Вихідні дані до роботи Вивчити якісні показники цифрової радіорелейної лінії зв'язку на спроектованій ділянці «Запоріжжя – Херсон». Розрахувати якісні показники радіорелейної лінії «Запоріжжя – Херсон»

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Провести огляд літературних джерел та визначити переваги та недоліки існуючих ліній. Спроектувати лінію зв'язку «Запоріжжя – Херсон». Розрахувати якісні показники спроектованої радіорелейної лінії»

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Презентація з висвітленням всіх питань магістерської роботи.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Розділ 1	Амштрено В.П., Логачова А.М.		
Розділ 2	Амштрено В.П., Логачова А.М.		
Розділ 3	Амштрено В.П., Логачова А.М.		
Економ.	Швоменко Т.В. к.е.н. АТБД фін		
Хроно графік	доц. Якимов І.О. В.		
М.П. директор	Скороз Т.В. асистент к.е.н. РІТ		

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 темою роботи	03.09. - 15.09.19	
2.	Отримання з літературою та темою проекту	06.09. - 13.09.19	
3.	Огляд схожих існуючих рішень	14.09. - 28.09.19	
4.	Прогнозування раціональної лінії зв'язу	29.09. - 12.10.19	
5.	Вирахунок дійсних показників раціональної лінії на всій ділянці "Закориття - Херсон"	13.10. - 29.10.19	
6.	Провести економічні розрахунки та розрахувати охорону праці та безпеку в надзвичайній ситуації	30.10. - 20.11.19	
7.	Оформлення пояснювальної записки	21.11. - 03.12.19	
8.	Оформлення презентації доповіді	03.12. - 18.12.19	

Студент(ка) (підпис) Добшин В.В. (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (підпис) Амштрено В.П., Логачова А.М. (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

ПЗ: 128 сторінок, 26 рисунків, 22 таблиці, 9 джерел.

Об'єктом дослідження в магістерській роботі є розробка цифрової радіорелейної лінії (ЦРРЛ) «Запоріжжя – Херсон».

Мета даного проекту – спроектувати ЦРРЛ «Запоріжжя – Херсон» на базі сучасної апаратури, що працює за технологією PDH або SDH, а також провести розрахунки економічної оцінки та безпеки життєдіяльності.

Проектування проводиться за методикою Nera Networks, для розрахунку санзони використовувалася програма SanZone 2.0. Якісні показники радіорелейної лінії (РРЛ) були пораховані двома способами: за допомогою програми Mathcad 2001 за методикою Nera і за допомогою програми Territories.

Основні результати: за допомогою проведених розрахунків можливо побудувати цифрову радіорелейну лінію «Запоріжжя – Херсон».

ЦИФРОВА РАДІОРЕЛЕЙНА ЛІНІЯ (ЦРРЛ), АПАРАТУРА МІК-РЛ7С,  
КОНВЕНЦІОНАЛЬНИХ ЗВ'ЯЗОК, КОНФІГУРАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ 1 + 1,  
ПРОСТОРОВЕ РОЗНЕСЕННЯ, КОЕФІЦІЄНТ НЕГОТОВНІСТЬ (КНГ),  
КОЕФІЦІЄНТ СЕКУНДИ СО ЗНАЧНОЮ КІЛЬКІСТЮ ПОМИЛОК (SESR),  
САНІТАРНА ЗОНА

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
<b>1 ОГЛЯД СХОЖИХ РІШЕНЬ.....</b>	<b>11</b>
1.1 Загальні відомості .....	11
1.2 Основні проблеми організації зв'язку .....	12
1.3 Плезіохронна цифрова ієрархія .....	13
1.3.1 Загальні положення ПЦІ .....	13
1.3.2 Особливості плезіохронної цифрової ієрархії .....	15
1.4 Синхронна цифрова ієрархія.....	17
1.4.1 Синхронні транспортні модулі.....	17
1.4.2 Формування модуля STM-1 .....	19
1.4.3 Порівняння SDH і PDH .....	21
1.5 Вибір частотного діапазону проектованої РРЛ .....	22
1.6 Види станцій РРЛ.....	24
1.7 Основні вимоги, що пред'являються до антен РРЛ.....	26
1.8 План розподілу частот .....	28
<b>2 ПРОЕКТУВАННЯ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ.....</b>	<b>33</b>
2.1 Норми на показники якості і готовності.....	33
2.1.1 Гіпотетична цифрове з'єднання, тракт і ділянка.....	33
2.1.2 Характеристики готовності і якості .....	35
2.1.3 Параметри і норми показників якості по помилках згідно G.821 .....	36
2.1.4 Параметри і норми показників якості по помилках згідно G.826 .....	38
2.2 Вибір методики розрахунку .....	40
<b>3 РОЗРАХУНОК ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ ЛІНІЇ.....</b>	<b>41</b>
3.1 Основні положення .....	41
3.2 Вихідні дані для розрахунків .....	43
3.3 Розрахунок якісних показників прольотів ЦРРЛ .....	44
3.3.1 Основні положення.....	44

3.3.2 Розрахунок необхідного запасу на завмирання .....	45
3.3.3 Розрахунок атмосферних втрат .....	47
3.3.4 Розподіл вірогідності зовнішніх зв'язків через велику кількість розповсюджень.....	49
3.3.5 Розрахунок ймовірності порушення зв'язку, викликаного дощем .....	54
3.3.6 Облік рефракції радіохвиль .....	55
3.4 Відрізок Запоріжжя – Малокатеринівка .....	57
3.5 Відрізок Малокатеринівка – Василівка .....	63
3.6 Відрізок Василівка – Балки.....	67
3.7 Відрізок Балки – Енергодар .....	72
3.8 Відрізок Енергодар – Першотравневе.....	76
3.9 Відрізок Першотравневе – Велика Лепетиха.....	81
3.10 Відрізок Велика Лепетиха – Саги.....	85
3.11 Відрізок Саги – Херсон .....	89
3.12 Результати розрахунків .....	93
<b>4 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ.....</b>	<b>95</b>
4.1 Техніко-економічне обґрунтування проекту.....	95
4.1.2 Складання календарного графіка виконання НДР .....	99
4.2 Визначення витрат на проведення НДР.....	102
4.2.1 Розрахунок вартості енергії .....	103
4.2.2 Визначення витрат на розробку і проектування.....	104
4.2.3 Амортизаційні відрахування.....	105
4.2.4 Розрахунок заробітної плати.....	106
4.2.5 Відрахування на єдиний соціальний внесок .....	107
4.2.6 Загально виробничі витрати .....	107
4.3 Розрахунок економічної ефективності НДР, що мають теоретичний характер.....	108
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>110</b>
5.1 Аналіз потенційних небезпек .....	110
5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки.....	111
5.3 Заходи по промсанітарії та гігієні праці .....	114

5.4 Заходи з пожежної безпеки .....	120
5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях .....	122
ВИСНОВКИ.....	126
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	128

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ**

БС	– базова станція
ГЕС	– гіпотетичне еталонне з'єднання
ГЕЦЛ	– гіпотетична еталонна цифрова лінія
ГЕЦТ	– гіпотетичний еталонний цифровий тракт
ІБЕП	– джерело безперебійного електроживлення
ЗОЗ	– зона обмеження забудови
МСЕ	– міжнародний союз електрозв'язку
ОЦК	– основний цифровий канал
ПЦИ	– плезиохронна цифрова ієрархія
ПЦК	– первинний цифровий канал
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

На даний час в Україні найбільш широкого поширення набули дві технології побудови транспортної інфраструктури оператора зв'язку: на основі волоконно-оптичних систем і на основі систем радіозв'язку. Перші характеризуються дуже високою пропускну здатністю, але при цьому вимагають серйозних вишукувальних робіт та часу на реалізацію проекту. У зв'язку з цим волоконна оптика знайшла застосування перш за все в операторів міжміського та міжнародного зв'язку. Системи радіозв'язку дозволяють гнучко і оперативно охоплювати великі території, але при цьому мають обмежену пропускну здатність, що багато в чому обумовлено кількістю частотних призначень, виданих того чи іншого оператора.

Протягом уже багатьох років одним з найбільш економічних і швидких способів організації радіопередачі інформаційно-транспортних потоків на великі відстані залишається радіорелейний зв'язок. Причому, якщо раніше в основній своїй масі магістральні лінії, що забезпечують такий зв'язок, були аналоговими, то зараз їм на зміну прийшли сучасні цифрові радіорелейні станції (ЦРРС), які володіють високою пропускну спроможністю. Працюють такі станції, як правило, в діапазоні частот 3,4-11,7 ГГц. Їх пропускну здатність становить 155 Мбіт/с і більше, а передача сигналів ведеться з використанням багатопозиційних видів модуляції. Для ЦРРС магістральних і внутрішніх зонних ліній характерно наявність системи телеобслуговування, програмно підтримує рівень управління мережевими елементами і мережею, а також забезпечує контроль, управління і технічне обслуговування обладнання. З будівництвом високошвидкісних ЦРРС яке вимагає серйозних інвестицій не тільки в створення технологічних об'єктів, а й у побудову телекомунікаційної складової. Вибір технології побудови транспортної інфраструктури цього регіону багато в чому визначили його кліматичні та природні особливості. Зокрема, низькі температури в зимовий період, що вимагають спеціальних технологій захисту волоконно-оптичних кабелів при їх підвішуванні на опори (наприклад, ліній

електропередач), та вічна мерзлота ґрунту серйозно ускладнюють використання волоконної оптики.

У мережі зв'язку між двома областями частка радіорелейного зв'язку становить 20%. Переважання радіорелейних систем над дротяними і супутниковими ґрунтується на наступних факторах:

- велика відстань між містами;
- особливості рельєфу (присутність горбів, що дозволить встановлювати антени).

Перед розробкою проекту було проаналізовано всі можливі альтернативні варіанти. І серед всіх варіантів є необхідність проектування власної цифрової РРЛ, яка стане незалежною для забезпечення технологічного зв'язку від зовнішніх факторів.

## 1 ОГЛЯД СХОЖИХ РІШЕНЬ

### 1.1 Загальні відомості

До складу будь-якої радіорелейної станції входить наступне обладнання:

- 1) апаратура ущільнення каналів;
- 2) апаратура службового зв'язку;
- 3) телесигналізації і телекерування;
- 4) прийомопередаюча апаратура;
- 5) апаратура систем автоматичного резервування стовбурів;
- 6) антенно-фідерні пристрої;
- 7) обладнання систем гарантованого електроживлення.

Сучасний приймальний комплекс здатний передавати від декількох каналів тональної частоти до 34 Мбіт/с при плезиохронній цифровій ієрархії (ПЦІ), і від потоку STM-0 до STM-16 при синхронній цифровій ієрархії (СЦІ).

У тих випадках, коли радіорелейна система передачі (РРСП) призначена для передачі більшої кількості сигналів, вона утворюється декількома приймально-передавальними комплексами, що працюють в одному напрямку на різних частотах. Кожен з таких комплексів надвисокочастотних приймачів прийнято називати стволом.

За пропускної спроможності розрізняють наступні РРЛ:

- а) багатоканальні, з числом каналів ТЧ понад 300;
- б) середньої ємності – від 60 до 300 каналів ТЧ;
- в) малоканальні – менше 60 каналів ТЧ.

По області застосування РРЛС діляться на магістральні, протяжністю понад 2,5 тисячі км, внутрізонові – республіканського та обласного значення протяжністю 250-1400 км, місцеві 50-200 км.

За способом поділу каналів РРЛС можуть бути з частотним і тимчасовим поділом каналів, а по діапазону використовуваних частот – дециметрового, сантиметрового і міліметрового діапазонів.

Щоб забезпечити радіорелейний зв'язок в межах прямої видимості, необхідно підняти антени над рівнем землі на вежах або щоглах. Висоти антенних опор в залежності від довжини і профілю кожного прольоту між сусідніми станціями можуть досягати 120 м, будівництво більш високих антенних веж стає економічно не вигідним.

Довжина прольоту між сусідніми РРС зазвичай від 30 до 55 км. У діапазонах частот вище 11 ГГц це значення може зменшуватися з підвищенням частоти. В окремих випадках довжина може бути зменшена до 20 або 30 км через необхідність розміщення РРС в заданому пункті, а також коли на трасі РРЛ є перешкоди.

Обмеженість відстані прямої видимості не слід розглядати як суто негативний фактор. Саме за рахунок неможливості вільного поширення радіохвиль на великі відстані усуваються взаємні перешкоди між РРСП, а також можливе повторне використання частотного діапазону.

## **1.2 Основні проблеми організації зв'язку**

Фізичні процеси, що відбуваються в каналі зв'язку, визначають зміни, які зазнає сигнал на шляху від передавача до приймача.

По-перше, на сигнал діють адитивні перешкоди. Для НЧ і СЧ систем такими перешкодами є сигнали сусідніх по частоті радіостанцій, атмосферні і індустриальні шуми. Для УВЧ і СВЧ радіорелейних систем вирішальне значення набувають власні внутрішні шуми приймальних пристроїв, а для систем космічного радіозв'язку до них додаються шуми космічного походження (при порушенні правил електромагнітної сумісності можливо також вплив інших радіозасобів, які працюють в суміщеному діапазоні частот).

По-друге, на сигнал в каналі діють мультиплікативні перешкоди, обумовлені змінами параметрів каналу як чотириполісника.

Спільний вплив адитивних і мультиплікативних завад визначає спотворення сигналу. Величина спотворень залежить від інтенсивності

перешкод і завадостійких властивостей системи зв'язку. Будь який канал зв'язку вносить ті чи інші спотворення. Разом з тим передача вважається неспотвореною, якщо вносяться системою зв'язку спотворення не перевищують встановлених норм.

Електричні характеристики систем зв'язку, що визначають спотворення переданої інформації, визначаються на внутрішніх лініях РФ нормами ЕАСС, на міжнародних лініях – рекомендаціями МСЕ і Т.

Важлива ще одна проблема. Завантаження діапазону радіочастот до 11 ГГц в даний час така, що кошти самої радіозв'язку змушені працювати в суміщених діапазонах частот, а одже в цьому діапазоні працюють ще й засоби радіолокації, радіонавігації, радіотелеметрії. Виникає серйозна і складна проблема електромагнітної сумісності різних радіо засобів, яка потребує вирішення не тільки в національному, а й у глобальному масштабі.

### **1.3 Плезиохронна цифрова ієрархія**

#### **1.3.1 Загальні положення ПЦІ**

Плезиохронна цифрова ієрархія була розроблена на початку 80-х років. Вона ділиться на три різні ієрархічні цифрові набори, або цифрові ієрархії. У першій з них, прийнятій в США і Канаді, як швидкості сигналу первинного цифрового каналу (ПЦК) – DS1 була обрана швидкість тисячі п'ятсот сорок чотири кбіт/с (тобто двадцять чотири цифрових телефонних каналу 64 кбіт/с). У другій, прийнятій в Японії, використовувалася та ж швидкість для DS1. У третій, прийнятій в Європі і Південній Америці, в якості первинної була обрана швидкість 2048 кбіт/с (формально кількість каналів – 32, але два канали використовуються для сигналізації та управління) [1].

Перша ієрархія, породжена швидкістю 1544 кбіт/с, давала послідовність: DS1-DS2-DS3-DS4 або послідовність виду: 1544-6312, 44736-274176 кбіт/с, що, з урахуванням швидкості DS0, відповідає ряду коефіцієнтів мультиплексування

$n = 24, m = 4, l = 7, k = 6$ . Зазначена ієрархія дозволяє передавати відповідно 24, 96, 672 і 4032 каналу DS0.

Друга ієрархія, породжена швидкістю 1544 кбіт/с, давала послідовність DS1-DS2-DS3-DS4 або послідовність 1544-6312, 32064-97728 кбіт/с, що, з урахуванням швидкості DS0, відповідає ряду коефіцієнтів мультиплексування  $n = 24, m = 4, l = 5, k = 3$ . Зазначена ієрархія дозволяє передавати відповідно 24, 96, 480 і 1440 каналів DS0.

Третя ієрархія, породжена швидкістю 2048 кбіт/с, давала послідовність E1-E2-E3-E4-E5 або послідовність 2048-8448, 34368-139264-564992 кбіт/с, що відповідає ряду коефіцієнтів  $n = 30$  (32),  $m = 4, l = 4, k = 4, i = 4$ , (тобто коефіцієнт мультиплексування в цій ієрархії вибирався постійним і кратним 2). Зазначена ієрархія дозволяє передавати відповідно 30, 120, 480, 1920 і 7680 каналів DS0, що відбивається і в назві ІКМ систем: ІКМ-30, ІКМ-120, ІКМ-480 і т.д.

Зазначені ієрархії, відомі під загальною назвою плезіохрона цифрова ієрархія PDH, або ПЦІ, представлені в таблиці 1.1 [2].

Таблиця 1.1 – Схеми цифрових ієрархій: американська (АС), японська (ЯС) та європейська (ЄС)

Рівень цифрової ієрархії	Швидкості передачі, які відповідають різним схемам цифрової ієрархії		
	АС: 1544 кбіт/с	ЯС: 1544 кбіт/с	ЄС: 2048 кбіт/с
0	64	64	64
1	1544	1544	2048
2	6312	6312	8448
3	44736	32064	34368
4	—	97728	139264

Паралельний розвиток трьох різних ієрархій не могло сприяти розвитку глобальних телекомунікацій в світі в цілому, тому комітетом по стандартизації ITU-T або МСЕ-Т були зроблені кроки по їх уніфікації і можливого об'єднання. В результаті був розроблений стандарт, згідно з яким були стандартизовані три перших рівня першої ієрархії (DS1-DS2-DS3), чотири рівні другої ієрархії (DS1-DS2-DSJ3-DSJ4) і чотири рівні третьої ієрархії (E1-E2-E3-E4) в якості основних. Також були вказані схеми крос-мультиплексування ієрархій, наприклад, з третьої в першу і назад. На рисунку 1.1 схематично представлений результат, отриманий після стандартизації.

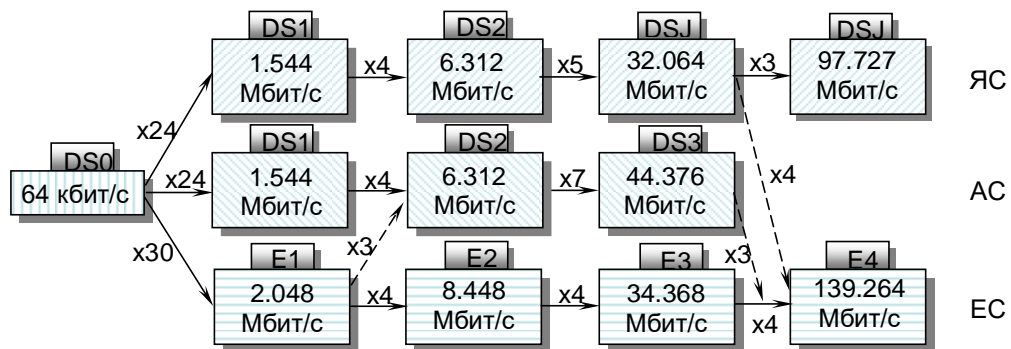


Рисунок 1.1 – Схема мультиплексування і кросмультиплексування в американській, японській та європейській цифрових ієрархія

### 1.3.2 Особливості плезіохронної цифрової ієрархії

Наявність стандартних швидкостей передачі і фіксованих коефіцієнтів мультиплексування дозволило говорити про три схеми мультиплексування – американської, японської та європейської. При використанні жорсткої синхронізації при прийомі / передачі можна було б застосувати метод мультиплексування з чергуванням октетів або байтів, як це робилося при формуванні цифрових сигналів першого рівня, для того, щоб мати принципову можливість ідентифікації байтів або груп байтів кожного каналу в загальному

потоці. Однак з огляду на, що синхронізація вхідних послідовностей, що подаються на мультиплексор від різних абонентів / користувачів, відсутня, в схемах другого і більш високого рівнів мультиплексування був використаний метод мультиплексування з чергуванням біт (а не байт) [1]. У цьому методі мультиплексор, наприклад, другого рівня формує вихідну цифрову послідовність швидкістю 6 Мбіт/с – АС, ЯС (або 8 Мбіт/с – ЄС) шляхом чергування біт вхідних послідовностей від різних каналів (для АС і ЯС це канали Т1, а для ЄС – канали Е1).

Так як мультиплексор не формує структури, яка могла б бути використана для визначення позиції біта кожного каналу, а вхідні швидкості різних каналів можуть не збігатися, то використовується внутрішня побітова синхронізація, при якій мультиплексор сам вирівнює швидкості вхідних потоків шляхом додавання або видалення потрібного числа вирівнюючих біт в канали з відносно меншими швидкостями передачі. Завдяки цьому на виході мультиплексора формується синхронізована цифрова послідовність. Інформація про вставлених / вилучених бітах передається по службовим каналах, який формується окремими бітами в структурі фрейму. На наступних рівнях мультиплексування ця схема повторюється, додаючи нові вирівнюючі біти. Ці біти потім видаляються / додаються при де мультиплексуванні на приймальній стороні для відновлення вихідної цифрової послідовності. Такий процес передачі отримав назву плезіохронний (тобто майже синхронного), а цифрові ієрархії АС, ЯС і ЄС відповідно назва плезіохронних цифрових ієрархій – PDH.

Крім синхронізації, на рівні мультиплексора другого порядку також відбувається формування фреймів і мультифреймів, які дозволяють структурувати послідовність в цілому. Формування фреймів і мультифреймів і їх вирівнювання особливо важливо для локалізації на приймальній стороні кожного фрейму, що дозволяє в свою чергу отримати інформацію про сигналізації і кодових групах контролюючих надлишкових кодів CRC і інформацію службового каналу даних.

Загальна схема каналу передачі з використанням технології PDH навіть в найпростішому варіанті топології мережі "точка-точка" на швидкості 140 Мбіт/с повинна включати три рівні мультиплексування на передавальній стороні (для ЄС, наприклад,  $2 \rightarrow 8$ ,  $8 \rightarrow 34$  і  $34 \rightarrow 140$ ) і три рівні демупльтиплексування на приймальній стороні, що призводить до досить складною апаратурної реалізації таких систем.

Ще одним недоліком систем передачі плезиохронної цифрової ієрархії є також те, що при порушенні синхронізації групового сигналу відновлення синхронізації первинних цифрових потоків відбувається багатоступеневим шляхом, а це займає досить багато часу.

Але найголовніше, що змусило вже в середині 80-х років ХХ століття шукати нові підходи до побудови цифрових ієрархій систем передачі, це майже повна відсутність можливостей автоматично контролювати стан мережі зв'язку і керувати нею. А без цього створити надійну мережу з високою якістю обслуговування практично неможливо. Всі ці фактори і спонукали розробити ще одну цифрову ієрархію.

## **1.4 Синхронна цифрова ієрархія**

### **1.4.1 Синхронні транспортні модулі**

Нова цифрова ієрархія була задумана як швидкісна інформаційна автострада для транспортування цифрових потоків з різними швидкостями. У цій ієрархії об'єднуються і роз'єднуються потоки зі швидкостями 155,520 Мбіт/с і вище. Оскільки спосіб об'єднання потоків був обраний синхронний, то дана ієрархія отримала назву синхронної цифрової ієрархії (Synchronous Digital Hierarchy – SDH) [3].

Для транспортування цифрового потоку зі швидкістю 155 Мбіт/с створюється синхронний транспортний модуль (Synchronous Transport Module) STM-1. Його спрощена структура дана на рисунку 1.2. Модуль представляє

собою фрейм (рамку)  $9 \times 270 = 2430$  байт. Крім переданої інформації (званої в літературі корисним навантаженням), він містить в 4-му рядку покажчик (Pointer, PTR), який визначає початок запису корисного навантаження.



Рисунок 1.2 – Структура модуля STM-1

Щоб визначити маршрут транспортного модуля, в лівій частині рамки записується секційний заголовок (Section Over Head, SOH). Нижні  $5 \times 9 = 45$  байтів (після покажчика) відповідають за доставку інформації в те місце мережі, до того мультиплексору, де цей транспортний модуль буде переформовуватися. Дана частина заголовка так і називається – секційний заголовок мультиплексора (MSOH). Верхні  $3 \times 9 = 27$  байтів (до покажчика) представляють собою секційний заголовок регенератора (RSOH), де будуть здійснюватися відновлення потоку, "пошкодженого" перешкодами, і виправлення помилок в ньому.

Один цикл передачі включає в себе зчитування в лінію такої прямокутної таблиці. Порядок передачі байтів – зліва направо, зверху вниз (так само, як при читанні тексту на сторінці). Тривалість циклу передачі STM-1 становить 125 мкс, тобто він повторюється з частотою 8 кГц. Кожна клітинка відповідає швидкості передачі  $8 \text{ біт} \times 8 \text{ кГц} = 64 \text{ кбіт/с}$ . Одже, якщо витратити на передачу в лінію кожної прямокутної рамки 125 мкс, то за секунду в лінію буде передано  $9 \times 270 \times 64 \text{ Кбіт/с} = 155\,520 \text{ Кбіт/с}$ , тобто 155 Мбіт/с.

Для створення більш потужних цифрових потоків в SDH-системах формується наступна швидкісна ієрархія: чотири модулі STM-1 об'єднуються шляхом по байтового мультиплексування в модуль STM-4, рухаючись зі швидкістю 622,080 Мбіт/с; потім чотири модуля STM-4 об'єднуються в модуль STM-16 зі швидкістю передачі 2488,320 Мбіт/с; нарешті чотири модуля STM-16 можуть бути об'єднані в високошвидкісний модуль STM-64 (9953, 280 Мбіт/с).

### 1.4.2 Формування модуля STM-1

У мережі SDH застосовані принципи контейнерних перевезень. Що підлягають транспортуванню сигнали попередньо розміщуються в стандартних контейнерах (Container – C). Всі операції з контейнерами здійснюються незалежно від їх змісту, чим і досягається прозорість мережі SDH, тобто здатність транспортувати різні сигнали, зокрема сигнали PDH.

Найбільш близьким за швидкістю до першого рівня ієрархії SDH (155, 520 Мбіт/с) є цифровий потік зі швидкістю 139,264 Мбіт/с, що утворюється на виході апаратури плезиохронної цифрової ієрархії ІКМ-1920. Його найпростіше розмістити в модулі STM-1. Для цього надходить цифровий сигнал спочатку "упаковують" в контейнер (тобто розміщують на певних позиціях його циклу), який позначається C-4. Рамка контейнера C-4 містить 9 рядків і 260 однобайтових стовпів. Додаванням зліва ще одного стовпчика – маршрутного або трактового заголовка (Path Over Head, POH) – цей контейнер перетвориться в віртуальний контейнер VC-4.

Нарешті, щоб помістити віртуальний контейнер VC-4 в модуль STM-1, його постачають покажчиком (PTR), утворюючи таким способом адміністративний блок AU-4 (Administrative Unit), а останній поміщають безпосередньо в модуль STM-1 разом з секційним заголовком SOH (рис. 1.3).

Синхронний транспортний модуль STM-1 можна завантажити і плезиохронний потоками зі швидкостями 2,048 Мбіт/с. Такі потоки формуються апаратурою ІКМ-30, вони широко поширені в сучасних мережах. Для первісної

"упаковки" використовується контейнер C12. Цифровий сигнал розміщується на певних позиціях цього контейнера. Шляхом додавання маршрутного, або транспортного, заголовка (POH) утворюється віртуальний контейнер VC-12. Віртуальні контейнери формуються і розформовуються в точках закінчень трактив.

У модулі STM-1 можна розмістити 63 віртуальних контейнера VC-12. При цьому надходять у такий спосіб. Віртуальний контейнер VC-12 забезпечують покажчиком (PTR) і утворюють тим самим транспортний блок TU-12 (Tributary Unit) Тепер цифрові потоки різних транспортних блоків можна об'єднувати в цифровий потік 155,520 Мбіт/с. Спочатку три транспортних блоку TU-12 шляхом мультиплексування об'єднують в групу транспортних блоків TUG-2 (Tributary Unit Group), потім сім груп TUG-2 мультиплексує в групи транспортних блоків TUG-3, а три групи TUG-3 об'єднують разом і поміщають в віртуальний контейнер VC-4. Далі шлях перетворення відомий (рис. 1.3).

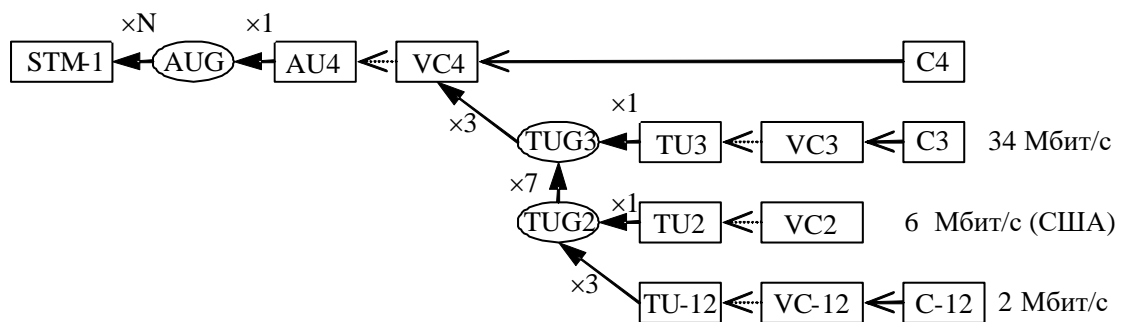


Рисунок 1.3 – Спрощена схема перетворення в SDH

Плезіохронний цифрові потоки всіх рівнів розміщуються в контейнерах з використанням процедури вирівнювання швидкостей (позитивного, негативного і двостороннього) [4].

Важливою особливістю апаратури SDH є те, що в трактових і мережевих заголовках крім маршрутної інформації створюється багато інформації, що

дозволяє забезпечити спостереження і управління всією мережею в цілому, дистанційні перемикання в мультиплексорах на вимогу клієнтів, здійснювати контроль і діагностику, своєчасно виявити і усунути несправності, реалізувати ефективну експлуатацію мережі і зберегти високу якість послуг, що надаються.

До особливостей SDH можна віднести:

- синхронну передачу і мультиплексування. Елементи мережі використовують один генератор, що задає, тому питання побудови системи синхронізації стають особливо важливими;
- передбачає пряме введення / виведення потоку E1;
- надійність і самовідновленість мережі, зумовлені тим, що, по-перше, мережа використовує волоконно-оптичні кабелі, передача по яких не схильна до дії електромагнітних завад, а по-друге, архітектура і гнучке управління мережами дозволяє використовувати захищений режим роботи, що допускає два альтернативні шляхи поширення сигналу з майже миттєвим перемиканням в разі пошкодження одного з них, а також обхід пошкодженої вузла мережі, що робить ці мережі самовідновлюємими;
- виділення смуги пропускання на вимогу – послуга, яка раніше могла бути здійснена тільки за заздалегідь спланованою домовленості, тепер може бути надана в лічені секунди шляхом перемикання на інший канал;
- прозорість для передачі будь-якого трафіку, що обумовлено використанням віртуальних контейнерів для передачі трафіку, сформованого іншими технологіями (ATM, ISDN, Frame Relay);
- гнучкість управління мережею, обумовлена наявністю великого числа широкосмугових каналів управління.

### **1.4.3 Порівняння SDH і PDH**

Підіб'ємо підсумки розглянутих нами систем цифрової ієрархії.

Відмінності SDH від PDH:

- а) єдиний для всіх високостабільний тактовий генератор;

б) велика кількість службової інформації, тобто заголовків і покажчиків;  
 в) універсальний інтерфейс (мається на увазі взаємодію) для всіх національних систем: США, Японія, Європа.

Переваги SDH:

а) спрощений процес мультиплексування і демупльтиплексування. Тут не треба багато розпаковувати, як в ПЦИ, так як є багато заголовків;

б) простота введення компонентних сигналів – Заголовки + плаваючий режим;

в) якісне управління складними мережами:

1) управління конфігурацією;

2) управління несправностями: виявлення дистанційної несправності і виправлення її;

3) управління якістю;

4) управління безпекою.

Недоліки SDH:

а) система дуже дорога;

б) повинна бути висока стабільність частоти, чого добитися складно;

в) великий час входження в синхронізм;

г) система надзвичайно надлишкова, тому що багато заголовків і порожніх місць на майбутнє. Але це окупається високою пропускнуою спроможністю.

## **1.5 Вибір частотного діапазону проектованої РРЛ**

Діапазон 7 ГГц (7.25-7.55 ГГц)

Діапазон 7 ГГц освоєний нині досить добре [5]. У ньому працює велика кількість радіорелейних систем середньої місткості (близько 300-700 ТЛФ каналів в стовбурі для аналогових систем і до 55 Мбіт/с – для цифрових). Існує і апаратура великої місткості, призначена для передачі потоків STM-1. У цьому діапазоні на поширення сигналу починають впливати гідрометеори (дощ, сніг,

туман і ін.). Крім того, впливає атмосферна рефракція, яка веде до закриття траси або до інтерференції хвиль.

Середня протяжність прольоту РРЛ становить 30-40 км. Антени мають високий коефіцієнт посилення при діаметрах порядку 1,5-2,5 м.

Число радіоприладів котрі використовують цей діапазон, поки відносно невелике, а отже, електромагнітна обстановка благополучна. Однак необхідно враховувати перешкоди від сусідніх радіорелейних ліній, що працюють в даному діапазоні частот.

Діапазони 11 і 13 ГГц (10.7-11.7, 12.7-13.2 ГГц)

Ці діапазони перспективні з точки зору ефективності систем РРЛ [6]. При протяжності прольоту 15-30 км, високоефективні антени мають невеликі габарити і вага, що забезпечує відносну дешевизну антенних опор.

Частка впливу атмосферної рефракції на стійкість роботи систем зменшується, але збільшується вплив гідрометеорів. У цих діапазонах, в основному, будуються цифрові радіорелейні системи зв'язку на швидкості до 55 Мбіт/с, хоча, є приклади передачі цифрових потоків зі швидкостями до 155 Мбіт/с.

Але ці діапазони використовують велику кількість радіозасобів. Супутникові системи зв'язку, різні радіолокатори і пеленгатори, охоронні системи створюють несприятливе електромагнітну обстановку, що ускладнює роботу в даних діапазонах.

Діапазони 15 і 18 ГГц (14.5-15.35, 17.7-19.7 ГГц)

Інтенсивний розвиток систем зв'язку привело до бурхливого освоєння цих діапазонів частот. Середня протяжність прольотів досягає 20 км для зон з помірним кліматом. Апаратура виконується у вигляді моноблока. Типові параболічні антени мають діаметри 0.6, 1.2 або 1.8 м при коефіцієнтах посилення від 38 до 46 дБ. У ряді регіонів діапазон 15 ГГц вже перевантажений радіообладнанням. Діапазон 18 ГГц поки вільніший.

На поширення сигналів сильний вплив надають гідрометеори і інтерференція прямих і відбитих хвиль. Ослаблення в дощі може становити 1-12 дБ/км (при інтенсивності дощів 20-160 мм/год). Деякий вплив надає і сама атмосфера (атоми кисню і молекули води), ослаблення в якій досягає 0.1 дБ/км.

Діапазон 23 ГГц (21.2-23.6 ГГц)

Згідно з рекомендаціями МСЕ-Р в цьому діапазоні дозволено будувати системи аналогової та цифрового зв'язку будь-якої ємності. Середня протяжність прольотів менше 20 км, так як на поширення сигналів сильний вплив надають гідрометеори і ослаблення в атмосфері. Бажано використовувати вертикальну поляризацію радіохвиль, хоча дозволено використання будь яку поляризації. Типові параболічні антени мають діаметри 0.3, 0.6 і 1.2 м. Ослаблення в дощах може бути від 2 до 18 дБ/км, а в атмосфері досягає 0.2 дБ/км. Діапазон дозволено використовувати в супутникових системах зв'язку. Тому при розрахунках необхідно враховувати можливість перешкод.

Таким чином, відповідно до вищесказаним в нашому випадку більш доцільним є використання діапазону 7 ГГц. Крім того, обладнання багатьох фірм, розраховане на пропускну здатність в STM-1 для даного діапазону, значно дешевше своїх аналогів, які працюють на більш високих частотах.

## **1.6 Види станцій РРЛ**

На РРЛ існує кілька видів станцій.

1. Кінцеві станції (КС), призначаються для введення в РРЛ багатоканального і ТБ сигналу на стороні передачі і для виділення цих сигналів на стороні прийому. КС РРЛ пов'язана сполучними лініями з МТС і ТЦ. Часто КС поєднуються з ТЦ. Структурна схема ОС наведена на рисунку 1.4.

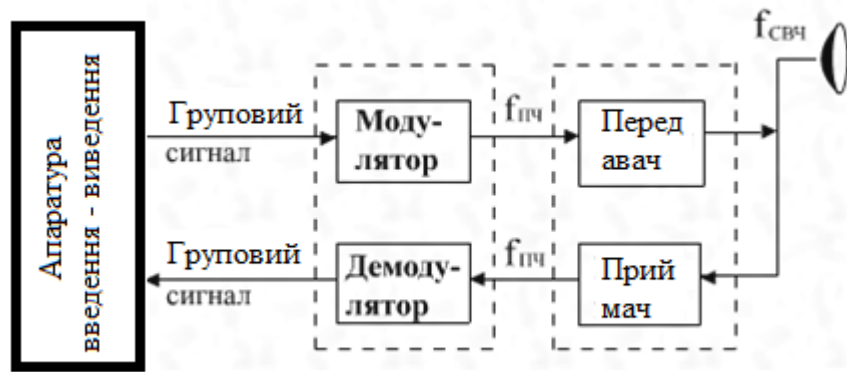


Рисунок 1.4 – Структурна схема ОС

2. Проміжна станція (ПС), призначена для прийому сигналів від попередньої станції, їх посилення і передачі в напрямку наступної станції. З'єднання на ПС між передавачем і приймачем здійснюється за проміжній частоті, тобто без демодуляції сигналів в приймачі і без модуляції в передавачі. При необхідності може бути здійснено виділення ТВ програми – для цього демодуляція сигналу проміжної частоти здійснюється шляхом його заняття з додаткового виходу приймача, що не робить вплив на якісні показники каналів.

У малоканальних РРЛ і особливо в РРЛ з тимчасовим поділом застосовується побудова апаратури ПС, при якому демодуляція і модуляція виробляється на кожній ПС. Це дозволяє вводити і виводити ТЛФ канали на будь-який ПС. Структурна схема станції наведено на рисунку 1.5.

3. Вузлові станції (УС) призначаються для виділення частини ТЛФ каналів і введення відповідної кількості нових каналів. Від УС часто беруть початок нові РРЛ (лінії відгалуження). У ТЛФ стовбурах на УС проводиться демодуляція сигналів з боку прийому і модуляція з боку передачі. При необхідності ці перетворення виробляються і в ТБ стовбурах. Структурну схему станції наведено на рисунку 1.6.

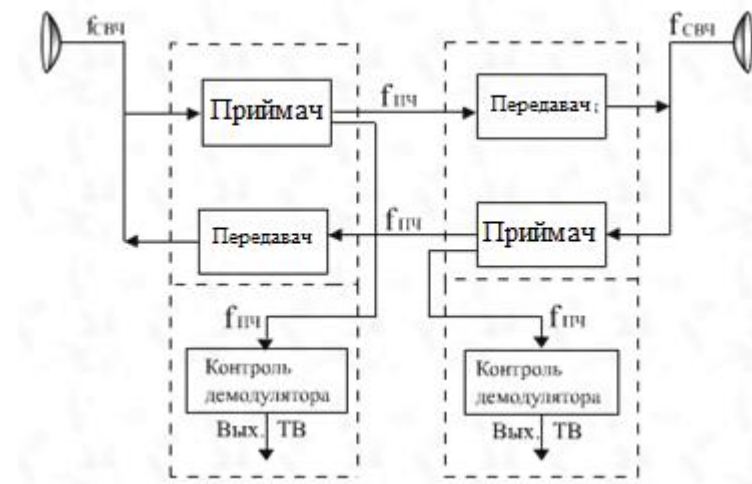


Рисунок 1.5 – Структурна схема ПС

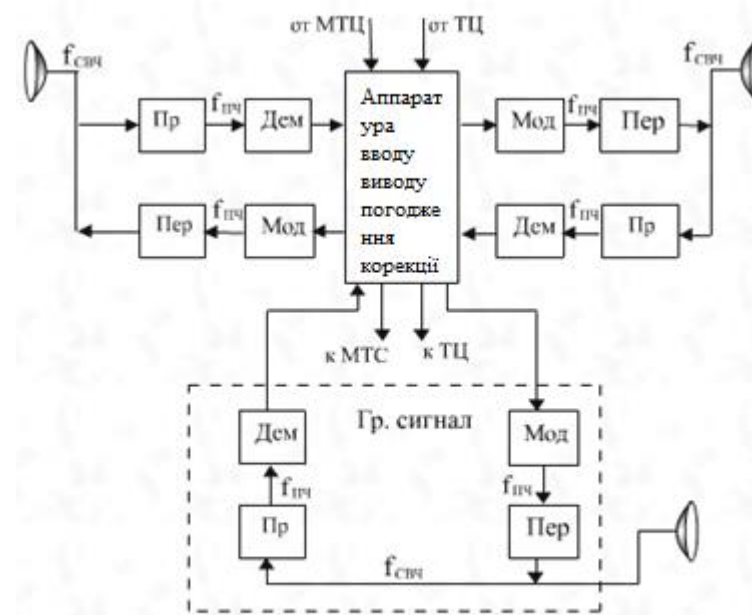


Рисунок 1.6 – Структурна схема УС

### 1.7 Основні вимоги, що пред'являються до антен РРЛ

В даний час на РРЛ прямої видимості застосовуються передавачі потужністю 2 години 10 Вт і останнім часом навіть 0,5 Вт. Відстань між

проміжними пунктами становить 40 год 60 км і висота щогл 50 ч 100 м. При цьому для стійкого зв'язку необхідно, щоб коефіцієнт посилення антени становить 1000 год 40000 (30 год 46 дБ). Зазвичай антени дециметрових хвиль мають коефіцієнт посилення приблизно 30 дБ і антени сантиметрових хвиль 40 год 46 дБ.

На магістральних РРЛ великої місткості застосовують, як правило, дво частотну схему, яка, як відомо, вимагає захисної дії антен не менше 65 год 70 дБ.

Для збільшення перехідного загасання між трактами прийому і передачі, що випромінюється і прийняте антеною поля, повинні мати взаємно перпендикулярні поляризації. Для цього лінії живлення і опромінювач антени повинні бути виконані так, щоб було можна одночасно передавати і приймати хвилі з різними поляризаціями, і діаграма спрямованості антени повинна бути асиметричною.

Відбиті хвилі в тракті призводять до нелінійності фазової характеристики останнього, що викликає нелінійні спотворення в сигналі. Допустима величина коефіцієнта відбиття, викликаного неузгодженістю лінії з антеною, для багатоканальних систем не повинна перевищувати 2% у всій робочій смузі частот. Для цих систем смуга частот, що задовольняє даній вимозі, повинна становити 10 год 15% від несучої частоти високочастотного сигналу.

Конструкція антени повинна бути жорсткою, щоб при поривах вітру пружна деформація антени не перевищувала допустиму величину. Атмосферні опади не повинні потрапляти в тракт антени, тому що це призводить до збільшення загасання в тракті і до неузгодженості. Антена повинна мати можливість повороту в невеликих межах з метою точного встановлення напрямку максимального випромінювання на кореспондента.

## 1.8 План розподілу частот

Під частотним планом системи РРЛ зв'язку розуміють розподіл частот прийому і передачі між стовбурами системи, а також розподіл частот гетеродинів, тобто розподіл частот передачі і прийому на одному стовбурі.

Так як особливістю побудови апаратури РРЛ зв'язку є те, що на ПС приймальні та передавальні антени одного напрямку зв'язку практично розташовані поруч, то виникають в цьому випадку взаємозв'язку між антенами не дозволяють використовувати одні і ті ж робочі частоти при прийомі і передачі сигналів в даному напрямку. Тому на ПС виникає необхідність в зміні робочих частот прийому і передачі як при організації одностороннього, так і двостороннього зв'язку. Зміна частот виробляється на кожній станції відповідно до прийнятої схеми побудови апаратури.

Отже, ПС виконує дві функції:

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

Існують три плани розподілу частот в РРЛ прямої видимості, для стовбура:

- 1) двох частотний план (рисунок 1.7);
- 2) чотирьох частотний план (рисунок 1.8);
- 3) шести частотний план (рисунок 1.9).

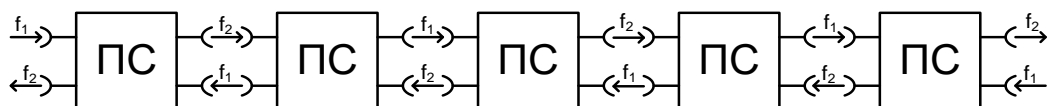


Рисунок 1.7 – Двох частотний план

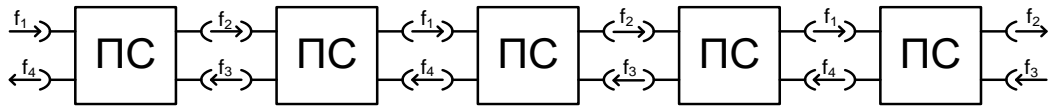


Рисунок 1.8 – Чотирьох частотний план



Рисунок 1.9 – Шести частотний план

Двох частотна система економічна з точки зору використання діапазону частот, але вимагає високих захисних властивостей антен від прийому сигналів з зворотного напрямку. При двох частотній системі використовуються РПА, параболічні або інші антени, що мають захист від прийому сигналів з зворотного напрямку близько 60 год 70 дБ. Така система застосовується зазвичай на РРЛ великий і середній ємності.

Чотирьох частотна система допускає використання більш простих дешевих конструкцій антенних систем, наприклад перископічних. Однак кількість дуплексних радіо стволів, яке може бути утворене в даній смузі частот при Чотирьох частотній системі в два рази менше, ніж при двох частотній системі. Чотирьох частотна система з більш простими антенними системами застосовується на РРЛ середньої і малої пропускну здатності, призначених для внутрішньо зонних і низових зв'язків.

Частоти прийому і передачі в одному стволі РРЛ чергуються від станції до станції. Станції, на яких прийом здійснюється на більш низькій частоті ( $f_1$ ), а передача на більш високій ( $f_2$ ), позначаються індексом "НВ", а станції, на яких прийом проводиться на більш високій частоті ( $f_2$ ), передача на нижчій ( $f_1$ ) позначається індексом «ВН».

Повторення через інтервал одних і тих же частот допустимо тому, що в діапазонах дециметрових і сантиметрових хвиль при відсутності прямої видимості між антенами ослаблення сигналу досить велике. Однак при деяких умовах поширення радіохвиль, наприклад при підвищеній рефракції, можливий прийом сигналу від станції, віддаленої на 3 інтервали (мінус 2 станції), що і призводить до значних спотворень переданих сигналів. Щоб уникнути цього станції РРЛ розташовують на ламаній лінії з тим, щоб паразитний сигнал додатково сильно ослаблявся за рахунок спрямованих властивостей антен (рисунок 1.10).

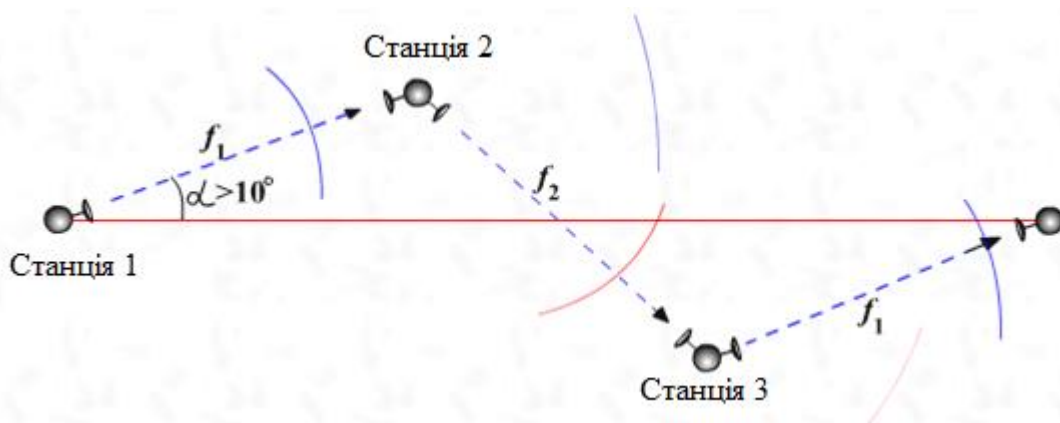


Рисунок 1.10 – Розташування станцій РРЛ

Для того щоб звести до мінімуму залежить від шумових перешкод в багато ствольних РРЛ, що виникають при одночасній роботі декількох приймачів і передавачів на загальний антенно-фідерний тракт, існують певні плани розподілу частот.

У всіх сучасних РРЛ системах застосовуються плани з рознесеними частотами прийому і передачі, тобто частоти прийому розміщені в одній половині діапазону, а частоти передачі – в іншій половині діапазону. Такий план розподілу частот наведено на рисунку 1.11.

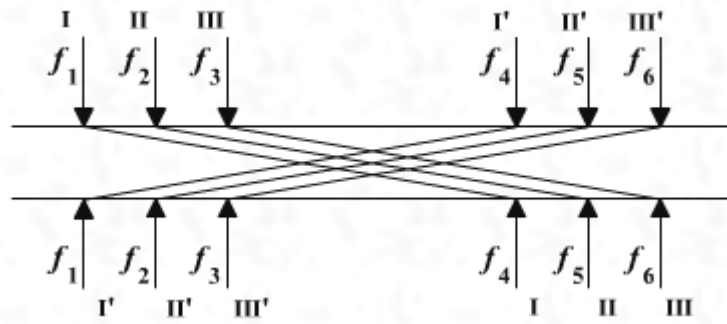


Рисунок 1.11 – План з рознесеними частотами прийому і передачі

При такому плані розподілу частот різниця між частотами передачі і прийому одного стовбура значно і це полегшує вимоги до характеристик прийомних смугових фільтрів. При цьому плані кожна антена може бути використана одночасно як для передачі, так і прийому сигналів.

Існує другий план розподілу частот – при цьому плані передбачається чергування частот прийому і передачі окремих стовбурів (рисунок 1.12).

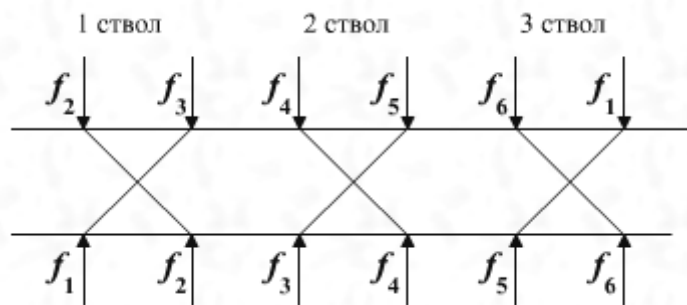


Рисунок 1.12 – План з чергуванням частот прийому і передачі

У нашому випадку виберемо чотирьох частотний план, оскільки двох частотного буде недостатньо через майже прямолінійного розташування РРС. З іншого боку, використання шести частотного плану невиправдано з точки зору частотного ресурсу, отримання дозволу на використання якого в діапазоні 7

ГГц може бути проблематично через його зайнятості. Вибір частот прийому і передачі здійснимо за наданою виробником обладнання формулою:

$$F_H = 7400 - 164.5 + 28 \cdot n \quad (1.1)$$

$$F_B = 7400 - 3.5 + 28 \cdot n \quad (1.2)$$

Формула 1.1 дозволяє розрахувати нижню робочу частоту приймального передавача, а формула 1.2 – верхню, за умови, що крок сітки частот становить 28 МГц, а двобічний рознос – 160 МГц.

## 2 ПРОЕКТУВАННЯ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

### 2.1 Норми на показники якості і готовності

Перш, ніж приступати до розрахунку параметрів радіорелейної лінії необхідно визначити: за якою методики проводити розрахунки, а також яким нормам ці розрахунки повинні відповідати. Вибір і обґрунтування методики розрахунку наведено нижче. А зараз розберемося з нормами на якісні показники радіорелейного мережі [7].

Показники якості та готовності для різних СВЧ систем тісно пов'язані з характеристиками мереж зв'язку. Ці характеристики рекомендовані МСЕ-Р і МСЕ-Т. Основними рекомендаціями є рекомендації МСЕ-Т G.801, G.821 і G.826.

Характеристики в G.821 рекомендовані для цифрових мереж з інтегрованими послугами (ISDN) і відносяться до каналів зі швидкістю передачі 64 кбіт/с в обох напрямках. При вимірах на каналах з більш високою швидкістю передачі можна скористатися рекомендацією G.821 МСЕ-Т. Для проектування систем зі швидкістю передачі STM-1 і вище використовують рекомендацію G.826 МСЕ-Т «Параметри і норми показників якості по помилках для міжнародних цифрових трактів з постійною швидкістю передачі, яка дорівнює або вище первинної швидкості».

#### 2.1.1 Гіпотетична цифрове з'єднання, тракт і ділянка

В Рекомендації G.801 МСЕ-Т визначаються моделі цифрової мережі як сукупності гіпотетичних об'єктів певної довжини і складу.

Цифрове ГЕС – це модель, на основі якої можуть проводитися дослідження стосовно загальних показників якості, що полегшує формування відповідних стандартів і норм. Стосовно до показників якості мережі ЦСИС прийнято розглядати чисто цифрове з'єднання зі швидкістю передачі 64 кбіт/с.

Оскільки показники якості повної мережі і кожен її параметр окремо повинні відповідати вимогам користувача, то такі показники в основному повинні бути пов'язані з моделлю мережі, що представляє дуже довгі з'єднання. На рисунку 2.1 зображено що задовольняє цій вимозі гіпотетичне еталонне з'єднання протяжністю 27 500 км.

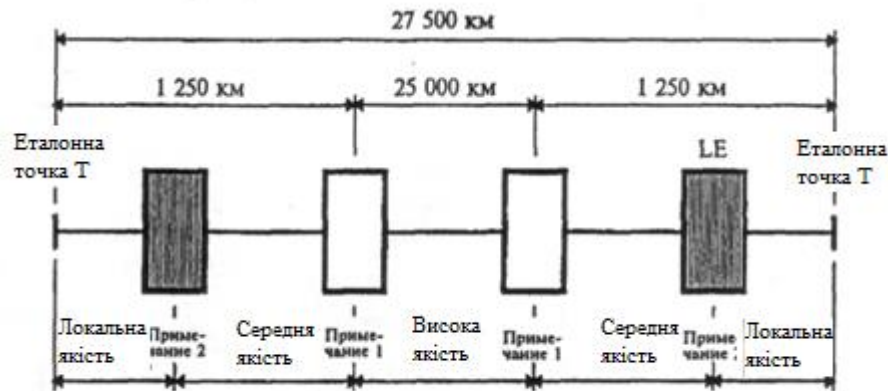


Рисунок 2.1 – Гіпотетична еталонне з'єднання

Примітка 1 – неможливо визначити, де проходить межа між ділянками середнього та високого якості гіпотетичного еталонного з'єднання.

Примітка 2 – LE позначає "місцеву станцію" або еквівалентну точку схеми.

Для полегшення дослідження погіршень цифрової передачі (наприклад, помилки в бітах, тремтіння і дрейф фази, прослизання, час передачі) модель мережі повинна включати поєднання різних типів елементів передачі (наприклад, системи передачі, мультиплексори, демультимплексори, цифрові тракти, транскодери). Така модель визначається як ГЕЦЛ. У Рекомендаціях МСЕ-Р зазвичай використовується термін ГЕЦТ. Його довжина приймається рівною 2500 км. Гіпотетичний еталонний цифровий тракт протяжністю 2500 км для радіорелейних систем складається з дев'яти радіо ділянок, кожен з яких має довжину приблизно 280 км.

Для того щоб при розрахунках на основі моделі могли бути використані якісні параметри, взяті безпосередньо з технічних описів систем передачі, в складі моделі використовується поняття гіпотетичний еталонний цифровий ділянку (ГЕЦУ). Вхідний і вихідний порти вказаної ділянки – рекомендовані інтерфейси, відповідні Рекомендаціям G.703 МСЕ-Т і F.556 МСЕ-Р для різних швидкостей цифрової ієрархії. Протяжність ділянок обрана типовою для цифрових ділянок, що зустрічаються в реальних мережах, і досить великий, щоб відповідати реальним показникам якості цифрових радіосистем. Модель є однорідною, тобто вона не включає іншого цифрового обладнання, такого як мультиплексори і демультимплексори. Це дозволяє їй бути основою для побудови гіпотетичного еталонного цифрового тракту (ГЕЦТ). В Рекомендації G.921 МСЕ-Т для ГЕЦУ передбачена протяжність 50 і 280 км.

### **2.1.2 Характеристики готовності і якості**

МСЕ-Т не встановлює характеристики готовності для ГЕС. Характеристики готовності для ГЕЦГ встановлені в рекомендації 557 МСЕ-Р.

ГЕЦТ вважається неготовою, якщо протягом 10 послідовних секунд виникли такі умови або одне з них:

- передача цифрового сигналу перервана;
- в кожній секунді BER гірше 10<sup>-3</sup>.

Неготовність апаратури ущільнення виключається. Її характеристики будуть встановлені МСЕ-Т пізніше. Характеристики неготовності діляться на неготовність обладнання і неготовність, викликану умовами поширення радіохвиль. Величина цих часток визначається адміністраціями або проектувальниками ліній, але більшість адміністрацій прийняло величину неготовності, викликану дощем, між 30% – 50%.

### 2.1.3 Параметри і норми показників якості по помилках згідно G.821

ГЕС, ГЕЦТ і ГЕЦУ служать основою для визначення параметрів якості по помилках і готовності.

Рекомендація G.821 МСЕ-Т була розроблена 15 років тому; вона була першою Рекомендацією, присвяченою показниками якості по помилках для міжнародного цифрового з'єднання. У ній визначалися параметри і норми на показники якості по помилках для каналу 64 кбіт/с. На рисунку 2.1 приведена конфігурація повністю цифрового ГЕС з показниками якості по помилках з'єднання по комутованого каналу 64 кбіт/с і розподілом показників якості за елементами з'єднання.

Показники якості по помилках повинні оцінюватися тільки тоді, коли з'єднання знаходиться в стані готовності.

Параметри показників якості по помилках виходять на основі наступних подій:

1) секунда з помилками (ES): період в 1 секунду, протягом якого спостерігаються помилки в одному або декількох бітах;

2) секунда, уражена помилками (SES): період в 1 секунду, протягом якого коефіцієнт помилок по бітам  $1 \times 10^{-3}$ ;

Параметрами є:

1) коефіцієнт секунд з помилками (ESR): відношення числа ES до загальної кількості секунд в період готовності протягом фіксованого інтервалу вимірювань;

2) коефіцієнт секунд, уражених помилками (SESR): відношення числа SES до загальної кількості секунд в період готовності протягом фіксованого інтервалу вимірювань.

В таблиці 2.1 представлені показники якості по помилках для міжнародного сполучення мережі ЦСИС і його ділянок відповідно до Рекомендації G.821 МСЕ-Т і Рекомендаціями F.594, F.634 і F.696 МСЕ-Р.

Таблиця 2.1 – Показники якості по помилках для міжнародного сполучення мережі ЦСИС і його ділянок

Тип ділянки	Показники якості відповідно до Рек. G.821		Показники якості для ЦППС	
	ESR	SESR	ESR	SESR
Локальна якість (значення коефіцієнта усереднено по блокам)	0,012	0,00015	0,012 Рек. F.697 МСЭ-Р	0,00015 Рек. F.697 МСЭ-Р
Середня якість (значення коефіцієнта усереднено по блокам)	0,012	0,00015	0,012 Рек. F.696 МСЭ-Р	0,0004 Рек. F.696 МСЭ-Р
Висока якість 25 000 км	0,032 0,0032	0,0004 0,00004	0,0032 Рек. F.594, F.634 МСЭ-Р	0,00054 Рек. F.594, F.634 МСЭ-Р
Міжнародне з'єднання мережі ЦСИС 27 500 км	<0,08	< 0,002 (0,001+0,001)		

Примітка 1 – до значень SESR, для ділянок середньої і високої якості, додається поправочна величина 0,001 для обліку виникаючий час від часу несприятливих умов поширення сигналу в мережі (мається на увазі найгірший місяць року). З огляду на випадкового характеру ефектів, що виникають в гірший місяць року в з'єднаннях, які можуть перебувати в будь-якій точці земної кулі, прийнято наступний розподіл загальної поправочний величини SESR 0,001:

- 0,0005 SESR для ГЕЦТ протяжністю 2500 км радіорелейних систем при використанні в поєднанні на ділянці високої якості;
- 0,0005 SESR для ГЕЦТ протяжністю 2500 км радіорелейних систем при використанні в поєднанні на ділянці середньої якості.

#### **2.1.4 Параметри і норми показників якості по помилках згідно G.826**

Рекомендація G.826 МСЕ-Т застосовується до міжнародних трактах з постійною швидкістю передачі бітів, яка дорівнює або перевищує первинну швидкість. Ці тракти можуть бути засновані на плезиохронній цифровій ієрархії, синхронної цифрової ієрархії або бути частиною будь-якої іншої передавальної мережі, наприклад, стільникового. Рекомендація є спільною в тому сенсі, що визначає параметри і норми для трактів незалежно від типу мережі, частиною якої ці тракти є. Якщо з'єднання 64 кбіт/с задовольняє вимогам цієї Рекомендації, можна бути впевненим в тому, що воно в більшості випадків буде задовольняти і вимогам, що містяться в Рекомендації G.821 МСЕ-Т. Таким чином, Рекомендація G.826 є єдиною Рекомендацією, необхідною для розрахунків показників якості по помилках при проектуванні мереж з первинної швидкістю передачі або вище.

Рекомендація G.826 МСЕ-Т складена на основі вимірювання показників якості по помилках в блоках. Блоком називається набір послідовно переданих по даному каналі бітів; кожен біт належить одному і тільки одному блоку. Послідовність бітів може не бути безперервною в часі.

В Рекомендації G.826 МСЕ-Т вказуються норми на показники якості і готовності, які зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Норми на показники якості і готовності відповідно до рекомендації G.826

Ділянка	Довжина тракту, км	Показник SESR, %	Коефіцієнт неготовності, $K_{нг}$ , %	Розподіл частки SESR і $K_{нг}$ для реальних ліній зв'язку
Міжнародна ділянка	12500	0.06	1.5	Пропорційно $L$ для $L \geq 2500$ км
Магістральна мережа (національна ділянка)	2500	0.012	0.3	Пропорційно $L$ для $L \geq 50$ км
Внутрішньозонава мережа	600	0.012	0.05	Пропорційно $L$ для $L > 600$ км; Незалежно від довжини для $200 < L < 600$ км
	200	0.012	0.05	Пропорційно $L$ для $50 < L < 200$ км
	50	0.003	0.0125	Незалежно від довжини для $L < 50$ км
Місцева мережа	100	0.01	0.05	Незалежно від довжини для $L < 100$ км
Мережа доступу	–	0.015	0.05	Незалежно від довжини

Таким чином, в нашому випадку будемо розраховувати коефіцієнт неготовності і кількість значно загублених секунд SESR, використовуючи норми з таблиці 2.2.

## 2.2 Вибір методики розрахунку

В даний час існує досить велика кількість методик розрахунку радіорелейних трас. Вибір тієї чи іншої методики залежить, як правило, від наступних двох факторів:

- 1) доступності методики;
- 2) відповідність методики технічним вимогам на розрахунок радіорелейної лінії.

Автором було розглянуто велика кількість методів [8-10], але самими оптимальними можна виділити дві, поширювані у вигляді комп'ютерних обчислювальних комплекси:

- 1) DRRL 4.0;
- 2) Territories фірми «Золота корона».

Обидві ці методики використовують фірми, що займаються розрахунками радіорелейних трас. Крім того, Territories має хорошу технічну підтримку у вигляді надання цифрових карт при розрахунку профілю траси, а також більш правильні розрахунки в діапазоні менше 1 ГГц і при передачі потоку STM-1.

Таким чином, в якості основної методики розрахунків мною була обрана методика фірми NERA NETWORKS, як загальнодоступна і відповідає критерію достовірності розрахунків. В якості додаткової довідкової інформації було вирішено використовувати Довідник по цифровим радіорелейних систем міжнародного союзу електрозв'язку.

## 3 РОЗРАХУНОК ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РАДІОРЕЛЕЙНОЇ ЛІНІЇ

### 3.1 Основні положення

Розрахунок будь радіорелейної лінії в першу чергу зводиться до вибору траси та місця розташування станцій проекрованої мережі. Як правило, будь-який проект з будівництва РРЛ має на увазі конкретні місця розташування станцій. У нашому випадку всі радіорелейні станції розташовуються якомога ближче до населених пунктів де проходять дороги, що полегшує обслуговування РРЛ та підведення необхідних комунікацій. Все зовнішнє обладнання розміщується або на існуючих антенних вежах і опорах, або на проєктованих. Внутрішнє обладнання розташовується або в уже існуючих старих будівлях, або в спеціально встановлених контейнерах типу «Північ». Все мультиплексорне обладнання та внутрішнє обладнання радіорелейного зв'язку, а також джерела живлення встановлюються в проєктовані 19 дюймові шафи зв'язку.

Загальна протяжність ЦРРЛ становить 275.48 км. Середня довжина інтервалу – 35,435 км. Мінімальна довжина інтервалу – 14,75 км. Максимальна довжина інтервалу – 46,15 км. Нумерація радіорелейних станцій ведеться від Запоріжжя до Херсону.

Варто відзначити, що в разі перевищення норм на якісні параметри зв'язку РРЛ, застосовують такі технічні рішення:

- 1) піднімають антени станцій на велику висоту, що пов'язане з рядом труднощів: як з обмеженістю самої вежі (щогли), так і можливої складної обстановки з уже наявним обладнанням;
- 2) вибір іншого місця положення радіорелейної станції;
- 3) застосування іншого обладнання (більш чутливий приймач, більш потужний передавач, антени з великим діаметром);

4) ще один дуже часто використовуваний спосіб – застосування разнесенного прийому, який буває двох видів – просторовий (рознос антен) і частотний (передача на двох частотах), також може використовуватися комбінація цих методів. Частотний метод в термінології радіорелейного зв'язку більш відомий як метод вибору «систем резервування». Оскільки систем резервування відомо кілька, а не все радіорелейне обладнання підтримує всі з них, то наше завдання також буде полягати у виборі найбільш оптимального з цих способів для застосування в нашому випадку.

Для роботи при різних умовах експлуатації і навколишнього середовища все активне обладнання може бути використано в одному з перерахованих нижче режимах:

- а) 1 + 0 – передача радіосигналу без резервування;
- б) 1+1 гарячий резерв – передача радіосигналу з повним резервуванням обладнання;
- в) 1+1 резервування лінії – передача STM – 1 каналу через основний і резервний радіоканал, використовуючи два номінали частот за допомогою однієї антени.

Режим «гарячого резервування» 1+1 представляє собою резервування обладнання, при якому передається один STM-1 потік з використанням одного радіочастотного каналу. При виході з ладу обладнання, система автоматично перемикається на резервний комплект. При цьому час переключення настільки мало, що таке провалля сигналу не перевищує норми за якісними показниками радіорелейної лінії, а на практиці не перевищує 10 нс. При гарячому резервування необхідна наявність двох комплектів ППУ, які працюють на одну антену (рисунок 3.1). Існують ще два режими резервування «теплий» і «холодний», їх основна відмінність від «гарячого» полягає в часі перемикавання на резервний канал. При цьому, при «холодному» і «теплом» резервування можна працювати на тій же частоті, що і основний канал. Як правило, останнім часом виробники сучасного радіорелейного обладнання намагаються використовувати тільки «гарячий», і лише в рідкісних випадках – «теплий».

У деяких випадках забезпечують постійну передачу однієї і тієї ж інформації по двох незалежних каналах, при цьому кожен канал має своє ППУ і свою антену. Пристрій на прийомі виробляє порівняння сигналів, що надходять на вхід приймачів і, в залежності від рівня сигналу, вибирає найкращий. Такий спосіб дозволяє звести втрату інформації в зв'язку з завмираннями сигналу в атмосфері нанівець, але за це треба платити як великим займаним частотним ресурсом, так і більшою вартістю обладнання.

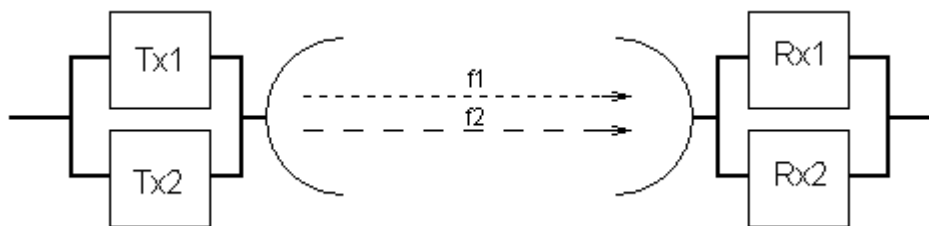


Рисунок 3.1 – Принцип частотного рознесення каналів

### 3.2 Вихідні дані для розрахунків

Траса проєктованої ЦРРЛ проходить через Запорізьку та Херсонську області. Величина інтенсивності дощів в південному регіоні України становить 70 мм / год. Параметром апаратури цифрових РРЛ, що характеризує стійкість є пороговий рівень сигналу на вході приймача  $P_{\text{пр пор}}$  при котрій забезпечується максимально нормована величина коефіцієнта помилки  $P_{\text{ош макс}}$  (BER).

Результати кожного прольоту траси проводилися за допомогою двох методів. Як основний метод розрахунку використовувалася методика фірми Nera, для перевірки результатів була використана спеціалізована програма Territories. Норми на показники якості прийняті як для внутрizonової мережі.

Для розрахунку статистики глибини, порівняно повільних рефракційних завмирань з урахуванням нелінійної зміни діелектричної проникності повітря завмирання  $\xi$  з висотою, вводиться поняття ефективного вертикального

градієнта діелектричної проникності повітря  $g$ . Під величиною  $g$  розуміють постійний по висоті градієнт  $\frac{\partial \varepsilon}{\partial n}$ , при якому напруженість поля в точці прийому буде такою ж, як і в разі реальної зміни  $\xi$  на трасі. Кліматичний район проектування ЦРРЛ характеризується середнім значенням градієнта діелектричної проникності повітря  $g = -10 \cdot 10^{-8} \text{ 1/м}$  і дисперсією діелектричної проникності повітря  $\sigma = 9 \cdot 10^{-8} \text{ 1/м}$ . Робоча частота апаратури становить  $f_p = 7.4 \text{ ГГц}$ .

### 3.3 Розрахунок якісних показників прольотів ЦРРЛ

#### 3.3.1 Основні положення

Як якісних показників прольоту будь якої радіорелейної лінії використовують два параметри, які ми і будемо розраховувати:

- 1) коефіцієнт неготовність;
- 2) коефіцієнт секунд із значною кількістю помилок.

Коефіцієнт неготовність  $K_{нг}$  лінії складається з наступних величин:

$$K_{нг} = P_{сум} + P_{дож} + P_{обор}, \quad (3.1)$$

де  $P_{сум}$  – загальна ймовірність порушення радіозв'язку, викликана багатопроменевим завмиранням;

$P_{дож}$  – ймовірність порушення радіозв'язку, викликана дощем;

$P_{обор}$  – ймовірність порушення радіозв'язку, викликана відмовою обладнання.

Перш, ніж приступати до розрахунку ймовірностей порушення зв'язку, розберемося з таким поняттям, як запас на завмирання.

### 3.3.2 Розрахунок необхідного запасу на завмирання

Атмосферні завади впливають на умови передачі на радіорелейних лініях прямої видимості. Потужність сигналу змінюється в часі і характеристики системи визначаються ймовірністю того, що рівень сигналу впаде нижче порогового значення, або спектр сигналу буде сильно спотворений.

Розглянемо спрощену структурну схему інтервалу радіолінії і відповідну діаграму рівнів сигналу (рисунок 3.2). Очевидно, що якість роботи лінії зв'язку, визначається рівнем сигналу на вході приймача і можливими відхиленнями цього рівня при завмираннях.

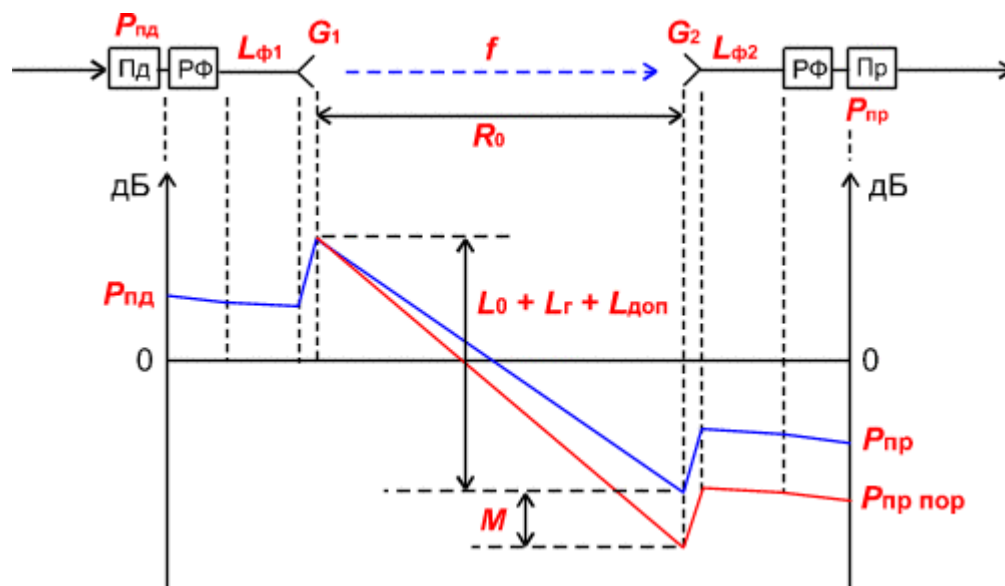


Рисунок 3.2 – Діаграма рівнів сигналу на прольоті РРЛ

На діаграмі рівнів сигналу видно, що сигнал випромінюється передавачем з рівнем  $P_{пл}$ , проходить через режекторний фільтр (РФ), в якому рівень впаде за рахунок внутрішніх втрат і надходить через фідерні лінії в передавальну антену з коефіцієнтом посилення  $G_1$ . За рахунок втрат в фідерній

лінії  $L_{\phi 1}$  рівень сигналу ще зменшиться, а в передавальній антені збільшиться на величину  $G_1$ .

При поширенні сигналу по інтервалу РРЛ (протяжністю  $R_0$ , на робочій частоті  $f$ ) рівень сигналу впаде за рахунок ослаблення вільного простору, втрат в газах атмосфери і деяких додаткових втрат. Загальне ослаблення сигналу за рахунок цих причин може досягти 130-140 дБ і більше.

У приймальній антені рівень сигналу збільшиться на величину  $G_2$ , потім зменшиться в приймальній фідерній лінії, в роздільному фільтрі і надійде на вхід приймача з рівнем  $P_{\text{ПР}}$ . Це значення виходить у відсутності завмирального сигналу на прольоті РРЛ.

Запас на завмирання  $M$  є різницею між рівнем сигналу на вході приймача  $P_{\text{ПР}}$  і його граничним значенням  $P_{\text{ПР ПОР}}$ , яке визначається з параметрів конкретної апаратури цифрових РРЛ для заданої величини  $k_{\text{ош}}$  ( $10^{-3}$  або  $10^{-6}$ ).

Рівень сигналу на вході приймача можна визначити за такою формулою:

$$P_{\text{ПР}} = P_{\text{ПД}} + G_1 + G_2 - L_0 - L_{\phi 1} - L_{\phi 2} - L_{\Gamma} - L_{\text{РФ}} - L_{\text{ДОП}}, \quad (3.2)$$

де  $P_{\text{ПД}}$  – рівень потужності передавача, дБм;

$G_1, G_2$  – коефіцієнти посилення передавальної і приймальної антен;

$L_{\phi 1}, L_{\phi 2}$  – ослаблення сигналу в фідерних лініях ( $\Phi 1, \Phi 2$ ), дБ.

При відсутності фідера (коли приймачі об'єднані з антеною у вигляді моноблока) необхідно враховувати конструктивні особливості пристрою об'єднання, як правило, в цих випадках втрати в фідерах можна прийняти рівними 0 дБ. При великих діаметрах антен з'єднання проводиться коротким відрізком гнучкого хвилеводу, втрати в якому:

$$L_{\phi 1} = L_{\phi 2} = 0.5 \text{ дБ}$$

де  $L_{p\phi}$  – визначається з параметрів апаратури. Зазвичай значення ослаблення в розділових фільтрах відповідає сумі втрат в передавальному і приймальному пристроях. При моноблочній конструкції, дані на рівень потужності передавача і порогові значення рівня сигналу на вході приймача, часто ставляться до точок, відповідних рівнів на антенном волноводном з'єднанні (іншими словами, в значення рівнів вже закладені втрати в розділових фільтрах). У цих випадках величина втрат  $L_{p\phi} = 0$ . При рознесеною конструкції прийомо-передавачів і антен, втрати в РФ становлять 4-5 дБ в залежності від типу і довжини фідера.

$L_{доп}$  – додаткові втрати, додають з втрат в антенних обтікачах  $L_{AO}$  і втрат від перепаду висот приймальної і передавальної антенах  $L_{пв}$  ( $L_{доп} = 1-2$  дБ);

$L_0$  – ослаблення радіо хвиль при поширенні у вільному просторі розраховується за такою формулою:

$$L_0 = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 R_0 \cdot f), \text{ дБ}, \quad (3.3)$$

де  $R_0$  – протяжність інтервалу РРЛ, км;

$f$  – робоча частота, ГГц;

$L_r$  – атмосферні втрати (втрати в газах) розраховуються за формулою:

$$L_r = (\gamma_0 + \gamma_H) \cdot R_0 = \gamma_{сум} \cdot R_0, \quad (3.4)$$

де  $\gamma_0$  та  $\gamma_H$  – погонні затухання в водяних парах і атомах кисню атмосфери, що розраховуються наступним чином.

### 3.3.3 Розрахунок атмосферних втрат

Атмосферні втрати, в основному, складаються з втрат в атомах кисню і в молекулах води. Практично повна непрозорість атмосфери для радіохвиль

спостерігається на частоті 118.74 ГГц (резонансне поглинання в атомах кисню), а на частотах більше 60 ГГц погоне загасання перевищує 15 дБ/км. Ослаблення в водяних парах атмосфери залежить від їх концентрації і дуже велике у вологому теплому кліматі і домінує на частотах нижче 45 ГГц [5].

Погонні втрати в атомах кисню (дБ/км):

$$\gamma_0 = \left[ 7.19 \cdot 10^{-3} + \frac{6.09}{f^2 + 0.227} + \frac{4.81}{(f - 57)^2 + 1.5} \right] \cdot f^2 \cdot 10^{-3}, \quad (3.5)$$

де  $f$  – робоча частота, ГГц.

Ця формула справедлива для робочих частот нижче 57 ГГц, при нормальному атмосферному тиску і при температурі повітря +15 градусів Цельсія.

Погонні втрати в водяних парах (дБ/км):

$$\gamma_H = \left[ 0.05 + 0.0021 \cdot \rho + \frac{3.6}{(f - 22.2)^2 + 8.5} + \frac{10.6}{(f - 183.3)^2 + 9} + \frac{8.9}{(f - 325.4)^2 + 26.3} \right] \cdot f^2 \cdot \rho \cdot 10^{-4} \quad (3.6)$$

де  $\rho$  – концентрація водяних парів у атмосфері, г/м<sup>3</sup> (зазвичай,  $\rho = 7.5 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$ ).

Сумарні погодні втрати (дБ / км) при температурі, відмінні від 15 градусів С:

$$\gamma_{\text{сум}} = [1 - (t - 15) \cdot 0.01] \cdot \gamma_0 + [1 - (t - 15) \cdot 0.06] \cdot \gamma_H, \quad (3.7)$$

де  $t$  – температура повітря в градусах С.

Таким чином, можливість скорочення запасу на замиканні можна провести за наступною формулою:

$$M = P_{\text{ПР}} - P_{\text{ПР ПОР}}, \quad (3.8)$$

де  $P_{\text{ПР ПОР}}$  – мінімально-допустимий рівень потужності сигналів на вхід прийому (чутливість прийому).

### 3.3.4 Розподіл вірогідності зовнішніх зв'язків через велику кількість розповсюджень

Метеорологічні умови в просторі, розділяючи передатчик і прийом, можуть іноді вказувати на вхідні впливи прийнятого сигналу. Промені, які зазвичай затухають в тропосфері, можуть заломлюватись і попадати в прийомну антенну та приймач, де вони сумуються з корисним сигналом. Амплітудно-фазові співвідношення між сигналами визначаються результатами результуючого сигналу на виході приймача.

При цьому виникають два ефекти, які впливають на якість передачі сигналів. У першому випадку всі компоненти корисного сигналу використовуються в рівних ступенях. Це так звані «плоскі» завмирання [7].

В другому випадку представлені лише деякі компоненти спектру, які випробовують його пошук. Це так звані «селективні» завмирання. Ці два ефекту проявляються роздільно.

#### Плоскі завмирання

Можуть бути організовані двома різними методами. Перший метод використовується для проектування на початковому етапі, другий метод – для більш детального проектування. Не дивлячись на те, що профіль нам відомий, для прольоту Запоріжжя-Херсон проведений розрахунок за допомогою першого методу.

Вимірювання проведені в різних частинах світу, показали, що ймовірність зниження рівня сигналу на  $M$  дБ порівняно з рівнем сигналу у вільному просторі (ймовірність порушення зв'язку), дорівнює :

$$P_{\text{плоск}} = P_0 \cdot 10^{-M/10} \%, \quad (3.9)$$

де  $M$  – запас на завмирання, дБм;

$P_0$  – ймовірність появи завмирання, %, яка знаходиться за наступною формулою:

$$P_0 = K \cdot R_0^{3.6} \cdot f_B^{0.89} \cdot (1 + |E_h|)^{-1.4} \%, \quad (3.10)$$

де  $E_h$  – нахил прольоту (мілірадіан):

$$E_h = \frac{|h_1 - h_2|}{R_0} \text{ мрад}, \quad (3.11)$$

де  $h_1, h_2$  – абсолютні висоти підвісу антен, м;

$K$  – геокліматичних коефіцієнт, його можна оцінити за даними завмирань для середнього найгіршого місяця.

При відсутності таких даних можна використовувати такі емпіричні співвідношення для сухопутних трас:

$$K = 10^{-5.1} \cdot P_L^{1.5} \cdot M \quad (3.12)$$

де  $P_L$  – це відсоток часу, протягом якого середній коефіцієнт заломлення в самих нижніх 100 м атмосфери менше, ніж – 100 N/км.

У методиці Nera наведені значення  $P_L$  для чотирьох різних місяців. Вибирається місяць, має найбільше значення  $P_L$ . За малюнками в знаходимо значення  $P_L = 5$ .  $M = 10-0,2$  цей коефіцієнт використовується при сильно порізаних профілях прольотів, коли не має сенсу визначати середнє значення кута торкання. У нашому випадку  $M = 1$ .

### Селективні завмирання

Характеристики радіорелейних ліній прямої видимості можуть бути серйозно погіршені селективними завмираннями через амплітудну та фазові спотворення в смузі сигналу. Ці багатопроменеві (або селективні) завмирання можуть з'явитися в результаті відбиття від поверхні або аномалій в атмосфері, наприклад, великого градієнта в атмосферному волноводі .

При незмінній в часі горизонтально розслоєній атмосфері вертикальний градієнт заломлення в атмосфері викликає появу декількох променів поширення між передавачем і приймачем на лінії прямої видимості, як показано на рисунку 3.3. Але це лише спрощена модель, насправді в приймач приходять безліч відбитих сигналів на один переданий.

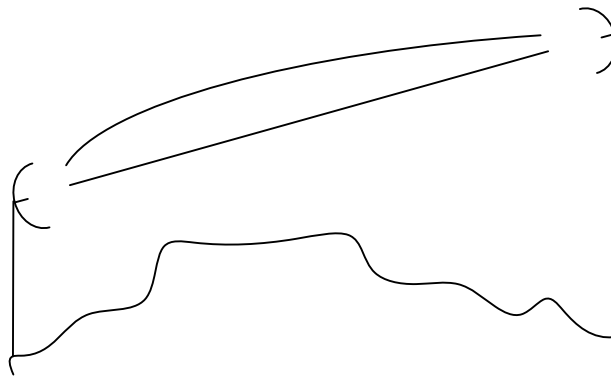


Рисунок 3.3 – Спрощена двулучева модель селективних завмирань

Якщо через  $\tau$  позначити відносний час затримки між двома шляхами поширення радіохвиль, то відносна фаза між двома сигналами буде дорівнювати  $2\pi f\tau$ , будучи функцією частоти  $f$ . Тобто амплітуда і фаза прийнятого сигналу змінюється з частотою. Така зміна сигналу на радіолінії в залежності від частоти називається селективним завмиранням.

Вплив селективного завмирання на цифрову радіорелейну лінію можна коротко описати таким чином :

1) зменшується відношення сигнал/шум і, отже, збільшується ймовірність помилки (BER);

2) спотворюється форма імпульсу, збільшуючи міжсимвольну інтерференцію і ймовірність помилки;

3) збільшуються взаємні перешкоди між ортогональними несучими, потоками I і Q а, отже, збільшується BER.

Є цілий ряд різних методів прогнозу порушень зв'язку, викликаних селективними завмираннями. Фірма "Nera" вибрала використання методу сигнатур, описаних в звіті 784-3 MCE-P.

Цей метод досить добре узгоджується з результатами вимірювань і ясно показує здатність радіоапаратури протистояти селективним завмирань.

Ймовірність появи селективного завмирання дорівнює:

$$P_{СЕЛ} = 4.3 \cdot 10^{-1} \cdot \eta \cdot sf \cdot \frac{\tau_m^2}{\tau_0} \%, \quad (3.13)$$

де  $sf = 1.8 \cdot 10^{-3}$  – коефіцієнт сигнатури обладнання;

$\tau_m$  – типове значення затримки відбитого сигналу на прольоті, нс, визначається за такою формулою:

$$\tau_m = 0.7 \cdot \left( \frac{R_0}{50} \right)^{1.5}$$

де  $\tau_0$  – час затримки відбитого сигналу під час вимірювання кривих сигнатури;

$\tau_0 = 6,3$  нс;

$\eta$  – коефіцієнт активності завмирання, знаходиться за такою формулою:

$$\eta = 1 - \exp\left(-0.2 \cdot \left(\frac{P_0}{100}\right)^{\frac{3}{4}}\right) \quad (3.14)$$

Загальна ймовірність порушення радіозв'язку, викликана багатопроменевим завмиранням, дорівнює сумі ймовірностей порушень, викликаних плоским і селективним завмиранням:

$$P_{СУМ} = P_{ПЛОСК} + P_{СЕЛ} \%, \quad (3.15)$$

У методиці Nera немає детального розрахунку параметра SESR. Його значення братимемо з програми Territories. Спрощено цей розрахунок можна відобразити наступною формулою:

$$SESR = \left( \frac{K_{ИНТ} - 1}{\phi_{ИНТ}} + 1 \right) \cdot T_{ИНТ} \cdot \varphi_{ИНТ} + T_0 \cdot \varphi_{\tau_0}, \quad (3.16)$$

де  $T_{ИНТ}$  – відсоток часу, протягом якого величина коефіцієнта помилок на виході ЦРРЛ перевищує гранично допустимий коефіцієнт помилок з багатопроменевих (інтерференційних) завмирань на інтервалі;

$T_0$  – відсоток часу, протягом якого величина коефіцієнта помилок на виході цифровий РРЛ перевищує гранично допустимий коефіцієнт помилок через субрефракційні завмирання, що трапляються у зв'язку з екрануючим впливом перешкод при субрефракції;

$K_{ИНТ}$  – коефіцієнт інтерференції (зазвичай  $K_{ИНТ} = 1$ );

$\varphi_{ИНТ}$  – коефіцієнт готовності в умовах інтерференційних завмирань;

$\varphi_{\tau_0}$  – коефіцієнт готовності в умовах субрефракційних завмирань.

### 3.3.5 Розрахунок ймовірності порушення зв'язку, викликаного дощем

Передача СВЧ-сигналу схильна до впливу опадів. Дощ, сніг, частинки льоду і град послаблюють і розсіюють СВЧ-сигнал, що визначає готовність системи з точки зору якості передачі. Енергія послаблюється через перевідбиття (розсіювання) і поглинання (нагріву).

Так як радіохвиля є змінна в часі електромагнітне поле, вона наводиться в дощ дипольний момент. Диполь дощової краплі змінюється в часі так само, як і радіохвиля і тому діє як антена, перевідбиття енергії. Дощова крапля є антеною з дуже невеликою спрямованістю де якась частка енергії перевідбивається за різними напрямками, що призводить до частих втрат енергії. Коли довжина хвилі менше розміру дощових крапель, велика частина енергії йде на нагрівання крапель. Напруженість поля радіохвилі сильно змінюється через наведення дипольного моменту .

Збільшення дощових крапель призводить до зміни їх форми, вони набувають форму відмінну від сферичної. Це відхилення від сферичної форми викликає їх розтягнення в горизонтальному напрямку. Отже, краплі будуть послаблювати горизонтально поляризовану хвилю більше, ніж вертикально поляризовану. Це означає, що вертикальна поляризація краще на високих частотах, де домінує «прости» радіолінії, викликані дощем.

Оскільки дощ має тенденцію йти зарядами (особливо дощі з високою швидкістю), тільки частина прольоту радіолінії буде схильна до впливу дощу.

Ефективна довжина прольоту, що містить дощові заряди, визначається виразом:

$$\psi = \frac{R_0}{1 + \frac{R_0}{35 \cdot \exp(-0.015 \cdot I)}} \text{ км,} \quad (3.17)$$

де  $I = 70 \text{ мм/ч}$  – інтенсивність дощу (значення було приведено у вихідних даних, вибирається в залежності від регіону).

Загасання на прольоті, викликане дощем, може бути знайдено за формулою:

$$A = \psi \cdot k \cdot R^\alpha, \quad \text{дБ} \quad (3.18)$$

де  $k = 0.00454$ ,  $\alpha = 1.327$  – коефіцієнти регресії для даного частотного діапазону, як функції частоти і поляризації (взяті з методики фірми Nera).

Розрахунок неготовності, викликаной дощем, буде вестися для горизонтальної поляризації, тому що в цьому випадку загасання в опадах електромагнітної хвилі вище.

Неготовність, викликана дощем, може бути знайдена за формулою:

$$P_{\text{ДОЖ}} = 10^{11.628 \cdot \left( -0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log\left(0.12 \cdot \frac{A}{M}\right)} \right)} \quad (3.19)$$

Щоб уникнути уявних значень, необхідно використовувати округлене значення  $\frac{A}{M} = 0.155$ , якщо  $\frac{A}{M} < 0.155$ .

### 3.3.6 Облік рефракції радіохвиль

Рефракцією називається викривлення траєкторії хвиль, обумовлене неоднорідною будовою тропосфери. Коефіцієнт заломлення в тропосфері:

$$n = \sqrt{\varepsilon} \approx 1 + \frac{\varepsilon + 1}{2}, \quad (3.20)$$

де  $\varepsilon$  – відносна діелектрична проникність повітря, яка знаходиться:

$$\varepsilon = 1 + \left( \frac{1.552 \cdot 10^{-4}}{T} \right) \cdot \left( P + \frac{4810 \cdot e}{T} \right), \quad (3.21)$$

де  $T = 273^{\circ}C + t^{\circ}C$  – температура повітря по абсолютній шкалі;

$P$  – загальний тиск повітря, ГПа (1Гпа = 1мбар);

$e$  – тиск водяної пари, Гпа.

Коефіцієнт заломлення  $n$ , також як і  $\varepsilon$ , в зацікавленому для нас діапазоні частот за величиною близький до одиниці, тому частіше користуються коефіцієнтом заломлення виражений в «N-одиницях»:

$$N = (n - 1) \cdot 10^{-6} \approx \left[ \frac{\varepsilon - 1}{2} \right] \cdot 10^6, \quad (3.22)$$

Так як  $P, e$  и  $T$  є функціями висоти,  $N$  також є функцією висоти. Для нормальної атмосфери (стандартної, добре змішаної) зміна  $N$  з висотою визначається виразом:

$$N(h) = 315 \cdot e^{-(0.316 \cdot h)}, \quad (3.23)$$

де  $h$  – висота над поверхнею Землі, км.

Під величиною  $a_{\varepsilon}$  розуміють таке значення радіуса Землі, при якому траєкторію радіохвиль можна вважати прямолінійною.

$$\frac{1}{a_{\varepsilon}} = \left( 157 + \frac{dN}{dh} \right) \cdot 10^{-6}, \quad (3.24)$$

Для визначення кривизни променя на практиці використовується поняття коефіцієнта рефракції:

$$K = \frac{1}{\left(1 + R_3 \cdot \frac{dN}{dh} \cdot 10^{-6}\right)}, \quad (3.25)$$

Для нормальної атмосфери  $\frac{dN}{dh} = -40$ . Відповідне значення  $K$  за формулою 3.25 дорівнює:

$$K = \frac{1}{(1 + 6370 \cdot (-40) \cdot 10^{-6})} = \frac{4}{3}$$

Це значення і будемо використовувати при моделюванні поширення радіохвиль в подальших розрахунках.

### 3.4 Відрізок Запоріжжя – Малокатеринівка

Вихідні дані цього прольоту представлені в таблиці 3.1, основні параметри апаратури взяті з додатка А. Розрахунок зроблений в програмі MathCad 2001 Professional.

Таблиця 3.1 – Вихідні данні відрізка Запоріжжя – Малокатеринівка

Параметри станції	Позначення	Запоріжжя: РРС-1	Малокатеринівка: РРС-2
Тип станції		Крайова	Проміжна
Нульовий відносний рівень	$h_0$	80	81
Наявність опори для підвісу антен		проект. башня	істот. башня
Висота щогли (башні), м	$H_{оп}$	87	86.95
Висота підвісу основний антени	$H_{п}$	82	85
Діаметр основної антени, м	$d$	2.4	2.4

## Продовження таблиці 3.1

Параметри станції	Позначення	Запоріжжя: PPC-1	Малокатеринівка: PPC-2
Коефіцієнт підсилення основної антени	$G_i$	43.6	43.6
Дані прольоту:			
Довжина прольоту, км	$R_0$	29.4	
Тип місцевості		Сухопутна, пересічена	
Можливі точки відображення		13.5 и 15.5 км	

Нижче представлений профіль прольоту PPC-1 – PPC-2. Даний профіль, як і всі наступні, складений за допомогою контурних карт Запорізької, Миколаївської та Херсонської областей (рис.3.4).

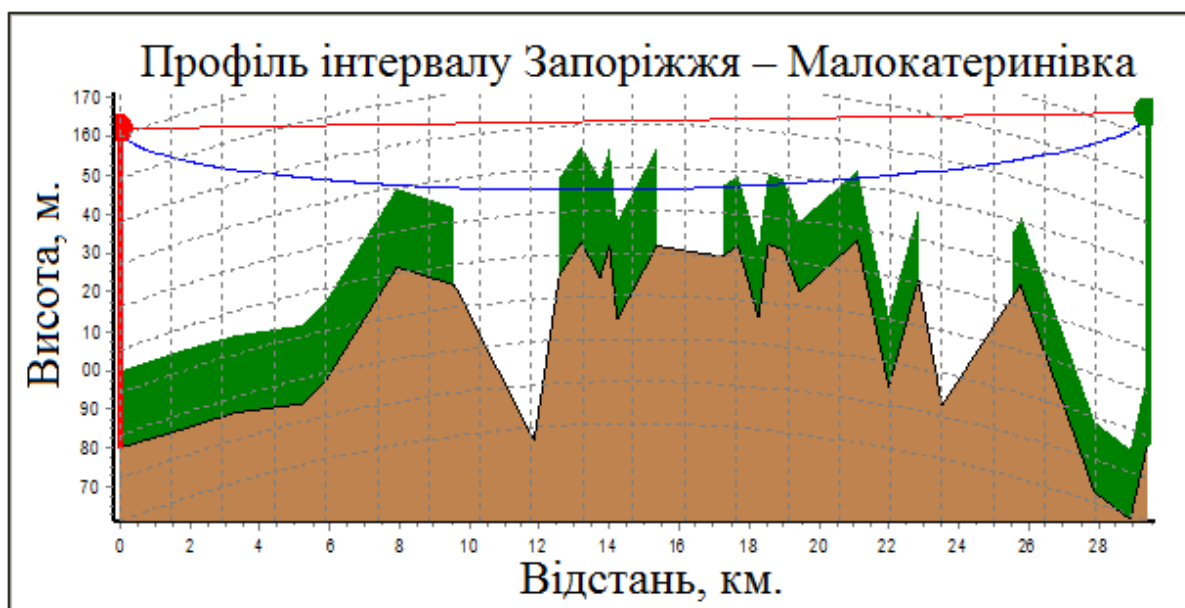


Рисунок 3.4 – Профіль траси Запоріжжя – Малокатеринівка

Розрахунок атмосферних втрат.

Погонні втрати в атомах кисню складають (формула 3.5) при  $f = f_p$ :

$$\gamma_0 = \left[ 7.19 \cdot 10^{-3} + \frac{6.09}{7.4^2 + 0.227} + \frac{4.81}{(7.4 - 57)^2 + 1.5} \right] \cdot 7.4^2 \cdot 10^{-3} = 6.57 \cdot 10^{-3}, \quad \frac{\partial B}{\text{км}}$$

Погонні втрати в водяних парах (формула 3.6):

$$\gamma_H = \left[ 0.05 + 0.0021 \cdot \rho + \frac{3.6}{(7.4 - 22.2)^2 + 8.5} + \frac{10.6}{(7.4 - 183.3)^2 + 9} + \frac{8.9}{(7.4 - 325.4)^2 + 26.3} \right] \cdot 7.4^2 \cdot \rho \cdot 10^{-4} = 3.37 \cdot 10^{-3}, \quad \frac{\partial B}{\text{км}}$$

Знайдемо сумарні втрати при температурі, відмінній від 15 градусів С в гіршому випадку (при  $t = -55^0 \text{C}$ ) за формулою 3.7:

$$\gamma_{\text{сум}} = [1 - (-55 - 15) \cdot 0.01] \cdot 6.57 \cdot 10^{-3} + [1 - (-55 - 15) \cdot 0.06] \cdot 3.37 \cdot 10^{-3} = 0.029, \quad \frac{\partial B}{\text{км}} \quad (3.26)$$

Сумарні атмосферні втрати з урахуванням тривалості інтервалу складуть (формула 3.4):

$$L_T = (\gamma_0 + \gamma_H) \cdot R_0 = 0.029 \cdot 29.4 = 0.85, \quad \partial B \quad (3.27)$$

Розрахунок запасу на завмирання.

З урахуванням даних таблиці 3.1 і параметрів апаратури фірми «Мікран» маємо:

$$G_1, G_2 = 43.6, \quad \partial B;$$

$$L_{\phi 1} = L_{\phi 2} = 0.5 \partial B;$$

де  $L_{r\phi} = 0$  – в зв'язку з розташуванням ВЧ-блоку поруч з антеною;

$L_{доп} = 1.5, \text{ дБ/км}$  – середнє значення от возможного;

$P_{шд} = 21, \text{ дБм или } -9 \text{ дБ}$  – середнє значення від можливого.

Ослаблення радіохвиль при розповсюдженні у вільному просторі складає (формула 3.3):

$$L_0 = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 R_0 \cdot f) = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 \cdot 29.4 \cdot 7.4) = 139.2, \text{ дБ}$$

Знайдемо рівень сигналу на вході приймача за формулою 3.2:

$$P_{пр} = -9 + 43.6 + 43.6 - 139.2 - 0.5 - 0.5 - 0.85 - 0 - 1.5 = -64.35, \text{ дБ}$$

Необхідний запас на завмирання знаходимо за формулою 3.8, з урахуванням чутливості приймача фірми «Мікран» рівній  $P_{пр пор} = -98 \text{ дБ}$  :

$$M = -64.35 + 98 = 33.6, \text{ дБ} \quad (3.28)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку через багатопроменеве поширення.

Поскі завмирання.

Знайдемо ймовірність появи плоских замирань, але перед цим визначимо:

1) геокліматичних коефіцієнт знаходимо по формулі 3.12:

$$K = 10^{-6.5} \cdot 5^{1.5} \cdot 1 = 3.6 \cdot 10^{-6}, \%$$

2) з урахуванням вихідних даних таблиці 3.1 знаходимо нахил прольоту (3.11):

$$E_h = \frac{|82 - 85|}{29.4} = 0.102, \text{ мрад}$$

Підставимо отримані значення в формулу 3.10:

$$P_0 = 3.6 \cdot 10^{-6} \cdot 29.4^{3.6} \cdot 7.55^{0.89} \cdot (1 + |0.102|)^{-1.4} = 3.6, \text{ \% или } 0.036$$

Тепер знайдемо значення вірогідності плоских завмирань за формулою 3.9:

$$P_{\text{ПЛОСК}} = 0.036 \cdot 10^{-33.6/10} = 1.57 \cdot 10^{-5} \quad (3.29)$$

Селективні завмирання.

Знайдемо коефіцієнт активності завмирання за формулою 3.14:

$$\eta = 1 - \exp\left(-0.2 \cdot \left(\frac{1.57 \cdot 10^{-5}}{100}\right)^{\frac{3}{4}}\right) = 1.5 \cdot 10^{-6}$$

Типове час затримки відбитого сигналу на прольоті:

$$\tau_m = 0.7 \cdot \left(\frac{29.4}{50}\right)^{1.5} = 0.316 \text{ нс.}$$

Підставимо отримані значення в формулу (3.13) для розрахунку ймовірності селективного завмирання:

$$P_{\text{СЕЛ}} = 4.3 \cdot 10^{-1} \cdot 1.5 \cdot 10^{-6} \cdot 1.8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0.316^2}{6.3} = 7.13 \cdot 10^{-8} \quad (3.30)$$

За допомогою формули 3.15 знаходимо загальну ймовірність порушення зв'язку через багатопроменевого поширення:

$$P_{\text{свм}} = 1.57 \cdot 10^{-5} + 7.1 \cdot 10^{-8} \approx 1.58 \cdot 10^{-5} \quad (3.31)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку, викликаного дощем. Визначимо ефективну довжину прольоту за формулою 3.17:

$$\psi = \frac{29.4}{1 + \frac{29.4}{35 \cdot \exp(-0.015 \cdot 70)}} = 8.7, \quad \text{км}$$

Визначаємо загасання на прольоті, використовуючи формулу 3.18:

$$A = 8.7 \cdot 0.00454 \cdot 29.4^{1.327} = 3.57, \quad \text{дБ}$$

Таким чином, неготовність, викликана дощем, становить (формула 3.19):

$$P_{\text{ДОЖ}} = 10^{11.628 \cdot \left( -0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log\left(0.12 \cdot \frac{3.57}{33.6}\right)} \right)} = 8 \cdot 10^{-7} \quad (3.32)$$

Знайдемо коефіцієнт неготовності лінії по формулі 3.1, з використанням формул 3.31 і 3.32:

$$K_{\text{НГ}} = 1.58 \cdot 10^{-5} + 8 \cdot 10^{-7} \approx 1.66 \cdot 10^{-5}$$

а норма —  $K_{\text{НГ\_НОРМ}} = 0.0125$ .

Згідно Рекомендації МСЕ-Т G.821 події SES реєструються при  $K_{\text{ОШ}} \leq 10^{-3}$ .

За рекомендацією G.826 однією з умов реєстрації події SES є наявність більш 30% блоків з помилками. Розрахунок в програмі Territories дає таке значення SESR:  $SESR(\text{худший месяц}) = 0,003055$ .

За умови, що норма становить 0.003 для внутризонавої мережі протяжністю 50 км і менш. Таким чином, ніяке рознесення не потрібно.

### 3.5 Відрізок Малокатеринівка – Василівка

Вихідні дані ділянки РРЛ представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані прольоту

Параметри станції	Позначення	Малокатеринівка: PPC-2	Василівка: PPC-3
Тип станції		Крайова	Проміжна
Нульовий відносний рівень	$h_0$	81	107
Наявність опори для підвісу антен		существ. башня	проект. Башня
Висота щогли (башні), м	$H_{оп}$	86.95	80.1
Висота підвісу основний антени:	$H_{п}$	80	80
Діаметр основної антени, м	$d$	1.8	1.8
Коефіцієнт підсилення основної антени	$G_i$	40	40
Дані прольоту:			
Довжина прольоту, км	$R_0$	32.6	
Тип місцевості		Сухопутная, пересеченная	
Можливі точки відображення		15 км	

Нижче представлений профіль прольоту PPC-2 – PPC-3 (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Профіль польоту Малокатеринівка – Василівка

Розрахунок атмосферних втрат по п.3.3.3.

Сумарні питомі атмосферні втрати візьмемо з формули 3.20 і знайдемо втрати в атмосфері з урахуванням тривалості польоту:

$$L_{\Gamma} = (\gamma_0 + \gamma_H) \cdot R_0 = 0.029 \cdot 32.6 = 0.95, \quad \text{дБ} \quad (3.33)$$

Розрахунок запасу на завмирання.

Ослаблення радіохвиль при розповсюдженні у вільному просторі:

$$L_0 = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 R_0 \cdot f) = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 \cdot 32.6 \cdot 7.4) = 140.1, \quad \text{дБ}$$

Рівень сигналу на вході приймача за формулою 3.2:

$$P_{\text{ПР}} = -9 + 40 + 40 - 139.2 - 0.5 - 0.5 - 0.95 - 0 - 1.5 = -71.6, \quad \text{дБ}$$

Необхідний запас на завмирання знаходимо за формулою 3.8, з урахуванням чутливості приймача фірми «Микран» дорівнює:

$$P_{\text{ПР ПОР}} = -98 \text{ дБ}$$

$$M = -71.6 + 98 = 26.4, \text{ дБ} \quad (3.34)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку через багатопроменеве поширення.

Плоскі завмирання.

Знайдемо ймовірність появи плоских завмирань.

1) Геокліматичний коефіцієнт:

$$K = 10^{-6.5} \cdot 5^{1.5} \cdot 1 = 3.6 \cdot 10^{-6}, \%$$

2) Нахил прольота (таблиця 3.2):

$$E_n = \frac{|80 - 80|}{32.6} = 0, \text{ мрад}$$

Підставимо отримані значення в формулу 3.10:

$$P_0 = 3.6 \cdot 10^{-6} \cdot 32.6^{3.6} \cdot 7.4^{0.89} \cdot (1 + |0|)^{-1.4} = 6, \text{ \% или } 0.06$$

Ймовірність плоских завмирань:

$$P_{\text{ПЛОСК}} = 0.06 \cdot 10^{-26.4/10} = 1.6 \cdot 10^{-4} \quad (3.35)$$

Селективні завмирання.

Знайдемо коефіцієнт активності завмирання за формулою 3.14:

$$\eta = 1 - \exp\left(-0.2 \cdot \left(\frac{1.6 \cdot 10^{-4}}{100}\right)^{\frac{3}{4}}\right) = 9 \cdot 10^{-6}$$

Типове час затримки відбитого сигналу на прольоті:

$$\tau_m = 0.7 \cdot \left(\frac{32.6}{50}\right)^{1.5} = 0.369 \text{ нс.}$$

Підставимо отримані значення в формулу (3.13) для розрахунку ймовірності селективного завмирання:

$$P_{СЕЛ} = 4.3 \cdot 10^{-1} \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 1.8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0.369^2}{6.3} = 1.5 \cdot 10^{-10} \quad (3.36)$$

За допомогою формули 3.15 знаходимо загальну ймовірність порушення зв'язку через багатопроменеве поширення:

$$P_{СВМ} = 1.6 \cdot 10^{-4} + 1.5 \cdot 10^{-10} \approx 1.6 \cdot 10^{-4} \quad (3.37)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку, викликаного дощем.

Визначимо ефективну довжину прольоту за формулою 3.17:

$$\psi = \frac{32.6}{1 + \frac{32.6}{35 \cdot \exp(-0.015 \cdot 70)}} = 8.9, \text{ км}$$

Визначаємо загасання на прольоті:

$$A = 8.9 \cdot 0.00454 \cdot 32.6^{1.327} = 4.1, \text{ дБ}$$

Таким чином, неготовність, викликана дощем, становить (формула 3.19):

$$P_{\text{ДОЖ}} = 10^{11.628 \cdot \left( -0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log\left(0.12 \cdot \frac{4.1}{26.4}\right)} \right)} = 1.8 \cdot 10^{-6} \quad (3.38)$$

$$K_{\text{НГ}} = 1.6 \cdot 10^{-4} + 1.8 \cdot 10^{-6} \approx 1.62 \cdot 10^{-4}, \text{ а } K_{\text{НГ\_НОРМ}} = 0.0125$$

$$\text{SESR(худший месяц)} = 0,00063 \text{ при } \text{SESR}_{\text{НОРМ}} = 0,003$$

Таким чином, ніяке рознесення не потрібно.

### 3.6 Відрізок Василівка – Балки

Вихідні дані ділянки РРЛ представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вихідні дані прольоту

Параметри станції	Позначення	Василівка: РРС-3	Балки: РРС-4
Тип станції		Проміжна	Проміжна
Нульовий відносний рівень	$h_0$	107	111
Наявність опори для підвісу антен		проект. башня	проект. Башня
Висота щогли (башні), м	$H_{\text{оп}}$	80.1	80.1
Висота підвісу основний антени:	$H_{\text{п}}$	70	70
Діаметр основної антени, м	$d$	2.4	2.4
Коефіцієнт підсилення основної антени	$G_i$	43.6	43.6
Дані прольоту:			
Довжина прольоту, км	$R_0$	38.73	
Тип місцевості		Сухопутная, пересеченная	
Можливі точки відображення		18,5 км	

Нижче розрахований відрізок РРС-3 – РРС-4 (рис. 3.6).

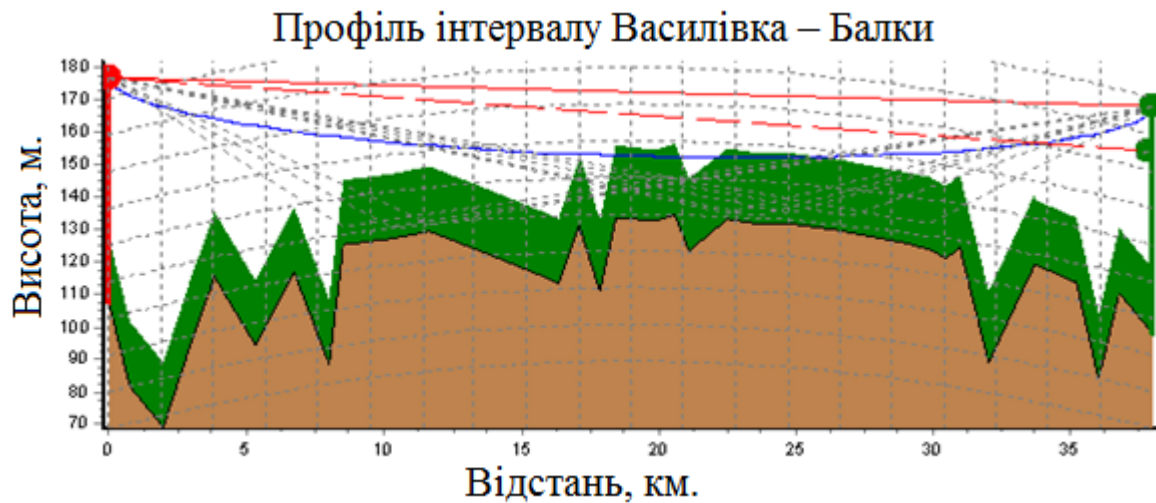


Рисунок 3.6 – Профіль польоту Василівка – Балки

Розрахунок атмосферних втрат проведено за п. 3.3.3.

Сумарні питомі атмосферні втрати візьмемо з формули 3.26 і знайдемо втрати в атмосфері з урахуванням тривалості польоту:

$$L_T = (\gamma_0 + \gamma_H) \cdot R_0 = 0.029 \cdot 38.73 = 1.12, \quad \text{дБ} \quad (3.39)$$

Розрахунок запасу на завмирання.

Ослаблення радіохвиль при розповсюдженні у вільному просторі:

$$L_0 = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 R_0 \cdot f) = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 \cdot 38.73 \cdot 7.4) = 141.6, \quad \text{дБ}$$

Рівень сигналу на вході приймача розрахован за формулою 3.2:

$$P_{\text{пр}} = -9 + 43.6 + 43.6 - 141.6 - 0.5 - 0.5 - 1.12 - 0 - 1.5 = -67, \quad \text{дБ}$$

Необхідний запас на завмирання знаходимо за формулою 3.8, з урахуванням чутливості приймача фірми «Микран» дорівнює:

$$P_{ПР ПОР} = -98 \text{ дБ}$$

$$M = -67 + 98 = 31, \text{ дБ} \quad (3.40)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку через багатопроменеві поширення плоских завмирань.

Знайдемо ймовірність появи плоских завмирань.

1) Геокліматичний коефіцієнт:

$$K = 10^{-6.5} \cdot 5^{1.5} \cdot 1 = 3.6 \cdot 10^{-6}, \%$$

2) Нахил прольоту (таблиця 3.2):

$$E_h = \frac{|70 - 70|}{38.73} = 0, \text{ мрад}$$

Підставимо отримані значення в формулу 3.10:

$$P_0 = 3.6 \cdot 10^{-6} \cdot 38.73^{3.6} \cdot 7.4^{0.89} \cdot (1 + |0|)^{-1.4} = 11,1 \text{ \% или } 0,11$$

Ймовірність плоских завмирань:

$$P_{ПЛОСК} = 0,11 \cdot 10^{-31/10} = 8,3 \cdot 10^{-5} \quad (3.41)$$

Селективні завмирання.

Знайдемо коефіцієнт активності завмирання за формулою 3.14:

$$\eta = 1 - \exp\left(-0,2 \cdot \left(\frac{8,3 \cdot 10^{-5}}{100}\right)^{\frac{3}{4}}\right) = 5,5 \cdot 10^{-6}$$

Типове час затримки відбитого сигналу на прольоті:

$$\tau_m = 0.7 \cdot \left( \frac{38.73}{50} \right)^{1.5} = 0.48 \text{ нс.}$$

Підставимо отримані значення в формулу (3.13) для розрахунку ймовірності селективного завмирання:

$$P_{СЕЛ} = 4.3 \cdot 10^{-1} \cdot 5.5 \cdot 10^{-6} \cdot 1.8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0.48^2}{6.3} = 1.6 \cdot 10^{-10} \quad (3.42)$$

За допомогою формули 3.15 знаходимо загальну ймовірність порушення зв'язку через багатопроменеве поширення:

$$P_{СУМ} = 8.3 \cdot 10^{-5} + 1.6 \cdot 10^{-10} \approx 8.3 \cdot 10^{-5} \quad (3.43)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку, викликаного дощем.

Визначимо ефективну довжину прольоту за формулою 3.17:

$$\psi = \frac{32.6}{1 + \frac{32.6}{35 \cdot \exp(-0.015 \cdot 70)}} = 8.9, \text{ км}$$

Визначаємо загасання на прольоті:

$$A = 8.9 \cdot 0.00454 \cdot 38.7^{1.327} = 5.1, \text{ дБ}$$

Таким чином, неготовність, викликана дощем, становить (формула 3.19):

$$P_{\text{ДОЖ}} = 10^{11.628 \cdot \left( -0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log\left(0.12 \cdot \frac{5.1}{31}\right)} \right)} = 2.8 \cdot 10^{-6} \quad (3.44)$$

$$K_{\text{НГ}} = 8.3 \cdot 10^{-5} + 2.8 \cdot 10^{-6} \approx 8.6 \cdot 10^{-5}, \text{ а } K_{\text{НГ\_НОРМ}} = 0.0125$$

Згідно Рекомендації МСЕ-Т G.821 події SES реєструються при  $K_{\text{ош}} \leq 10^{-3}$

За рекомендацією G.826 однією з умов реєстрації події SES є наявність більш 30% блоків з помилками. Розрахунок в програмі Territories дає таке значення SESR:

$$\text{SESR(худший месяц)} = 0.017, \text{ при } \text{SESR}_{\text{НОРМ}} = 0.003$$

Оскільки розрахований SESR перевищує норму майже в 6 разів, то будемо використовувати просторове рознесення. На обох станціях встановимо додаткові антени з коефіцієнтом підсилення  $G = 43.6$ . Рознесемо їх від основних антен на 10 м (між центрами розкриття) ближче до основи щогли. Виграш від просторового рознесення по методиці Nera можна виразити наступною формулою:

$$I_{\text{ПР}} = \left( 1 - \exp\left( -3.34 \cdot 10^{-4} \cdot S^{0.87} \cdot f^{-0.12} \cdot R_0^{0.48} \cdot \left( \frac{P_0}{100} \right)^{-1.04} \right) \right) \cdot 10^{M - (G_{s1} - G_{s2})/10} \quad (3.45)$$

де  $f$  – частота, ГГц;

$P_0$  – ймовірність появи завмирання;

$G_{s1}, G_{s2}$  – підсилення двох просторово рознесених антен, дБ;

$S$  – максимальне рознесення (відстань між центрами) приймальних антен, м.

У нашому випадку розносимо антени на 10 м, а діаметр залишає таким же, як і у основних антен. Відповідно до формули 3.45 визначаємо коефіцієнт виграшу:

$$I_{IP} = \left( 1 - \exp \left( -3.34 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{0.87} \cdot 7.4^{-0.12} \cdot 32.6^{0.48} \cdot \left( \frac{11}{100} \right)^{-1.04} \right) \right) \cdot 10^{\frac{32}{10}} = 130$$

Таким чином

$$SESR(\text{худ.м.}) = \frac{0.017}{130} = 0.00013$$

що не перевищують норму.

Застосування просторового рознесення виявляється достатнім для дотримання якісних показників системи.

### 3.7 Відрізок Балки – Енергодар

Вихідні дані ділянки РРЛ представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вихідні дані прольоту

Параметри станції	Позначення	Балки: РРС-3	Енергодар: РРС-4
Тип станції		Проміжна	Проміжна
Нульовий відносний рівень	$h_0$	111	105
Наявність опори для підвісу антен		проект. башня	проект. Башня
Висота щогли (башні), м	$H_{оп}$	80.1	80.1
Висота підвісу основний антени	$H_{п}$	60	52
Діаметр основної антени, м	$d$	2.4	2.4

Продовження таблиці 3.4

Параметри станції	Позначення	Балки: PPC-3	Енергодар: PPC-4
Коефіцієнт підсилення основної антени	$G_i$	43.6	43.6
Дані прольоту:			
Довжина прольоту, км	$R_0$	29.7	
Тип місцевості		сухопутная, пересеченная	
Можливі точки відображення		9, 13.5 км	

Нижче розрахований відрізок PPC-4 – PPC-5 (рис. 3.7).

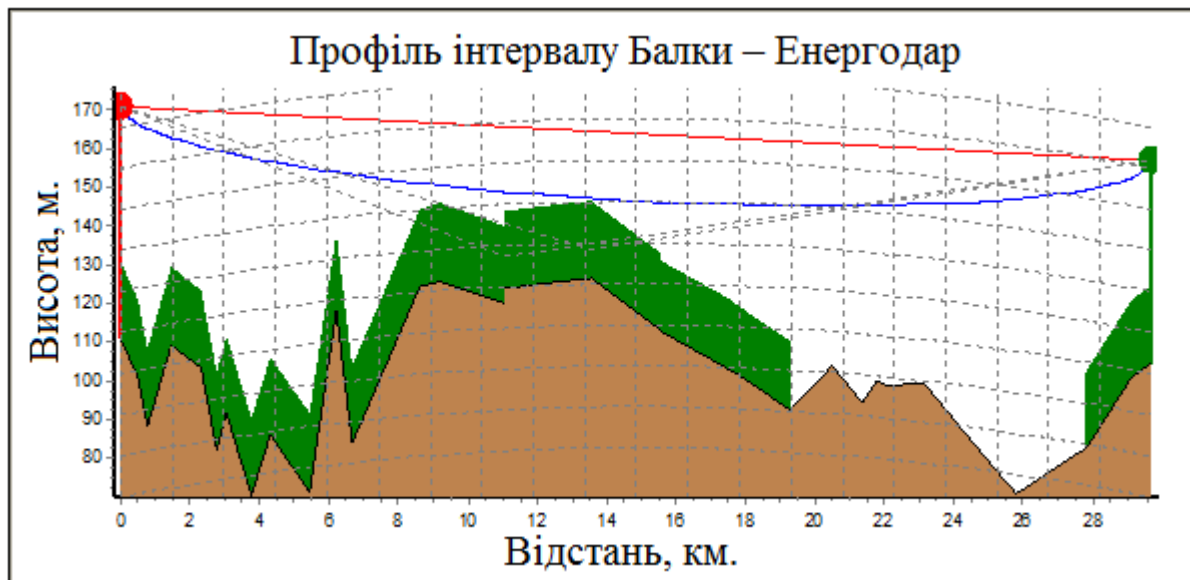


Рисунок 3.7 – Профіль прольоту Балки – Енергодар

Розрахунок атмосферних втрат проведено за п. 3.3.3.

Сумарні питомі атмосферні втрати візьмемо з формули 3.26 і знайдемо втрати в атмосфері з урахуванням тривалості прольоту:

$$L_T = (\gamma_0 + \gamma_H) \cdot R_0 = 0.029 \cdot 29.7 = 0.86, \text{ дБ} \quad (3.46)$$

Розрахунок запасу на завмирання.

Ослаблення радіохвиль при розповсюдженні у вільному просторі:

$$L_0 = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 R_0 \cdot f) = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 \cdot 29.7 \cdot 7.4) = 139.3, \text{ дБ}$$

Рівень сигналу на вході приймача розраховано за формулою 3.2.

$$P_{\text{пр}} = -9 + 43.6 + 43.6 - 139.3 - 0.5 - 0.5 - 0.86 - 0 - 1.5 = -64.45, \text{ дБ}$$

Необхідний запас на завмирання:

$$M = -64.45 + 98 = 33.5, \text{ дБ} \quad (3.47)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку через багатопроменеве поширення плоских завмирань.

Знайдемо ймовірність появи плоских завмирань.

1) Геокліматичний коефіцієнт:

$$K = 10^{-6.5} \cdot 5^{1.5} \cdot 1 = 3.6 \cdot 10^{-6}, \%$$

2) Наклон відрізка (таблиця 3.2):

$$E_h = \frac{|60 - 52|}{29.7} = 0.27, \text{ мрад}$$

Підставимо знайденні значення в вираз 3.10:

$$P_0 = 3.6 \cdot 10^{-6} \cdot 29.7^{3.6} \cdot 7.4^{0.89} \cdot (1 + |0.27|)^{-1.4} = 3,1 \text{ \% или } 0.031$$

Ймовірність плоских завмирань:

$$P_{\text{ПЛОСК}} = 0.031 \cdot 10^{-33.5/10} = 1.4 \cdot 10^{-5} \quad (3.48)$$

Селективні завмирання.

Знайдемо коефіцієнт активності завмирання за формулою 3.14:

$$\eta = 1 - \exp\left(-0.2 \cdot \left(\frac{1.4 \cdot 10^{-5}}{100}\right)^{\frac{3}{4}}\right) = 1.5 \cdot 10^{-6}$$

Типове час затримки відбитого сигналу на прольоті:

$$\tau_m = 0.7 \cdot \left(\frac{29.7}{50}\right)^{1.5} = 0.32 \text{ нс.}$$

Підставимо отримані значення в формулу (3.13) для розрахунку ймовірності селективного завмирання:

$$P_{\text{СЕЛ}} = 4.3 \cdot 10^{-1} \cdot 1.5 \cdot 10^{-6} \cdot 1.8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0.32^2}{6.3} = 1.8 \cdot 10^{-11} \quad (3.49)$$

За допомогою формули 3.15 знаходимо загальну ймовірність порушення зв'язку через багатопроменеве поширення:

$$P_{\text{СВМ}} = 1.4 \cdot 10^{-5} + 1.8 \cdot 10^{-11} \approx 1.4 \cdot 10^{-5} \quad (3.50)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку, викликаного дощем.

Визначимо ефективну довжину прольоту за формулою 3.17:

$$\psi = \frac{29.7}{1 + \frac{29.7}{35 \cdot \exp(-0.015 \cdot 70)}} = 8.6, \text{ км}$$

Визначаємо загасання на прольоті:

$$A = 8.6 \cdot 0.00454 \cdot 29.7^{1.327} = 3.1, \text{ дБ}$$

Таким чином, неготовність, викликана дощем, становить (формула 3.19):

$$P_{\text{ДОЖ}} = 10^{11.628 \cdot (-0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log(0.12 \cdot 0.155)})} = 8 \cdot 10^{-7} \quad (3.51)$$

$$K_{\text{НГ}} = 1.4 \cdot 10^{-5} + 8 \cdot 10^{-7} \approx 1.41 \cdot 10^{-5}, \text{ а } K_{\text{НГ\_НОРМ}} = 0.0125$$

$$\text{SESR(худший месяц)} = 0.00289, \text{ при } \text{SESR}_{\text{НОРМ}} = 0,003$$

Таким чином, ніяке рознесення не потрібне.

### 3.8 Відрізок Енергодар – Першотравневе

Вихідні дані ділянки РРЛ представлені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Вихідні дані прольоту

Параметри станції	Позначення	Енергодар: РРС-5	Першотравневе: РРС-6
Тип станції		Проміжна	Проміжна
Нульовий відносний рівень	$h_0$	105	111
Наявність опори для підвісу антен		проект. Башня	проект. Башня
Висота щогли (башні), м	$H_{оп}$	80.1	80.1
Висота підвісу основний антени:	$H_{п}$	78	78
Діаметр основної антени, м	$d$	2.4	2.4
Коефіцієнт підсилення основної антени	$G_i$	43.6	43.6

Продовження таблиці 3.5

Параметри станції	Позначення	Енергодар: PPC-5	Першотравневе: PPC-6
Дані прольоту:			
Довжина прольоту, км	$R_0$		42.5
Тип місцевості		сухопутная, пересеченная	
Можливі точки відображення		22, 29 км	

Нижче розрахований відрізок PPC-5 – PPC-6 (рис. 3.8).

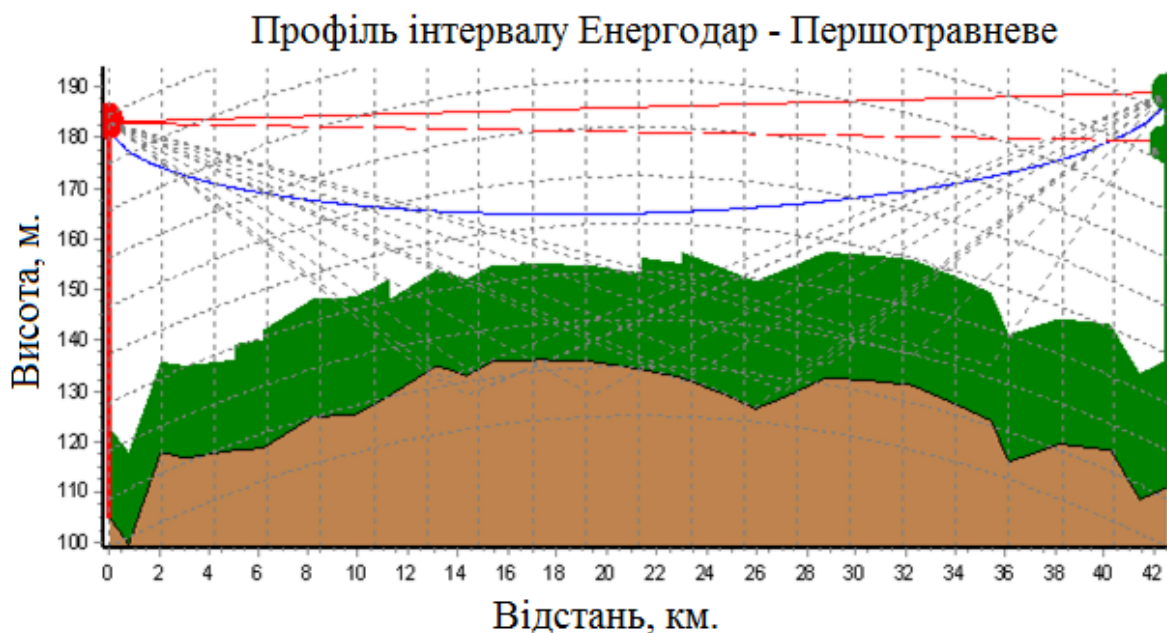


Рисунок 3.8 – Профіль прольоту Енергодар – Першотравневе

Розрахунок атмосферних втрат виконано за п. 3.3.3.

Сумарні питомі атмосферні втрати візьмемо з формули 3.26 і знайдемо втрати в атмосфері з урахуванням тривалості прольоту:

$$L_T = (\gamma_0 + \gamma_H) \cdot R_0 = 0.029 \cdot 42.5 = 1.23, \quad \text{дБ} \quad (3.52)$$

Розрахунок запасу на завмирання.

Ослаблення радіохвиль при розповсюдженні у вільному просторі:

$$L_0 = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 R_0 \cdot f) = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 \cdot 42.5 \cdot 7.4) = 142.3, \text{ дБ}$$

Рівень сигналу на вході приймача розрахован за формулою 3.2:

$$P_{\text{ПР}} = -9 + 43.6 + 43.6 - 142.3 - 0.5 - 0.5 - 1.23 - 0 - 1.5 = -67.8, \text{ дБ}$$

Необхідний запас на завмирання:

$$M = -67.8 + 98 = 30.2, \text{ дБ} \quad (3.53)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку через багатопроменеве поширення плоских завмирань.

Знайдемо ймовірність появи плоских завмирань.

1) Геокліматичний коефіцієнт:

$$K = 10^{-6.5} \cdot 5^{1.5} \cdot 1 = 3.6 \cdot 10^{-6}, \%$$

2) Нахил відрізка (таблиця 3.2):

$$E_h = \frac{|78 - 78|}{42.5} = 0, \text{ мрад}$$

Підставимо знайденні значення в вираз 3.10:

$$P_0 = 3.6 \cdot 10^{-6} \cdot 42.5^{3.6} \cdot 7.4^{0.89} \cdot (1 + |0|)^{-1.4} = 15.5 \text{ \% или } 0.155$$

Ймовірність плоских завмирань:

$$P_{\text{ПЛОСК}} = 0.155 \cdot 10^{-30.2/10} = 1.5 \cdot 10^{-4} \quad (3.54)$$

Селективні завмирання.

Знайдемо коефіцієнт активності завмирання за формулою 3.14:

$$\eta = 1 - \exp\left(-0.2 \cdot \left(\frac{1.5 \cdot 10^{-4}}{100}\right)^{\frac{3}{4}}\right) = 8.6 \cdot 10^{-6}$$

Типове час затримки відбитого сигналу на прольоті:

$$\tau_m = 0.7 \cdot \left(\frac{42.5}{50}\right)^{1.5} = 0.55 \text{ нс.}$$

Підставимо отримані значення в формулу (3.13) для розрахунку ймовірності селективного завмирання:

$$P_{СЕЛ} = 4.3 \cdot 10^{-1} \cdot 8.6 \cdot 10^{-6} \cdot 1.8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0.55^2}{6.3} = 3.2 \cdot 10^{-10} \quad (3.55)$$

За допомогою формули 3.15 знаходимо загальну ймовірність порушення зв'язку через багатопроменеве поширення:

$$P_{СВМ} = 1.5 \cdot 10^{-4} + 3.2 \cdot 10^{-10} \approx 1.5 \cdot 10^{-4} \quad (3.56)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку, викликаного дощем.

Визначимо ефективну довжину прольоту за формулою 3.17:

$$\psi = \frac{42.5}{1 + \frac{42.5}{35 \cdot \exp(-0.015 \cdot 70)}} = 9.5, \text{ км}$$

Визначаємо загасання на прольоті:

$$A = 9.5 \cdot 0.00454 \cdot 42.5^{1.327} = 6.3, \text{ дБ}.$$

Таким чином, неготовність, викликана дощем, становить (формула 3.19):

$$P_{\text{ДОЖ}} = 10^{11.628 \cdot (-0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log(0.12 \cdot 0.171)})} = 4.8 \cdot 10^{-6} \quad (3.57)$$

$$K_{\text{НГ}} = 1.5 \cdot 10^{-4} + 4.8 \cdot 10^{-6} \approx 1.5 \cdot 10^{-4}, \text{ а } K_{\text{НГ\_НОРМ}} = 0.0125.$$

$$\text{SESR(худший месяц)} = 0.049, \text{ при } \text{SESR}_{\text{НОРМ}} = 0,003.$$

Оскільки розрахований SESR перевищує норму майже в 17 разів, то будемо використовувати просторове рознесення. На обох станціях встановимо додаткові антени з коефіцієнтом підсилення  $G = 43.6$ . Рознесемо їх від основних антен на 10 м (між центрами розкриття) ближче до основи щогли. Виграш від просторового рознесення по методиці Nera та вже відомого виразу 3.45:

$$I_{\text{ПР}} = \left( 1 - \exp \left( -3.34 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{0.87} \cdot 7.4^{-0.12} \cdot 42.5^{0.48} \cdot \left( \frac{15.5}{100} \right)^{-1.04} \right) \right) \cdot 10^{37/10} = 39.4$$

Таким чином:

$$\text{SESR(худ.м.)} = \frac{0.049}{39.4} = 0.0012,$$

що не перевищують норму.

Застосування просторового рознесення виявляється достатнім для дотримання якісних показників системи.

### 3.9 Відрізок Першотравневе – Велика Лепетиха

Вихідні дані ділянки РРЛ представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Вихідні дані прольоту

Параметри станції	Позначення	Першотравневе: РРС-6	Велика Лепетиха: РРС-7
Тип станції		Проміжна	Проміжна
Нульовий відносний рівень	$h_0$	111	160
Наявність опори для підвісу антен		проект. Башня	существ. мачта
Висота щогли (башні), м	$H_{оп}$	80.1	127.5
Висота підвісу основний антени:	$H_{п}$	60	40
Діаметр основної антени, м	$d$	1.8	1.8
Коефіцієнт підсилення основної антени	$G_i$	40	40
Дані прольоту:			
Довжина прольоту, км	$R_0$	41.65	
Тип місцевості		сухопутная, слабопересеченная	
Можливі точки відображення		11, 23 км	

На рис. 3.9 розраховано відрізок РРС-6 – РРС-7.

Розрахунок атмосферних втрат здійснено по п.3.3.3.

Сумарні питомі атмосферні втрати візьмемо з формули 3.26 і знайдемо втрати в атмосфері з урахуванням тривалості прольоту:

$$L_T = (\gamma_0 + \gamma_H) \cdot R_0 = 0.029 \cdot 41.65 = 1.2, \quad \text{дБ} \quad (3.58)$$

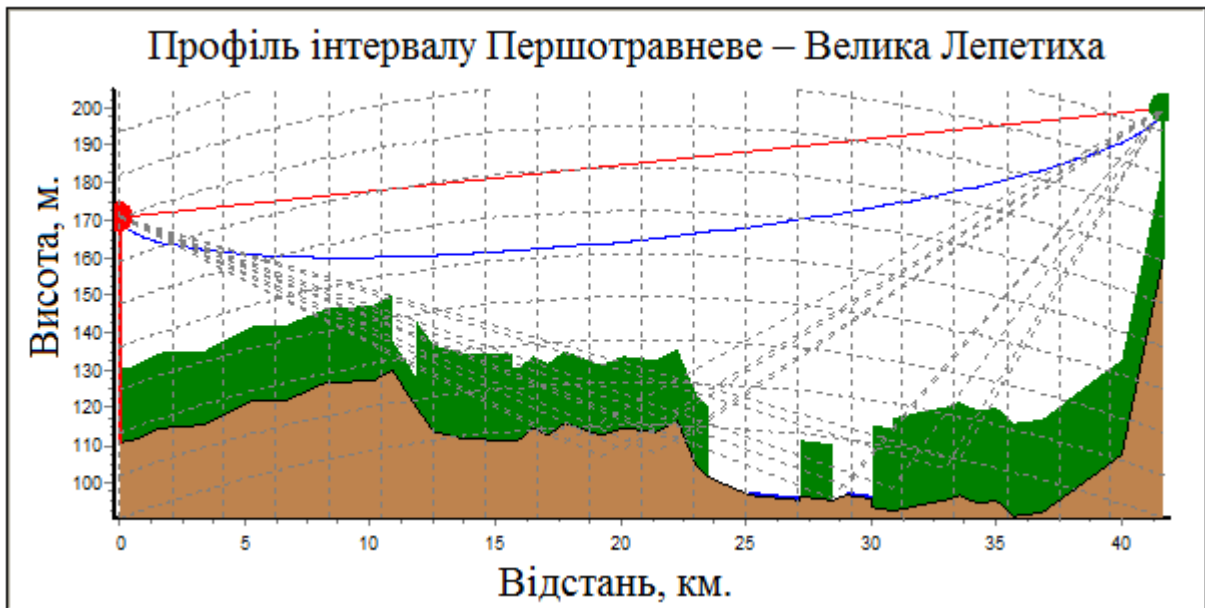


Рисунок 3.9 – Профіль польоту Першотравневе – Велика Лепетиха

Розрахунок запасу на завмирання.

Ослаблення радіохвиль при розповсюдженні у вільному просторі:

$$L_0 = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 R_0 \cdot f) = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 \cdot 41.65 \cdot 7.4) = 142.3, \text{ дБ}$$

Рівень сигналу на вході приймача розрахован за формулою 3.2:

$$P_{\text{ДПР}} = -9 + 40 + 40 - 142.3 - 0.5 - 0.5 - 1.2 - 0 - 1.5 = -67.3, \text{ дБ}$$

Необхідний запас на завмирання:

$$M = -67.3 + 98 = 30, \text{ дБ} \quad (3.59)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку через багатопроменеве поширення плоских завмирань.

Знайдемо ймовірність появи плоских завмирань.

1) Геокліматичний коефіцієнт:

$$K = 10^{-6.5} \cdot 5^{1.5} \cdot 1 = 3.6 \cdot 10^{-6}, \%$$

2) Нахил відрізка (таблиця 3.2):

$$E_n = \frac{|60 - 40|}{42.5} = 0.5, \text{ мрад}$$

Підставимо знайденні значення в вираз 3.10:

$$P_0 = 3.6 \cdot 10^{-6} \cdot 42.5^{3.6} \cdot 7.4^{0.89} \cdot (1 + |0|)^{-1.4} = 14,4 \text{ \% или } 0.144$$

Імовірність плоских завмирань:

$$P_{\text{ПЛОСК}} = 0.144 \cdot 10^{-30/10} = 1.4 \cdot 10^{-4}. \quad (3.60)$$

Селективні завмирання.

Знайдемо коефіцієнт активності завмирання за формулою 3.14:

$$\eta = 1 - \exp\left(-0.2 \cdot \left(\frac{1.4 \cdot 10^{-4}}{100}\right)^{\frac{3}{4}}\right) = 8.1 \cdot 10^{-6}$$

Типове час затримки відбитого сигналу на прольоті:

$$\tau_m = 0.7 \cdot \left(\frac{41.6}{50}\right)^{1.5} = 0.53 \text{ нс.}$$

Підставимо отримані значення в формулу (3.13) для розрахунку ймовірності селективного завмирання:

$$P_{СЕЛ} = 4.3 \cdot 10^{-1} \cdot 8.1 \cdot 10^{-6} \cdot 1.8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0.53^2}{6.3} = 2.8 \cdot 10^{-10} \quad (3.61)$$

За допомогою формули 3.15 знаходимо загальну ймовірність порушення зв'язку через багатопроменеве поширення:

$$P_{СУМ} = 1.4 \cdot 10^{-4} + 2.8 \cdot 10^{-10} \approx 1.4 \cdot 10^{-4} \quad (3.62)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку, викликаного дощем.

Визначимо ефективну довжину прольоту за формулою 3.17:

$$\psi = \frac{41.65}{1 + \frac{41.65}{35 \cdot \exp(-0.015 \cdot 70)}} = 9.3, \quad \text{км}$$

Визначаємо загасання на прольоті:

$$A = 9.3 \cdot 0.00454 \cdot 41.65^{1.327} = 5.9, \quad \text{дБ}$$

Таким чином, неготовність, викликана дощем, становить (формула 3.19):

$$P_{ДОЖ} = 10^{11.628 \cdot (-0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log(0.12 \cdot 0.196)})} = 1.6 \cdot 10^{-5} \quad (3.63)$$

$$K_{НГ} = 1.4 \cdot 10^{-4} + 1.6 \cdot 10^{-5} \approx 1.6 \cdot 10^{-4}, \text{ а } K_{НГ\_НОРМ} = 0.0125$$

$$\text{SESR(худший месяц)} = 0.003012, \text{ при } \text{SESR}_{НОРМ} = 0,003$$

З урахуванням похибки розрахунків кількість SES знаходиться в межах норми. Таким чином, ніяке рознесення не потрібно.

### 3.10 Відрізок Велика Лепетиха – Саги

Вихідні дані ділянки РРЛ представлені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Вихідні дані прольоту

Параметри станції	Позначення	Велика Лепетиха: РРС-7	Саги: РРС-8
Тип станції		Проміжна	Проміжна
Нульовий відносний рівень	$h_0$	160	102
Наявність опори для підвісу антен		существ. башня	существ. башня
Висота щогли (башні), м	$H_{оп}$	127.5	80.1
Висота підвісу основний антени:	$H_{п}$	105	75
Діаметр основної антени, м	$d$	1.8	1.8
Коефіцієнт підсилення основної антени	$G_i$	40	40
Дані прольоту:			
Довжина прольоту, км	$R_0$	46.15	
Тип місцевості		Сухопутная, пересеченная	
Можливі точки відображення		20 км	

На рис. 3.10 розраховано відрізок РРС-6 – РРС-7.

Розрахунок атмосферних втрат знайдено по п.3.3.3.

Сумарні питомі атмосферні втрати візьмемо з формули 3.26 і знайдемо втрати в атмосфері з урахуванням тривалості прольоту:

$$L_T = (\gamma_0 + \gamma_H) \cdot R_0 = 0.029 \cdot 46.15 = 1.34, \quad \text{дБ} \quad (3.64)$$

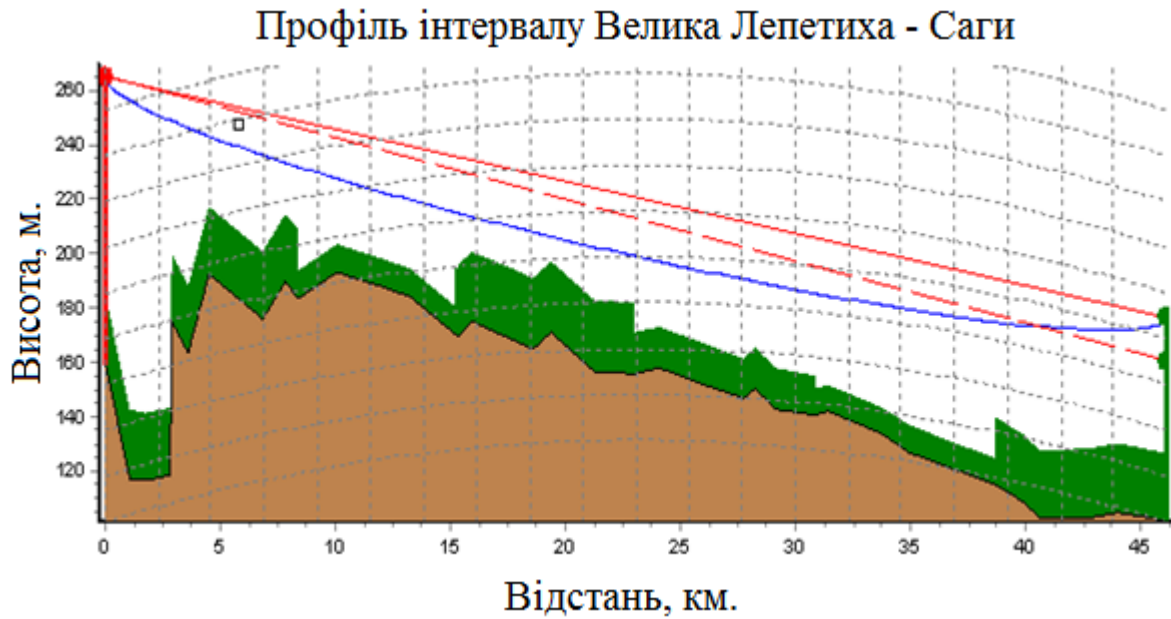


Рисунок 3.10 – Профіль польоту Велика Лепетиха – Саги

Розрахунок запасу на завмирання.

Ослаблення радіохвиль при розповсюдженні у вільному просторі:

$$L_0 = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 R_0 \cdot f) = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 \cdot 46.15 \cdot 7.4) = 143, \text{ дБ}$$

Рівень сигналу на вході приймача розрахован за формулою 3.2:

$$P_{\text{пр}} = -9 + 40 + 40 - 143 - 0.5 - 0.5 - 1.34 - 0 - 1.5 = -75.84, \text{ дБ}$$

Необхідний запас на завмирання:

$$M = -75.84 + 98 = 22, \text{ дБ} \quad (3.65)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку через багатопроменеве поширення плоских завмирань.

Знайдемо ймовірність появи плоских завмирань.

1) Геокліматичний коефіцієнт:

$$K = 10^{-6.5} \cdot 5^{1.5} \cdot 1 = 3.6 \cdot 10^{-6}, \%$$

2) Нахил відрізка (таблиця 3.2):

$$E_h = \frac{|105 - 75|}{46.15} = 0.65, \text{ мрад}$$

Підставимо знайденні значення в вираз 3.10:

$$P_0 = 3.6 \cdot 10^{-6} \cdot 46.15^{3.6} \cdot 7.4^{0.89} \cdot (1 + |0.65|)^{-1.4} = 10.3 \text{ \% или } 0.103$$

Імовірність плоских завмирань:

$$P_{\text{плоск}} = 0.103 \cdot 10^{-22/10} = 6.5 \cdot 10^{-4}. \quad (3.66)$$

Селективні завмирання.

Знайдемо коефіцієнт активності завмирання за формулою 3.14:

$$\eta = 1 - \exp\left(-0.2 \cdot \left(\frac{6.5 \cdot 10^{-4}}{100}\right)^{\frac{3}{4}}\right) = 2.3 \cdot 10^{-5}$$

Типове час затримки відбитого сигналу на прольоті:

$$\tau_m = 0.7 \cdot \left(\frac{46.15}{50}\right)^{1.5} = 0.62 \text{ нс.}$$

Підставимо отримані значення в формулу (3.13) для розрахунку ймовірності селективного завмирання:

$$P_{СЕЛ} = 4.3 \cdot 10^{-1} \cdot 2.3 \cdot 10^{-5} \cdot 1.8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0.62^2}{6.3} = 1 \cdot 10^{-9} \quad (3.67)$$

За допомогою формули 3.15 знаходимо загальну ймовірність порушення зв'язку через багатопроменеве поширення:

$$P_{СУМ} = 6.5 \cdot 10^{-4} + 1 \cdot 10^{-9} \approx 6.5 \cdot 10^{-4} \quad (3.68)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку, викликаного дощем.

Визначимо ефективну довжину прольоту за формулою 3.17:

$$\psi = \frac{46.15}{1 + \frac{46.15}{35 \cdot \exp(-0.015 \cdot 70)}} = 9.7, \quad \text{км}$$

Визначаємо загасання на прольоті:

$$A = 9.7 \cdot 0.00454 \cdot 46.15^{1.327} = 7.1, \quad \text{дБ}$$

Таким чином, неготовність, викликана дощем, становить (формула 3.19):

$$P_{ДОЖ} = 10^{11.628 \cdot (-0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log(0.12 - 0.322)})} = 2.4 \cdot 10^{-4} \quad (3.69)$$

$$K_{НГ} = 1.4 \cdot 10^{-4} + 2.4 \cdot 10^{-4} \approx 3.8 \cdot 10^{-4} \quad \text{при} \quad K_{НГ\_НОРМ} = 0.0125$$

$$SESR(\text{худший месяц}) = 0.068, \quad \text{при} \quad SESR_{НОРМ} = 0.003$$

Оскільки розрахований SESR перевищує норму, то будемо використовувати просторове рознесення.

На обох станціях встановимо додаткові антени з коефіцієнтом підсилення  $G=40$ . Рознесемо їх від основних антен на 10 м (між центрами розкриття) ближче до основи щогли. Виграш від просторового рознесення по методиці Nera та вже відомого виразу 3.45:

$$I_{\text{ПП}} = \left( 1 - \exp \left( -3.34 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{0.87} \cdot 7.4^{-0.12} \cdot 46.15^{0.48} \cdot \left( \frac{10.3}{100} \right)^{-1.04} \right) \right) \cdot 10^{22/10} = 23.2$$

Таким чином:

$$\text{SESR(худ.м.)} = \frac{0.068}{23.2} = 0.00293$$

що не перевищують норму.

Застосування просторового рознесення виявляється достатнім для дотримання якісних показників системи.

### 3.11 Відрізок Саги – Херсон

Вихідні дані ділянки РРЛ представлені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Вихідні дані прольоту

Параметри станції	Позначення	Саги: РРС-7	Херсон: РРС-8
Тип станції		Проміжна	кінцева
Нульовий відносний рівень	$h_0$	102	128
Наявність опори для підвісу антен		сущест. Башня	проект. башня
Висота щогли (башні), м	$H_{оп}$	80.1	80.1

Продовження таблиці 3.8

Параметри станції	Позначення	Саги: PPC-7	Херсон: PPC-8
Висота підвісу основний антени:	$H_{II}$	60	50
Діаметр основної антени, м	$d$	1.8	1.8
Коефіцієнт підсилення основної антени	$G_i$	40	40
Дані прольоту:			
Довжина прольоту, км	$R_0$	14.75	
Тип місцевості		Сухопутная, пересеченная	
Можливі точки відображення		2 км	

На рис. 3.11 зображено профіль прольоту Саги – Херсон.

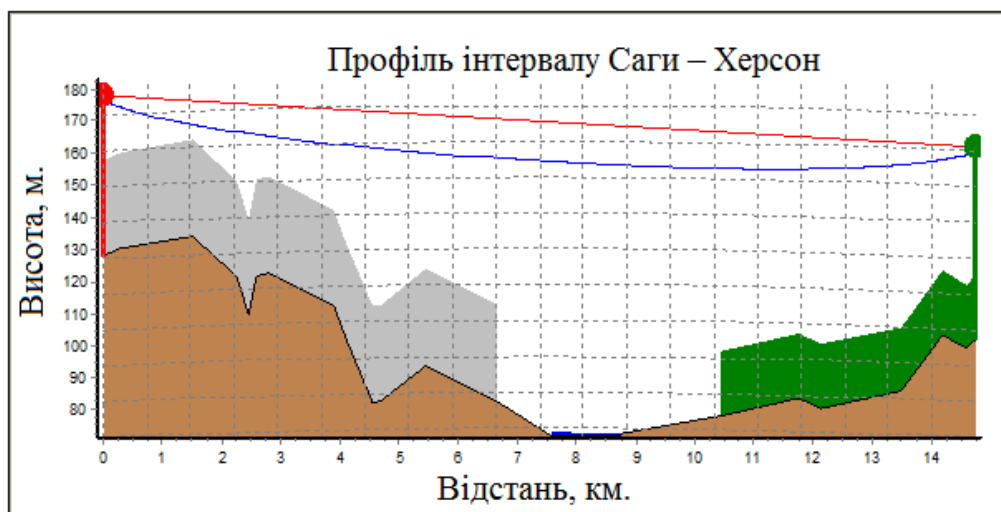


Рисунок 3.11 – Профіль прольоту Саги – Херсон

Розрахунок атмосферних втрат здійснено за п.3.3.3.

Сумарні питомі атмосферні втрати візьмемо з формули 3.26 і знайдемо втрати в атмосфері з урахуванням тривалості прольоту:

$$L_T = (\gamma_0 + \gamma_H) \cdot R_0 = 0.029 \cdot 14.75 = 0.43, \quad \text{дБ} \quad (3.70)$$

Розрахунок запасу на завмирання:

Ослаблення радіохвиль при розповсюдженні у вільному просторі:

$$L_0 = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 R_0 \cdot f) = 20 \cdot \lg(4.189 \cdot 10^4 \cdot 14.75 \cdot 7.4) = 133, \text{ дБ}$$

Рівень сигналу на вході приймача розрахован за формулою 3.2:

$$P_{\text{пр}} = -9 + 40 + 40 - 133 - 0.5 - 0.5 - 0.43 - 0 - 1.5 = -64.8, \text{ дБ}$$

Необхідний запас на завмирання:

$$M = -64.8 + 98 = 33.2, \text{ дБ} \quad (3.71)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку через багатопроменеве поширення плоских завмирань.

Знайдемо ймовірність появи плоских завмирань.

1) Геокліматичний коефіцієнт:

$$K = 10^{-6.5} \cdot 5^{1.5} \cdot 1 = 3.6 \cdot 10^{-6}, \%$$

2) Нахил відрізка (таблиця 3.2):

$$E_h = \frac{|60 - 50|}{14.75} = 0.68, \text{ мрад}$$

Підставимо знайденні значення в вираз 3.10:

$$P_0 = 3.6 \cdot 10^{-6} \cdot 14.75^{3.6} \cdot 7.4^{0.89} \cdot (1 + |0.68|)^{-1.4} = 0.167 \text{ \% или } 1.7 \cdot 10^{-3}$$

Ймовірність плоских завмирань:

$$P_{\text{плоск}} = 1.7 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-33.2/10} = 8.1 \cdot 10^{-7} \quad (3.72)$$

Селективні завмирання.

Знайдемо коефіцієнт активності завмирання за формулою 3.14:

$$\eta = 1 - \exp\left(-0.2 \cdot \left(\frac{8.1 \cdot 10^{-7}}{100}\right)^4\right) = 1.7 \cdot 10^{-7}$$

Типове час затримки відбитого сигналу на прольоті:

$$\tau_m = 0.7 \cdot \left(\frac{14.75}{50}\right)^{1.5} = 0.112 \text{ нс.}$$

Підставимо отримані значення в формулу (3.13) для розрахунку ймовірності селективного завмирання:

$$P_{\text{сел}} = 4.3 \cdot 10^{-1} \cdot 8.1 \cdot 10^{-7} \cdot 1.8 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0.112^2}{6.3} = 1.3 \cdot 10^{-12} \quad (3.73)$$

За допомогою формули 3.15 знаходимо загальну ймовірність порушення зв'язку через багатопроменеве поширення:

$$P_{\text{сум}} = 8.1 \cdot 10^{-7} + 1.3 \cdot 10^{-12} \approx 8.1 \cdot 10^{-7} \quad (3.74)$$

Розрахунок ймовірності порушення зв'язку, викликаного дощем.

Визначимо ефективну довжину прольоту за формулою 3.17:

$$\psi = \frac{14.75}{1 + \frac{14.75}{35 \cdot \exp(-0.015 \cdot 70)}} = 6.7, \text{ км}$$

Визначаємо загасання на прольоті:

$$A = 6.7 \cdot 0.00454 \cdot 14.75^{1.327} = 1.1, \text{ дБ}$$

Таким чином, неготовність, викликана дощем, становить (формула 3.19):

$$P_{\text{ДОЖ}} = 10^{11.628 \cdot (-0.546 + \sqrt{0.29812 + 0.172 \cdot \log(0.12 \cdot 0.155)})} = 8 \cdot 10^{-7} \quad (3.75)$$

$$K_{\text{НГ}} = 8.1 \cdot 10^{-7} + 8 \cdot 10^{-7} \approx 1.6 \cdot 10^{-6} \text{ при } K_{\text{НГ\_НОРМ}} = 0.0125$$

$$\text{SESR(худший місяць)} = 0,000271$$

За умови, що норма становить 0,003 для внутрішньої мережі протяжністю 50 км і менш. Таким чином, ніяке рознесення не потрібно.

### 3.12 Результати розрахунків

Проведені розрахунки за методикою Nera, а також за допомогою програми Territories в наближеному порівнянні збігаються, що доводить можливість використання розглянутої методики при розрахунках реальних трас. В таблиці 3.9 представлені розраховані якісні показники всіх прольотів проекрованої РРЛ.

Таблиця 3.9 – Якісні показники прольотів РРЛ

Найменування прольоту	$K_{НГ\_НОРМ}$	$K_{НГ}$	$SESR_{НОРМ}$	$SESR$	$SESR_{разнес}$
Запоріжжя – Малокатеринівка	$1.25 \cdot 10^{-2}$	$1.7 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3.05 \cdot 10^{-3}$	–
Малокатеринівка – Василівка	$1.25 \cdot 10^{-2}$	$1.62 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$6.3 \cdot 10^{-4}$	–
Василівка – Балки	$1.25 \cdot 10^{-2}$	$8.6 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$1.7 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-4}$
Балки – Енергодар	$1.25 \cdot 10^{-2}$	$1.41 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2.89 \cdot 10^{-3}$	–
Енергодар – Першотравневе	$1.25 \cdot 10^{-2}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$4.9 \cdot 10^{-2}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$
Першотравневе – Велика Лепетиха	$1.25 \cdot 10^{-2}$	$1.6 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$3.01 \cdot 10^{-3}$	–
Велика Лепетиха – Саги	$1.25 \cdot 10^{-2}$	$3.8 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$6.8 \cdot 10^{-2}$	$2.93 \cdot 10^{-3}$
Саги – Херсон	$1.25 \cdot 10^{-2}$	$1.6 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2.71 \cdot 10^{-4}$	–

## 4 ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ РОБОТИ

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування проекту

Основні умови раціонального планування НДР «Дослідження якісних показників цифрової радіорелейної лінії зв'язку на спроектованій ділянці «Запоріжжя – Херсон»» - скорочення термінів виконання розробок при мінімальних витратах трудових, матеріальних і грошових ресурсів.

Для цього необхідно вирішити наступні питання з планування НДР: визначення трудомісткості і тривалості; складання календарного графіка виконання; визначення витрат на проведення.

Визначення трудомісткості і тривалості НДР.

Весь комплекс науково-дослідних робіт можна поділити на типові етапи. По кожному етапу вказуються виконавці і трудомісткість або тривалість виконання робіт.

Трудомісткість НДР розраховується в норма-годинах або норма-днях витрат робочого часу основних виконавців і залежить від складності розробки та ступеня її новизни, кваліфікації виконавців, наявності у них навичок дослідницької роботи, від використовуваних матеріалів, вимог надійності, технічних умов, які комплектують схем і так далі .

Розрахунок тривалості виконання НДР і кожного її етапу виробляють відповідно до кількості виконавців по кожному етапу за формулою:

$$T_{\text{цикла}} = \frac{Q}{R_i \cdot q \cdot K_{\text{вн}}} , \quad (4.1)$$

де:  $T_{\text{цикла}}$  – тривалість циклу, днів;

$Q$  – трудомісткість робіт, людина-годин;

$R_i$  – кількість виконавців, чел .;

$q$  – тривалість робочого дня, год .

$K_{вн}$  – плановий коефіцієнт виконання норм на відрядних роботах.

Загальна тривалість циклу становить 60 днів, 12 робочих тижнів, кількість виконавців – 2, плановий коефіцієнт виконання норм складає 1,07.

У даній НДР дуже важко встановити загальну трудомісткість проведеної НДР. Це пов'язано з елементами невизначеності в процесі виконання більшості робіт. Їх трудомісткість і тривалість залежить від безлічі факторів, передбачити які неможливо. У цьому випадку використовують дві або три ймовірні оцінки часу. Ці оцінки виражаються в днях і є вихідними для розрахунку очікуваного часу виконання етапу робіт за формулою:

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

де:  $t_{ож}$  – очікувана оптимальна оцінка часу виконання етапу НДР, днів;

$t_{\min}$  – мінімально необхідний час на виконання роботи при найбільш сприятливих умовах, днів;

$t_{\max}$  – максимальні витрати часу на виконання робіт по даному етапу при несприятливих умовах, днів.

Звідси отримуємо очікувану оптимальну оцінку часу виконання НДР.

$$t_{ож} = (3 \cdot 45 + 2 \cdot 75) / 5 = 57 .$$

В таблиці 4.1 наведено розрахунок тривалості етапів НДР.

Таблиця 4.1 – Розрахунок тривалості етапів НДР

Етап НДР	Трудомісткість		Виконавці		Продовжить днів
	Люд.-год.	% Від вироблено	Спеціальність	Кол. чол.	
1 Підготовка (техніко-економ. Обґрунтування)	48	6,38	Радіоінженер	1	6
2 Виконання теоретичних розробок	96	12,77	Радіоінженер	1	11
3 Проведення досліджень (чисельний експеримент)	320	42,55	Радіоінженер, програміст	2	18
4 Порівняння з вже існуючими результатами	16	2,13	Радіоінженер	1	2
5 Уточнення тех. Завдання	24	3,19	Радіоінженер	1	3
6 Висновки і пропозиції	24	3,19	Радіоінженер	1	3
7 Складання та обговорення технічного звіту	160	21,28	Радіоінженер, програміст	2	10
8 Впровадження результатів	64	8,51	Радіоінженер, програміст	2	4
$\sum_{i=1}^n =$	752	100		2	57

Ступінь правильності визначення  $t$  перевіряють розрахунком дисперсії (розкиду між мінімальною і максимальною оцінки часу).

Дисперсія являє собою середнє значення квадрата відхилення тривалості роботи від її очікуваного значення і визначається за формулою:

$$\sigma = \left( \frac{(t_{\max} - t_{\min})}{5} \right)^2, \quad (4.3)$$

Чим більше значення дисперсії, тим менше ступінь невизначеності оцінки часу робіт з даного етапу.

В таблиці 4.2 наведено розрахунок тривалості НДР.

Таблиця 4.2 – Розрахунок тривалості НДР

Етапи НДР	Тимчасово оцінки НДР, днів			Дисперсія	Виконавці	
	tmin	tmax	тож		Спеціальність	Кіл. люд.
1 Підготовка (техніко-економ. Обґрунтування)	5	8	6,5	0,64	Радіоінженер	1
2 Виконання теоретичних розробок	10	16	13	2,56	Радіоінженер	1
3 Проведення досліджень (чисельний експеримент)	16	25	20,5	5,76	Радіоінженер, програміст	2
4 Порівняння з вже існуючими результатами	1	3	2	0,16	Радіоінженер	1
5 Уточнення тех. завдання	2	4	3	0,16	Радіоінженер	1
6 Висновки і пропозиції	2	4	3	0,16	Радіоінженер	1
7 Складання та обговорення технічного звіту	6	10	8	1,44	Радіоінженер, програміст	2
8 Впровадження результатів	3	5	4	0,16	Радіоінженер, програміст	2
$\Sigma =$	45	75	60	–		2

#### 4.1.2 Складання календарного графіка виконання НДР

Використовуючи дані табл. 4.1 і 4.2, побудуємо календарний графік виконання НДР.

Побудуємо мережевий графік. Для цього складемо перелік робіт і подій по табл. 4.3. Нульовою подією будемо вважати отримання завдання.

Таблиця 4.3 – Перелік робіт і подій для мережевого графіка

Номер події	Подія	Код роботи	Зміст роботи	Продовжить. роботи
1 Уточнення завдання	1	0-1	Уточнення технічних характеристик	1
2 Підбір та аналіз літератури і аналогів	2	1-2	Підбір та аналіз літератури і аналогів	2
3 Розрахунок в потреби в коштах і їх економіки	3	2-3	Розрахунок в потреби в коштах і їх економіки	2
4 Теоретичне рішення підвищення інформативності РЛС	4	3-4	Побудова моделі системи РЛС	6
5 Теоретичне розробка методик вимірювання кута місця РЛС	5	4-5	Побудова моделі для вимірювання кута місця РЛС	6
6 Чисельне рішення знаходження кута місця	6	5-6	Проведення експериментального дослідження	10
7 Знаходження похибок при експериментальному дослідженні	7	6-7	Проведення експериментального дослідження	10
8 Порівняння результатів з уже існуючими	8	7-8	Порівняння технічних характеристик	3
9 Уточнення тех. завдання	9	8-9	Уточнення тех. Завдання	2

## Продовження таблиці 4.3

Номер події	Подія	Код роботи	Зміст роботи	Продовжить. роботи
10 Висновки і пропозиції	10	9-10	Вирішення питань Рентабельності	3
11 Складання і обговорення звіту	11	10-11	Складання і обговорення звіту	10
12 Контрольні вимірювання	12	10-12	Контрольні вимірювання	15
13 Впровадження результатів	13	11-12	Впровадження отриманого рішення	3
				$\Sigma=60$

На рис. 4.1 зображено мережевий графік.

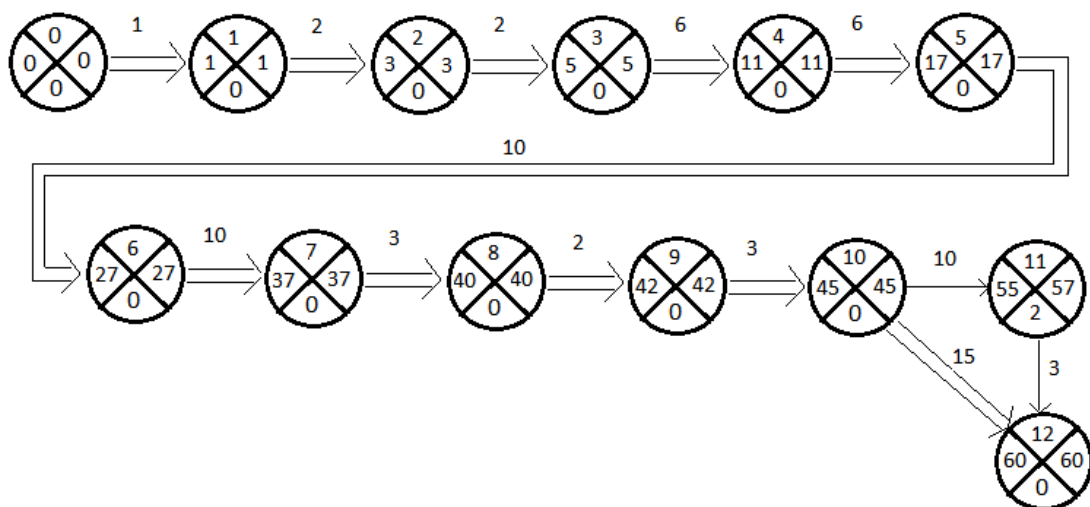


Рисунок 4.1 – Мережевий графік

Після складання мережного графіка визначаємо його параметри:

- $s$  – тривалість шляхів;
- $s_{кр}$  – тривалість критичного шляху;
- $t_p$  – резерв часу шляхів;

- $t_1$  – ранній термін здійснення події;
- $t_2$  – пізній термін здійснення події;
- $R_i$  – резерв часу, звершення події;
- $t_{ij}^{pn}$  – ранній термін початку роботи;
- $t_{ij}^{pz}$  – ранній термін закінчення роботи;
- $t_{ij}^{nn}$  – пізній термін початку роботи;
- $t_{ij}^{nz}$  – пізній термін закінчення роботи;
- $R_{ij}^n$  – повний резерв часу роботи;
- $R_{ij}^e$  – вільний резерв часу роботи;
- $K_{HL}$  – коефіцієнт напруженості шляху.

Результати розрахунку зводимо в таблицю 4.4-4.5.

Таблиця 4.4 – Розрахунок параметрів шляхів

Номер шляху	Номери подій, через які проходить шлях	Тривалість робіт, через які проходить шлях	Довжина шляху	Резерв шляху
1-10-12	1,2,3,4,5,6, 7,8,9,10,12	60	11	0
1-10-11-13	1,2,3,4,5,6,7, 8,9,10,11,13	58	12	2

Таблиця 4.5 – Розрахунок параметрів подій

Кількість робіт попередніх подій	Номер події	$t^p$	$t^n$	$R_i$
0	1	1	1	0
1	2	3	3	0
2	3	5	5	0
3	4	11	11	0
4	5	17	17	0
5	6	27	27	0
6	7	37	37	0
7	8	40	40	0
8	9	42	42	0
9	10	45	45	0
10	11	55	57	2
10	12	60	60	0
11	12	60	60	0

#### 4.2 Визначення витрат на проведення НДР

Для визначення грошових витрат на проведення науково-дослідницької роботи складемо кошторис витрат за статтями:

- паливо і енергія з боку;
- спеціальне обладнання і технологічне оснащення;
- амортизація універсального обладнання;
- заробітна плата основна і додаткова;
- відрахування на соціальне страхування.

### 4.2.1 Розрахунок вартості енергії

Витрати на силову енергію  $E_c$  визначаємо за формулою:

$$E_c = \frac{M_y \cdot \Phi_{\text{эфф}} \cdot K_i \cdot C_{\text{э}}}{\text{КПД}}, \quad (4.4)$$

де  $M_y$  – встановлена потужність енергетичних струмоприймачів обладнання, кВт;

$\Phi_{\text{эфф}}$  – ефективний фонд часу роботи даного виду обладнання, ч.;

$K_i$  – коефіцієнт використання енергетичних установок по потужності і часу;

$C_{\text{э}}$  – ціна 1 кВт / год електроенергії.

Визначимося в вихідних даних:  $M_y = 0.7$  кВт/ч,  $\Phi_{\text{эфф}} = 420$  годин,

$K_i = 0,85$ ,  $C_{\text{э}} = 2,68$ ,  $\text{КПД} = 0,7$ . Підставляючи дані в формулу, отримаємо  $E_c = 787$ .

Витрати на електроенергію інших видів Едв (стиснене повітря, пар, вода і ін.) Можна визначити за формулою:

$$\mathcal{E}_{\text{дв}} = \sum_{i=1}^m H_{\text{э}} \cdot \Phi_{\text{эфф}} \cdot C_{\text{э}}, \quad (4.5)$$

де  $H_{\text{э}}$  – норма витрати енергії на одиницю обладнання, що використовує даний вид енергоресурсів;

$C_{\text{э}}$  – ціна або вартість одиниці даного виду енергії, грн.;

$m$  – кількість одиниць обладнання, що використовують даний вид енергії.

Проведені розрахунки заносимо в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Розрахунок вартості енергоресурсів

Устаткування	Вид енергоресурсів	Норма витрат	Фефф	Вартість енергоресурсів (з ПДВ)	Ціна або вартіс., грн.
Комп'ютер	електроенергія	0.7	420	2,68	787
Стенд	електроенергія	0.4	44	2,68	47
Приймач	електроенергія	0,1	44	2,68	12
Разом					Σ=846

#### 4.2.2 Визначення витрат на розробку і проектування

У цю статтю витрат входить вартість основних і допоміжних матеріалів (папір, диски, картридж і т.д.) результати розрахунку наводяться в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Видаткова відомість

Найменування	Одиниці виміру	Ціна за одиницю виміру грн.	Кількість одиниць виміру	Сума витрат, грн.
Картридж для принтера	шт.	195	1	195
Бумага А4	лист.	0,3	500	150
Готовальня	шт.	360	1	360

Продовження таблиці 4.7

Найменування	Одиниці виміру	Ціна за одиницю виміру грн.	Кількість одиниць виміру	Сума витрат, грн.
Диски	шт.	10,5	4	42
Транспортні витрати	–	–	–	363
Разом	–	–	–	1110

#### 4.2.3 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.

$$A = \frac{C \cdot N_a \cdot n}{100 \cdot 12} \quad (4.6)$$

де  $C$  – вартість приладу, грн .;

$N_a$  – норма амортизації, %;

$n$  – кількість часу використання приладів.

Вартість спеціалізованого обладнання і розрахунок амортизаційних відрахувань зведемо у таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 – Сума амортизаційних відрахувань

Вид обладнання	Кільк. од-ц	Ціна за одиницю(грн.)	n, міс	Na, %	A,грн.
Комп'ютер	1	33000	3	3.33	2750
Стенд	1	11500	1	3.33	330
Приймач	1	5500	1	3.33	150
Всього: 3230 грн.					

#### 4.2.4 Розрахунок заробітної плати

Сума заробітної плати розраховується на основі зайнятості виконавців по окремих етапах робіт і середньоденного заробітку для кожної категорії персоналу.

Розрахунок основної заробітної плати розраховані в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Кіл., люд.	Місячний оклад, грн.	Середньоденна зарплата, грн.	Зайнятість НДР, днів	Підсумкова сума осн. зарплати, грн.
1	2	3	4	5	6
Радіоінженер	1	12300	534,78	60	32086,8
Програміст	1	8340	362,61	34	12328,74
Разом	2	20640	897,39		44415,54

До підсумкової суми основної зарплати робітників додана додаткова зарплата 15% від окладу що становить 6662,34 грн.

Разом ЗП та додаткова ЗП становить  $44415,54 + 6662,34 = 51077,88$  грн.

#### 4.2.5 Відрахування на єдиний соціальний внесок

Відрахування на єдиний соціальний внесок визначаємо в процентному співвідношенні від суми основної зарплати з урахуванням премій яка дорівнює 51077,88 грн. Відрахування становлять 22%.

Разом відрахування на єдиний соціальний внесок 11237,13 грн.

#### 4.2.6 Загально виробничі витрати

Загально виробничі витрати визначаємо в процентному співвідношенні від суми основний зарплати 44415,54. Витрати складають 30%.

Разом ЗВВ 13324,66.

В табл. 4.10 зазначено кошторис витрат на виконання НДР.

Таблиця 4.10 – Кошторис витрат на виконання НДР

Витрати	Сума, грн.	Питома вага до підсумку,%
Матеріали	1110	1,48
Основна заробітна плата	44415,54	59,29
Додаткова заробітна плата	6662,34	8,89
Відрахування на ЄСВ	11237,13	25,57
Загально виробничі витрати	13324,66	4,77
Всього	76484,77	100

### 4.3 Розрахунок економічної ефективності НДР, що мають теоретичний характер

Для теоретичних досліджень в більшості випадків важко або навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їх техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників:

- важливості дослідження для народного господарства;
- складності розробки;
- результативності та можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюють за його призначенням:

- вирішення проблемних питань;
- задоволення вимог спеціальної техніки;
- пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень і т.п.

Складність виконання роботи визначаємо порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з урахуванням грошових і трудових витрат на їх проведення.

Результативність НДР можна визначити за повнотою рішень поставленого завдання: отриманий результат планованого, відповідає запланованому, задовільне (часткове рішення) або негативний. Аналіз залежності між цими показниками і витратами на їх досягнення дає можливість визначити техніко-економічну ефективність. Кількісна оцінка техніко-економічної теоретичної НДР визначається за формулою:

$$K_{\text{НИР}} = \frac{J^n \cdot R_{\text{раб}} \cdot T_{\text{сл}}}{Z_{\text{НИР}} \cdot t_{\text{НИР}}}, \quad (4.7)$$

де  $K_{\text{НИР}}$  – рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР);

$J^n$  – важливість роботи;

$R_{\text{раб}}$  – результативність роботи;

$T_{сл}$  – технічна складність виконання НДР;

$Z_{ндр}$  – витрати на проведення НДР, тис. грн .;

$t_{ндр}$  – фактичний час виконання НДР, років;

$n$  – показник використання результатів НДР:

–  $n=0$  – результати НДР не використовуються;

–  $n=1$  – результати НДР використовуються частково;

–  $n=2$  – результати НДР використовуються в дослідно-конструкторських роботах (ОПР);

–  $n=3$  – результати НДР можуть бути використані без проведення ДКР.

При значенні  $K_{ндр} \geq 1$  досвідчена робота вважається ефективною.

Прийmemo  $J=2$  ,  $R=2$  ,  $T=5,5$  ,  $n=2$ .

$$K_{ндр} = \frac{2^2 \cdot 2 \cdot 5,5}{76 \cdot 0,5} = 1,143$$

Оскільки  $K_{ндр} \geq 1$ , то робота вважається ефективною. Таким чином, розрахований проект визначається економічно вигідним.

## **5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Оскільки тема дипломного проекту «Дослідження якісних показників цифрової радіорелейної лінії зв'язку на спроектованій ділянці «Запоріжжя – Херсон» всі розрахунки будуть проводитися в приміщенні конструкторське бюро (КБ).

У цьому розділі проаналізовані усі небезпечні та шкідливі фактори, які виникають в приміщеннях обладнаних комп'ютерами та іншими електронними приладами. Також тут описані заходи з забезпечення санітарії, гігієни та безпеки, які було вжито для створення сприятливих умов для роботи працівників.

### **5.1 Аналіз потенційних небезпек**

Основними потенційними небезпеками при роботі у КБ приміщені є такі небезпеки як:

- небезпека ураження електричним струмом, оскільки розробник під час проведення досліджень, увесь свій робочий час проводить за комп'ютером;

- небезпека ураження шкідливим випроміненням електричного та магнітного поля, яке виникає під час роботи моніторів на основі електронно-променевих трубок та системних блоків комп'ютера;

- небезпека перенавантаження органів зору;

- небезпека виникнення пожежі, у зв'язку із порушенням правил протипожежної безпеки робітниками дослідницького центру, або у зв'язку з несправністю електричного устаткування;

- негативний вплив недостатнього освітлення робочого місця на органи зору та на загальну продуктивність, через некоректно спроектовану систему освітлення або через її несправність;

- негативний вплив шуму на органи слуху та загальний психоемоційний стан людини, який виникає через використання несправних або застарілих периферійних приладів, освітлювальної техніки, кондиціонерів;
- негативний вплив на здоров'я, у зв'язку з неправильно спроектованої вентиляційної системою;
- виникнення перевантаження нерво-психічного характеру, які виникають у зв'язку з періодичними конфліктами з клієнтами та керівництвом під час вирішення робочих питань;
- небезпека виникнення механічних травм, уражень електричним струмом та порушень кістково-м'язового апарату у наслідок не правильно спланованого робочого місця;
- виникнення небезпечних ситуацій через не коректні дії працівників у надзвичайних ситуаціях.

## **5.2 Заходи щодо забезпечення безпеки**

Приміщення конструкторського бюро, у якому працює співробітник, відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом (ПУЕ).

Дане приміщення, обладнане необхідним електричним устаткуванням, яке живиться від змінного струму 220В від мережі з заземленою нейтраллю та відноситься до електроустановок до 1000В закритого виконання. За засобом захисту людини від ураження електричним струмом відповідає згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75\* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» І(стаціонарні комп'ютери) та ІІ (освітлювальні прилади, кондиціонери, опалювальні пристрої, ноутбуки, сканери) класу захисту.

Для забезпечення електробезпеки на робочому місці було виконано наступні групи заходів.

### 1. Конструктивні заходи.

Вони дозволяють за допомогою ізоляції струмопровідних частин (дротів) забезпечити захист від прямого дотику до струмопровідних частин.

Для всіх приладів II класу захисту було використано подвійну ізоляцію – електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової ізоляції.

Згідно з НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок» приміщення конструкторського бюро відноситься до класу пожежонебезпечної зони П-Па (приміщення, з твердими горючими речовинами), тому було використано IP44 ступінь захисту ізоляції обладнання.

Також, ізоляція усіх електронних приладів була перевірена на цілісність. У ході перевірки ніяких дефектів не було виявлено.

### 2. Схемно-конструктивні заходи.

Даний тип заходів призначений для забезпечення захисту працівників від ураження електричним струмом при не навмисному дотику до металевих конструкцій, наприклад у разі аварії.

Для вирішення цієї проблеми, у офісному приміщенні конструкторського бюро приміщенні, згідно з ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» було виконано занулення.

### 3. Організаційні заходи.

Експлуатація електроприладів і електроустаткування проводилася згідно з НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безопасной эксплуатации электроустановок» (далі «ПБЕЕ») та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безопасной эксплуатации электроустановок потребителей» (далі «ПБЕЕС»).

Для забезпечення захисту від надлишкового випромінення, напруженість електронних та магнітних полів була виміряна та не перевищила допустимі показники 80 В/м і 50 А/м.

Для запобігання перенавантаження травм органів зору та кістково-м'язового апарату, кожні дві години проводилися 10 хвилинні перерви для відпочинку.

Най типовішою травмою при роботі за комп'ютером є тунельний синдром, який трапляється у наслідок тривалої роботи з мишею. Для уникнення появи тунельного синдрому були впроваджені такі заходи:

- клавіатуру було встановлено на оптимальній висоті –70 см від підлоги;
- для роботи були обрані ергономічні і зручні клавіатура та миша;
- для роботи були обрані столи з можливістю регулювання висоти і нахилу клавіатури (відстань від поверхні стола до середини клавіатури була встановлена 25 мм, кут підйому клавіатури – 10°);
- була обрана клавіатура з підставкою для рук;
- для роботи був обраний килимок для миші з захистом від тунельного синдрому (з спеціальним виступом, який забезпечує правильне положення кисті);
- робоче місце було обладнане стільцем з підлокітниками.

Також для того, щоб процес роботи був безпечний та ефективний робоче місце було спроектовано згідно з загальними ергономічними вимогами встановленими в ДСТУ ISO 9241-1:2003«Ергономічні вимоги до роботи з відео терміналами в офісі. Частина 1. Загальні положення».

Було проведено планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні:

- робочі місця з ВДТ були розміщені на відстані 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями ВДТ була встановлена в 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не повинна була встановлена 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має був встановлений розміром 1 м.

### 5.3 Заходи по промсанітарії та гігієні 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» (Таблиця 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, по крайній мере, 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 освітленості приміщення пред'являються високі вимоги, пов'язані з явним переважанням зорової інформації (до 90% загального обсягу) 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 светорассеивающими шторами.

Розміри електронно-обчислювального залу: А – 7м; В – 4,5 м; Н – 3,5 м;  $h_p$  – 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  $E_n = 200$ 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.

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

Умовне кількість світильників згідно формули:

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

Світловий потік умовного модуля світла:

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

Для ламп ЛДЦ30 потужність  $P_{\text{л}} = 30\text{Вт}$ , світловий потік  $\Phi_{\text{л}} = 1500 \text{ лм}$  знайдемо реальну кількість ламп в умовному модулі світла ( $m$ ) і фактична кількість ламп в приміщенні ( $N$ ).

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

$$N_{\text{л}} = N^* \times n \times m = 6,22 \times 2 \times 1,2 = 14,9 \quad . \quad (5.8)$$

Вибираємо реальну кількість, 8 ламп в 2 ряди,  $N_{\text{л}} = 16$  шт.

Визначимо загальну розрахункову освітленість ( $E_{\text{р}}$ ) при використанні стандартних ламп:

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

Розрахункова освітленість повинна відповідати умові:

$$E_{\text{р}} = (-10 \dots +20 \%) E_{\text{н}} \quad . \quad (5.10)$$

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. Спроектвана 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 «Оборудование производственное. 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 и норми роботи з візуальними дисплейної 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.

#### **5.4 Заходи з пожежної безпеки**

Закон України «Про пожежну безпеку» визначає загальні правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на території України, регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб у цій галузі незалежно від виду їх діяльності та форм власності.

Клас пожежі у офісному приміщенні (згідно із ДБН В.1.1.7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва») – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, пластмаси, папір) визначається як клас А. Категорія приміщення (згідно із НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою») – визначається як категорії Д.

Було визначено тип та розраховано кількість первинних засобів пожежегасіння (згідно із ДБН В.1.1.7-2002 «Захист від пожежі. Пожежна

безпека об'єктів будівництва») – для адміністративного приміщення площею 31,5 м<sup>2</sup> слід застосовувати 2 порошкових вогнегасники типу ВП-5 (НАПБ Б.03.002-2007 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». ДБН В.1.1.7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»).

Крім цього офісне приміщення було обладнане автоматичними пожежними сповіщувачами моделі ДТЛ, що реагують на підвищення температури, дим, полум'я.

Меблі та були розміщені так, щоб забезпечити вільний евакуаційний прохід розміром 1,5 м до виходу з приміщення. В міру накопичення горючих відходів (використаного паперу тощо), а також після закінчення роботи всі відходи було прибрано у спеціально відведені сміттє збірники.

Документи, папір та інші горючі матеріали слід зберігатися на відстані, 1,0 м – від електрощитів, електрокабелів, проводів; 0,5 м – від світильників; 0,25 м – від приладів опалення.

Було впроваджене постійне освітлення електричним світлом шляхів евакуації, які не мають природного освітлення.

Електрощити, групові електрощити повинні були оснащені схемами підключення споживачів з пояснювальними написами і вказаним значенням номінального струму апарата захисту (плавкої вставки).

Пожежні сповіщувачі функціонували цілодобово і постійно утримувалися в чистоті. До них має був забезпечений вільний доступ. Відстань від складованих матеріалів і устаткування до сповіщувачів повинна становити 0,6 м.

Усі засоби протипожежного захисту утримувалися у справному стані. Для всіх працівників був проведений інструктаж для того, щоб вони навчилися користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння та внутрішніми пожежними кранами та знали місця їх розташування. Відстань від найвіддаленішого місця в офісному приміщенні центрі до найближчого вогнегасника 5 м.

Кожного дня, у всіх, незалежно від призначення, приміщеннях, які після закінчення роботи замикаються і не контролюються черговим персоналом, з усіх електроустановок та електроприладів, а також з мереж їх живлення відключалася напруга (за винятком чергового освітлення, протипожежних та охоронних установок).

### **5.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях**

Організація і проведення рятувальних та інших невідкладних робіт полягає у виконанні заходів, передбачених чинним законодавством з питань ліквідації наслідків стихійного лиха, аварій і катастроф, епідемій і епізоотій, що створюють загрозу життю і здоров'ю населення. Для організації і проведення рятувальних та інших аварійно-невідкладних робіт під час ліквідації наслідків стихійних лих, аварій, катастроф, епідемій, що створюють загрозу життю і здоров'ю населення створюються формування цивільної оборони. До проведення таких робіт залучаються: невоєнізовані формування ЦО, медичні організації та військові частини і підрозділи.

Для проведення рятувальних та невідкладних аварійних робіт необхідно:

- завчасно спланувати дії формувань цивільної оборони як при загрозі нападу так і під час проведення рятувальних та невідкладних аварійних робіт;
- перевірити та уточнити плани цивільної оборони на навчаннях, що проводяться на об'єктах;
- організувати з робітників та службовців, студентів формування цивільної оборони та підготувати їх для роботи в осередках ураження;
- оснастити формування цивільної оборони індивідуальними засобами захисту, приладами, майном, технікою;
- вивести в найкоротші строки формування цивільної оборони, створені в містах, в заміську зону, розмістити їх в завчасно намічених районах й привести в готовність до проведення рятувальних робіт;

– організувати управління та керівництво формуваннями цивільної оборони при проведенні рятувальних робіт.

До заходів, що необхідні під час проведення рятувальних робіт відносять: розвідка маршрутів для формувань ЦО, локалізацію та гасіння пожеж, пошук і рятування людей з-під завалів та зруйнованих захисних споруд, надання першої медичної допомоги та евакуацію потерпілих, санобробку людей та знезараження їх одягу, знезараження місцевості, споруд, техніки.

Під невідкладними роботами в осередках ураження розуміють:

- локалізація аварій;
- ліквідація або укріплення аварійних споруд;
- прокладання шляхів на заражених територіях і проїздів у завалах;
- знешкодження боєприпасів, вогне- та вибухонебезпечних предметів;
- відновлення та ремонт пошкоджених захисних споруд.

Рятувальні роботи в закладі (установі) поділяють на два етапи:

- перший етап триває з моменту отримання сигналу про небезпеку до прибуття спеціалізованих формувань цивільної оборони;
- другий етап – від прибуття формувань цивільної оборони до виконання ними поставлених завдань (вивезення (виведення) членів колективу в безпечну зону, евакуацію поранених у лікувальні заклади).

На першому етапі рятувальні роботи організовує начальник цивільної оборони закладу чи установи, а виконує їх увесь колектив разом із невоєнізованими формуваннями цього закладу.

До складу невоєнізованих формувань входять такі групи: зв'язку, із забезпечення громадського порядку, протипожежної служби, медичної допомоги, протирадіаційного та протихімічного захисту.

1. Група зв'язку складається з керівника групи та помічників (черговий біля телефону та посильні). Завдання групи – оповіщення членів колективу про загрозу виникнення надзвичайної ситуації, передача сигналу структурам цивільної оборони міста (району), підтримка засобів зв'язку у стані постійної

готовності, забезпечення штабу цивільної оборони навчального закладу засобами зв'язку.

2. Група із забезпечення громадського порядку, керівник – працівник установи, який відповідає за її охорону. Завдання групи: забезпечити охорону закладу, підтримати порядок у випадках надзвичайних ситуацій, надання допомоги керівництву під час евакуації.

3. Група протипожежної служби: бере участь у розробці протипожежних профілактичних засобів, здійснює контроль за їх виконанням, забезпечує постійну готовність до використання засобів пожежогасіння, локалізує та гасить пожежу, надає допомогу у проведенні спеціальної обробки території.

4. Група медичної допомоги: організовується на базі медичного пункту закладу чи установи. Завдання групи: організовує і проводить санітарно-гігієнічні та профілактичні заходи, надає медичну допомогу ураженим, допомагає їх евакуації до лікарень, проводить часткову санітарну обробку уражених.

5. Група протирадіаційного та протихімічного захисту, організовує видачу засобів індивідуального захисту, здійснює контроль за радіаційною та хімічною ситуацією у закладі та на прилеглий території, за станом сховищ та укриттів, бере участь у заходах з ліквідації наслідків радіаційного та хімічного зараження.

При ліквідації наслідків НС виникає необхідність в організації рухомих пунктів харчування, речового і продовольчого забезпечення.

Підрозділи громадського харчування (пересувні пункти харчування ЦО) призначені для забезпечення гарячим харчуванням особового складу формувань в районах розміщення та при проведенні рятувальних і невідкладних аварійних робіт, а також потерпілого населення в загонах першої допомоги. Таким пунктом керує начальник пункту. При пункті створюються три ланки.

З них дві ланки приготування та роздачі їжі (командир ланки, старший повар, повари (3 чол.), робітники (2 чол.), водій). До ланок прикріплюються по

одному вантажному автомобілю та по одній пересувній кухні (котлові). Можливості пересувного пункту харчування за 10 годин роботи: приготувати і роздати їжу на 1200 чол.

6. Ланка забезпечення (командир, кладовщик-дозиметрист, бухгалтер, робітники (4 чол.), водії (3 чол.)). До ланки прикріплюється по одному вантажному автомобілю, авторефрижератору та автоводоцистерні.

7. Підрозділи торгівлі продовольчими товарами (пересувні пункти продовольчого постачання ЦО) призначені для забезпечення особового складу формувань продуктами харчування (сухим пайком) при відсутності можливості приготування гарячої їжі.

Пересувним пунктом керує його начальник. На пункт призначається кладовщик. При пункті організується декілька ланок (5) фасування та роздачі сухих пайків (командир ланки, дозиметрист, фасувальники-роздатчики (3), водій) До пункту прикріплюється вантажний автомобіль з причепом. Орієнтовні можливості пункту за 10 годин роботи: скомплектувати та видати 5000 сухих пайків.

Підрозділи торгівлі промисловими товарами (пересувні пункти речового постачання ЦО) призначені для забезпечення санітарних пунктів та загонів першої медичної допомоги одягом, білизною та взуттям. Пересувним пунктом керує його начальник. На пункт призначається кладовщик. При пункті організується декілька ланок (5) речового постачання (командир ланки, дозиметрист, роздатчики (4), водій). До пункту прикріплюється вантажний автомобіль з причепом.

## ВИСНОВКИ

В даному проекті мною був проведений розрахунок ЦРРЛ на ділянці «Запоріжжя – Херсон». Вибір обладнання для організації ЦРРЛ на апаратурі SDH проведений з таких міркувань: по-перше, через економічну ефективність, що відображено в ТЕО проекту, а по-друге, з урахуванням забезпечення резерву розширення зв'язку протягом найближчих десяти років. В якості основного постачальника РРЛ апаратури обрана НПФ ТОВ «Микран» і її обладнання МІК-РЛ7С. Переваги даного обладнання:

- можливість використання при низьких температурах (-550);
- близькість постачальника і його сервісного центру;
- низька ціна в порівнянні з зарубіжними аналогами.

У той же час існує ряд недоліків:

- немає напрацьованої експлуатаційної статистики в північних умовах (вище 600 пн.ш.);
- складність розширення системи (на даний момент реалізовані конфігурації 2 + 1, 2 + 0, 1 + 1);
- параметри апаратури трохи гірші від закордонних аналогів.

Одне із завдань в ТЗ полягала в розробці схеми організації зв'язку на проектованій ділянці. Для побудови такої схеми необхідно точно уявляти собі структуру і функціональні можливості постачається фірмою радіорелейного обладнання. Мною була проаналізована інформація про радіорелейного обладнання таких фірм, як Nec, Nera і Harris. Було виявлено, що найбільш використовуваними радіорелейними рішеннями для організації зв'язку на потоці STM-1, є Nec DMR3000S, Nec Pasolink +, Harris TRuepoint, Nera InterLink і CityLink. Хоча щодо DMR3000S і Nera InterLink були знайдені хороші відгуки, основна проблема постала в знаходженні схем організації зв'язку на даному обладнанні. Саме, це дозволило зробити остаточний вибір щодо використання апаратури МІК-РЛ7С.

Розрахунок коефіцієнта неготовності РРЛ був виконаний за методикою Nera, також як і знайдені висоти підвісу антен. Інший важливий параметр SESR, був знайдений за допомогою програми Territories, оскільки його точної методики розрахунку мною не було знайдено. Необхідність просторового рознесення антен визначалася за коефіцієнтом SESR, норми на який були взяті з рекомендацією G.826 ITU-T. Таким чином, РРЛ був використаний. Висоти підвісу антен вибиралися виходячи з висоти проєктованих або існуючих веж зв'язку, а також забезпечення просвіту між перешкодою на ділянці профілю та першої зони Френеля. Проте, в деяких випадках допускалося часткове закриття зони (по нормам при РРВ немає істотного вплив на рівень сигналу при закритті траси до 60% від першої зони Френеля передавача).

В роботі були проведені економічні розрахунки проте прибутковості інвестицій в систему зв'язку такого рівня набагато складніше, в тому числі, потрібно врахувати: старіння існуючого обладнання та постійне збільшення витрат на його обслуговування; оренду потоків для реалізації схем взаєморезервування і т.д.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Евсеенко Г.Н. Цифровые системы передачи: учебное пособие [Текст] / Г.Н. Евсеенко. – Ростов-на-Дону: РКСИ, 2005. – 100 с.
2. Маковеева М.М. Системы связи с подвижными объектами: учебное пособие для вузов [Текст] / М.М. Маковеева, Ю.С. Шинаков. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.
3. Баркун М.А. Цифровые системы синхронной коммутации [Текст] / М.А. Баркун, О.Р. Ходасевич. – М.:Эко-Трендз, 2001. – 187 с.
4. Крук Б.И. Телекоммуникационные системы и сети. Т1. Современные технологии: учебное пособие [Текст] / Б.И. Крук, В.Н. Попантонопуло, В.П. Шувалов. – 4-е изд. испр. и доп. – Новосибирск: Сиб. предприятие «Наука» РАН, 1998. – 523 с.
5. Методика расчета трасс аналоговых и цифровых РРЛ прямой видимости. – М., 1987. – 243 с.
6. Справочник по радиорелейным системам; Международный союз электросвязи. – Женева: Бюро радиосвязи, 1996. – 354 с.
7. Проектирование радиорелейных линий прямой видимости: Ингвар Хенне, Пер Торвальдсен – Берген: Nera Telecommunications, 1994. – 153с.
8. Методика расчета трасс аналоговых и цифровых РРЛ прямой видимости – Москва, 1987. – 243 с.
9. Мордухович Л.Г. Системы радиосвязи. Курсовое проектирование: учеб. пособие для вузов [Текст] / Л.Г. Мордухович, А.П. Степанов. – М.: Радио и связь, 1987. – 192 с.