

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

**Інститут телекомунікаційних систем  
Кафедра Телекомунікаційних систем**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Л.О. Уривський

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломна робота**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**з напрямку підготовки 6.050903 Телекомунікації  
(172 Телекомунікації та радіотехніка)**

**на тему: «Дослідження сучасних методів побудови систем  
загоризонтного зв'язку»**

Виконав (-ла):

студент (-ка) IV курсу, групи ТС-51

Клин Іван Максимович \_\_\_\_\_

Керівник:

Доцент, к.т.н, доц.

Міночкін Д.А. \_\_\_\_\_

Рецензент:

Доцент, к.т.н, доц.

Скулиш М.А. \_\_\_\_\_

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

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Інститут телекомунікаційних систем**  
**Кафедра Телекомунікаційних систем**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки – 6.050903 «Телекомунікації» (172 Телекомунікації та радіотехніка)

Програма професійного спрямування – «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Л.О. Уривський

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

**Клину Івану Максимовичу**

1. Тема роботи «Дослідження сучасних систем методів побудови систем загоризонтного зв'язку», керівник роботи Міночкін Д.А., доцент, к.н.т., доц., затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом роботи \_\_\_\_\_
3. Вихідні дані до роботи: системи тропосферного зв'язку, підвищена потужність передавачів.
4. Зміст роботи: 1) Обґрунтувати актуальність теми. Розглянути системи та особливості тропосферного зв'язку; 2) Аналіз використання пасивних ретрансляторів; 3) Розглянути БПЛА; 4) Порівняти дві моделі: методика для радіоліній, розташованих на території колишнього СРСР та методика на основі використання пасивного ретранслятора за допомогою БПЛА.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)
6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Збір даних та аналіз існуючих систем	10.12.2018- 3.02.2019	
	Аналіз рішення пасивних ретрансляторів	4.02.2019-4.03.2019	
	Розгляд існуючих тропосферних систем зв'язку	5.03.2019-5.04.2019	
	Розгляд систем радіорелейної лінії з пасивним ретранслятором	7.04.2019- 10.05.2019	
	Розрахункова частина	10.05.2019- 25.05.2019	
	Загальний висновок	25.05.2019- 1.06.2019	

Студент

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

Текстова частина дипломної роботи: 52 с., 18 рис., 3 табл., 16 джерел.

Мета роботи — аналіз та вдосконалення методів побудови систем загоризонтного зв'язку, з метою підвищення рівня інформатизації та надання сучасних послуг зв'язку.

В даній роботі розглядаються основні принципи побудови загоризонтного зв'язку з усіма її особливостями та були порівнянні методика для радіоліній, розташованих на території колишнього СРСР та методика на основі використання пасивного ретранслятора за допомогою БПЛА.

Завдання роботи: 1) Збір даних та аналіз існуючих систем; 2) Аналіз рішення пасивних ретрансляторів; 3) Розгляд існуючих систем тропосферного зв'язку; 4) Розгляд радіорелейної лінії з пасивним ретранслятором; 5) Розрахункова частина;

Новизна: в ході виконання роботи було проаналізовано, на базі отриманої моделі розрахунку тропосферного зв'язку, ефективність досліджуваної системи на базі безпілотних літальних апаратів (БПЛА) у порівнянні з традиційною тропосферною лінією зв'язку.

Структура роботи. Робота складається із реферату, змісту, списку умовних скорочень, вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, загального висновку та списку використаних джерел.

## ABSTRACT

The purpose of the work is to analyze and improve the methods of construction of foreshortening systems, in order to increase the level of informatization and provision of modern communication services.

In this paper we consider the basic principles of constructing a forehorizon connection with all its peculiarities and have comparable methods for radio lines located on the territory of the former USSR and a technique based on the use of a passive repeater with the help of UAV.

Tasks of the work: 1) Data collection and analysis of existing systems; 2) Analysis of the decision of passive repeaters; 3) Review of existing tropospheric communication systems; 4) Consideration of the relay line with a passive repeater; 5) Estimated part;

Novelty: during the work the analysis of the tropospheric link calculation model, the efficiency of the system under investigation on the basis of unmanned aerial vehicles (UAVs) was compared with the traditional tropospheric communication line.

Structure of work: The work consists of an abstract, a table of contents, a list of conditional abbreviations, an introduction, three chapters, conclusions to each section, a general conclusion and a list of sources used.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 Історія розвитку тропосферного зв'язку.....	11
1.2 Системи тропосферного зв'язку.....	14
1.3 Особливості передачі по ТРЛ.....	15
1.4 Висновки до 1-го розділу .....	22
2 Реалізація створення радіосистем з ретрансляцією .....	23
2.1 Принципи створення радіосистем з ретрансляцією з пасивними ретрансляторами .....	24
2.1.1 Радіорелейні лінії з пасивним ретранслятором .....	32
2.2 Безпілотні літальні апарати.....	33
2.2.1 Класифікація безпілотних літальних апаратів.....	35
2.2.2 Огляд бездротових каналів зв'язку для дистанційного керування Мультикоптера.....	37
2.3 Висновок до 2-го розділу.....	38
3 Розрахункова частина тропосферного зв'язку.....	40
3.1 Параметри оцінки.....	40
3.2 Модель розрахунку ТРЛ розташованих на території колишнього СРСР.....	41
3.3 Розрахункова модель параметрів радіоліній з використанням пасивного ретранслятора.....	49
3.4 Аналіз отриманих результатів .....	49
3.5 Висновки до 3-го розділу.....	52

					<b>НТУУ1068-с.06.ТС-51.2019.ПЗ</b>			
<b>Змн.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>	<i>Дослідження сучасних методів побудови систем загоризонтного зв'язку</i>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Акрушів</b>
Розроб.		Клин І.М.						
Перевір.		Міночкін Д.А.					7	55
Реценз.		Скупиш М.А.						
Н. Контр.		Новіков В.І.						
Затверд.		Уривський Л.О.						

ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

					НТУУ162/4020Ір-08.08ТМ-41.2008.ПЗ	Лист
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

*Англомовні скорочення:*

MFR – Most Forward within Radius;

TDR – Tracking and Data Relay;

DTR – Data Terminal Ready;

*Україномовні скорочення:*

ФМ – фазова модуляція;

УВЧ – ультрависокі частоти;

ТРЛС – тропосферна радіорелейна лінія зв'язку;

УКХ – ультракороткі хвилі;

ТРЛ – тропосферна радіорелейна лінія;

СТЗ – станція тропосферного зв'язку;

РРЛ – радіорелейна лінія;

БПЛА – безпілотні літальні апарати ;

ДТР - дальній тропосферний зв'язок;

А – антени;

ПС – поляризаційні селектори;

РФ – розділові фільтри;

Пр - приймачі;

П – передавачі;

КК – пристрої комбінування сигналів;

ЧД – частотні детектори;

АП – апаратура поділу каналів;

ЧС – частотний модулятор;

## ВСТУП

Успішний розвиток радіозв'язку супроводжується збільшенням швидкостей і обсягів переданої інформації. Для передачі зростаючих потоків інформації з малими втратами використовують сигнали з більш широкою смугою (шириною спектра), що вимагає розширення діапазону частот, займаного системою зв'язку. У свою чергу, передача сигналів з більш широкою смугою вимагає переходу на більш високі несучі частоти (коротші хвилі). Тим більше що розширювати смугу робочих частот систем зв'язку в уже освоєних діапазонах хвиль стає неможливим через тісноту в ефірі. Історично склалося так, що в першу чергу були освоєні довгохвильові ділянки радіодіапазону, а для перспективних радіотехнічних систем, як міжнародними угодами, так і національними стандартами, резервувалися області більш високочастотних сигналів.

В результаті, сучасні системи зв'язку освоюють діапазони все більш коротких хвиль (все більш високої частоти). До переваг діапазонів ультракоротких хвиль відноситься також несуттєвий рівень атмосферних і індустриальних перешкод. Крім того, широкосмугові сигнали дозволяють використовувати прогресивні види модуляції і методи обробки сигналів, що забезпечують найкращі характеристики завадостійкості прийому.

У той же час потрібно пам'ятати, що радіохвилі з довжиною хвилі коротше 10 метрів можна ефективно використовувати лише в межах кордонів прямої видимості.

За останні 10 років у багатьох країнах світу широкого поширення набув радіозв'язок, заснований на далекому тропосферному поширенні дециметрових і сантиметрових хвиль. Можливість стійкого прийому радіосигналів на значній відстані від лінії горизонту заснована на відображенні і розсіянні радіохвиль на діелектричних неоднорідностях тропосфери. При цьому, загасання радіосигналів різко зростає. Крім того,

сигнал на приймальному кінці лінії має багатопроменеву структуру і тому схильний до інтерференційним завмирань.

У всіх розвинених країнах світу переглядається роль тропосферних засобів зв'язку в загальній системі зв'язку. Якщо раніше тропосферні радіолінії використовувалися в основному як магістральні засоби зв'язку, то в даний час при наявності розвинених супутникових систем з великою пропускнуою здатністю вони виступають в якості резервних ліній, а також коштів внутрішньозонного й місцевого зв'язку. Великий інтерес проявляється до різних модифікацій мобільних тропосферних засобів, що використовуються для відомчого зв'язку. В СРСР розроблений і знаходиться в експлуатації цілий ряд таких коштів. В даний час закінчується розробка апаратури контейнерного типу для внутрішньозонного зв'язку. Ця аналого-цифрова апаратура забезпечить на відстані 150 ... 200 км передачу в аналоговому режимі 12 стандартних каналів тональної частоти, в цифровому - бінарного потоку зі швидкістю 512 кбіт / с. Передача інформації в цифровій формі дозволяє підвищити ефективність тропосферних ліній при використанні завадостійкого кодування в поєднанні з декореляції помилок.

## 1 ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ТРОПОСФЕРНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Перша тропосферна радіорелейна лінія була побудована в США в 1955 році і працювала в діапазоні частот 500-700 МГц на відстані близько 250 км між сусідніми станціями. У наступні роки відбувся перехід на більш високі частоти (до 5000-6000 МГц). Діапазон зв'язку внаслідок більшого ослаблення при поширенні радіохвиль у цьому випадку зменшується, проте пропускна здатність системи зв'язку зростає, а спотворення переданої інформації зменшуються. Щоб підвищити надійність, вони почали використовувати квадропрієм з просторовим і частотним розділенням, а також прийом більш високих кратностей з кутовими розділеннями. З'явилися мобільні військові радіосистеми. Триває інтенсивна робота по використанню лінії DTR для зв'язку Земля-літак і Земля-корабель. Розвиток радіотехніки та електроніки в останні роки дозволив побудувати тропосферні лінії зв'язку на частотах 500–1000 МГц, з відстанню між сусідніми станціями до 800, а в деяких випадках сприятливими для умов поширення радіохвиль. , до 1000 км. Це вимагало створення радіопередавачів потужністю до 100 кВт, антенних систем, площа яких наближається до 2000 м<sup>2</sup> приймального пристрою з шумовою температурою 70-150 ° К і спеціальними пристроями, що покращують порогові властивості ФМ. Як правило, смуга пропускання переданих сигналів на лініях наддовгого тропосферного розповсюдження (MFR) не перевищує 100-200 кГц. Це дозволяє відправляти по 12-24 телефонних каналу.

Ще одним можливим аспектом використання лінії СТР є створення одноканальних внутрішньо регіональних ліній зв'язку з низькими енергетичними параметрами. Розрахунки показують, що такі лінії можуть бути дуже економічними.[1]

Поряд зі збільшенням довжини ділянок лінії, розвиток систем зв'язку з використанням TDRs слідує по шляху розширення смуги переданих сигналів. Це досягається, зокрема, за допомогою вузькопроменевих антен; Хоча майже

не спостерігається збільшення енергетичних параметрів обладнання, оскільки збільшення антен збільшується, вузький пучок електромагнітної енергії забезпечує невеликі затримки між окремими компонентами багатопроменевого сигналу в точці прийому і, отже, малими спотвореннями. Розширення смуги передачі дозволило передавати телевізійні сигнали разом з лініями DTR разом із звуком. Є повідомлення про використання імпульсної кодової модуляції на лініях TDR. Для розширення смуги частот і зменшення спотворень при широкомасштабному розповсюдженні УВЧ на дальній відстані використовуються новітні методи боротьби з багатопроменевістю, використовуючи сигнали з широкою базою. [1]

Апаратура радіорелейних ліній прямої видимості, т. Е. 40 км при відсутності ретрансляторів, не могла забезпечити зв'язком ні Крайню Північ, ні віддалені райони Сибіру. Ретрансляційні станції вимагали створення інфраструктури, необхідної для забезпечення життєдіяльності обслуговуючого персоналу. Економічні витрати на інфраструктуру часто виявлялися не сумірними з потребами в галузі зв'язку. Це стало підставою для дослідження нових принципів поширення радіохвиль, що забезпечують передачу великих обсягів інформації на значні відстані. [1]

В СРСР дослідження тропосферного поширення радіохвиль з метою створення апаратури зв'язку почалися в середині 1950-х років.

Ідея створення ліній тропосферного зв'язку з відстанями між пунктами в сотні кілометрів належала радянському вченому В. А. Смирнову [2]. Особливість цих ліній полягає в використанні ефекту розсіювання радіохвиль на неоднорідностях (спорадичних шарах) атмосфери. Для далекої тропосферного зв'язку потрібні потужні передавальні пристрої, антени з великим посиленням, високочутливі приймачі багаторазового прийому з порогозанижчуючими системами.

Найбільш підходящим для тропосферних систем з відстанями між пунктами 200-300 км був діапазон 700-1000 МГц. На підставі теоретичних досліджень, аналізу вітчизняної та зарубіжної літератури, порівняння різних

систем багаторазового прийому була вироблена структура побудови, як окремих станцій, так і всієї лінії далекого тропосферного зв'язку. Перша вітчизняна тропосферний станція ТР-60/120 була побудована в 60-х роках минулого століття.

На апаратурі ТР-60/120 в 60-70-х роках була побудована мережа тропосферних ліній протяжністю понад 15 000 км, що містить 55 проміжних станцій. Була побудована лінія тропосферного зв'язку між СРСР і Індією довжиною 700 км (між містами Душанбе і Срінагар), яка в 1981 р зв'язала дві найбільші столиці світу - Москви і Делі.

Спроба здійснити передачу чорно-білого телебачення в діапазоні 700-1000 МГц успіху не мала, а ось в діапазоні 5000 МГц це стало можливим.

Поява в кінці 1960-х - початку 70-х засобів супутникового зв'язку і широке їх застосування починаючи з 1980-х років значно скоротили область використання ТРЛС [3].

Не дивлячись на широке (і все більш зростаючий) застосування супутникових засобів в мережах і системах зв'язку і розвиток провідних мереж, можна вважати, що кошти тропосферного заобрійної зв'язку перспективні для використання як в мережах спеціального, так і комерційного призначення особливо в важко доступній місцевості.

У мережах спеціального призначення перевагою тропосферних засобів перед супутниковими, є більш висока живучість в умовах збройних конфліктів і / або антитерористичних заходів.

У комерційних мережах застосування тропосферних засобів в деяких випадках може бути економічно доцільніше, ніж застосування супутникових. Використання тропосферних станцій можливо також при розгортанні ліній зв'язку в високих північних широтах, де застосування супутникового зв'язку через геостаціонарні супутники принципово неможливо.

За рахунок більшої протяжності інтервалів лінії заобрійної зв'язку мають перевагу перед лініями прямої видимості при організації зв'язку в важкодоступних, гірських і малонаселених районах.

## 1.2 Системи тропосферного зв'язку

Тропосферний радіохвиля поширюється між точками земної поверхні по траєкторії, що лежить в тропосфері. Енергія тропосферного радіохвилі коротше 100 см розсіюється на неоднорідностях тропосфери. При цьому частина енергії потрапляє на приймальну антену РРС, розташованої за межами прямої видимості на відстані 250 ... 350 км. Ланцюжок таких РРС утворює тропосферні радіорелейний лінію (ТРЛ) (рис. 1.1) .На будь РРС встановлюють антени, приймально-передавальну апаратуру і допоміжні пристрої (апаратуру телеобслуговування, службового зв'язку, гарантованого електроживлення та ін.). Комплекс апаратури, що забезпечує нормальну роботу РРЛ (або ТРЛ), називають радіорелейною системою.

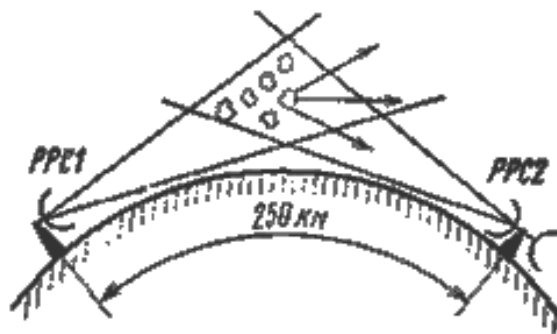


Рисунок 1.1 До пояснення принципу роботи ТРЛ

Механізм проведення далекого поширення радіохвиль на УКХ може бути зумовлений багатьма чинниками. Найбільш часто можливо далеке проходження з розсіюванням радіохвиль на неоднорідностях тропосфери. Регулярна далекий зв'язок з використанням розсіювання хвиль на неоднорідностях тропосфери вимагає високого енергетичного потенціалу радіостанцій. В аматорських умовах при обмежених розмірах антен і потужності передавачів регулярна далекий зв'язок можлива при посиленні антени 10-16 dBd і потужності передавача 10 Вт на відстанях до 300-500 км. Сила сигналів невелика і вони мають характерні тимчасові завмирання

(федінга). Найбільш вдалий час для таких тропосферних зв'язків - час після заходу сонця. При підвищенні енергетичного потенціалу станцій (посилення антен 16-20 dBd pwr 1 KW) радіус подібних зв'язків зростає до 600-800 км. У літній період на 2 метровому діапазоні частішає виникнення позитивної рефракції. Найбільш часто воно спостерігається в ранкові години, виникаючи в ясну погоду, після прохолодної ночі, при високому атмосферному тиску, через 20-30 хв після сходу сонця і продовжуючись, часом, до декількох годин. Сила сигналів істотно вище (на 10-20 dB), ніж при тропосферній розсіянні. Влітку, а особливо восени, виникає каналне тропосферне проходження. Характерним ознаками є високий атмосферний тиск, що починає знижуватися, наявність атмосферних фронтів. Дане проходження дозволяє проводити зв'язку на відстані до 1000-2000 км при помірній потужності, близько 100 Вт, і антени з посиленням 10-15 dBd.[4]

### 1.3 Особливості передачі по ТРЛ

Принципи побудови тропосферних радіорелейних ліній (ТРЛ) характеризуються рядом особливостей, пов'язаних зі специфікою передачі радіосигналів [5]. Створення ТРЛ стало можливим після того, як було відкрито явище далекого тропосферного поширення (ДТР) УКХ. ДТР відбувається за рахунок відображення і розсіювання радіохвиль турбулентними і шаруватими неоднорідностями тропосфери. При цьому поле в точці прийому створюється в результаті переопромінювання тільки тих неоднорідностей, які знаходяться в межах обсягу Q, утвореного перетином діаграм спрямованості передавальної і приймальної антен (рис 1.2). Якщо використовувати антени з високою спрямованістю (великим коефіцієнтом посилення), то обсяг переопромінювання буде зменшуватися.

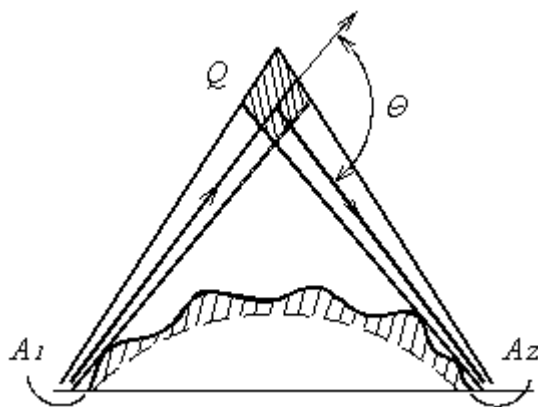


Рисунок 1.2 Модель поширення УКХ на прольоті ТРЛ

В результаті цього зростання рівня сигналу на виході прийомної антени  $A_2$  може відставати від зростання посилення антени. Дане явище прийнято називати втратою посилення антен. Переопромінювати обсяг  $Q$  тропосфери грає роль пасивного ретранслятора.  $Q$  характеризується значною просторовою і тимчасовою неоднорідністю. Розсіювання радіосигналу в обсязі  $Q$  відбувається в різні боки і лише незначна частина його надходить в точку прийому. Чим більше кут розсіювання  $Q$  (рис.1.2), тим менше кут сигналу. [5]

Все це в цілому приводить до наступних особливостей в передачі сигналів по ТРЛ:

1. Оскільки для переопромінювання можна використовувати навіть верхні шари тропосфери (в помірних широтах висота тропосфери становить 10-12 км), протяжність прольотів  $R$  на ТРЛ може перевищувати 1000 км (при цьому антени можна розташовувати безпосередньо на Землі). Однак, з урахуванням інших особливостей відстань між станціями вибирають частіше в межах 200 ... 400 км. [5]

2. У слідстві значного ослаблення сигналів на прольотах доводиться істотно збільшувати енергетичний потенціал системи. На ТРЛ застосовують передавачі потужністю до 10 кВт, антени розмірами до  $30 \times 30$  м<sup>2</sup> і відповідно коефіцієнтом посилення до 50 ... 55 дБ, малозумні приймачі [5].

3. Через просторово-часові неоднорідності переопромінювання обсягів тропосфери сигнали, що приймаються на ТРЛ схильні як швидким, так і повільним завмирань. Перші обумовлені інтерференцією безлічі радіохвиль, переопромінювання різними ділянками розсіювання в обсязі Q. Тривалість швидких завмирань змінюється від сотих часток секунди до декількох секунд. На протязі 5 ... 10 хв випадковий процес зміни рівня сигналу наближено можна вважати стаціонарним. Для цього інтервалу часу на основі статистичних даних можна визначити медіанне значення множника ослаблення  $V_m$ , тобто таке значення  $V$ , яке перевищується (або не перевищується) протягом 50% зазначеного часу спостереження. Розподіл миттєвих значень множника ослаблення  $V$  при швидких завмираннях задовільно апроксимується законом Релея [5]. При цьому виражена у відсотках часу інтегральна функція розподілу:

$$T(V) = 100\{1 - \exp[-0.69(V/V_m)^2]\} \quad (1.1)$$

Повільні завмирання пов'язані зі зміною метеорологічних умов на трасі. З урахуванням повільних завмирань процес зміни рівня сигналу в цілому є нестаціонарним. Математичною моделлю повільних завмирань прийнято вважати розподіл випадкових величин  $V_m$  щодо медіанного значення, визначеного за тривалий термін, наприклад за місяць або рік. Найчастіше використовується медіанне значення ( $V_{m,m}$ ), яке розраховується на основі статистичних даних про зміну  $V_m$  протягом одного місяця спостереження. Коливання  $V_{m,m}$  протягом року пов'язують з сезонними завмираннями (місячна медіана рівня сигналу в літні місяці приблизно на 10 дБ більше, ніж взимку). Для боротьби з повільними і сезонними завмираннями ефективні адаптивні системи з каналом зворотного зв'язку, за яким можна управляти потужністю і (або) частотою передавача. [5]

Для швидких завмирань на ТРЛ зміна сигналів в будь-який момент часу неоднорідні в різних областях простору і частот, тому для боротьби з швидкими завмираннями організовують паралельні канали передачі, що відрізняються частотами (рознесення по частоті) і (або) траєкторіями

поширення хвиль (рознесення в просторі за рахунок використання різних областей переопромінювання і (або) кількох взаємно віддалених прийомних антен). При відносному частотному розносі  $\Delta f / f_0 = 2 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^3$  або розносі антен в перпендикулярному трасі напрямку на 70 ... 100 довжин хвиль завмирання сигналів в окремих каналах стають некорельованими. В цьому випадку, наприклад, для системи  $m$ -кратного рознесеного прийому з автовибором більшого із сигналів (сигналу більшої потужності в точці прийому), розподіл результуючої величини множника ослаблення:

$$T(V) = 100\{1 - \exp[-0.69(V/V_m)^2]\}^m \quad (1.2)$$

що вказує на підвищення стійкості зв'язку в порівнянні з одинарним прийомом,  $T(V)$  визначається (1.1). [5]

4. Селективні завмирання по частоті перешкоджають передачі по ТРЛ широкосмугових сигналів (як аналогових, так і цифрових), так як при широкому спектрі переданих сигналів селективні завмирання викликають зміни фазових і амплітудних співвідношень спектральних компонентів, тобто спотворюється спектр, а, отже і форма сигналів. У груповому телефонному сигналі виникають перехідні перешкоди як при використанні методу ЧРК-ФМ, так і при імпульсної (цифровий) модуляції. Селективні завмирання є наслідком багатопроменевого поширення радіохвиль. Якщо відносне запізнювання променів  $\Delta t$  перевершує тривалість одного цифрового сигналу  $\tau$ , то виникає явище луна, спотворюється форма сигналів. [5]

Пов'язане з селективними завмираннями обмеження смуги частот при передачі аналогових і цифрових сигналів вказує на недостатню пропускну здатність ТРЛ. Дійсно, число ТФ каналів в одному стволі ТРЛ поки не велика (120 ТФК). Для передачі телебачення застосовують спеціальне обладнання, використовують частоти в діапазоні 4 ... 6 ГГц, антени з шириною діаграми спрямованості не більше  $0.3^\circ$ . [5]

Для боротьби з швидкими завмираннями найбільшого поширення набули різні варіанти рознесеного прийому і застосування широкосмугових

складових сигналів. Так як завмирання на ТРЛ вельми інтенсивні, на цих лініях часто вдаються до комбінованих видів рознесення сигналів. [5]

На рис.1.3 представлена спрощена структурна схема АФТ і приймально-передавальної апаратури ОРС для одного дуплексного стовбура ТРЛ, на якій передбачений зчетверений прийом з рознесенням сигналів по частоті і простору (на ПРС і УРС обсяг обладнання відповідно збільшується). До складу схеми входять антени (А), поляризаційні селектори (ПС), розділові фільтри (РФ), приймачі (Пр), передавачі (П), пристрої комбінування сигналів (КК), частотні детектори (ЧД), апаратура поділу та об'єднання каналів (АР) і (АТ), частотний модулятор (ЧС) і перехідник (Р). Сусідня станція лінії передає однакові повідомлення на різних несучих частотах  $f_1$  та  $f_2$ . Ці сигнали приймаються рознесеними в просторі антенами А1 і А2, і через ПС і РФ надходять в приймачі. У КК1 і УК2 комбінуються сигнали проміжної частоти  $f_{пр}$  з виходів приймачів, налаштованих на однакові несучі частоти, але з'єднаних з різними антенами. Таким чином, КК1 і УК2 реалізують ефект просторового рознесення. [5] У УК3 здійснюється після детекторне комбінування сигналів, рознесених по частоті. У зворотному напрямку зв'язку однакові повідомлення, також передаються на різних частотах  $f_3$  і  $f_4$ .

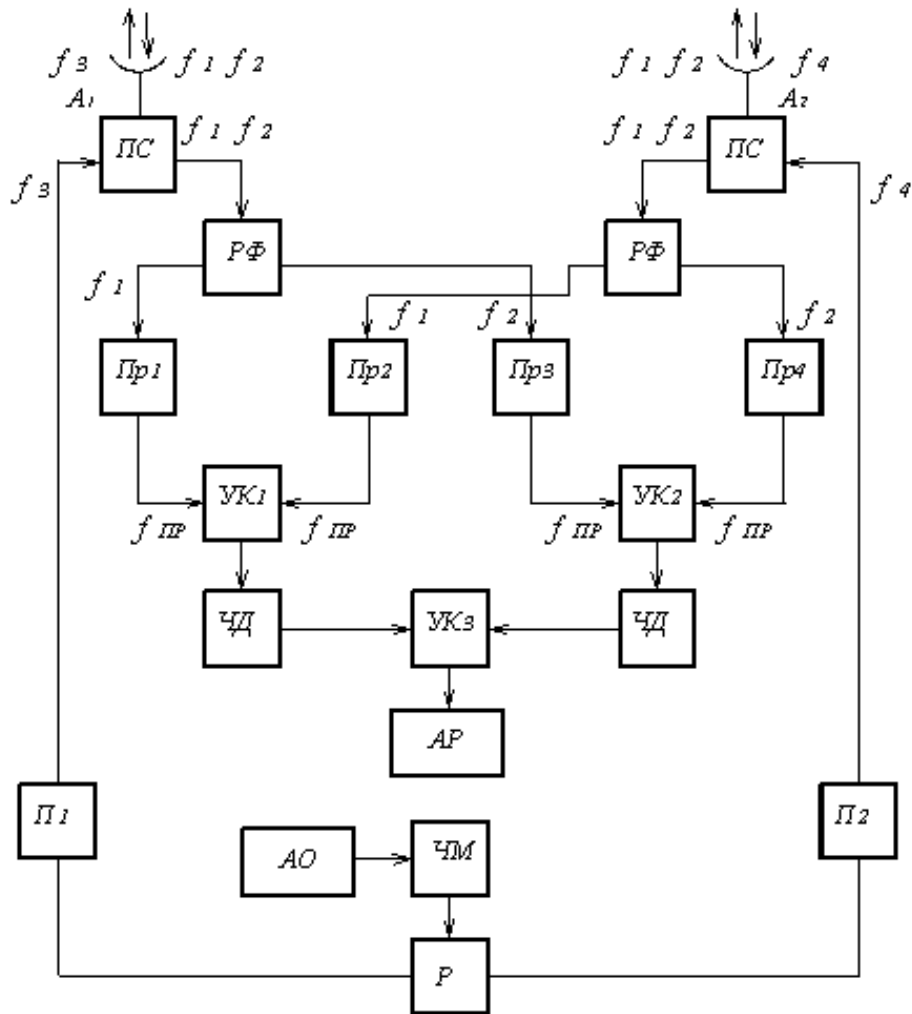


Рисунок 1.3 Спрощена структурна схема ОРС при зчетвереному прийомі.

Використані на ТРЛ антени параболічного типу не забезпечують достатню величину коефіцієнта захисної дії.[5] При значних потужностях передавачів і високої чутливості приймачів це створює реальну небезпеку перешкод, викликаних прийомом сигналів з протилежного напрямку зв'язку. Тому на ТРЛ, як правило, застосовують чотирьохчастотний план. Таким чином, з урахуванням того, що розноситься по частоті для одного дуплексного стовбура потрібно вісім робочих частот. Причому різниця частот передачі і прийому в одній антені (з метою спрощення розв'язуючих фільтрів) встановлюється досить великий: для систем, що працюють на частотах нижче 1000 МГц, ця різниця дорівнює приблизно 40 МГц, а для систем працюють на частотах вище 1000 МГц, близько 80 МГц .

У загальному випадку комбінування сигналів в КК1, УК2 і УК3 може проводитися за принципом лінійного оптимального складання або шляхом автоматичне написання. Будь-який з цих варіантів може бути реалізований в УК3, коли комбінуються сигнали після ЧД. Умовою нормального лінійного або оптимального складання в КК1 і УК2 є синфазність сигналів на частоті  $f_{пр}$ . [5]

ТРЛ знаходить дуже обмежене застосування і з розвитком зв'язку з використанням штучних супутників Землі (ШСЗ) їх значимість істотно знизилася.[5]

У табл.1 наведені параметри вітчизняних тропосферних радіорелейних систем передачі:

Таблиця 1. Параметри вітчизняних ТРЛ

Тип апаратури	Діапазон частот, ГГц	Середня відстань між станціями, км	Число каналів ТЧ, шт.
"Горизонт М"	0.8...1	300	60
ТР-120	0.8...1	300	120
ДТР-12	0.8...1	600	12

## 1.4 Висновки до 1-го розділу

У першому розділі ми ознайомились з історією розвитку та особливостями тропосферного зв'язку. З'ясували, що тропосферне розсіювання залежить від наступних факторів:

- Вологість;
- Температура;
- Географічне розташування;

Визначили, що тропосферний зв'язок має ряд переваг [6]:

- Підвищена дальність зв'язку;
- Мінімальні вимоги до рельєфу місцевості;

Але основними недоліками існуючих тропосферних засобів зв'язку є [7]:

- відсутність портативних і малогабаритних рішень;
- великі габарити апаратних машин;
- низька пропускна здатність станцій тропосферного зв'язку (СТЗ);
- великий час розгортання і входження в зв'язок;
- вплив погодних умов на сигнал;

Так як система тропосферного зв'язку – це підвид РРЛ з ретрансляцією, то необхідно роздивитися, як ці проблеми будуть вирішуватися в нижче наведених системах.

## 2 РЕАЛІЗАЦІЯ СТВОРЕННЯ РАДІОСИСТЕМ З РЕТРАНСЛЯЦІЄЮ

Ретрансляція сигналів може проводитися:

- По високій або по проміжній частоті - ретрансляція без демодуляції сигналів;
- По груповому спектру частот - з одним ступенем демодуляції;
- По спектру індивідуальних каналів - з двома ступенями демодуляції сигналів;

На лінії великої протяжності, як правило використовуються всі три види ретрансляції.

При ретрансляції по високій частоті сигнал, прийнятий з одного напрямку зв'язку, посилюється на станції з метою компенсації загасання, випробуваного їм на трасі зв'язку, після чого випромінюється в напрямку наступної станції. Оскільки посилення сигналу має становити 100 дБ і більше, то безпосереднє посилення на прийнятій частоті не застосовується, так як це може привести до самозбудження підсилювача.[8] На проміжній частоті здійснюється зрушення частоти сигналу на величину порядку 40 МГц і більше, посилення сигналу і його передача наступній станції.(рис.2.1)



Рисунок 2.1 Ретрансляція по високій частоті

Іншою ретрансляцією, що частіше застосовується, без демодуляції сигналу є ретрансляція по проміжній частоті. Сигнал високої частоти

перетвориться у напругу проміжної частоти, по якій він піддається основному посиленню, після чого, знову перетвориться в напругу високої частоти, що подається до антени, яка працює в напрямку наступної станції. Структурна схема такого способу ретрансляції зображена на рис.2.2.

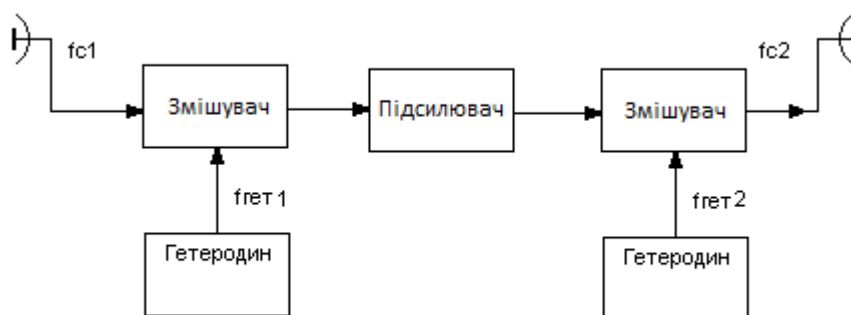


Рисунок 2.2 Ретрансляція по проміжній частоті

Очевидно, для того щоб не виникло самозбудження, частоти гетеродинів  $f_{гет1}$  і  $f_{гет2}$ , а отже, входні і вихідні частоти  $f_{c1}$  і  $f_{c2}$ , повинні бути різними.

Недолік схеми полягає в тому, що нестабільність частоти вихідного сигналу  $f_{c2}$  залежить не тільки від нестабільності частоти сигналу  $f_{c1}$ , але і від нестабільності частот двох гетеродинів  $f_{гет1}$  і  $f_{гет2}$ . [8]

При великому числі ретрансляції відбувається збільшення додаткової нестабільності. Цей недолік може бути усунутий, якщо застосувати перетворення частоти так, щоб частотні нестабільності, що вносяться двома гетеродинами, компенсували один одного. [8]

## 2.1 Принципи створення радіосистем з ретрансляцією з пасивними ретрансляторами

Зустрічаються такі умови, коли впевнений прийом телевізійних передач виявляється неможливий через надмірно низького рівня напруженості поля в точці прийому. Це може бути пов'язано з великою

відстанню до телевізійного передавача, але іноді причина полягає в тому, що несприятливий рельєф місцевості і точка прийому розташована в улоговині. При цьому прямому проходженню сигналу перешкоджає наявність пагорба або гірської перепони. В таких умовах вдаються до використання активного або пасивного ретранслятора.

Активний ретранслятор являє собою сукупність прийомної антени, радіоприймача повного телевізійного сигналу, перетворювача частотного спектра, радіопередавача перетвореного сигналу і передавальної антени. Перетворювач частотного спектра необхідний для того, щоб передача сигналу ретранслятором проводилася на іншому частотному каналі щодо того каналу, по якому сигнал був прийнятий. Це потрібно для усунення перешкод для тих телевізорів, які можуть потрапити в зону, де можливий прийом і основного сигналу, і ретрансльованого. У перші роки розвитку масового телебачення, коли число телевізійних центрів було небагато, деякі радіолюбительські колективи створювали активні ретранслятори для забезпечення можливості впевненого прийому телевізійних передач в своєму населеному пункті. В даний час мережа діючих телевізійних центрів і державних активних ретрансляторів стала настільки густою, що вибрати вільний номер каналу, що не створює перешкод сигналам оточуючих передавачів, часом буває неможливо. Тому органами міністерства зв'язку категорично заборонена споруда аматорських активних ретрансляторів. Установка ж державних активних ретрансляторів проводиться за планом, з урахуванням вже діючих передавачів в кожному регіоні і їх частотних смуг. При цьому найчастіше для установки нового ретранслятора доводиться змінювати номери каналів діючих телецентрів і ретрансляторів. [9]

Пасивний ретранслятор відрізняється тим, що не містить приймально-передавальної або підсилювальної апаратури, а прийом і передача здійснюються виключно антенними системами.

Розрізняють пасивні ретранслятори трьох типів: заломлюючий, відображаючий і перешкоджаючий. [9]

Ретранслятор заломлюючого типу в найпростішому випадку являє собою комбінацію двох гостронаправлених антен, одна з яких орієнтована па антену передавача, а друга спрямована в точку прийому. Таким чином, проводиться переопромінювання сигналу в потрібному напрямку. [9]

Ретранслятор відображаючого типу виконується у вигляді одного або двох плоских антенних дзеркал, які забезпечують зміну напрямку поширення сигналу. Антени ретрансляторів заломлюючого і відображаючого типів повинні бути виконані з високою точністю робочих поверхонь при великих розмірах полотен цих антен, що доходять до сотень квадратних метрів в телевізійному діапазоні частот. Крім того, повинна бути забезпечена жорстка фіксація робочих поверхонь антен в просторі, що вимагає використання наджорстких опор. Тому ретранслятори заломлюючого і відображає типів останнім часом рідко знаходять застосування на державних лініях зв'язку і абсолютно неприйнятні в радіоаматорських умовах для прийому телевізійних передач. [9]

Пасивний ретранслятор типу перешкоди був запропонований в 1954 р Г. З. Айзенбергом і А. М. Моделем. Такий ретранслятор представляє собою металеву поверхню, розташовану між передавачем і приймачем, що знаходяться відносно передавача в зоні тіні (рис.2.3). За відсутності ретранслятора антена передавача, встановлена в точці А, практично не створює в точці прийому Б електромагнітного поля, так як точка прийому затінена. При установці на шляху поширення сигналу в точці В перешкоди, в точці Б виникає поле. [9]

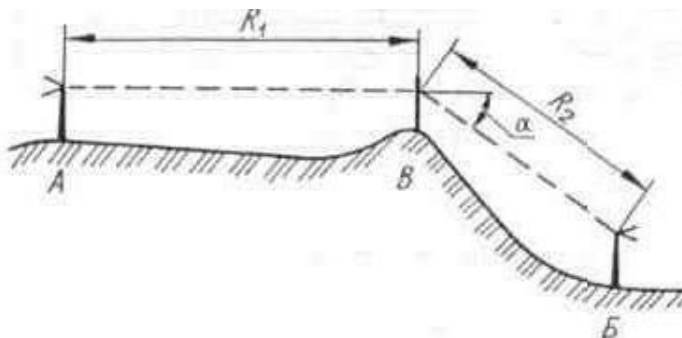


Рисунок 2.3 До поясненням установки пасивного ретранслятора

Це зв'язано з тим, що перешкода відповідно до принципу Гюйгенса порушується падаючої на нього хвилею і стає джерелом вторинного випромінювання. При відповідному виборі форми і розмірів перешкоди напруженість поля в точці Б може виявитися значною і достатньою для впевненого прийому телевізійного сигналу. Роль перешкоди в тому, що на трасі поширення сигналу утворюються поверхню з нульовою напруженістю поля на тій стороні, яка звернена до пункту прийому. [9]

Деформації робочої поверхні ретранслятора типу перешкоди, викликані вітром, або відхилення її через неточності виготовлення не впливають на інтенсивність випромінювання і на рівень напруженості поля в точці прийому. Це - основна перевага ретрансляторів типу перешкоди перед ретрансляторами заломлюючого і відображає типів. Тому полотно ретранслятора типу перешкоди може бути виконано не у вигляді жорсткої металевої конструкції, а у вигляді дротяної сітки, жорсткість ж конструкції рами такої сітки визначається виключно необхідної механічною міцністю. Відпадає також необхідність виконання юстирування робочої поверхні ретранслятора після його установки, обов'язкової для ретрансляторів заломлюючого і відображає типів. Все це вказує на те, що пасивні ретранслятори типу перешкоди можуть знайти широке застосування для впевненого прийому телевізійних передач в складних рельєфних умовах при їх установці радіоаматорами. [9]

Оптимальна форма полотна ретранслятора типу перешкоди - дугоподібна. Однак практично через те, що горизонтальні розміри полотна значно менше відстані до ретранслюються передавача, дуга вироджується в пряму, і такі ж результати дає полотно прямокутної форми. [9] Полотно ретранслятора встановлюють у вертикальній площині, перпендикулярній лінії, що з'єднує точки А і Б. Установка полотна ретранслятора на опорах показана на рис.2.3. Найбільша висота полотна дорівнює висоті зони Френеля і може бути визначена за формулою (2.1):

$$b_m = \frac{\lambda}{2 \sin \alpha} \quad (2.1)$$

Найбільша ширина полотна визначається допустимим розкодуванням полів, що випромінювали серединою і краями полотна (2.2):

$$a_m = 1.7 \sqrt{\lambda R_2} \quad (2.2)$$

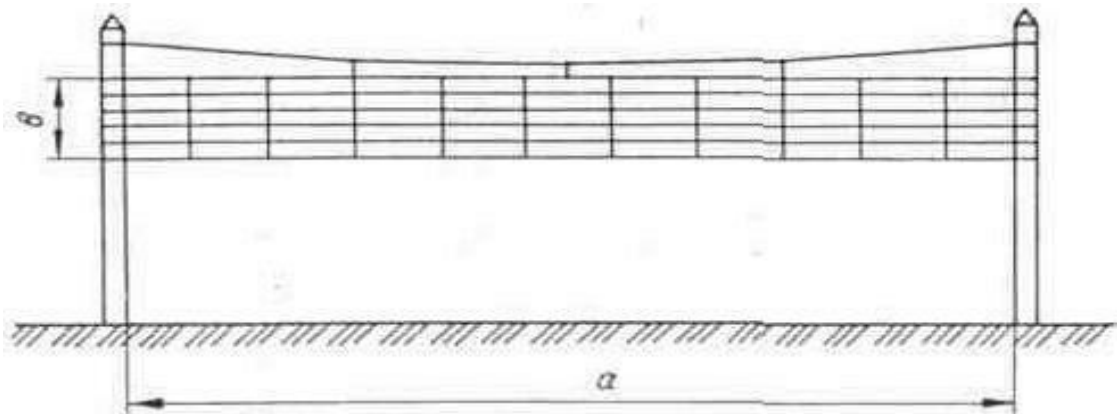


Рисунок 2.2 Полотно пасивного ретранслятора

У цих формулах  $L$  - довжина хвилі прийнятого телевізійного каналу,  $\alpha$  - кут між напрямками падаючого на полотно поля і випроміненого поля на пункт прийому,  $R_2$  - похила відстань між полотном ретранслятора і приймальною антеною. Формули справедливі, коли відстань між передавальною антеною і ретранслятором значно більше відстані між ретранслятором і приймальною антеною. В іншому випадку замість  $R_2$  слід підставляти в формулу значення  $R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$ . Розміри полотна виходять в метрах, якщо також в метрах виражені відстані. [9]

При розрахунку розмірів пасивного ретранслятора слід врахувати, що отримані розміри є максимально допустимими: збільшення цих розмірів призводить до зниження ефективності ретранслятора. Фактично в діапазонах I і II метрових хвиль ці розміри можуть виявитися реально нездійсненними. Наведемо такий приклад. Припустимо, відстань від передавача до ретранслятора  $R_1 = 30$  км, відстань від ретранслятора до прийомної антени  $R_2 = 1$  км, а кут між цими напрямками  $\alpha = 10^\circ$ . Тоді для першого

телевізійного каналу з довжиною хвилі  $L = 6$  м найбільша висота полотна вийде рівною 17, 3 м, а найбільша ширина полотна 132 м. У таких умовах полотно може бути виконано менших розмірів, хоча ефективність ретранслятора, яка пропорційна площі поверхні полотна, зменшиться. Для тих же умов, якщо ведеться прийом передач по 12-му каналу з довжиною хвилі 1, 32 м, розміри полотна виявляються вже ближче до реальності: висота - 3, 7 м, ширина - 61, 3 м. Нарешті, для 33-го каналу дециметрового діапазону хвиль при довжині хвилі 0, 53 м розміри полотна виходять ще менше: висота - 1, 5 м, і ширина - 39, 1 м. [9]

Ефективність пасивного ретранслятора типу перешкоди можна характеризувати відношенням напруженості поля в точці розміщення ретранслятора до напруженості поля в точці прийому:

$$\frac{E_{\eta}}{E_B} = \frac{\lambda R_2}{S_{ef}}, \quad (2.3)$$

де  $S_{ef}=0.5ab$  - ефективна поверхня полотна ретранслятора. Тут коефіцієнт 0.5 враховує расфазировку полів, що випромінювали всією поверхнею ретранслятора, а також зменшення напруженості поля в точці прийому за рахунок просочування частини енергії поля крізь полотно ретранслятора максимально допустимих розмірів і перетворити формулу для ефективної поверхні полотна ретранслятора [9]:

$$\frac{E_{\eta}}{E_B} = \frac{\sin \alpha}{0.425} \sqrt{\frac{R_2}{\lambda}} \quad (2.4)$$

Напруженість поля в точці прийому виявиться в 5,3; 11,2 і 18 разів менше напруженості поля в точці установки ретранслятора відповідно для 1, 12 і 33-го каналів. [9]

З перетвореної формули видно, що при малих кутах  $\alpha$  напруженість поля в точці прийому обернено пропорційна цьому кутку, а її залежність від відстані до ретранслятора і від довжини хвилі слабкіше, оскільки їх значення входять в формулу під знаком радикала, якщо розміри полотна обрані максимально допустимими. У той же час максимальні розміри полотна

залежать від довжини хвилі, зі зменшенням довжини хвилі вони також зменшуються, особливо висота полотна, яка залежить від довжини хвилі першого ступеня. Таким чином, ефективність ретранслятора, при зменшенні довжини хвилі, можна було б збільшити, якби можна було збільшити розміри полотна понад гранично допустимого рівня. Це виявляється можливо, якщо полотно зробити не суцільним, а скласти з декількох горизонтальних смуг, що перекривають зони Френеля через одну, тобто, один знак. У зв'язку з тим, що в дециметрових діапазонах хвиль максимально допустима висота полотна виявляється невеликою, можна виконати полотно з двох або трьох смуг, причому висота кожної смуги і відстань між ними по висоті беруться рівними знайденому значенню максимальної висоти полотна. Такі ретранслятори називаються багатоелементними. [9]

Ефективність багатоелементного ретранслятора типу перешкоди зростає пропорційно квадрату числа смуг. Таким чином, якщо в наведеному прикладі виконати полотно ретранслятора для 33-го каналу з трьох смуг заввишки 1,5 м кожна з відстанню між ними по висоті також 1,5 м, ефективність ретранслятора збільшиться в 9 разів. При цьому напруженість поля в точці прийому виявиться вже не в 18 разів менше напруженості поля в точці установки ретранслятора, а всього в два рази.

На рівнинній місцевості при великій протяжності траси використання електронних пасивних ретрансляторів типу перешкоди стає нереальним через наступні випадки. Установка ретранслятора повинна проводитися в такій точці траси, де напруженість поля досить велика, а ця точка зазвичай знаходиться за десятки кілометрів від точки прийому. Зі збільшенням цієї відстані падає ефективність ретранслятора при рівній ефективної поверхні полотна. Кут між напрямками падаючого на ретранслятор поля і випромінюючого на пункт прийому зменшується до часток градуса, що призводить до збільшення максимально допустимої висоти полотна. При цьому установка багатоелементного ретранслятора навіть для дециметрового діапазону стає нереальною в зв'язку з тим, що у ретрансляторів в таких

умовах висота кожної смуги і відстаней між ними по висоті виявляються неприпустимо великими. [9]

Пасивні ретранслятори типу перешкоди доцільно встановлювати в умовах, коли точка прийому закрита в напрямку на передавач прилеглою високою перешкодою, а на вершині цієї перешкоди, на якій буде встановлено ретранслятор, напруженість поля сигналу досить велика. Тоді полотно ретранслятора вдається виконати максимально допустимих розмірів навіть для першого телевізійного каналу, а для 12-го каналу ретранслятор може бути виконаний з багатоелементних. [9]

Розглянемо тепер практичне виконання полотна ретранслятора. Теорія пасивних ретрансляторів заснована на припущенні, що перешкода являє собою суцільний металевий лист. Однак на практиці полотно виконують у вигляді дротяної сітки. Такі сітки добре відображають електромагнітні хвилі, якщо поляризація падаючого поля паралельна проводам сітки. Тоді при горизонтальній поляризації сигналу полотно повинно бути виконано у вигляді горизонтальних дротів, а при вертикальній поляризації - вертикальних. Відстань між проводами повинно бути значно менше робочої довжини хвилі. Можна вважати достатнім, якщо їх відношення буде не менше 20. Діаметр проводів також має значення: чим більше діаметр проводів, тим менше просочуються потужність і тим краще працює полотно. Хороші результати при виготовленні полотна ретранслятора дає антенний канатик. Для забезпечення міцності проводу полотна можна скріпити поперечними проводами будь-якого діаметру, зваривши всі крапки перетинів. Відстані між поперечними проводами вибирається довільно з міркувань механічної міцності. Полотно ретранслятора встановлюють на двох або декількох опорах. Якщо використовуються проміжні опори, всі частини полотна повинні знаходитися в одній площині. Прямокутна форма полотна забезпечується його підвіскою до капронового шнуру. Ізолювати полотно від опор немає необхідності. Висота нижньої кромки полотна над

поверхнею землі повинна бути не менше кількох довжин хвилі прийнятого каналу. [9]

При використанні пасивного ретранслятора приймальня антена повинна бути орієнтована в напрямку на його полотно не тільки по азимуту, але також і по куту місця. Тому геометрична вісь антени виявляється не горизонтальною, як зазвичай, а повинна розташовуватися під відповідним кутом до горизонту. [9]

### 2.1.1 Радіорелейні лінії з пасивним ретранслятором

В умовах, коли на прогоні немає прямої оптичної видимості, досить часто застосовують пасивні ретранслятори. Відбиває дзеркало можна встановити на середині прольоту, як правило, на пагорбі або на горі. Важливий кут між нормаллю і напрямом падаючого сигналу, так як коефіцієнт передачі системи пропорційний косинусу цього кута. На практиці це означає, що розробник радіолінії стикається з дилемою. [10] При прагненні розмістити пасивний ретранслятор в середині прольоту це призводить до збільшення можливої дальності прямої видимості, але, одночасно, збільшує кут між падаючим і відбитим променем. Як правило, прагнуть зробити цей кут менше, а коефіцієнт передачі пасивного ретранслятора вище.

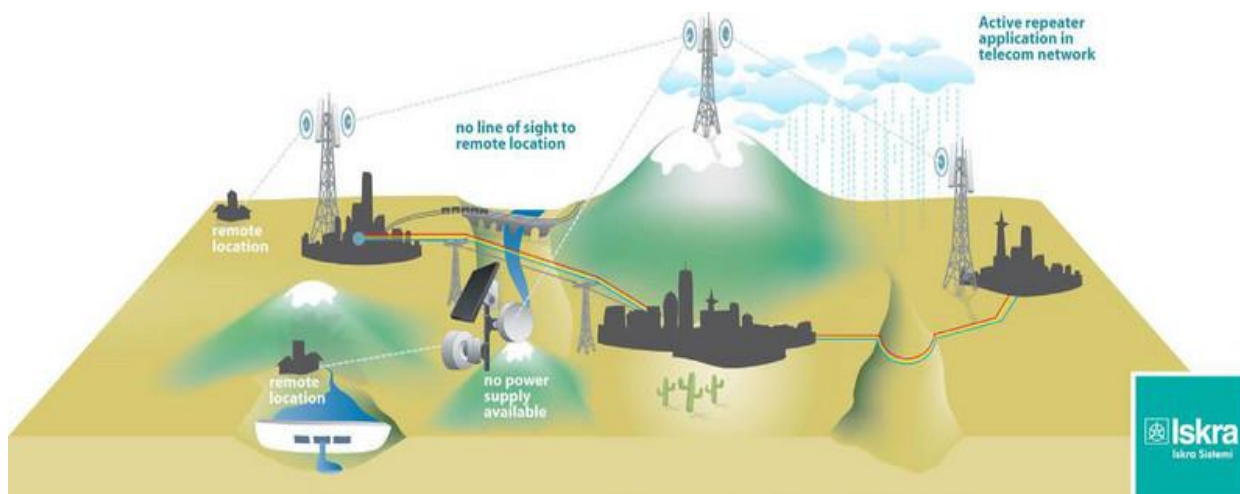


Рисунок 2.3 Радіолінія з пасивним ретранслятором [10]

Рис.2.3 демонструє варіант, коли розробник вирішив збільшити коефіцієнт передачі системи за рахунок збільшення довжини траси. Кут між падаючим і відбитим променями становить  $18^\circ$ . Площа дзеркала дорівнює 68 кв. метрам, при цьому потрібно близько 10 тон стали і 28 кубометрів бетону. [10]

Також можна зустріти радіолінії з парою сполучених один з одним параболічних антен. У деяких випадках проблему можна вирішити, використовуючи наступне рішення: просто з'єднати дві антени хвилеводом. Виходить подобу пасивного ретранслятора. У цьому випадку кут падіння і відбиття не мають значення. Але, обов'язково, щоб такий ретранслятор був встановлений поблизу одного з кінців прольоту. Крім того, розміри антен повинні бути досить великі, оскільки єдиним джерелом для передачі сигналу антеною буде сигнал, прийнятий іншої антеною. На практиці умови, що дозволяють будувати пасивні ретранслятори такого типу, зустрічаються нечасто.[10]

## 2.2 Безпілотні літальні апарати

Безпілотні літальні апарати - літальний апарат без екіпажу на борту [11]. БПЛА можуть володіти різним ступенем автономності - від керованих дистанційно до повністю автоматичних, а також відрізнятися по конструкції, призначенням і безлічі інших параметрів. Управління БПЛА може здійснюватися епізодичною подачею команд або безперервною - в останньому випадку БПЛА називають дистанційно-пілотованим літальним апаратом (ДПЛА) [11]. Основною перевагою БПЛА / ДПЛА є істотно менша вартість їх створення та експлуатації (за умови рівної ефективності виконання поставлених завдань) - за експертними оцінками бойові БПЛА верхнього діапазону складності коштують приблизно \$ 6 млн доларів США, в той час як вартість порівнянного пілотованого винищувача становить близько 100 мільйонів доларів [12]. Недоліком БПЛА є вразливість систем

дистанційного керування, що особливо важливо для БПЛА військового призначення [13] [14] [15].

Залежно від принципів керування, розрізняють такі різновиди безпілотних літальних систем:

- безпілотні некеровані;
- безпілотні автоматичні;
- безпілотні дистанційно-пілотовані літальні апарати (ДПЛА).

У авіації після 2000 року йде стрімке розширення саме останнього типу апаратів, й про них йдеться, коли вживають термін «безпілотник», «дрон» (англ. drone), або аббревіатуру UAV. Тобто, під терміном «безпілотник», «БПЛА», «UAV» мається на увазі саме повітряне судно, яким через канали зв'язку керує один або декілька пілотів. Екіпаж БПЛА може також включати командира, оператора сенсорів, оператора вогневих засобів. Екіпажі БПЛА під час довготермінових місій змінюються — як на загал, кожні 4 години.

Безпілотні літальні апарати, відповідно до стандартів НАТО, так само, як і літаки із пілотом на борту, керуючись значенням повної злітної маси розділено на 3 класи: I — повна злітна маса до 150 кг, II — повна злітна маса до 600 кг, III — повна злітна маса більше 600 кг.

Клас I підрозділяється на категорії: «мікро» — до 2 кг, «міні» — до 15 кг, «малі» — від 15 кг.

Від наведеної вище класифікації НАТО дещо відрізняється класифікація безпілотних авіаційних систем (UAS), що її застосовано у документі Департаменту оборони США. Згідно цього документу, виділяють п'ять груп UAS:

- Група 1 (мікро-, міні тактичні) — від 0 до 9 кг, до 300 метрів над ґрунтом, основний представник — «RQ-11 Raven».
- Група 2 (малі тактичні) — від 9.5 до 25 кг; до 1000 метрів над ґрунтом, представник — «Scan Eagle»
- Група 3 (тактичні) — менш, ніж 600 кг, представник — «RQ-7 Shadow»

- Група 4 (персистентні) — більш, ніж 600 кг; представник — «MQ-1B Predator»
- Група 5 (пенетрувальні) — більш, ніж 600 кг; представник — «MQ-9 Reaper»

### 2.2.1 Класифікація безпілотних літальних апаратів

Класифікація безпілотних літальних апаратів може здійснюватися за різними критеріями [16], таким як:

- сфера використання;
- тип системи управління;
- правила польоту (візуальні, приладові й візуально-приладові);
- клас повітряного простору (сегресовані і несегресовані);
- тип крила (літаковий, вертолітний і конвертопланний);
- напрямок зльоту / посадки;
- тип зльоту / посадки;
- тип двигуна;
- паливна система;
- тип паливного бака;
- кількість використань;
- категорія (з урахуванням маси і максимальної дальності дії);
- радіус дії;
- висота використання;
- функціональне призначення.

Розглянемо такий критерій як система управління з огляду на те, що взаємодія даної системи по бездротових каналах зв'язку з оператором або системою регулювання повітряного руху є ключовою. За даним критерієм БПЛА можна класифікувати як:

- дистанційно пілотовані - управляються безпосередньо оператором в зоні видимості через наземну станцію;
- дистанційно керовані - працюють автономно, але можуть потенційно управлятися пілотом або оператором, що використовують тільки зворотний зв'язок, через інші підсистеми контролю;
- автоматичні - виконують попередньо запрограмовані дії без управління пілотом і не мають можливості змінювати план дій під час польоту або адаптуватися до зовнішніх змін, але багаторазові можуть перепрограмовуватися перед кожним вильотом з урахуванням зміни навколишнього середовища і зібраного матеріалу на попередніх вильотах;
- дистанційно-керовані авіаційної системою - виконують низькорівневе управління вбудованими системами або наземною станцією, а високорівневе управління траєкторією польоту і / або стану контролюється оператором;
- безпілотно-автоматичні - польотом керують повністю вбудовані безпілотні автоматичні системи без втручання оператора або використання наземної станції, які можуть бути перепрограмовані з урахуванням змін в середовищі або нові цілі. В даний час все більшого поширення в цивільній сфері отримали FPV-БПЛА Мультикоптер.

FPV - це скорочення від англ. First Person View (вид від першої особи) і являє собою спосіб управління БПЛА за допомогою відеокамери на борту, яка в реальному часі передає відеодані пілотові мультикоптера, що дозволяє управляти квадрокоптером поза полем людського зору. Мультикоптер - це летальну засіб, реалізоване за вертолітної схемою з трьома або більше несучими гвинтами, що використовує безколекторні електродвигуни та літій-полімерні акумулятори в якості джерела енергії. Управляються такі прилади дистанційно за допомогою зв'язку по радіоканалу польотного контролера БПЛА і пульта радіоуправління. Загальна схема управління показана на рис.2.4. З пульта управління подаються задані команди на приймач БПЛА,

після прийому дані передаються на польотний контролер, який включає в себе реалізацію і розподіл всіх основних функцій Мультикоптера. На основі прийнятої команди і показників датчиків, які реалізовані на конкретному апараті, вбудоване програмне забезпечення на основі певного алгоритму відправляє сигнали на двигуни БПЛА. Отже, польотний контролер є свого роду «мозком» літального апарату.

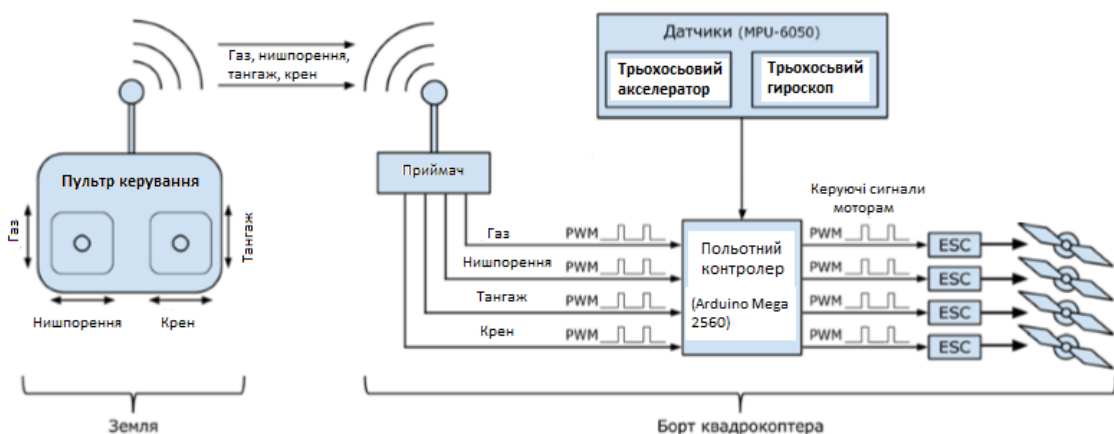


Рисунок 2.4 Загальна схема взаємодії пульта управління і внутрішніх компонентів БПЛА на основі польотного контролера Arduino Mega 2560

### 2.2.2 Огляд бездротових каналів зв'язку для дистанційного керування Мультикоптера

Розглянемо найбільш поширені моделі БПЛА загального користування, орієнтовані на FPV взаємодія з пілотом. Найбільш поширені FPV системи складаються з наступних частин: камера, відео передавач, відео приймач, дисплей. Для передачі відеосигналу використовуються різні частотні діапазони. Найбільш поширені частоти для передачі відео з БПЛА:

- 900 МГц;
- 1,2-1,3 ГГц;
- 2,4 ГГц;
- 5,8 ГГц;

Як відомо, чим нижче частота і більше довжина хвилі, тим більше проникаюча здатність, але більше фізичні габарити антени. Крім того, не всі FPV частоти можна використовувати в тій чи іншій країні, так як деякі діапазони можуть бути зарезервовані для державних органів та інших спеціальних організацій. На даний момент для передачі потокового відео з камери БПЛА найбільш поширена в більшості країн частота 5,8 ГГц з наступних причин:

- законно в більшості країн;
- малогабаритна антена;
- низька вартість;
- широка поширеність;
- не впливає або впливає незначно на частоту 2,4 ГГц (частота WiFi сигналу).

### 2.3 Висновок до 2-го розділу

В даному розділі було проаналізовано:

- реалізації створення радіосистем з ретрансляцією, їх види та особливості;
- типи та особливості пасивних ретрансляторів та використання їх на радіорелейній лінії;
- також в цьому розділі був детальний розбір класифікації БПЛА.

Для подальшого аналізу ми зрозуміли, що теорія пасивних ретрансляторів заснована на припущенні, що пасивний ретранслятор типу перешкода являє собою металевий лист. Однак на практиці, полотна виконують у вигляді дротяної сітки. Такі сітки добре відображають електромагнітні хвилі, якщо поляризація падаючого поля паралельна проводам сітки.

Надалі, буде виконана робота з порівняння двох моделей: методика для радіоліній, розташованих на території колишнього СРСР та методика на основі використання пасивного ретранслятора за допомогою БПЛА.

### 3 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА ТРОПОСФЕРНОГО ЗВ'ЯЗКУ

В даному розділі буде порівняно дві моделі: методика для радіоліній, розташованих на території колишнього СРСР та методика на основі використання пасивного ретранслятора за допомогою БПЛА. Параметри, які порівнюються: потужність сигналу на вході приймача, відношення сигнал/шум на виході приймача, енергетичний запас.

В ході порівняння методик буде показано, що енергетичний запас при використанні другої методики буде вищим, через те, що в класичній моделі розрахунку параметрів тропосферного зв'язку більшість енергії розсіюється на неоднорідностях.

#### 3.1 Параметри оцінки

В даній роботі був обраний телеграфний режим роботи (цифрова передача даних із можливістю задання необхідних вхідних даних) (див. табл.)

Таблиця 3.1. Параметри моделювання

Вхідні дані	
Дальність зв'язку, км	150
Тип маніпуляції	ЧМн
Робоча частота, ГГц	2
Вірогідність помилки	$10^{-4}$
Кількість рівнів маніпуляції	2
Швидкість передачі двійкових сигналів	64

### 3.2 Модель розрахунку ТРЛ розташованих на території колишнього СРСР

Визначаємо втрати у вільному просторі при використанні ізотропних антен:

$$L_{0\text{ізотроп}} = (4\pi R / \lambda)^2, \quad (3.1)$$

$$L_{0\text{ізотроп}}(\text{дБ}) = 22 + 201\lg(R / \lambda) \quad (3.2)$$

де  $R$  - дальність в метрах;

$\lambda$  - довжина хвилі в метрах.

Для випадку використання спрямованих антен з коефіцієнтами посилення  $G_{\text{пер}}(\text{дБ})$  і  $G_{\text{пр}}(\text{дБ})$  і втратами в фідерах  $\eta_{\text{пер}}(\text{дБ})$  і  $\eta_{\text{пр}}(\text{дБ})$  втрати у вільному просторі будуть визначатися за формулою:

$$\begin{aligned} L_0(\text{дБ}) &= L_{0\text{ізотр}}(\text{дБ}) + \eta_{\text{пер}}(\text{дБ}) + \eta_{\text{пр}}(\text{дБ}) - G_{\text{пер}}(\text{дБ}) - G_{\text{пр}}(\text{дБ}) = \\ &= 22 + 201\lg(R/\lambda) + \eta_{\text{пер}}(\text{дБ}) + \eta_{\text{пр}}(\text{дБ}) - G_{\text{пер}}(\text{дБ}) - G_{\text{пр}}(\text{дБ}). \end{aligned} \quad (3.3)$$

Обчислюємо додаткові втрати  $L_{\text{доп}}$  для найгіршого зимового місяця:

$$L_{\text{доп}} = L_{\text{мед}} + L_3 + L_p + L_h + L_a + L_k, \quad (3.4)$$

де  $L_{\text{мед}}$  - медіанний втрати;

$L_3$  - втрати від завмирань;

$L_p$  - втрати, зумовлені впливом нерівностей рельєфу місцевості;

$L_h$  - втрати, зумовлені впливом земної поверхні при малих величинах відносини  $h / \lambda$ ;

$L_a$  - втрати посилення антен;

$L_k$  - кліматичні втрати.

Обчислюємо кожен складову з формули (3.4).

Розрахуємо медіанні втрати:

Медіанна втрата  $L_{\text{мед}}$  визначаються по рис. 1.

Для наведених графіків (суцільні лінії на рис. 1) можна

записати рівняння типу  $L_{\text{мед}}=a+b \times R$ :

$$L_{\text{мед}}=62+0,11 \times R, \text{ для } \lambda=3 \text{ см}; \quad (3.5)$$

$$L_{\text{мед}}=61,3+0,09 \times R, \text{ для } \lambda=10 \text{ см}; \quad (3.6)$$

$$L_{\text{мед}}=58,3+0,08 \times R, \text{ для } \lambda=30 \text{ см}. \quad (3.7)$$

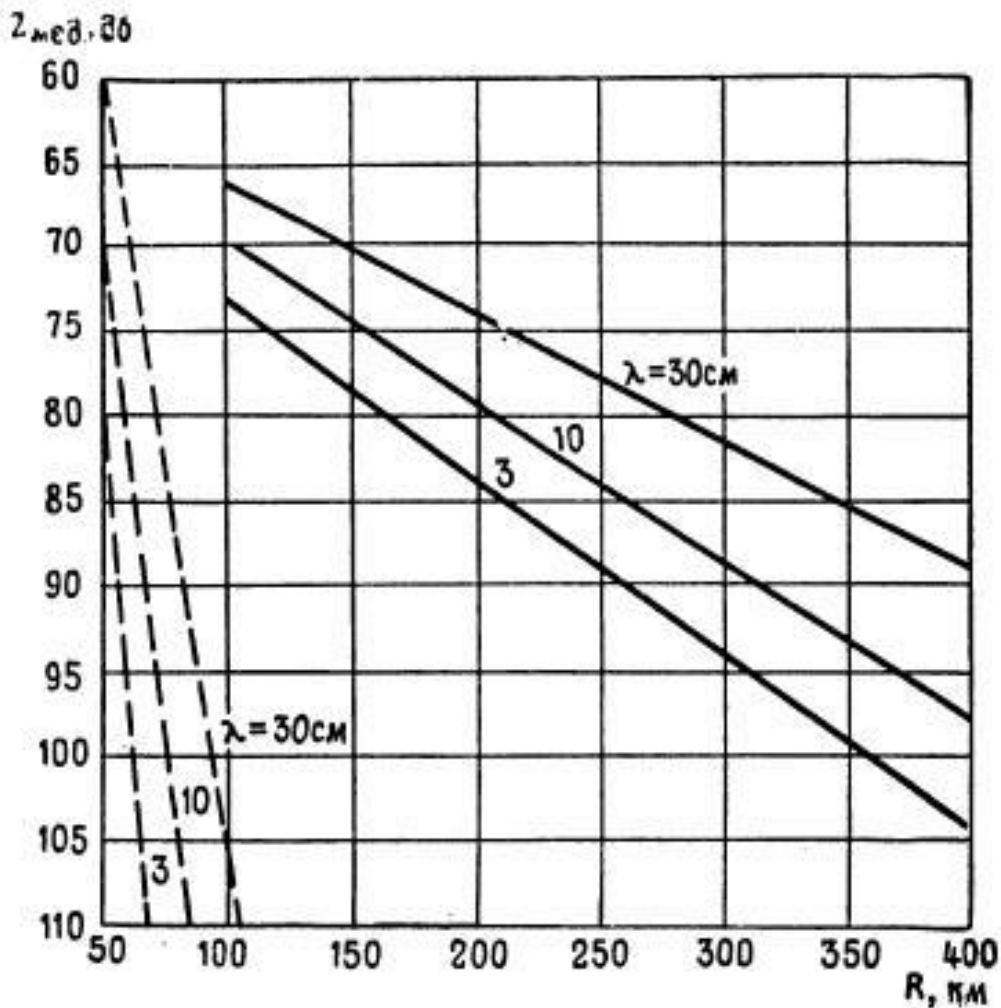


Рисунок 3.1 Залежність медіанний величин втрат від відстані та довжини хвилі для зимового місяця (суцільні лінії - для зони тропосферного розсіювання, пунктирні - для дифракційної зони)

При апроксимації коефіцієнтів  $a$  і  $b$  отримуємо формули для їх обчислення в залежності від  $\lambda$ :

$$a = 62,92 \times e^{-\left(\frac{\lambda+18,19}{174}\right)},$$

$$b = 0,07608 \times \lambda^{-0,4984} + 0,06596.$$

Формула для обчислення  $L_{\text{мед}}$  матиме вигляд:

$$L_{\text{мед}}(\text{дБ}) = 62,92 \times e^{-\left(\frac{\lambda+18,19}{174}\right)^2} + (0,07608 \times \lambda^{-0,4984} + 0,06596) \times R, \quad (3.8)$$

де  $\lambda$  (см) - довжина хвилі;

$R$  (км) - дальність зв'язку.

У разі необхідності визначення  $L_{\text{мед}}$  для інших довжин хвиль можна наближено вважати, що значення  $L_{\text{мед}}$  обернено пропорційні довжині хвилі. Якщо буде потрібно оцінити втрати для літнього або іншої пори року, то слід врахувати сезонний хід втрат, який можна в середньому взяти рівним 12 дБ. Таким чином, для літніх місяців потрібно значення, наведені на рис. 1, зменшити на 12 дБ, а в осінні та весняні місяці - на 6 дБ.

Визначимо втрати посилення антен  $L_a$ (дБ):

$$L_a(\text{дБ}) = 0,07 \times \exp[0,055 \times (G_{\text{пер}} + G_{\text{пр}})], \quad (3.9)$$

Где  $G_{\text{пер}}$  та  $G_{\text{пр}}$  – коефіцієнт підсилення антени (дБ)

Втрати  $L_3$  для цифрового каналу.

В залежності від часу існування завмирань умовно розділяють на швидкі ( $L_{\text{шз}}$ ) та повільні ( $L_{\text{пз}}$ ), тому загальні завмирання будуть рівні їх сумі:

$$L_3 = L_{\text{пз}} + L_{\text{шз}} \quad (3.10)$$

## Кліматичні втрати $L_K$ .

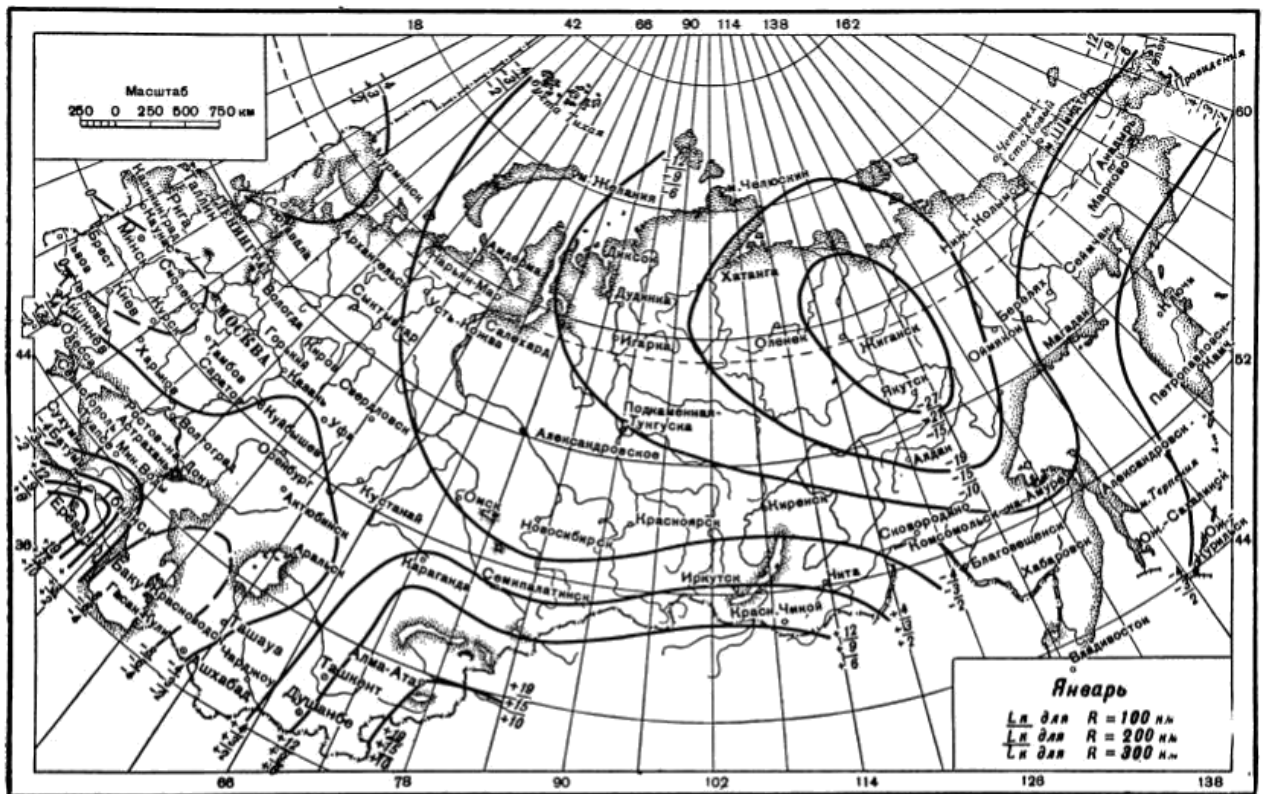


Рисунок 3.2 Зміна втрат, обумовлених кліматичними особливостями різноманітних районів (січень, відстані 100, 200 та 300 км)

Це втрати, пов'язані з відмінністю кліматичних особливостей району розміщення станцій від кліматичних умов центральної частини ЕТС, можна оцінити на основі встановленої зв'язку між втратами і значенням коефіцієнта заломлення у земної поверхні  $N_3$ .

По даним багаторічних вимірів метеорологічних елементів, які проводилися на території СРСР, було розраховані значення  $N_3$  та обчислені величини  $L_K$ . На рис.3.2 та 3.3 показані ізолінії змін величини втрат  $L_K$  на території СРСР. Значення  $L_K$  дані на картах для трас довжини яких складають 100, 200 та 300 км.

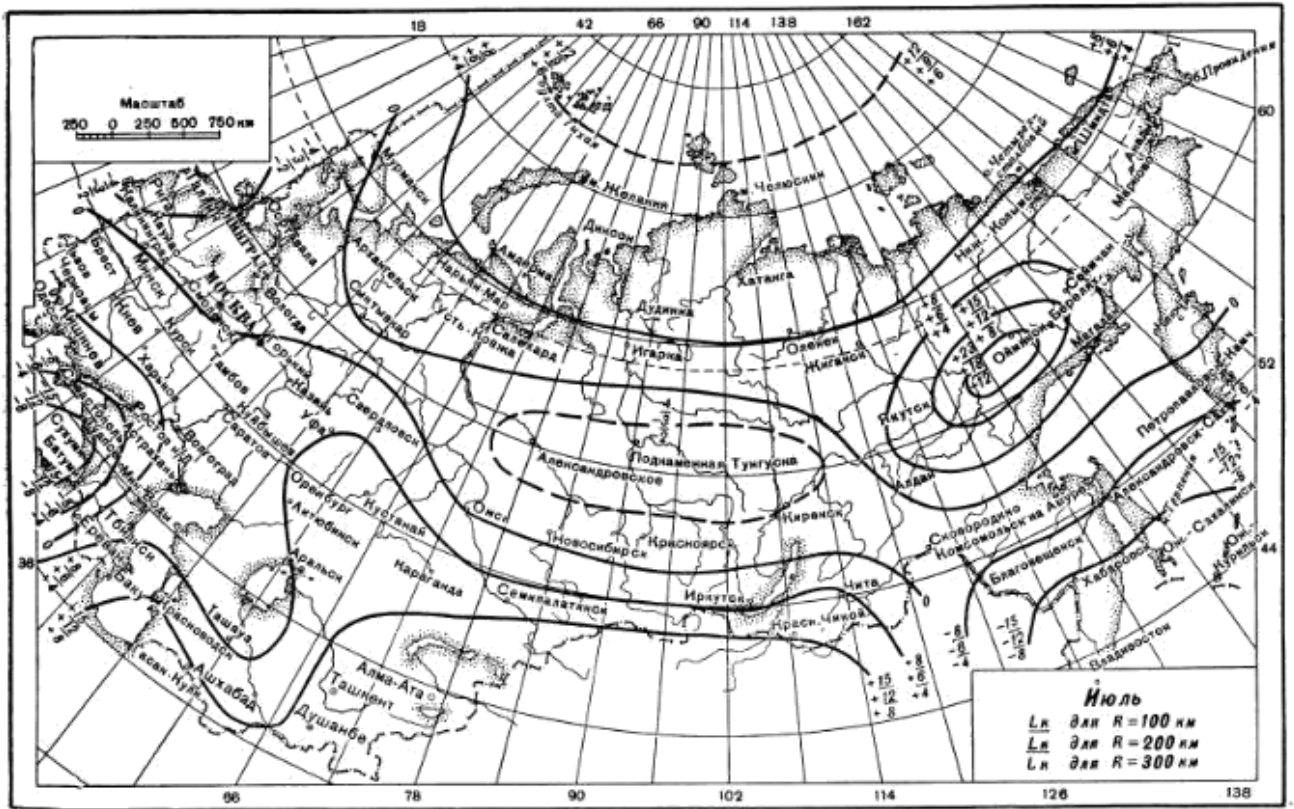


Рисунок 3.3 Зміна втрат, обумовлених кліматичними особливостями різноманітних районів (червень, відстані 100, 200 та 300 км)

Кліматичні втрати для Київського регіону дорівнюють 0. Загальні втрати на трасі визначаються за формулою:

$$L(\text{дБ})=L_0(\text{дБ})+L_{\text{доп}}(\text{дБ}). \quad (3.11)$$

При необхідності переходу від середньомісячної оцінки до середньодобової або середньорічної, необхідно відкоригувати загальні втрати на трасі, визначивши величину  $\Delta\delta$  з рис. 3.4.

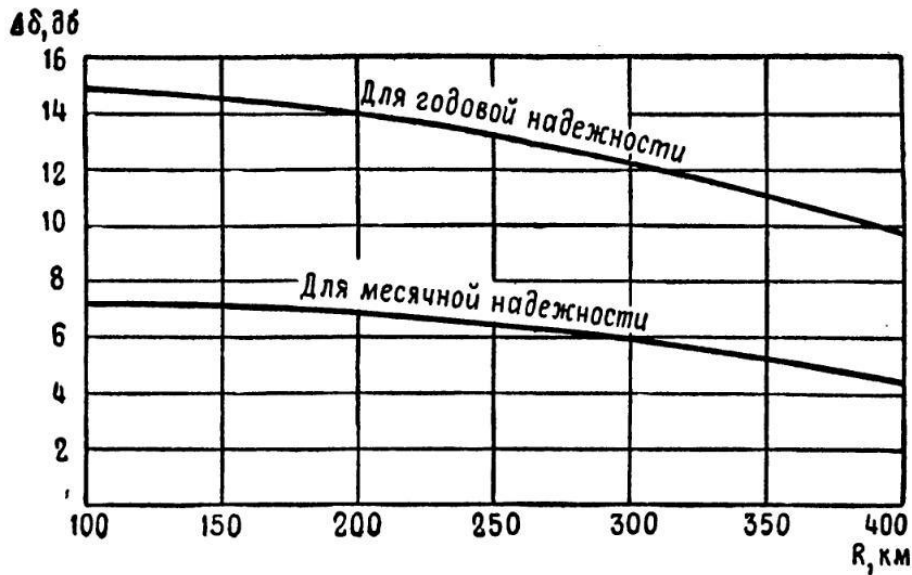


Рисунок 3.4 Залежність додаткового запасу високочастотного рівня сигналу від відстані при переході від добової надійності до місячної чи річної надійності

$$L(\text{доб}) = L(\text{міс}) + \Delta\delta(\text{міс}). \quad (3.12)$$

$$L(\text{рік}) = L(\text{доб}) - \Delta\delta(\text{рік}) = L(\text{міс}) + \Delta\delta(\text{міс}) - \Delta\delta(\text{рік}). \quad (3.13)$$

Криву для річної надійності (рис.16) можна апроксимувати формулою:

$$\Delta\delta(\text{рік}) = 14,96 \times e^{-\frac{(R-74.66)^2}{492.7}}, \quad (3.14)$$

а для місячної

$$\Delta\delta(\text{міс}) = 4,676 \times e^{-\frac{(R-124.9)^2}{332.4}} + 3,165 \times e^{-\frac{(R-382.8)^2}{508.3}}, \quad (3.15)$$

Розрахуємо потужність шуму на вході приймача.

Для телеграфних видів роботи визначаємо потужність шуму на вході приймача з урахуванням швидкості передачі.

$$P_{\text{ш.пр}} = F_3 \times K \times T_0 \times \Delta f (\text{Гц}) = 4 \times 10^{-21} \times F_3 \times \Delta f. \quad (3.16)$$

Для різних типів модуляції ширина спектру сигналу  $f$  визначається:

- при безпосередній модуляції несучої для амплітудної і фазової маніпуляції  $f = 1/T_c = V$ , де:

$T_c$  - тривалість імпульсу;

$V$  (бод) - швидкість передачі інформації;

- для частотної маніпуляції  $f = V$  при  $m \leq 1$ , де  $m = f_d / F$  - індекс частотної модуляції, де  $f_d$  - девіація частоти,  $F$  - частота маніпуляції.

При  $m > 1$ ,  $f = 2 f_d = f_p$ , де  $f_p$  - рознос частот.

Для амплітудної, фазової та вузькосмугової частотної маніпуляції при безпосередній модуляції несучої формули будуть мати вигляд:

$$P_{ш.пр} = 4 \times 10^{-21} \times F_3 \times V. \quad (3.17)$$

$$P_{ш.пр}(\text{дБ}) = 10 \lg(P_{ш.пр}). \quad (3.18)$$

$$F_3(\text{дБ}) = 10 \lg(F_3). \quad (3.19)$$

Необхідне перевищення потужності сигналу над потужністю шуму.

Цей параметр визначається для забезпечення необхідної ймовірності помилки  $P_{ош}$  з урахуванням релеєвських завмирань.

Протягом часу сеансу зв'язку втрати на трасі можуть змінюватися тільки за рахунок швидких завмирань. Тому величину необхідного перевищення сигналу над шумами «В» слід визначати як необхідне відношення сигнал / шум для отримання ймовірності  $P_{ош}$  не менше заданої, знайдене з урахуванням кратності рознесення каналів прийому.

$$B = h_0^2 \text{ треб.}$$

Ймовірність бітової помилки залежить від виду модуляції і виду прийому (когерентний, некогерентний).  $h_0^2 \text{ треб}$  будемо визначати для некогерентного прийому:

а) Для випадку амплітудної маніпуляції ймовірність бітової помилки визначається за формулою:

$$P_{ош} = \left( \frac{1}{2} e^{\frac{-h_0}{4}} \right)^n \quad (3.20)$$

де  $h_0^2$  - відношення сигнал / шум на вході детектора,  $n$  - кратність рознесення.

Необхідну перевищення сигналу над шумом  $V$ , необхідне для забезпечення заданої достовірності прийому, дорівнюватиме  $h_0^2$ , знайденому з (2.51):

$$V = h_0^2 = -\frac{4 \times \ln(2^n \times P_{out})}{n} \quad (3.21)$$

б) Для випадку частотної маніпуляції ймовірність бітової помилки визначається за формулою:

$$P_{out} = \left(\frac{1}{2} e^{-\frac{h_0^2}{2}}\right) \quad (3.22)$$

$$V = h_0^2 = -\frac{2 \times \ln(2^n \times P_{out})}{n} \quad (3.33)$$

в) Для випадку відносної фазової маніпуляції ймовірність бітової помилки визначається за формулою:

$$P_{out} = \left(\frac{1}{2} e^{-h_0^2}\right)^n, \quad (3.34)$$

$$V = h_0^2 = -\frac{\ln(2^n \times P_{out})}{n}, \quad (3.35)$$

$$V(\text{дБ}) = 10 \times \lg V. \quad (3.36)$$

Максимально допустиме значення повних втрат визначається за формулою:

$$L_{п.пред}(\text{дБ}) = P_{пер}(\text{дБ}) - P_{ш.пр}(\text{дБ}) - V(\text{дБ}). \quad (3.37)$$

Потужність сигналу на вході приймача визначається за формулою:

$$P_{вх}(\text{дБ}) = P_{пер}(\text{дБ}) - L_0(\text{дБ}) - L_{доп}(\text{дБ}). \quad (3.38)$$

Енергетичний запас обраної траси.

Для найгіршого зимового місяця енергетичний запас обраної траси можна вважати за такою формулою:

$$\delta(\text{дБ}) = L_{п.пред}(\text{дБ}) - L(\text{дБ}). \quad (3.39)$$

При перерахунку до добової або річної надійності слід скористатися формулами, аналогічними (3.12) і (3.13).

$$\delta(\text{сут}) = \delta(\text{мес}) - \Delta\delta(\text{мес}). \quad (3.40)$$

$$\delta(\text{год}) = \delta(\text{сут}) + \Delta\delta(\text{год}) = \delta(\text{мес}) - \Delta\delta(\text{мес}) + \Delta\delta(\text{год}). \quad (3.41)$$

### 3.3 Розрахункова модель параметрів радіоліній з використанням пасивного ретранслятора

Дана модель засновано на тому, що область перетину діаграм спрямованості, в якій відбувається розсіювання в класичному дальньому тропосферному зв'язку (ДТР), замінюється пасивним ретранслятором (горизонтальним відбиваючим елементом).

Розрахунок для цієї моделі виконується на основі методики з розділу 3.2, але з використанням наступних обмежень:

- Втрати від швидких та повільних завмирань в формулі (3.10) відсутні із-за використання горизонтального відбиваючого елемента, яка весь час перебуває на перетині діаграм спрямованостей;
- Втрати від медіанних втрат в формулі (3.8) будуть замінені на втрати при використанні пасивного ретранслятора (Для сітки з кроком 1мм та діаметром 0.2 мм, втрати становитимуть 40 дБ);
- Кліматичний параметр, який являє собою додаткові втрати на трасі також відсутній, через те, що сеанси встановлення зв'язку за допомогою безпілотних літальних апаратів відбуваються тільки за сприятливих погодних умов;

### 3.4 Аналіз отриманих результатів

Був проведений аналіз та отримано результати за допомогою програмного забезпечення Mathworks Matlab.

Задані параметри (що вказані в розділі 3.1) можна побачити на рис.3.5. Використовуючи модель з розділу 3.2 отримаємо результати на рис.3.6.

Рисунок 3.5 Задання параметрів обладнання та лінії зв'язку для розрахунку за допомогою моделі з розділу 3.2

166.206	Медианне затушення (дБ)
175.347	Полное затушение (дБ)
3.38376e-15	Медианная мощность сигнала на выходе ПРМ (Вт)
2.91945e-15	Мощность сигнала на входе ПРМ (Вт)
7.19549	Отношение с/ш на входе ПРМ
3.49356	Энергетический запас трассы (дБ)

Рисунок 3.6 Результати розрахунку за допомогою моделі з розділу 3.2.

Звідси можна побачити, що для необхідного енергетичного запасу лінії потрібно, щоб потужність передавача була 1кВт, а кратність рознесення була 4.

При використанні моделі з розділу 3.3 з незмінними вхідними даними (рис.3.5) можна побачити зменшення втрат у лінії, а отже і приріст в енергетичному запасі радіолінії та відношення с/ш на вході приймача (рис.3.7.).

132.681	Медианные затухания (дБ)
132.681	Полное затухание (дБ)
7.61937e-12	Медианная мощность сигнала на выходе ПРМ (Вт)
5.3941e-11	Мощность сигнала на входе ПРМ (Вт)
132947	Отношение с/ш на входе ПРМ
46.1597	Энергетический запас трассы (дБ)

Рисунок 3.7 Результаты розрахунку за допомогою моделі з розділу 3.3.

Отже можна зменшити потужність передавача до 100 Вт та кратність рознесення до 1 (рис.3.8). Отримані результати можна побачити на рис.3.9.

The screenshot shows the following configuration details:

- Передатчик (Transmitter):**
  - Рабочая частота (600 - 6000): 2000 (МГц)
  - Мощность ПРД (0 - 20000): 100 (Вт)
  - Потери в ПРД фидера ((-10) - 0): -1.0 (дБ)
  - Усиление антенны (0 - 70): 34 (дБ)
  - Ширина ДН антенны (0 - 10): 2.3 (град)
  - Высота подъема антенны (0 - 20): 4 (м)
  - Угол горизонта (0 - 5): 1 (град)
  - Кратность разнесения (1,2,4): 1
- Приёмник (Receiver):**
  - Полоса пропускания тракта приема: 40 (МГц)
  - Коэффициент шума (0 - 20): 2.0 (дБ)
  - Потери в ПРМ фидера ((-10) - 0): -1.0 (дБ)
  - Усиление антенны (0 - 70): 34 (дБ)
  - Ширина ДН антенны (0 - 10): 2.3 (град)
  - Высота подъема антенны (0 - 20): 4 (м)
  - Угол горизонта (0 - 5): 1 (град)
  - Тип приёмника: Оптимальный
- Режим радиолинии (Radio Link Mode):**
  - Режим работы: ТЛГ (selected)
  - Тип манипуляции: ФТ
  - Дальность связи (км): 150
  - Заданная вероятность ошибки: 1e-4
  - Заданный % времени безотказной работы: 99.0
  - Количество уровней модуляции: 2
  - Скорость передачи двоичных сигналов (кбит/с): 64
  - Режим работы: Непосредственная модуляция По ТЛФ каналу
- Период работы (Working Period):**
  - Выберете оцениваемый сезон: текущий зимний месяц
  - Выберете оцениваемый период надежности связи: пятиминутные сеансы
  - Выберете климатические затухания: 0
  - Введите № климата 1-6 в соответствии с картой, или 7 - морской: 5

Рисунок 3.8 Задання параметрів обладнання та лінії зв'язку для розрахунку за допомогою моделі з розділу 3.3.

132.681	Медианные затухания (дБ)
132.681	Полное затухание (дБ)
7.61937e-13	Медианная мощность сигнала на выходе ПРМ (Вт)
5.3941e-12	Мощность сигнала на входе ПРМ (Вт)
13294.7	Отношение с/ш на входе ПРМ
28.9235	Энергетический запас трассы (дБ)

Рисунок 3.9 Результаты розрахунку за допомогою моделі з розділу 3.3 при змінених параметрах.

Результати порівняння двох моделей розрахунку наведені в табл. 3.2

Таблиця 3.2 Порівняння результатів.

	Модель пункту 3.2	Модель пункту 3.3
Потужність передавача, Вт	1000	100
Потужність сигналу на вході приймача, Вт	$2.9 \cdot 10^{-15}$	$5.39 \cdot 10^{-12}$
Кратність рознесення	4	1
Відношення сигнал/шум на вході приймача	7.2	13294.7
Енергетичний запас лінії, дБ	3.5	28.9

### 3.5 Висновки до 3-го розділу

В даному розділі було порівняно дві моделі: методика для радіоліній, розташованих на території колишнього СРСР та методика на основі використання пасивного ретранслятора за допомогою БПЛА. Параметри, які порівнювалися: потужність сигналу на вході приймача, відношення сигнал/шум на виході приймача, енергетичний запас.

В ході порівняння методик було показано, що енергетичний запас при використанні другої методики буде вищим, через те, що в класичній моделі розрахунку параметрів тропосферного зв'язку більшість енергії розсіюється на неоднорідностях.

## ВИСНОВКИ

По темі «Дослідження сучасних методів побудови систем загоризонтного зв'язку» був зроблений аналіз тропосферного зв'язку з використанням пасивного ретранслятора. В якості вибору методик було взято : методика для радіоліній, розташованих на території колишнього СРСР та методика на основі використання пасивного ретранслятора за допомогою БПЛА.

В ході порівняння методик було показано, що енергетичний запас при використанні другої методики буде вищим, через те, що в класичній моделі розрахунку параметрів тропосферного зв'язку більшість енергії розсіюється на неоднорідностях. У аналітичній частині проекту розрахований варіант, за допомогою програмного забезпечення Matlab, параметрів, які порівнювалися: потужність сигналу на вході приймача, відношення сигнал/шум на виході приймача, енергетичний запас.

Поставлена мета роботи досягнута, отримані результати відповідають сформульованим завданням та задовольняють їх.

Для досягнення поставленої мети дослідження вирішено наступні задачі:

- 1) У першому розділі успішно проаналізовано об'єкт дослідження — існуючі системи та особливості тропосферного зв'язку.
- 2) У другому розділі увага надається предмету дослідження — реалізація створення радіосистем з ретрансляцією.
- 3) У третьому розділі розраховується, за допомогою програмного забезпечення Matlab, параметри, які порівнювалися: потужність сигналу на вході приймача, відношення сигнал/шум на виході приймача, енергетичний запас. В роботі були виконані поставлені завдання, теоретичні дані підтвердженні практикою. Отримані теоретичні та практичні результати являють собою фундамент для подальших досліджень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ДЖЕРЕЛ

- [1] История тропосферной (загоризонтной) связи [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://sernam.ru/book\\_history.php?id=14](http://sernam.ru/book_history.php?id=14).
- [2] Ю. М. Астапов. Системы наведения и управления высокоточных боеприпасов [Электронный ресурс] / Астапов Ю. М. – Режим доступа до ресурсу: <http://baumanpress.ru/books/676/676.pdf>.
- [3] Мертвый "Дракон" или останки ТРПЛ 1/104 «Север» – в/ч № 74237 [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <https://drs-radchenko.livejournal.com/3847.html>.
- [4] Системы тропосферной связи [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: [https://studopedia.su/6\\_23695\\_troposfernaya-svyaz-osnovnie-ponyatiya.html](https://studopedia.su/6_23695_troposfernaya-svyaz-osnovnie-ponyatiya.html).
- [5] Тропосферные радиорелейные линии связи [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://siblec.ru/telekommunikatsii/osnovy-postroeniya-telekommunikatsionnykh-sistem-i-setej/8-troposfernnye-radiorelejnye-linii-svyazi>.
- [6] Тропосферная связь [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <http://vivalaradio.ru/archives/674>.
- [7] Наритник Т. М. НАПРАВЛЕННЯ СТВОРЕННЯ ТРОПОСФЕРНИХ СТАНЦІЙ НОВОГО ПОКОЛІННЯ [Электронный ресурс] / Т. М. Наритник, М. Е. Ильченко. – 2014. – Режим доступа до ресурсу: [http://www.slyusar.kiev.ua/DIGITAL\\_Technologies\\_2014.pdf](http://www.slyusar.kiev.ua/DIGITAL_Technologies_2014.pdf).
- [8] Способы ретрансляции сигналов в ррл с чрк [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://studfiles.net/preview/2082496/>.
- [9] ПАССИВНЫЕ РЕТРАНСЛЯТОРЫ [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://gelezo.com/antennas/antennas\\_types/110500/110507/passivnie\\_retranslyator\\_i.html](http://gelezo.com/antennas/antennas_types/110500/110507/passivnie_retranslyator_i.html).

- [10] Проектирование радиорелейных линий связи в условиях отсутствия прямой видимости (Microwave Links in No-Line-of-Sight Conditions) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.integra-pro.com/rus/lib/articles/microwavelinksinnloscon>.
- [11] <https://ru.wikipedia.ua>
- [12] Интернет вещей: Будущее уже здесь/ Сэмюэл Грингард. — М.: Альпина Паблишер, 2016. — 188 с.
- [13] Tactical Reconnaissance: Uavs Versus Manned Aircraft /Rajesh Kumar / The Pennsylvania State University. — 1997
- [14] Авиация: Энциклопедия / гл. ред. Г. П. Свищёв. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1994
- [15] Краш тест дрона [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <http://drone2.ru/news/118-krash-test-drona.html>.
- [16] Обобщённая классификация беспилотных летательных аппаратов /Корченко А. Г., Ильяш О. С. / Сборник научных работ. Харьковский университет Воздушных Сил. 2012. № 4 (33)