

**Міністерство освіти і науки України  
Державний університет телекомунікацій**

Сайко В.Г., Казіміренко В.Я.

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

**з дисципліни**

**СУПУТНИКОВІ ТА РАДІОРЕЛЕЙНІ  
СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ**

напряму підготовки **6.050901 - Радіотехніка**

освітньо-кваліфікаційного рівня **бакалавр**

спеціальності **8.05090102 – Апаратура радіозв'язку, радіомовлення  
і телебачення**

Київ 2015

Затверджено Вченою радою Державного університету телекомунікацій  
в якості навчального посібника за напрямом «Радіотехніка»

## **ЛЕКЦІЯ 1 Основні принципи побудови радіорелейних ліній**

Вступ

Загальні принципи організації радіозв'язку

Класифікація розподілу радіочастот

Загальні принципи побудови РРЛ

Класифікація РРЛ

План розподілу частот на одностовбурних РРЛ прямої видимості

Діапазони частот, що відведені для РРЛ

## **ЛЕКЦІЯ 2**

Види станцій на РРЛ

Загальні властивості радіохвиль

Розповсюдження радіохвиль у вільному просторі

Область простору, що впливає на поширення радіохвиль

Ослаблення поля вільного простору в реальних умовах

Розповсюдження земних радіохвиль

## **ЛЕКЦІЯ 3.**

Поширення хвиль над плоскою поверхнею Землі

Інтерференційна формула Введенського

Відстань прямої видимості між антенами

Будова й склад атмосфери

Щільність атмосфери

Температура атмосфери

Діелектрична проникність атмосфери

Поглинання радіохвиль у тропосфері

Рефракція радіохвиль у тропосфері й еквівалентний радіус Землі

Атмосферна рефракція

## **ЛЕКЦІЯ 4.**

Особливості поширення УКХ

Антени УКХ діапазону

Ізотропний випромінювач

Симетричний вібратор

Основні характеристики антен

## **ЛЕКЦІЯ 5**

Основні вимоги до антен, що використовуються на РРЛ

Основні види антен РРЛ зв'язку

## **ЛЕКЦІЯ 6. Орбіти та зони обслуговування штучних супутників землі.**

Системи зв'язку через ШСЗ

Види орбітальних групувань

Особливості систем зв'язку через ШСЗ

Вибір діапазону робочих частот

## **ЛЕКЦІЯ 7. Принципи побудови систем космічного зв'язку**

Архітектура й основні принципи роботи супутникових систем зв'язку

Якісні показники супутникових систем зв'язку

Енергетичний розрахунок супутникових систем зв'язку

Відношення сигнал/шум на вході приймача земної станції  $(P_C/P_{Ш})_{ВХ}$

Багатостанційний доступ у супутникових системах зв'язку

### **ЛЕКЦІЯ 8**

Перспективні методи множинного доступу

Модуляція й завадостійке кодування

Бортова апаратура ШСЗ

Земна апаратура систем супутникового зв'язку

Принцип спостереження антен за супутником

### **ЛЕКЦІЯ 9. Перспективи розвитку радіорелейних і супутникові систем передачі**

Радіорелейні системи із цифровими методами передачі інформації

Енергетичні характеристики сучасних РРЛ

Методи модуляції, що використовуються в сучасних РРС

Характеристики сучасного радіорелейного встаткування

Тенденції розвитку супутникових технологій

## ЛЕКЦІЯ 1. Основні принципи побудови радіорелейних ліній

### Вступ

Загальні принципи організації радіозв'язку

Класифікація розподілу радіочастот

Загальні принципи побудови РРЛ

Класифікація РРЛ

План розподілу частот на одностовбурних РРЛ прямої видимості

Діапазони частот, що відведені для РРЛ

### **Вступ**

Історія розвитку радіотехніки починається з 7 травня 1895 р., коли російським фізиком й електротехніком О.С. Поповим уперше продемонстрована передача сигналів по радіо. В 30-х роках й особливо в 40-і роки почалося інтенсивне освоєння метрового, дециметрового й сантиметрового діапазонів хвиль. Саме завдяки використанню цих діапазонів удалося здійснити високоякісну передачу телевізійних зображень, впровадити в практику частотну модуляцію, широко використати для передачі повідомлень радіорелейні й супутникові лінії зв'язку.

Розвиток багатоканального радіорелейного зв'язку відноситься до початку 40-х років, коли з'являються перші 12-канальні радіолінії, що використовують той же, що й для кабельних ліній, спосіб частотного поділу каналів і ту ж каналоутворюючу апаратуру. На початку 50-х років у Радянському Союзі з'явилося відразу кілька типів апаратів РРЛ («Стрела», Р-60/120, Р-600). Надалі на мережі зв'язку країни з'явилися радіорелейні системи прямої видимості РРСП «Рассвет», «Восход», КУРС (комплекс уніфікованих радіорелейних систем), «Электроника-связь» й ін. Використовуючи ефект далекого тропосферного поширення (ДТП), удалося створити новий тип тропосферних радіорелейних систем передачі ТРСП із відстанями між сусідніми станціями 150... 300 км, а в окремих випадках й 600... 800 км. У 1965 р. у світі експлуатувалося вже більше 100 тисяч км тропосферних ліній, було створено кілька типів ТРСП «Горизонт-М», ТР-120/ДТР-12 й ін.

12 серпня 1960 р. був виведений на орбіту висотою 1500 км перший супутник зв'язку - американський космічний апарат «Echo-1». У 1962 р. В на низькі орбіти були виведені американські космічні апарати Telstar I та Relay-1 – перші супутники з активними ретрансляторами. В 1965 р. вступила в лад перша радянська супутникова система, що використовує ШСЗ «Молния-1» і призначена для передачі сигналів багатоканальної телефонії й телебачення. У наступні роки були створені ССП, що використовують ШСЗ «Молния-2», «Молния-3», «Экран», «Радуга», «Горизонт» й ін.

У цей час радіозв'язок дозволяє реалізувати повний спектр інформаційних послуг: передачу телефонних повідомлень, обмін даними підключення до глобальних інформаційних мереж, одержання й передачу відеозображень, телебачення й т.д. Застосування засобів радіозв'язку реалізує єдиний інформаційний простір, що дозволяє в будь-якій точці планети й у будь-який час одержувати необхідні послуги зв'язку. Класифікація систем радіозв'язку включає величезну, що постійно збільшується, кількість видів, що відрізняються призначенням і характеристиками, що забезпечують задоволення всіх, навіть самих специфічних, потреб людства. У цей час системи радіозв'язку класифікуються по області застосування в такий спосіб:

- системи супутникового зв'язку;
- системи стільникового зв'язку;
- системи транкінгового зв'язку;
- системи пейджингового зв'язку;
- системи радіодоступу;
- радіорелейні системи;
- бездротові телефонні апарати;

- системи автоматизованого збору інформації й керування по радіоканалах.

### Загальні принципи організації радіозв'язку

Найпростіша схема організації радіозв'язку показана на рис. 1.1 - джерело інформації (цифрові дані, зображення, звук і т.д.); 2 - перетворювач повідомлення служить для перетворення вступної інформації в електричний сигнал;

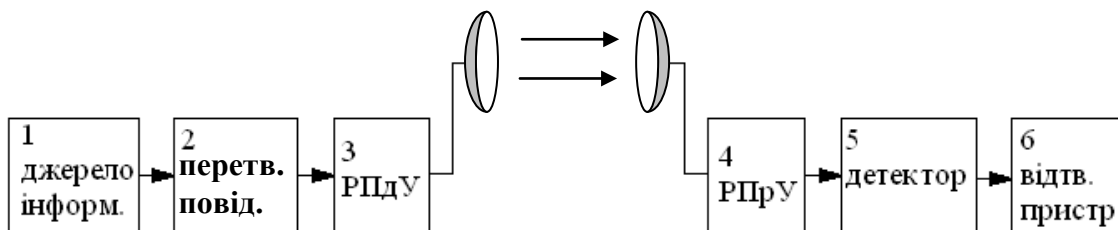


Рис.1.1

Необхідність цього процесу пов'язана з тим, що інформація, перетворена в електричний сигнал, має відносно низьку частоту, що, як відомо, погано випромінюється. Модульовані ВЧ коливання, названі радіосигналом, подаються в передавальну антену й збуджують у навколишньому просторі електромагнітні хвилі. Невелика частина енергії електромагнітних хвиль від передавача досягає прийомної антени й створює в ній слабкий модульований струм високої частоти. У приймачі 4 ВЧ модульовані коливання підсилюються й потім перетворюються в 5 назад у сигнал такого ж виду, як отриманий у пункті передачі від перетворювача. Таке перетворення називається детектуванням. Далі сигнал надходить у відтворюючий пристрій 6 – літеродрукувальний апарат, телефон, телевізійну прийомну трубку й т.п., після чого прийнята інформація надходить до одержувача.

Радіосистеми підрозділяють на радіолінії та радіомережі. Сукупність передавача, передавальної антени, середовища поширення хвиль, прийомної антени й приймача утворює радіолінію. За способом організації радіолінії розділяють односторонній та двосторонній радіозв'язок. Радіолінія, як видно з рис. 1, допускає односторонню передачу інформації з пункту розміщення передавальної станції в пункт, де знаходиться приймач. Зворотна передача в цьому випадку не передбачається.

Одностороння передача використовується частіше не в радіозв'язку, а у звуковому й ТМ радіомовленні, у службах передачі інформації для агентств печатки, метеорологічної інформації, сигналів точного часу, точної частоти й ін. Щоб поліпшити ефективність використання встаткування й збільшити пропускну здатність радіолінії, застосовують апаратури ущільнення (рис. 1.2). Передавальна частина апаратів утворює із сигналів різних джерел інформації  $1a-1n$ , перетворених перетворювачами  $2a-2n$ , єдиний груповий сигнал. Приймача частина цих апаратів розділяє сигнали, робить їхнє перетворення ( $7a-7n$ ), після чого вони надходять до споживачів  $8a-8n$ . Сукупність технічних засобів, що забезпечують передачу повідомлення від одного джерела інформації до одержувача, називається каналом радіозв'язку. Система радіозв'язку з ущільненням радіолінії називається багатоканальним радіозв'язком.

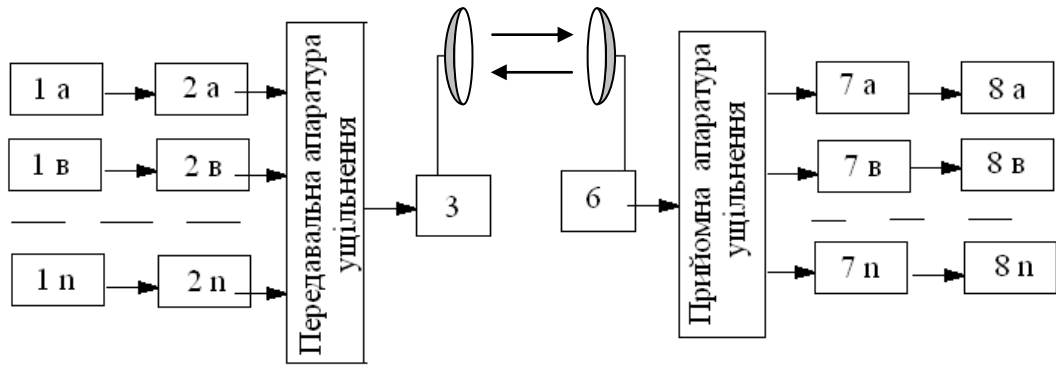


Рис.1.2

Для обміну інформацією між двома пунктами організується двосторонній радіозв'язок, що забезпечується за допомогою двох комплектів устаткування зв'язку, що діють назустріч один одному. У кожному кінцевому пункті двосторонньої лінії радіозв'язку розміщуються й прийомне й передавальне встаткування. Джерело й одержувач інформації звичайно сполучені, а також передавач і приймач у деяких випадках поєднуються в єдиній приймально-передавальній радіостанції. Тоді в кожному пункті звичайно замість двох антен є одна загальна приймально-передавальна антена. Двосторонній радіозв'язок може організовуватися по двох варіантах:

1. Обидва передавачі працюють на одній і тій же частоті, тобто й приймачі настроєні на ту саму частоту. У цьому випадку радіолінія в обоє напрямків одночасно працювати не може. Робота виробляється по черзі в одному з напрямків. Такий зв'язок називається симплексним.

2. Передавачі працюють на різних частотах, відповідно й приймачі настроєні на різні частоти. У цьому випадку радіолінія в обох напрямках може працювати одночасно. Такий зв'язок називається дуплексним. Лінія радіозв'язку може складатися з декількох або багатьох відрізків, у межах яких передача радіосигналів забезпечується комплектами приймально-передавального встаткування. Сигнали з одного пункту приймаються в іншому, підсилюються й передаються далі в третій пункт, там знову підсилюються й передаються в четвертий пункт і т.д. Така побудова радіолінії називається радіорелейною лінією зв'язку (рис. 1.3).

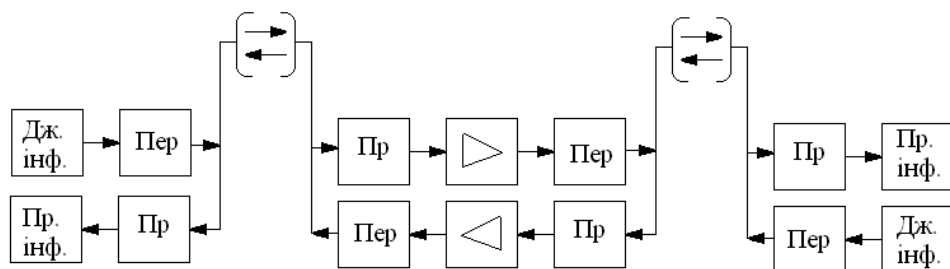


Рис.1.3

Подібним же чином діють супутники зв'язку: сигнал з однієї наземної станції приймається на супутник Землі, підсилюється й через передавач супутника передається на іншу наземну станцію, що перебуває на великій відстані від першої. Лінії РРЛ, також як і лінії супутникового зв'язку, завжди мають на кінцевих пунктах апаратури уцілювання й дозволяють передавати більші потоки інформації.

### Класифікація розподілу радіочастот

Відповідно до міжнародного регламенту радіозв'язку радіочастоти діляться на 9 діапазонів, позначувані номерами від 4 до 12. Діапазон з номером N обмежений знизу частотою  $0,3 \cdot 10^N$  Гц і зверху частотою  $3 \cdot 10^N$  Гц. Діапазонам привласнені наступні назви:

- № 4 –  $f_4 = 0,3 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^4 = 3 \div 30$  кГц – наддовгі хвилі;
- № 5 –  $f_5 = 0,3 \cdot 10^5 = 30 \div 300$  кГц – довгі хвилі;
- № 6 –  $f_6 = 0,3 \cdot 10^6 = 300 \div 3000$  кГц – середні хвилі;
- № 7 –  $f_7 = 0,3 \cdot 10^7 = 3 \div 30$  МГц – короткі хвилі;
- № 8 –  $f_8 = 0,3 \cdot 10^8 = 30 \div 3000$  МГц – метрові хвилі;
- № 9 –  $f_9 = 0,3 \cdot 10^9 = 300 \div 3000$  МГц – дециметрові хвилі;
- № 10 –  $f_{10} = 0,3 \cdot 10^{10} = 3 \div 30$  ГГц – сантиметрові хвилі;
- № 11 –  $f_{11} = 0,3 \cdot 10^{11} = 30 \div 300$  ГГц – міліметрові хвилі;
- № 12 –  $f_{12} = 0,3 \cdot 10^{12} = 300 \div 3000$  ГГц –дециміліметрові хвилі.

Звідси видно, що зі збільшенням номера діапазону, ширина діапазону частот збільшується. Наприклад: № 4  $f_4=27$  кГц, а №12  $f_{12}=2700$  кГц. У межах діапазону, умови поширення радіохвиль приблизно однакові. Робочу частоту лінії радіозв'язку або так називану несучу частоту, що використовується для переносу повідомлень із місця передачі на місце прийому, вибирають із урахуванням наступних вимог:

1. *Відсутність працюючих на цій частоті радіостанцій, випромінювання яких могли б заважати радіоприйому в потрібних пунктах планованої лінії;*
2. *Відсутність на цій частоті систем радіозв'язку й мовлення, роботі яких може перешкодити включення нового передавача;*
3. *Обирана частота повинна лежати в діапазоні, що по існуючих планах розподілу радіочастот відведений для даного виду радіозв'язку;*
4. *Повинна бути можливість заняття досить широкої смуги частот, що відповідає ширині спектра переданих радіосигналів.*

Аналізуючи наведені вимоги можна показати, що побудова багатоканальної радіолінії доцільно не на всіх 9 діапазонах. Наприклад: у діапазоні № 4 із застосуванням АМ можна організувати тільки 3-х каналну ТЛФ радіолінію ( $F_{\text{тлф}} = 0,3 \div 3,4$  кГц,  $f_n = 8$  кГц,  $f_4 = 27$  кГц). У цьому діапазоні не можна організувати високоякісну передачу навіть одного каналу мовлення ( $F_{\text{мов}} = 15$  кГц) і TV ( $F_{\text{TV}} = 6$  МГц). Тому для цих цілей використовують діапазон хвиль із більше високим номером. Для TV віщання № 8, для радіомовлення № 5 і вище й т.д., а для організації багатоканальної радіолінії звичайно використовують діапазон УКХ (8 діапазон і вище). Оскільки РРЛ є, як правило, багатоканальною радіолінією, та й несучу частоти вибирають у діапазоні УКХ.

### Загальні принципи побудови РРЛ

РРЛ зв'язок – це особливий вид радіозв'язку на УКВ хвилях з багаторазовою ретрансляцією сигналу. До УКВ радіохвиль відносять хвилі довжиною коротше 10 м, що відповідає частотам вище 30 МГц. Смуга частот, що відповідають діапазону УКВ, дуже широка, і в цьому діапазоні можна розмістити набагато більше число радіостанцій, що працюють без взаємних перешкод, чим у діапазонах більше довгих хвиль.

У діапазоні УКХ смуга частот прийомо-передавального устаткування може бути зроблена дуже широкою. Як відомо, відношення ширини смуги пропущення одиночного коливального контуру до його резонансної частоти дорівнює  $f/f_0 = 1/Q$ , де Q - добротність контуру. Звичайно в контурах, застосовуваних у радіопристроях, це відношення не перевищує декількох відсотків ( $1 \div 3$ ) %, отже, якщо на хвилі довжиною 1000 м. ширина смуги контуру може бути  $3 \div 9$  кГц, те на хвилі довжиною 10 см вона становить  $30 \div 90$  МГц. Таким чином, на УКХ можна здійснювати передачу сигналів, що займають дуже широку смугу частот, наприклад TV або велике число ТЛФ.

Таким чином, застосування УКХ для організації зв'язку забезпечує: - можливість передачі сигналів, що займають дуже широку смугу частот (TV, багатоканальних ТЛФ);



відсутність зовнішніх перешкод; - можливість здійснення стійкого зв'язку при малій потужності передавача, завдяки застосуванню спрямованих антен. Недоліком радіозв'язку на УКХ є обмежена дальність. УКХ радіохвилі, особливо дециметрові і сантиметрові, не відбиваються від іоносфери й дуже слабо обгинають перешкоди, тому дальність радіозв'язку на цих хвилях обмежена. При малій потужності передавачів стійкий зв'язок на дециметрових і сантиметрових хвилях можлива в межах прямої видимості. За межами прямої видимості напруженість поля дуже швидко падає зі збільшенням відстані між станціями, і зв'язок стає ненадійним. Внаслідок цієї особливості поширення хвиль, далекий зв'язок на УКХ можлива тільки за допомогою ретрансляційних або радіорелейних ліній.

### Класифікація РРЛ

Залежно від первинної мережі розрізняють:

- магістральні РРЛ;
- внутрізонові РРЛ;
- місцеві РРЛ.

Залежно від способу формування ГС розрізняють аналогові й цифрові РРЛ.

Аналогові РРЛ залежно від способу об'єднання (розподілу) електричних сигналів і методу модуляції несучої розрізняють:

- РРЛ зі ЧРК;
- ЧМРРЛ із ФІМ-АМ;

Цифрові РРЛ класифікують по способі модуляції несучої:

- ІКМ-ЧМ;
- ІКМ-ФМ;

і інші

Залежно від швидкості передачі двійкових символів:

- з малою пропускнуою здатністю -  $V < 10$  Мбіт/с;
- із середньою пропускнуою здатністю -  $V = 10 \dots 100$  Мбіт/с;
- с високою пропускнуою здатністю -  $V > 100$  Мбіт/с.

За межами застосування РРЛ можна класифікувати в такий спосіб:

1. **Магістральні лінії великої ємності.** Ці лінії мають значну довжину й призначені для організації 600 і більше ТЛФ каналів. Загальне число ТЛФ каналів на магістральних лініях може досягати декількох тисяч при так називаній багатостовбурній роботі. Для цього на кожній станції встановлюється кілька комплектів приймально-передавальних апаратів, так що утвориться кілька паралельних радіоканалів (стовбурів), що працюють на різних несучих частотах на спільних антенно-фідерних пристроях. Число стовбурів на магістральних РРЛ може досягати  $6 \div 8$ , причому частина стовбурів звичайно використовується для передачі ТV програм, а один або два стовбури є резервними – на них автоматично переключується передача повідомлень при виході з ладу основних стовбурів (приділяється сантиметровий і міліметровий діапазон хвиль).

2. **Лінії середньої ємності,** використовуються на відгалуженнях від магістральних ліній і на внутріобласних зв'язках і призначаються для організації від 60 до 300 ТЛФ каналів. Причому на одній лінії звичайно працює до 3 стовбурів (приділяється дециметровий діапазон хвиль).

3. **Малоканальні РРЛ** із ємністю не більше 30 ТЛФ-каналів використовуються для місцевого або, так називаного, низового зв'язку. На цих лініях найчастіше використовується апаратури у вигляді контейнера, що заривається в землю в підстави щодо невисокої й простій по конструкції антеною щогли (приділяється звичайно метровий і дециметровий діапазон хвиль).

4. **РРЛ для зв'язку на залізничному транспорті, газопроводах, нафтопроводах, лініях електропередач і т.п.** Число ТЛФ звичайно до 30 каналів, необхідне виділення на кожній станції. Тому застосовується апаратури із ВР ( дециметровий діапазон хвиль).

5. **РРЛ із рухомими станціями.** Використаються для потреб оборони, а також для оперативної заміни ушкоджених ділянок РРЛ і кабельної магістралі (залежно від призначення вибирається діапазон хвиль).

6. **Тропосферні РРЛ** із відстанями між станціями до 300-400 км й ємністю до 120 ТЛФ каналів (кінець метрового й початок дециметрового діапазону хвиль).

7. **РРЛ із використанням ШСЗ** із відстанню між наземними станціями до декількох тисяч кілометрів, призначені для передачі сигналів ТВ і багатоканальної ТЛФ (кінець дециметрового й початок сантиметрового діапазону хвиль).

### План розподілу частот на одностовбурних РРЛ прямої видимості

Під частотним планом системи РРЛ зв'язку розуміють розподіл частот прийому й передачі між стовбурами системи, а також розподіл частот гетеродинів, тобто розподіл частот передачі й прийому на одному стовбурі. Тому що особливістю побудови апаратури РРЛ зв'язку є те, що на ПС прийомні й передавальні антени одного напрямку зв'язку практично розташовані поруч, те виникаючі в цьому випадку взаємозв'язку між антенами не дозволяють використати ті самі робітники частоти при прийомі й передачі сигналів у даному напрямку. Тому на ПС виникає необхідність у зміні робочих частот прийому й передачі як при організації односторонньої, так і двостороннього зв'язку.

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 два плани розподілу частот у РРЛ прямої видимості, для стовбура:  
двохчастотний план;  
чотирьохчастотний план;

При двухчастотном плані на радіолінії використовуються дві частоти. Схема розподілу наведена на рис. 1.4а.

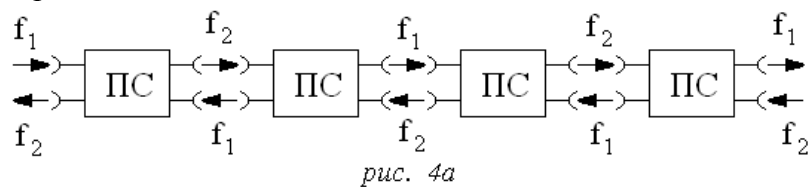


рис. 4а

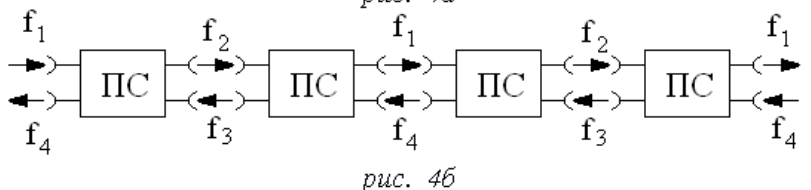


рис. 4б

При чотирьохчастотном плані на радіолінії використовуються 4 частоти. Схема розподілу наведена на рис.1.4б.

При двухчастотній системі використовуються РПА, параболічні або інші антени, що мають захист від прийому сигналів зі зворотного напрямку порядку  $60 \div 70$  дБ. Така система застосовується звичайно на РРЛ великій і середній ємності.

**Чотирьохчастотна система** допускає використання більше простих дешевих конструкцій антенних систем, наприклад перископічних. Чотирьохчастотна система з більше простими антенними системами застосовується на РРЛ середній і малій пропускній здатності, призначених для внутрізонових і низових зв'язків.

Частоти прийому й передачі в одному стовбурі РРЛ чергуються від станції до станції. Станції, на яких прийом здійснюється на більше низькій частоті ( $f_1$ ), а передача на більше високій ( $f_2$ ), позначаються індексом “НВ”, а станції, на яких прийом виробляється на більше високій частоті ( $f_2$ ), передача на більше низькій ( $f_1$ ) позначається індексом “ВН”.

Для того щоб звести до мінімуму інтерференційні перешкоди в багатостовбурних 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 й передачі, тобто частоти прийому розміщені в одній половині діапазону, а частоти передач - в іншій половині діапазону. Такий план розподілу частот наведений на рис.1.5.

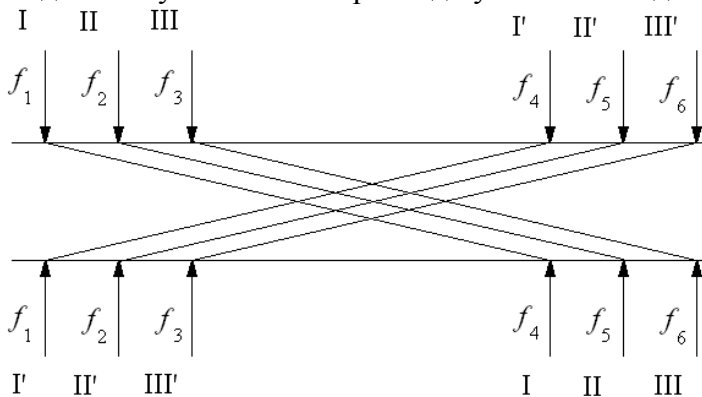


Рис.1.5

При цьому плані кожна антена може бути використана одночасно як для передачі, так і прийому сигналів.

На рис.1.6 наведений план розподілу частот, рекомендований МККР для системи працюючих у діапазоні 4 ГГц, шести стовбурів по 600 ТЛФ каналів.

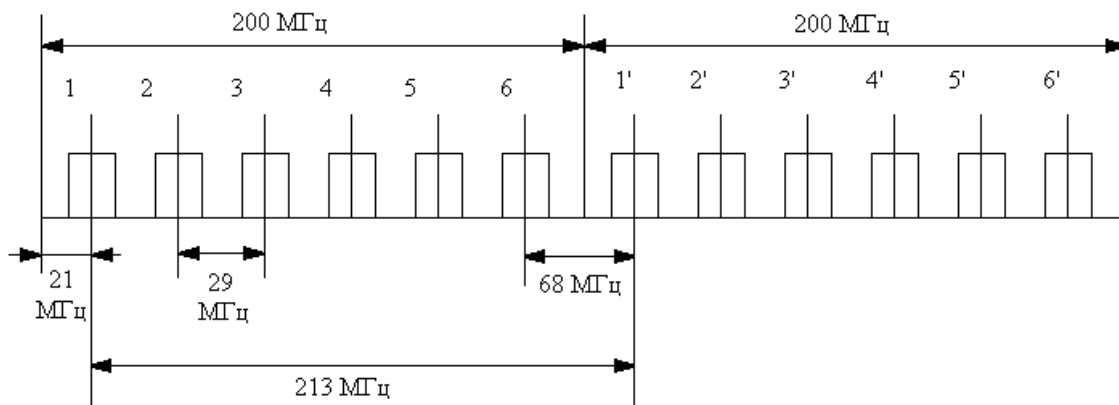


Рис.1.6

### *Діапазони частот, відведені для РРЛ*

Відповідно до класифікації РРЛ по призначенню, способам поділу каналів й областю застосування, приділяється й діапазон частот для роботи даної РРЛ.

1. **Наземні РРЛ або РРЛ прямиї видимості**, залежно від ємності працюють у діапазоні від метрових хвиль до сантиметрових. Малоканалні РРЛ працюють у нижній частині діапазону, а багатоканальні або широкосмугові - у верхній. Застосування більше високих частот (11 ГГц і вище) приводить до додаткового ослаблення сигналу, тому що довжина хвилі стає порівняно з розмірами атмосферних опадів.

2. **Тропосферні РРЛ** – це такі РРЛ, у яких за рахунок відбиття від тропосфери здійснюється далеке поширення УКВ хвиль. Працюють вони в діапазоні 1000 МГц (дециметрові хвилі).

3. **Тропосферні РРЛ**, що працюють у діапазоні 3,8; 8,4 ГГц й 11; 14 ГГц – сантиметрові хвилі.

## ЛЕКЦІЯ 2

### Види станцій на РРЛ

#### Загальні властивості радіохвиль

#### Розповсюдження радіохвиль у вільному просторі

#### Область простору, що впливає на поширення радіохвиль

#### Ослаблення поля вільного простору в реальних умовах

#### Розповсюдження земних радіохвиль

### Види станцій на РРЛ

На РРЛ є кілька видів станцій.

1. Кінцева станція (КС), призначається для введення в РРЛ багатоканального й ТВ сигналу на стороні передачі й для виділення цих сигналів на стороні прийому. КС РРЛ зв'язана сполучними лініями із МТС і ТЦ. Часто КС з'єднується із ТЦ. Структурна схема КС наведена на рис.2.1.

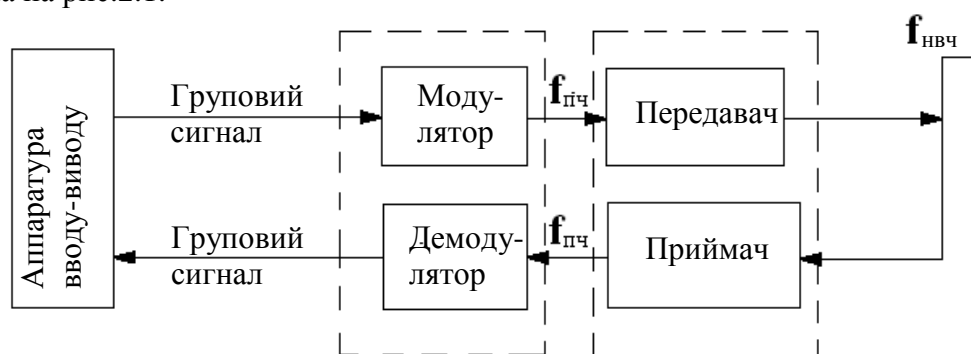


Рис.2.1

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

У малоканалних РРЛ й особливо в РРЛ із часовим розподілом застосовується побудова апаратів ПС, при якому демодуляція й модуляція виробляється на кожній ПС. Це дозволяє вводити й виводити ТЛФ канали на будь-який ПС. Структурна схема станції наведена на рис.2.2.

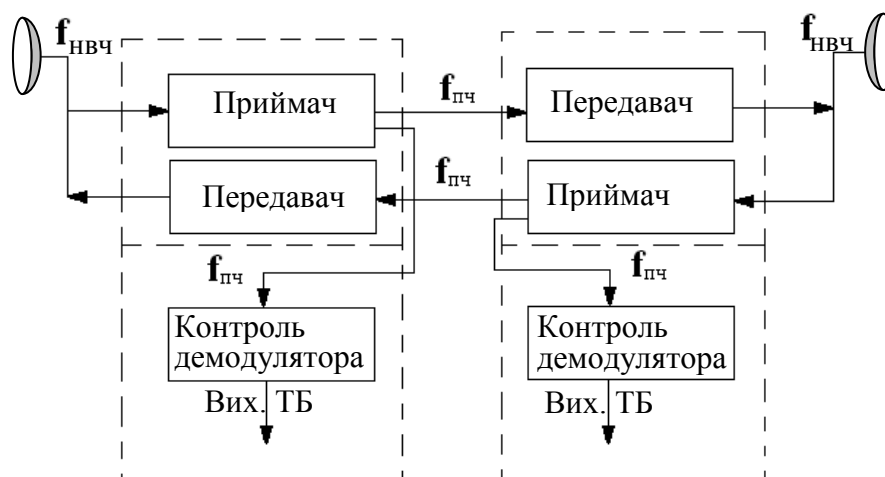


Рис.2.2

3. Вузлові станції (ВС) призначені для виділення частини ТЛФ каналів і введення відповідної кількості нових каналів. Від ВС часто беруть початок нові РРЛ (лінії відгалуження). У ТЛФ стовбурах на ВС здійснюється демодуляція сигналів з боку прийому й модуляція з боку передачі. При необхідності ці перетворення здійснюються й у ТВ стовбурах. Структурна схема станції наведена на рис.2.3.

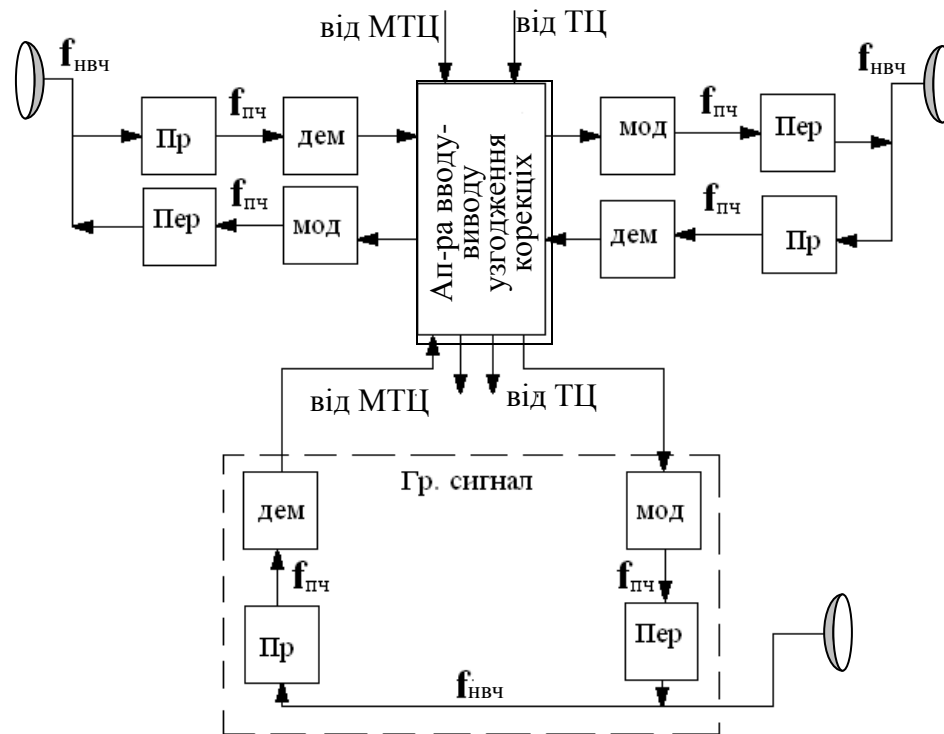


Рис.2.3

### Загальні властивості радіохвиль

У процесі розповсюдження радіохвилі ослаблюються, це пов'язане з рядом причин. У міру видалення від передавача енергія розповсюджується все в більшому об'єму, отже, щільність потоку енергії зменшується. Середовище, у якій поширюються радіохвилі, також викликає їхнє ослаблення. Це пов'язане з поглинанням енергії хвиль внаслідок теплових втрат і зменшенням напруженості поля хвилі при огинанні перешкод у вигляді опуклості земної кулі або височин. У кожній точці простору вектор напруженості електричного поля хвилі  $E$  перпендикулярний вектору напруженості магнітного поля  $H$ , і обидва вектори перпендикулярні напрямку поширення хвилі.

Поширення радіохвиль підкоряється певним загальним законам:

1. *Прямолінійне поширення в однорідному середовищі*, тобто середовищі, властивості якого у всіх точках однакові.
2. *Відбиття й переломлення при переході з одного середовища в інше*. Кут падіння дорівнює куту відбиття.
3. *Дифракція*. Зустрічаючи на своєму шляху непрозоре тіло, радіохвилі огинають його. Дифракція проявляється в різній мірі залежно від співвідношення геометричних розмірів перешкоди й довжини хвилі.
4. *Рефракція*. У неоднорідних середовищах, властивості яких плавно змінюються від точки до точки, радіохвилі поширюються по криволінійних траєкторіях. Чим різкіше змінюються властивості середовища, тим більше кривизна траєкторії.
5. *Повне внутрішнє відбиття*. Якщо при переході з оптично більш щільного середовища в менш щільне, кут падіння перевищує деякі критичні значення, то промінь у

друге середовище не проникає й повністю відбивається від границі середовищ. Критичний кут падіння називають кутом повного внутрішнього відбиття.

6. *Інтерференція.* Це явище спостерігається при додаванні в просторі декількох хвиль. У різних точках простору з'являється збільшення або зменшення амплітуди результуючої хвилі залежно від співвідношення фаз хвиль, що додаються.

Радіохвилі, що поширюються над поверхнею землі й, внаслідок дифракції, які частково обгинають опуклість земної кулі, називаються *поверхневими хвилями*. Поширення поверхневих хвиль сильно залежить від властивостей земної поверхні.

Радіохвилі, що поширюються на великій висоті в атмосфері й повертаються на землю внаслідок відбиття від атмосферних неоднорідностей, називають *просторовими хвилями*.

### Розповсюдження радіохвиль у вільному просторі

Під вільним простором розуміють такий однорідний безмежний простір, у якому відсутні молекули, атоми, вільні заряди. Введення такого поняття вільного простору дозволяє виявити загальні властивості поля, які властиві будь-якому механізму поширення радіохвиль.

Якщо в точці А вільному просторі, що має відносну діелектричну проникність  $\epsilon=1$  і відносну магнітну проникність  $\mu=1$ , розташувати ненаправлений випромінювач то напруженість електричного поля  $E_0$  на відстані  $R$  від випромінювача можна визначити в такий спосіб:

Проведемо навколо точки А сферу з радіусом  $R$  рис. 2.4.

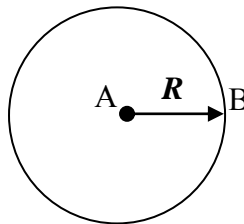


Рис.2.4.

Тоді потужність  $|P|$ , що відводиться на одиницю поверхні сфери, тобто середнє за період значення модуля вектора Пойтінга, можна визначити як

$$|P| = P / 4\pi R^2,$$

де  $P$  – потужність, що підводиться до випромінювача. Вектор Пойтінга є векторний добуток напруженості електричного поля  $E_0$  і напруженості магнітного поля  $H_0$

$$P = [E_0; H_0] \text{ або оскільки } E_0 \perp H_0, \text{ тоді } |P| = |E_0| \cdot |H_0|.$$

Напрямок вектора Пойтінга збігається з напрямком поширення енергії в даній точці.

На досить великих відстанях від випромінювача випромінювану їм сферичну хвилю в межах невеликої площі, займаною прийомною антеною, приблизно можна вважати плоскою, а для останньої існує наступне співвідношення:

$$\frac{|\bar{E}_0|}{|\bar{H}_0|} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi, \text{ Ом,}$$

що називається хвильовим опором вільного простору.

Отже, можна записати  $|P| = |E_0| / 120\pi$  або, з огляду на значення  $|P|$ , одержимо

$$\frac{P}{4\pi R^2} = \frac{|\bar{E}_0|^2}{120\pi},$$

$$|\bar{E}_0| = \sqrt{\frac{P \cdot 120\pi}{4\pi R^2}} = \sqrt{\frac{30P}{R}},$$

тобто напруженість електричного поля на відстані  $R$  від випромінювача. Фаза вектора  $E_0$  при проходженні хвилею відстані  $R$  здобуває значення

$\varphi = (2\pi/\lambda) \cdot R$ , где  $\lambda$  - длина волны.

### Область простору, що впливає на поширення радіохвиль

При поширенні радіохвиль в однорідному безмежному просторі різні області цього простору неоднаково впливають на процес формування поля в точці прийому. Щоб визначити істотну область простору, що відіграє визначальну роль, звернемося до принципу хвилеводної оптики - принципу Гюйгенса-Френеля.

Припустимо, що в точці А розташований випромінювач: потрібно визначити напруженість електричного поля  $E_B$  в точці В на відстані  $R$  від випромінювача. Проведемо подумки навколо випромінювача довільну замкнуту поверхню  $\Sigma$  (рис. 2.5).

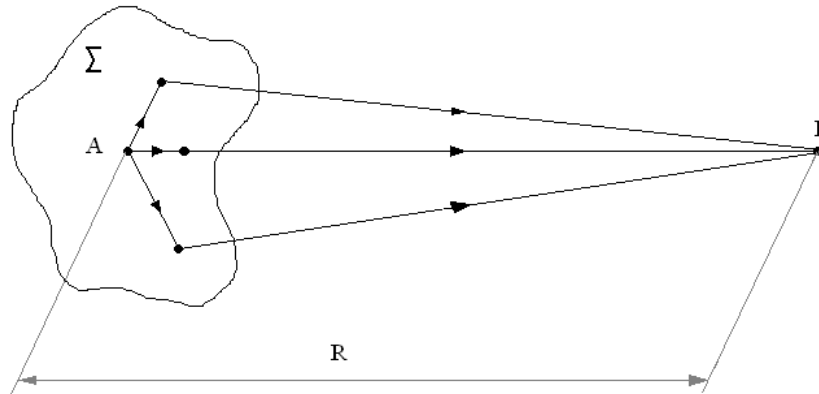


Рис.2.5.

Відповідно до принципу Гюйгенса – Френеля: кожна точку на поверхні  $\Sigma$  можна вважати джерелом вторинних сферичних хвиль (віртуальним джерелом), а поле в точці В можна визначити як результат векторного підсумовування полів всіх таких вторинних випромінювачів на поверхні  $\Sigma$ . Кожний із вторинних випромінювачів має діаграму спрямованості, максимум його випромінювання збігається з нормаллю до поверхні  $\Sigma$  у даній точці.

Щоб простежити процес формування поля в точці В, припустимо, що на відстані  $R_1$  від точки В перпендикулярно лінії АВ розташований екран, непрозорий для радіохвиль нескінченних розмірів. Замкнуту навколо точки А поверхню  $\Sigma$  виберемо, що складається із площини екрана й нескінченної півсфери, що охоплює точку А и опираючої на екран. Якщо отвору в екрані немає, то через непрозорість екрана поле в точці В буде дорівнює 0 (рис.2.6).

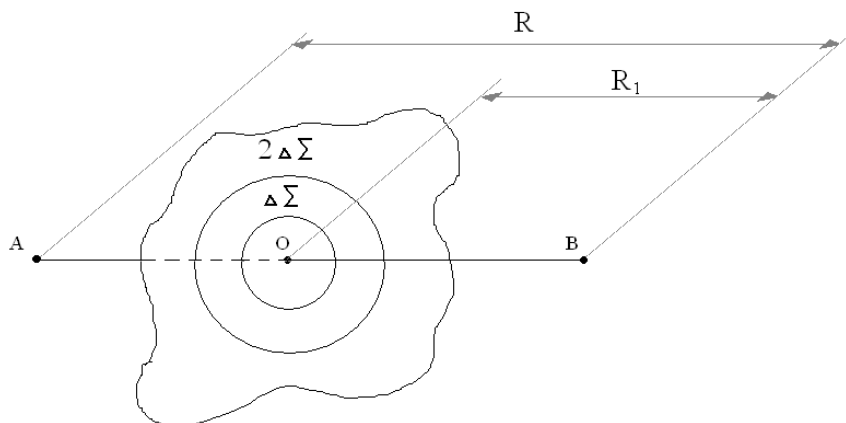


Рис.2.6.

Проробимо тепер в екрані навколо точки О малий круглий отвір площею  $\Delta\Sigma$ . За рахунок випромінювання вторинних джерел на поверхні  $\Delta\Sigma$  у точці В з'явиться деяка напруженість поля  $\Delta E_1$ , що має модуль  $|\Delta E_1|$  і фазу  $\varphi_1$ . Збільшимо площу отвору до величини  $2\Delta\Sigma$ . Через випромінювання вторинних джерел з нової кільцевої поверхні, що також має

площа  $\Delta\Sigma$ , у точці В з'явиться нова складова напруженості поля  $\Delta E_2$  з модулем  $|\Delta E_2|$  і фазою  $\varphi_2$ . Очевидно, що фаза  $\varphi_2 > \varphi_1$ , тому що шлях  $AD_2U > AD_1$  рис.2.7.

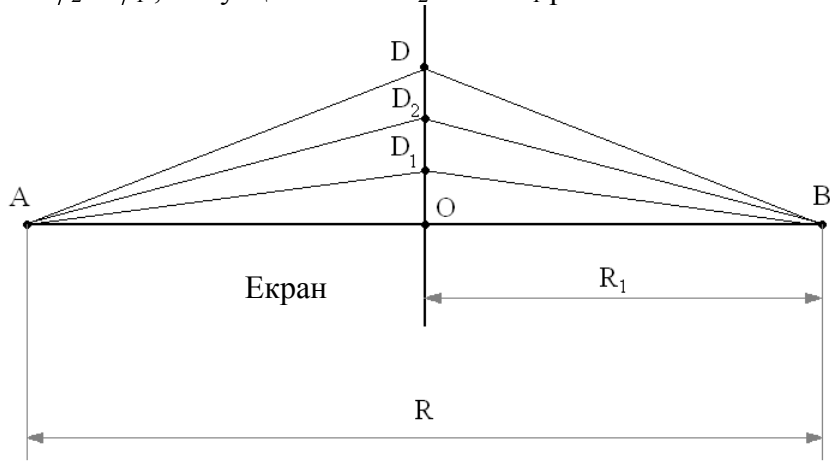


Рис.2.7.

Отже,  $\Delta E_1$  й  $\Delta E_2$  зсунуті по фазі на  $\Delta\varphi_1 = \varphi_2 - \varphi_1$ .

Збільшуючи площу відгалуження ще на  $\Delta\Sigma$ , одержимо складову  $\Delta E_3$ , зрушену по фазі відносно  $\Delta E_2$  на  $\Delta\varphi_2 = \varphi_3 - \varphi_2$  і т.д.

У результаті будемо мати векторну діаграму виду рис.2.8.

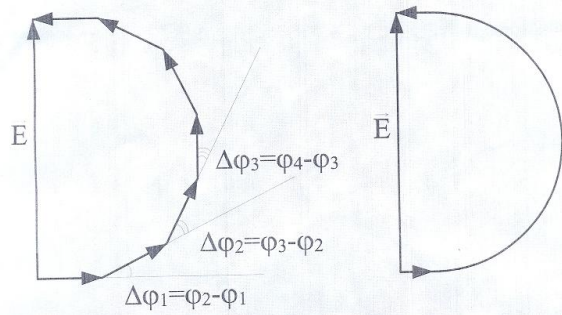


Рис.2.8

У міру збільшення площі отвору наступить такий випадок, коли поля від вторинних джерел периферійної лінії отвори виявляться в протифазі з полем, обумовленим вторинним випромінюванням центра отвору. Це відбудеться коли  $ADB - AB = \lambda/2$ . Отвір, при якому задовольняється ця умова, зветься першою зоною Френеля. Результуюча напруженість поля в кінці В при площі отвору, рівній першій зоні Френеля, виходить найбільшої.

При подальшому збільшенні площі отвору напруженість поля в кінці В почне зменшуватися внаслідок того, що поле від знову одержуваних кільцеподібних поверхонь отвору будуть уже в протифазі з полями, обумовленими випромінюванням першої зони Френеля рис.2.9

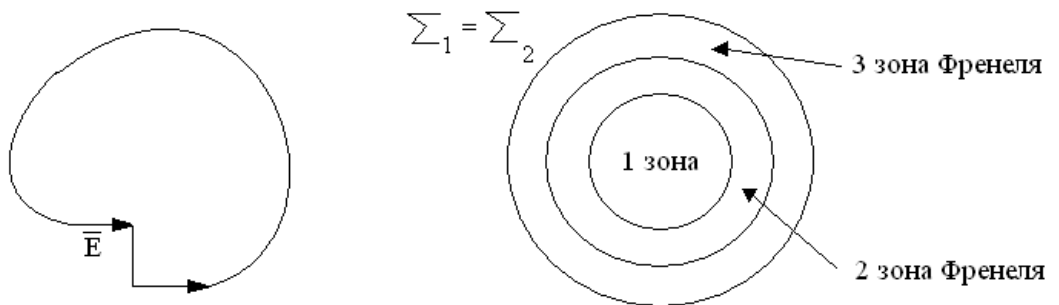


Рис.2.9



При різних отворах, що відповідають другій зоні Френеля, коли  $ADB - AB = \lambda$ , напруженість поля в точці В мінімальна.

Варто звернути увагу на те, що зі зміною відстані  $R_1$  від точки В до екрана, радіус зони Френеля так само міняється й визначається по наступній формулі.

$$\rho_n = \sqrt{\frac{n\lambda R_1 (R - R_1)}{R}},$$

де:  $n$  – номер зони Френеля.

На площині креслення зони Френеля відповідно до формули виглядають у такий спосіб (еліпси) рис.2.10.

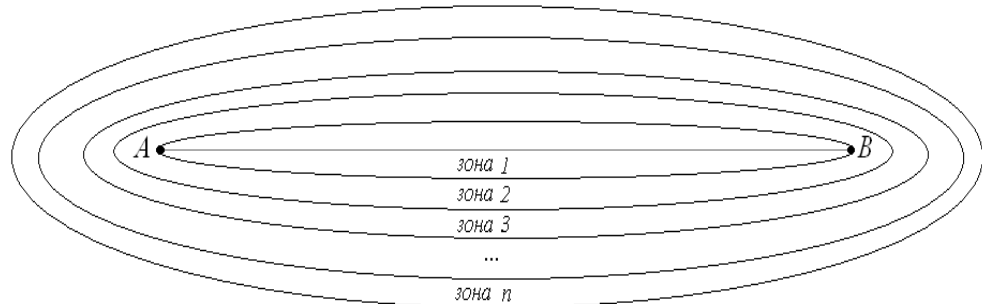


Рис.2.10

У просторі ж, для кожної зони Френеля одержимо відповідні еліпсоїди обертання навколо прямої АВ.

### Ослаблення поля вільного простору в реальних умовах

При поширенні радіохвиль у вільному просторі амплітуда хвилі убуває зі збільшенням відстані від випромінювача за рахунок сферичної розходженості фронту хвилі. Фаза хвилі змінюється тільки за рахунок зміни відстані.

Реальні умови поширення радіохвиль істотно відрізняються від умови поширення у вільному просторі через наявність границі роздязнула атмосфери - Земля й неоднорідна будова атмосфери й земної поверхні.

При реальних умовах поширення радіохвиль амплітуда хвилі може зменшуватись зі збільшенням відстані не тільки сферичної розбіжності фронту хвилі, але й за рахунок поглинання й розсіювання електромагнітної енергії (у землі, іоносфері, гідрометеорах і т.д.), а також за рахунок просторового перерозподілу електромагнітної енергії при інтерференції хвиль.

Фаза хвилі буде визначатися не тільки відстанню від випромінювача, але й зміною швидкості поширення через електричну неоднорідність атмосфери, поява відбиттів від границі роздязнула й т.д. Для обліку впливу поверхні Землі й неоднорідності атмосфери на поширення радіохвиль вводять поняття множника ослаблення поля вільного простору  $V$ , що звичайно називають для стислості множником ослаблення.

Кількісно  $V$  є відношення напруженості поля  $E$  на відстані  $R$  від передавальної антени при поширенні в реальних умовах до напруженості поля  $E_0$  на тім же відстані  $R$  при поширенні у вільному просторі, тобто

$$V = \frac{\bar{E}}{E_0} = |V| e^{i \text{arc} V},$$

де:  $|V|$  - модуль множника ослаблення;

$\text{arc} V$  – його фаза.

Таким чином,  $|V|$  урахує додаткове ослаблення амплітуди хвилі в порівнянні з її ослабленням у вільному просторі, а  $\text{arc}$  – додаткова зміна фази хвилі.

Величина  $V$  залежить від багатьох факторів: відстані між крапками передачі й прийому, висот підняття антен над поверхнею Землі, довжини хвилі, виду поляризації

радіохвиль, характеру рельєфу місцевості на трасі, а також від неоднорідної будови атмосфери, підданого досить значним випадковим змінам.

Складний випадковий характер неоднорідної будови атмосфери уможлиблює, строго говорячи, лише статичний опис просторових і часових змін  $V$ , тому основним завданням теоретичного й експериментального вивчення поширення радіохвиль є визначення законів статичного розподілу  $V$  або, принаймні, його статичних характеристик, середнього значення дисперсії просторових і часових кореляційних функцій або спектрів.

### **Розповсюдження земних радіохвиль.**

У більшості випадків прийомні й передавальні антени розміщуються на таких відстанях від земної поверхні, при яких необхідно враховувати її вплив на поширення радіохвиль. Електричне поле в місці прийому таких антен можна представити як сукупність первинного поля, що відповідає полю вібратора в необмеженому однорідному середовищі при відсутності земної поверхні, і вторинного поля, обумовленого загальним впливом землі на процес поширення радіохвиль.

Строге рішення завдання про знаходження напруженості електричного поля в деякій крапці над земною поверхнею при довільному розташуванні випромінювача досить складно. Розглянемо деякі найбільш важливі випадки поширення радіохвиль.

### ЛЕКЦІЯ 3.

Поширення хвиль над плоскою поверхнею Землі

Інтерференційна формула Введенського

Відстань прямої видимості між антенами

Будова й склад атмосфери

Щільність атмосфери

Температура атмосфери

Діелектрична проникність атмосфери

Поглинання радіохвиль у тропосфері

Рефракція радіохвиль у тропосфері й еквівалентний радіус Землі

Атмосферна рефракція

#### Поширення хвиль над плоскою поверхнею Землі

Вплив земної поверхні на поширення радіохвиль можна враховувати тоді, коли передавальна й приймальня антени підняті над однорідною земною поверхнею на висоту кілька довжин хвиль. Практично підняти антену на таку висоту можна тільки в діапазоні УКВ.

На границі розділу повітря - земля відбувається відбиття хвилі, причому напруженість електричного поля відбитої хвилі визначається за допомогою коефіцієнтів відбиття, які у свою чергу визначаються властивостями поверхні, що відбиває. Поле в місці прийому є результатом інтерференції полів прямої хвилі й хвилі відбитої від земної поверхні рис.2.1.

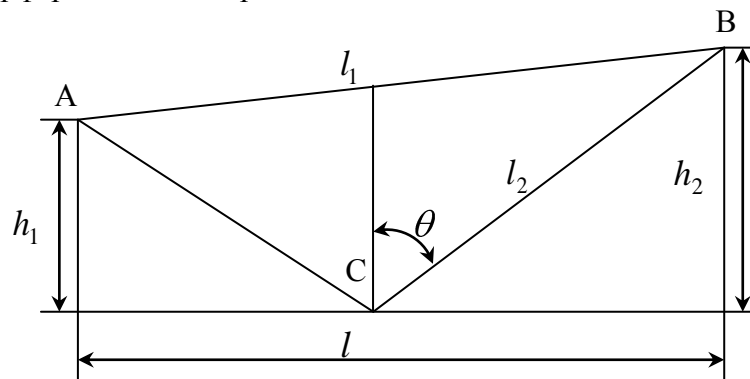


Рис. 2.1.

Шляхом геометричних розрахунків модуль напруженості електричного поля в точці У визначають як

$$E_m = E_{m1} \sqrt{l + |R|^2 + 2|R| \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} 2h_1 \cos\theta + \varphi\right)},$$

де:  $R$  – коефіцієнт відбиття;

$\theta$  - кут падіння хвилі на поверхню;

$\varphi$  – фаза відбитої хвилі;

$E_{1m}$  – напруженість електричного поля прямої хвилі.

Наведена формула зветься інтерференційною. Використовуючи цю формулу можна розрахувати напруженість поля в точці прийому для різних типів випромінювачів.

### Інтерференційна формула Введенського

Найбільш важливим для практики поширенням УКВ уздовж поверхні землі у випадку пологих променів ( $\theta \rightarrow 90^\circ$ ), інтерференційна формула спрощується й приводиться до виду

$$E_m = \frac{0,2 \cdot 4\pi^2 I_m l_{ан} h_1 h_2}{\lambda^2 l} \text{ , [мВ/м] ,}$$

де:  $I_m$  – струм в антені в амперах;

$l_{ан}$  – розміри антени в метрах;  $l$  - відстань між А і В [ км ] .

Ця формула була вперше отримана Б.А. Введенським та наглядно характеризує залежність напруженості поля від відстані, довжини хвилі та висоти розташування антен.

### Відстань прямої видимості між антенами

При значних відстанях між передавачем і приймачем варто враховувати сферичність Землі. Важливою характеристикою лінії зв'язку в цьому випадку є відстань прямої видимості. Це така відстань між передавальною й приймальною антенами, при якому пряма лінія, що з'єднує ці антени, стосується земної поверхні рис.2.2.

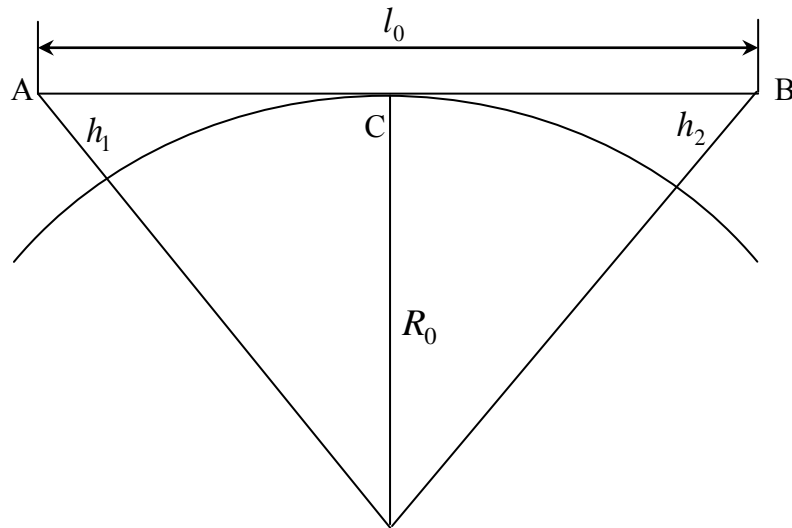


Рис.2.2.

Відстань прямої видимості  $L_0$  можна визначити як

$$L_0 = AC + CB$$

$$AC = \sqrt{R_0^2 + h_1^2 - R_0^2} \approx \sqrt{2R_0 h_1}$$

$$CB = \sqrt{R_0^2 + h_2^2 - R_0^2} \approx \sqrt{2R_0 h_2}$$

або

$$l_0 = \sqrt{2R_0} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Емпірично встановлено, що  $l_0$  в кілометрах визначається вираженням

$$l_0 = 3,57 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

### Будова й состав атмосфери

Атмосферу поділяють за висотою на три області: тропосферу, стратосферу та іоносферу. Нижні шари атмосфери до висот  $7 \div 10$  км в полярних районах та до 16-18 км над екватором називають тропосферою. Тропосфера переходить в стратосферу, верхня межа якої знаходиться на висоті 50-60 км. Стратосфера відрізняється від тропосфери майже повною відсутністю водяного пару. Опади утворюються тільки в тропосфері. Тропосфера та стратосфера впливають тільки на розповсюдження УКХ. Починаючи з висоти приблизно 60 км, гази в атмосфері іонізовані й тут є присутнім значна кількість вільних електронів і іонів.

На висоті до 100 км атмосфера має такий же состав, як у поверхні землі, і складається з молекулярного азоту - 78 %, молекулярного кисню - 21 % і 1 % інших домішок (пари води, водень, вуглекислий газ, озон та ін.). У цій області атмосфери відбувається інтенсивне перемішування газів, завдяки пануючим тут повітряним плинам. На висоті більше 100 км під дією сонячної радіації відбувається розщеплення молекул кисню й азоту на атоми. У цій області висот гази не перемішуються й розташовуються шарами відповідно до їхньої молекулярної ваги.

### Щільність атмосфери

Щільність атмосфери характеризується числом молекул, що втримуються в одному кубічному сантиметрі повітря на даній висоті над рівнем моря, і пов'язана з тиском і температурою. Щільність атмосфери на даній висоті пропорційно тиску вище лежачого шару атмосфери, так що щільність при постійній температурі розподілена по висоті так само, як атмосферний тиск. У дійсності ж температура й состав повітря міняється з висотою, що приводить до відхилення в розподілі тиску й щільності по висоті.

### Температура атмосфери

Поблизу земної поверхні температура убуває зі збільшенням висоти, тому що в цій області нагрівання повітря відбувається за рахунок нагрітої сонцем землі. Звичайно температура убуває на  $5 \div 6^\circ\text{C}$  на км.

На висотах порядку 15 км, верхня границя атмосфери, починається припинення падання температури й аж до висот порядку 25 км температура залишається постійної приблизно 2250К. Починаючи із цієї висоти, температура підвищується, досягаючи максимуму (3000К) на висоті  $50 \div 60$  км, потім знову знижується аж до висоти близько 80 км і після цього другого мінімуму плавно зростає, досягаючи  $2000 \div 3000\text{K}$  на висоті  $500 \div 600$  км.

Зростання температури з висотою в області іоносфери пояснюється тим, що нагрівання повітря тут відбувається безпосередньо за рахунок випромінювання Сонця.

Максимум у кривій розподілу температури, на висотах  $50 \div 60$  км, пояснюється присутністю озону на цій висоті. Озон інтенсивно поглинає ультрафіолетове випромінювання Сонця в діапазоні близько 0,2 мкм і приводить до підвищення температури в цій частині атмосфери рис.3.1.

### Діелектрична проникність атмосфери

Діелектрична проникність тропосфери тільки приблизно може вважатися рівної електричної постійної  $\varepsilon_\sigma = \frac{1}{36\pi 10^9}$ , Ф/м.

Тому відносна діелектрична проникність тропосфери не дорівнює 1, а трохи більше й залежить від тиску, температури й вологості повітря  $\varepsilon = \frac{\varepsilon_\sigma}{\varepsilon_0}$ .

Значення  $\varepsilon$  дуже ненабагато перевищує одиницю, а втрати в тропосфері істотні тільки в діапазоні сантиметрових і більше коротких хвилях.

Коефіцієнт переломлення тропосфери не залежить від частоти для хвиль більше 1 см. Для хвиль міліметрового діапазону істотно позначаються втрати, що враховується шляхом введення комплексної діелектричної проникності повітря.

На практиці частіше застосовують величину  $N = (n - 1) \cdot 10^6$ , називаної індексом переломлення тропосфери, де  $n \approx \sqrt{\epsilon}$  - коефіцієнт переломлення тропосфери.

У середньому значення  $N$  змінюється з висотою лінійно, причому для середніх широт градієнт зміни  $N$  з висотою становить

$$d/dh = -40 \text{ 1/км.}$$

Умови, при якому  $N$  змінюється за таким законом, відповідає так називаній нормальній тропосфері.

У реальних умовах часто спостерігається нерегулярна зміна метеорологічних параметрів, що приводить до складної залежності  $N$  від висоти.

### Поглинання радіохвиль у тропосфері

При розподілі радіохвиль у тропосфері ослаблення напруженості поля випробовують тільки радіохвилі дециметрового й більше короткохвильових діапазонів.

Ослаблення напруженості поля радіохвиль пов'язане із частковим перетворенням електромагнітної енергії в інші види енергії й з розсіюванням.

Основною причиною поглинання радіохвиль у тропосфері є наявність крапель води, присутніх тут у вигляді тумана або дощу.

У краплях води відбуваються як теплові втрати, так і розсіювання радіохвиль.

### Рефракція радіохвиль у тропосфері та еквівалентний радіус Землі

Відмінність коефіцієнта переломлення тропосфери від 1 і зміна його з висотою істотно впливають на поширення радіохвиль, особливо в діапазоні УКХ.

Розіб'ємо подумки тропосферу на тонкі сферичні шари, у межах кожного з яких коефіцієнт переломлення будемо вважати незмінним рис.3.2.

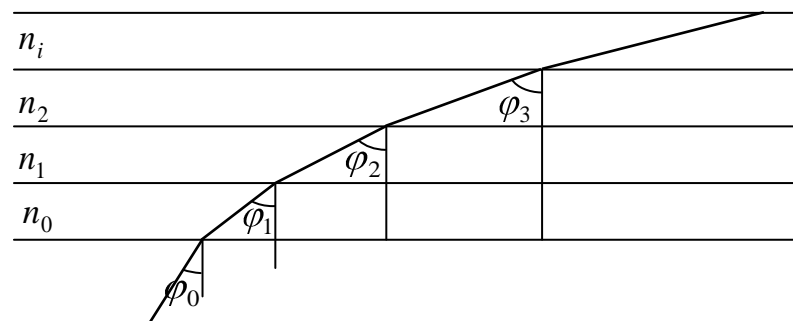


Рис.3.2

Використовуючи закон заломлення послідовно к сусіднім ділянкам, одержуємо:

$$n_0 \sin \varphi_0 = n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2 = K = n_i \sin \varphi_i,$$

де  $n_0, n_1, n_2, \dots, n_i$  - коефіцієнти заломлення відповідно сусідніх ділянок тропосфери.

Звідси, траєкторія радіохвилі визначається виразом  $n \sin \varphi = const$ .

У результаті цього хвиля рухається по траєкторії, що має вид ламаної лінії. Якщо товщину шарів зменшити й перейти до плавної зміни коефіцієнта переломлення, то ламана лінія буде прагнути до деякої кривої.

Таким чином, при проходженні хвилі в неоднорідному середовищі її траєкторія викривляється. Це явище зветься рефракції.

Причому радіус кривизни траєкторії хвилі в тропосфері залежить тільки від швидкості зміни коефіцієнта переломлення по висоті, тобто

$$\rho = f(dn/dh).$$

Якщо показник заломлення  $n$  змінюється лінійно на висоті, то радіус кривизни траєкторії  $\rho$  не змінюється з висотою й траєкторія являє собою окружність.

Для спрощення розрахунків при обліку впливу тропосфери, у деяких випадках виявляється зручним звести поширення хвиль по криволінійній траєкторії до поширення хвилі по прямолінійній траєкторії. Таке спрощення виробляється шляхом введення поняття еквівалентного радіуса Землі  $R_0 = R_{\text{екв}}$ .

При цьому картину поширення хвиль по криволінійній траєкторії поблизу реальної земної поверхні, заміняють картиною поширення хвиль по прямолінійній траєкторії поблизу поверхні землі зі зміненим радіусом  $R_0' = R_{\text{екв}}$  рис.3.3.

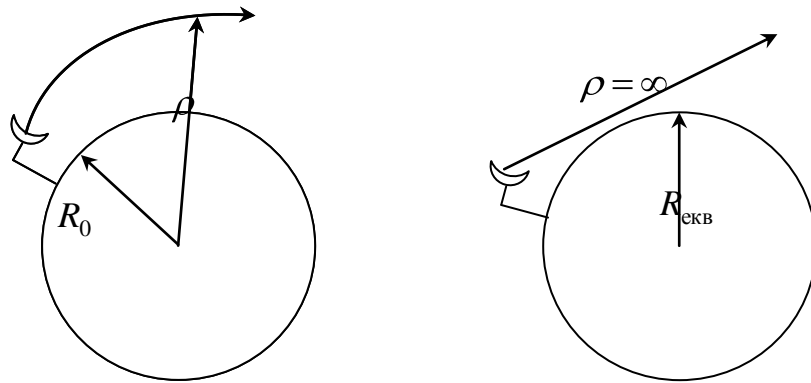


Рис.3.3.

Відношення еквівалентного радіуса Землі до дійсного позначають через  $K$  і визначають як:

$$K = R_{\text{екв}}/R_0 = (dn/dh).$$

Якщо  $n$  мінняється з висотою лінійно, то  $K \approx 4/3$ .

Така рефракція називається нормальною тропосферною рефракцією.

Вплив рефракції на поширення радіохвиль необхідно враховувати при поширенні порівняно протяжних трас, на яких ураховується вплив кривизни земної поверхні.

Наприклад:

- при визначенні відстані прямої видимості з урахуванням рефракції;
- визначення напруженості поля у випадку використання інтерференційних формул при обліку сферичності Землі.

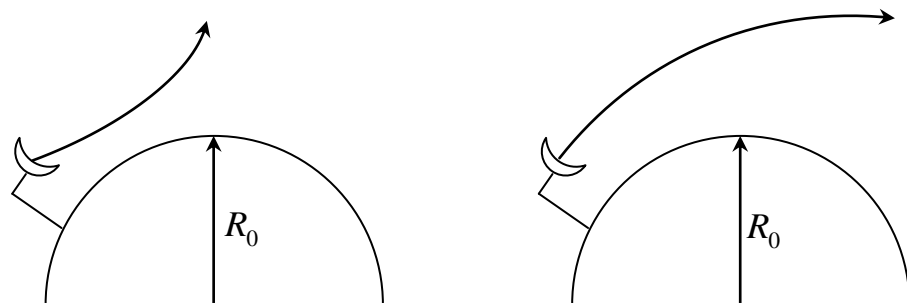
### Атмосферна рефракція

На практиці часто зустрічаються випадки, коли показник переломлення атмосфери змінюється з висотою за законом, відмінному від випадку нормальної атмосферної рефракції.

Зниження показника переломлення з висотою відбувається не плавно: на окремих ділянках убавання  $n$  виявляється більше різким, на інші спостерігається зростання  $n$  з висотою.

Залежно від градієнта  $n$  по висоті  $dn/dh$ , рефракції класифікують у такий спосіб.

1. Негативна атмосферна рефракція  $(dn/dh) < 0$ . У цьому випадку показник переломлення зростає з висотою, і траєкторія звернена опуклістю вниз рис.3.4.a. Еквівалентний радіус Землі виявляється менше дійсного. Це приводить до зменшення напруженості поля в точці прийому.



а)

Рис.3.4.

б)

## 2. Позитивна атмосферна рефракція $dn/dh < 0$ .

Коефіцієнт переломлення убуває з висотою, і траєкторія звернена опуклістю нагору.

При цьому розрізняють три частки випадку:

а) Нормальна атмосферна рефракція, коли  $dn/dh = -40 \cdot 10^{-5} \text{ 1/км}$  и  $R_{\text{екв}} = 4/3 \cdot R_0$ .

Напруженість поля в точці прийому більше, чим при відсутності рефракції рис. 3.4б.

б) Критична атмосферна рефракція, коли  $dn/dh = -1/R_0$ .

Еквівалентний радіус Землі  $R_{\text{екв}} \rightarrow \infty$ , тобто еквівалентна земна поверхня представляється плоскої. Хвиля рухається паралельно цієї поверхні на постійній висоті рис.3.5.а



а)

б)

Рис.3.5.

в) Надрефракція, коли  $dn/dh < 1/R_0$ .

Наступає повне внутрішньо відбиття хвилі в тропосфері й промінь повертається на земну поверхню. Еквівалентний радіус Землі виявляється негативним, так що хвиля, що має еквівалентну прямолінійну траєкторію, обов'язково зустрінеться з увігнутою поверхнею Землі. У цьому місці хвиля відбивається від земної поверхні й може поширюватися шляхом послідовного відбиття від тропосфери й Землі на великі відстані рис.3.5.б. Умови, необхідні для появи надрефракції, пов'язані з метеорологічним режимом. Різке убування коефіцієнта переломлення з висотою найбільше часто викликається особливою зміною температури з висотою.



## ЛЕКЦІЯ 4.

### Особливості поширення УКХ

#### Анени УКХ діапазону

#### Ізотропний випромінювач

#### Симетричний вібратор

#### Основні характеристики антен

### **Особливості поширення УКХ**

Хвилі УКХ діапазону в силу своєї малої довжини погано дифрагують навколо сферичної поверхні землі й великих нерівностей земної або іншої перешкоди. Тому в діапазоні УКХ антени прагнуть розташувати на значній висоті над поверхнею землі, тому що при цьому, по-перше, збільшується відстань прямої видимості й, по-друге, зменшується вплив, що екранує, місцевих предметів, що перебувають поблизу антени. Таким чином, у діапазоні УКХ, як правило, виконується умова, при якому висота розташування антени багато більше довжини хвилі й розрахунок напруженості поля можна вести по інтерференційних формулах. У діапазоні УКХ земна поверхня може розглядатися як ідеальний діелектрик. Тому зміна провідних властивостей ґрунту практично не позначається на поширенні УКХ. Разом з тим, навіть невеликі нерівності земної поверхні істотно змінюють умови відбиття УКХ від поверхні землі.

Характерною рисою поширення УКХ при цьому є більша стабільність і незмінність рівня сигналу в часі. Розрахунок  $E$  можна провадити по формулі Введенського.

У випадку значних відстаней у межах  $0,2l_0 < l < 0,8 \cdot l_0$ , необхідно враховувати вплив сферичності землі. Одночасно варто враховувати вплив рефракції шляхом використання поняття еквівалентного радіуса землі.

При таких відстанях на поширення УКХ впливають метеорологічні умови. Зі зміною коефіцієнта переломлення тропосфери міняється кривизна траєкторії хвилі, причому для прямого й відбитого від земної поверхні променів ці зміни можуть виявитися різними. У результаті змінюється різниця фаз між прямим і відбитим променями, внаслідок чого міняється рівень поля радіохвилі, відбувається так назване завмирання сигналу. Уздовж ліній зв'язку є більш-менш виражені нерівності, наявність яких впливає на поширення радіохвиль. У загальному випадку цей вплив не передбачається можливим. Однак дослідження показали, що клиноподібна перешкода (гірський кряж, високий пагорб) впливає на поширення радіохвиль не тільки при закритій, але й при відкритій трасі. Розрахунок таких трас роблять множенням напруженості електромагнітного поля на множник ослаблення  $V$ . Множник ослаблення залежить від довжини хвилі й величини просвіту  $d$ .

На трасах УКХ довжиною приблизно 100 - 150 км, що проходять через гірські кряжі висотою 1000 - 2000 м, спостерігається явище, назване посилення перешкодою. Це явище полягає в тім, що інтенсивність електромагнітного поля радіохвилі при деякій видаленні від перешкоди виявляється більше, ніж на тім же відстані від передавача на трасі без перешкоди. Розрахунок і експерименти показують, що така перешкода – ретранслятор може дати посилення напруженості електричного поля 60 - 80 дБ.

### **Анени УКХ діапазону**

Пристрій, призначений для випромінювання й прийому радіохвиль, називається антеною. Передавальна антена перетворює енергію струмів високої частоти, створюваних генератором, в енергію електромагнітних хвиль. Приймальна антена виконує зворотнє завдання, створюючи на вході приймача напругу високої частоти.

Виходячи з принципу взаємності будь-яка передавальна антена при використанні її як приймальної зберігає свої основні характеристики, хоча конструктивно вони можуть відрізнитися. Принцип взаємності полягає в тім, що прийомні й передавальні антени оборотні. Усяка антена може бути як приймальною, так і передавальною. Оскільки теорія й

методи розрахунку передавальних антен простіше й краще розроблені, те будь-яку приймальню антену можна розраховувати як передавальну й з принципу взаємності поширити отримані результати на режим прийому.

Сучасні радіоелектронні апаратури працює в діапазоні хвиль довжиною від часток міліметра до десятків тисяч метрів. Конструктивні особливості антен, а також їхня характеристика значною мірою залежать від діапазону хвиль, у якому антени повинні працювати.

За призначенням антени умовно поділяють на наступні групи:

- антени радіомовних станцій;
- антени станції радіозв'язку (у тому числі РРЛ);
- радіолокаційні антени;
- телевізійні антени;
- радіоастрономічні антени.

Кожна із цих груп може містити антени різного конструктивного виконання.

За принципом дії й по конструктивному виконанню антени діляться:

- дротові (вібраторні), виконані з тонкої (у порівнянні з довжиною хвилі) дроту або товстих труб, діаметри яких іноді порівнянні з довжиною хвилі;
- антени оптичного типу (металеві дзеркала-рефлектори й лінзи);
- антени акустичного типу (металеві рупори);
- антени поверхневих хвиль (діелектричні антени, металеві стрижневі або площинні антени з діелектричним покриттям або періодичною структурою);
- щілинні (дифракційні) антени;
- антени, що випромінюють електромагнітні хвилі з обертовою поляризацією (спіральні, хрестоподібні й ін.).

У більшості антен у якості основних випромінюючих елементів застосовуються симетричні вібратори.

### **Ізотропний випромінювач**

Під ізотропним випромінювачем розуміється такий пристрій, що рівномірно й однаково випромінює електромагнітну енергію в усі сторони.

Однак на практиці ненаправлених випромінювачів не існує. Кожна передавальна антена, навіть сама найпростіша, випромінює енергії нерівномірно й завжди є напрямком, у якому випромінюється максимум енергії.

Найпростішим або елементарним випромінювачем є електромагнітний електричний вібратор, що складається з дуже короткого в порівнянні з довжиною хвилі проведення, обтічний електричним струмом, амплітуда й фаза якого однакові в будь-якій точці проведення. Практичною моделлю елементарного вібратора є диполь Герца. Структура поля випромінювання диполя Герца має максимум у точці, що лежить на прямій, перпендикулярної диполю. Уздовж диполя поле = 0.

### **Симетричний вібратор**

Складається із двох провідників однакової довжини, між якими включається живильна лінія - фідер, що з'єднує антену з передавачем.

Найбільше частот застосовується симетричний вібратор довжиною  $l$  у половину  $\lambda$ , називаний напівхвильовим вібратором рис.4.1.

Внаслідок відбиття струму й напруги в кінців провідів антен уздовж провідів установлюється стояча хвиля струму й напруги. Уздовж напівхвильового вібратора встановлюється половина хвилі струму й напруги, уздовж вібратора довжиною у хвилю - хвиля струму й напруги рис.4.1. Однак у кожному разі на кінцях установлюється вузол струму й пучність напруги.

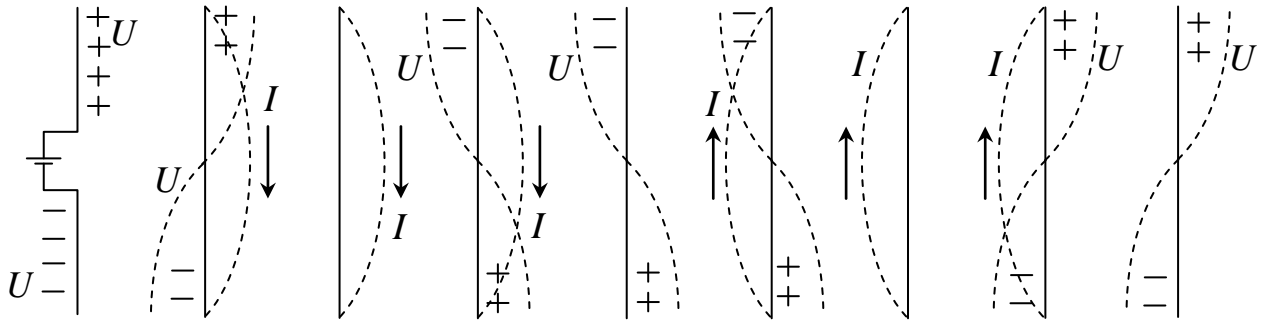


Рис.4.1.

### Основні характеристики антен

#### Амплітудна характеристика спрямованості

Спрямовані властивості антен прийняті визначати амплітудною характеристикою спрямованості, тобто залежністю напруженості випромінюваного антеною поля  $E(\theta, \varphi)$  у крапці спостереження при незмінній відстані. Графічне зображення амплітудної характеристики спрямованості називається діаграмою спрямованості, що зображується у вигляді поверхні, описуваної вихідної з початку координат радіусом-вектором, довжина якого в кожному напрямку пропорційна функції  $F(\theta, \varphi)$ .

Діаграму спрямованості будують як у полярній (рис.4.2а), так і в прямокутній (рис.4.2б) системі координат.

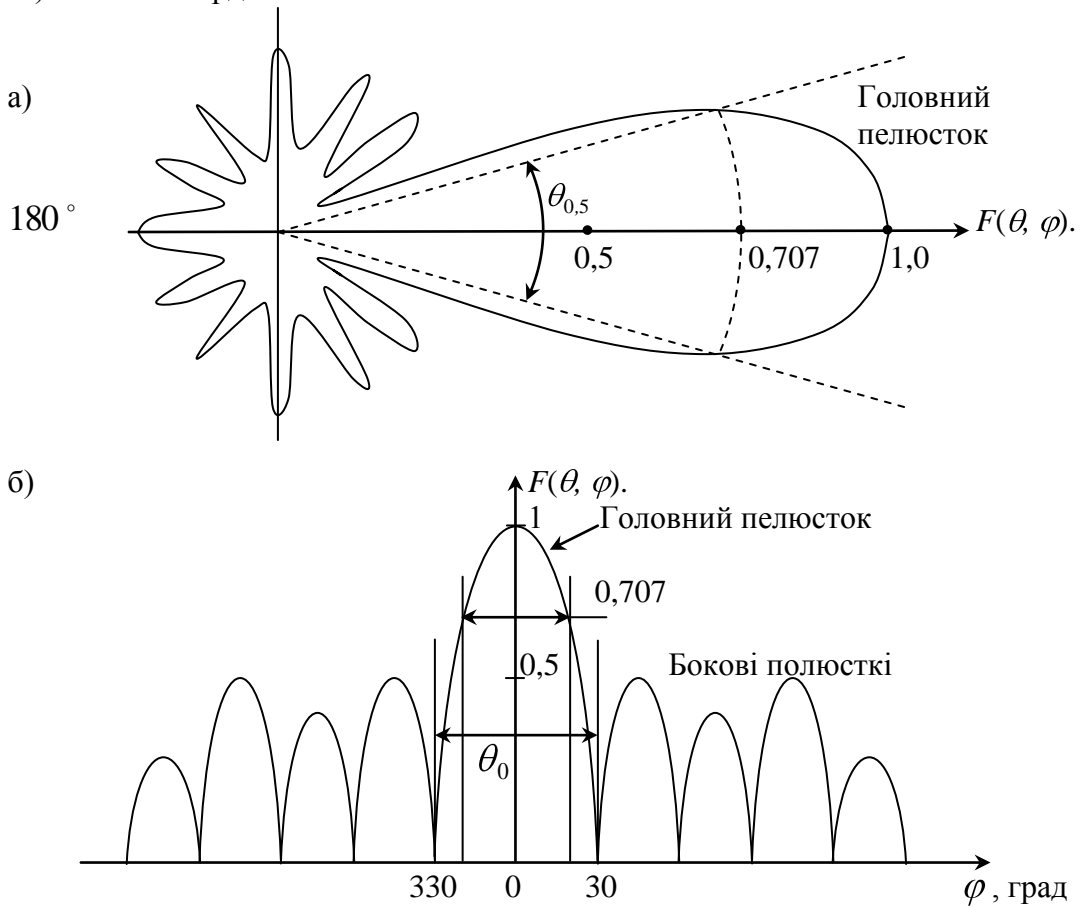


Рис.4.2.

Напрямок максимального випромінювання антен називається головним напрямком. А відповідний йому пелюсток - головним. Інші пелюстки є бічними. Напрямку, у яких антена не приймає й не випромінює, називаються нулями діаграми спрямованості.

Головний пелюсток характеризують шириною по половинній потужності  $\theta_{0,5}$  і шириною по нулях  $\theta_0$ . Ширина  $\theta_{0,5}$  визначається із ДС на рівні 0,707, він узятий виходячи з того, що потужність на рівні 0,5 і напруженість поля на рівні 0,707 зв'язані співвідношенням

$$P_{0,5} / P_{\max} = E_{0,707}^2 / E_{\max}^2 = 0,5.$$

Коефіцієнт спрямованої дії КСД характеризує здатність антени концентрувати випромінене електромагнітне поле в якому-небудь напрямку. Він являє собою відношення щільності потоку потужності, випромінюваного антеною в даному напрямку, до усередненого в усіх напрямках щільності потоку потужності. Іншими словами, при визначенні КСД антена рівняється з уявленою, абсолютно ненаправленою або ізотропною антеною, що випромінює ту ж потужність, що й розглянута.

Для апертурних антен

$$K_{\text{сд}} = 4\pi K_{\text{вик}} S_a / \lambda^2,$$

де:  $K_{\text{вик}}$  – коефіцієнт використання випромінюючої поверхні КВП;

$S_a$  – площа розкриву антени.

У більшості антен РРЛ і супутникових систем передачі ширина ДС по половинній потужності у вертикальній площині приблизно дорівнює ширині діаграми в горизонтальній площині.

Для обліку ККД реальної антени, вводиться поняття коефіцієнта підсилення КП антени, що визначається співвідношенням

$$G = \eta_a K_{\text{сд}},$$

де:  $\eta_a = P_{\Sigma} / P_0$  - ККД антени;

$P_{\Sigma}$  - випромінювана антеною потужність;

$P_0$  – потужність, що підводиться до антени

Коефіцієнт підсилення антени показує, у скільки разів варто зменшити потужність, що підводиться до антени, у порівнянні з потужністю, що підводиться до ізотропного випромінювача із ККД рівним 1, щоб напруженість поля в крапці прийому залишалася незмінної.

У діапазоні дециметрових і сантиметрових хвиль  $\eta_a \approx 1$ , тому

$$G = K_{\text{сд}}.$$

Коефіцієнт захисної дії КЗД вводиться для характеристики ступеня ослаблення антеною сигналів, прийнятих з побічних напрямків, і розраховується по формулі  $K_{\text{зд}} = G_{\text{мах}} / G_{\text{поб}}$ , де  $G_{\text{мах}}$  і  $G_{\text{поб}}$  – коефіцієнти підсилення антени в напрямку головного пелюстка ДН і в побічному напрямку.

## Опір випромінювання

Опір випромінювання антени  $R_{\text{вип}}$  – показник, що має розмірність опору й зв'язує випромінювану потужність  $P_{\text{изл}}$  зі струмом  $I_A$ , що протікає через яке – або перетин антени

$$R_{\text{вип}} = P_{\text{вип}} / I_A^2.$$

Тому що струми й напруги по довжині антени розподілені нерівномірно, те для округлення величини  $R_{\text{вип}}$ , у більшості випадків випромінювану потужність відносять до квадрата максимальної амплітуди струму (у пучності) або у квадратуру струму на вхідних затискачах антени.

Величина  $R_{\text{вип}}$  залежить від співвідношення між розмірами антени й довжиною хвилі, форми антени й інших факторів.

Так, збільшення довжини відокремленого симетричного вібратора до  $l = \lambda$ , веде до росту опору випромінювання. Однак далі вона падає, потім знову зростає.

У загальному випадку  $R_{\text{вип}}$  має комплексний характер.

Наприклад, для тонкого напівхвильового вібратора  $R_{\text{вип}} = 73,1$  Ом, а  $X_{\text{вип}} = 42,5$  Ом.

Збільшення товщини вібратора приводить до зменшення величини хвильового опору.

### Хвильовий опір антени

Хвильовий опір антени  $Z_{0A}$  є одним з важливих параметрів. Розглядається хвильовий опір методами теорії довгих ліній.

Для одиночного циліндричного провідника довжиною  $l$ , до якого може бути віднесена антена у вигляді симетричного вібратора, розрахункова формула має вигляд

$$Z_{0A} = 120 \left( \ln \frac{l}{r_n} - 1 \right),$$

де:  $r_n$  – радіус провідника.

Збільшення товщини провідника приводить до зменшення хвильового опору.

### Вхідний опір

Вхідний опір антени - показник, що представляє відношення напруги на затискачах антени до току, що протікає через них. У загальному випадку цей опір має комплексний характер

$$Z_{\text{АВХ}} = R_{\text{АВХ}} + iX_{\text{АВХ}}$$

де:  $R_{\text{АВХ}}$  – активна складова вхідного опору;

$X_{\text{АВХ}}$  – реактивна складова вхідного опору.

### Опір втрат

Опір втрат визначається як:

$$R_{\Pi} = R_n + R_i + R_3,$$

де:  $R_n$  - опір втрат на нагрівання проводів;

$R_i$  - опір втрат в ізоляторах антени;

$R_3$  - опір втрат у землі й у системах заземлення.

### Ефективна площа антени

Ефективна площа антени характеризує ту частину площі фронту хвилі, з якої антена “витягає” радіочастотну енергію. Поняття ефективна площа антени застосовна для одновібраторних, багатовібраторних й інших складних приймальних антен. Кількісно вона визначається як відношення потужності  $P_{\text{узг}}$ , що надходить із антени на вхід приймача, узгодженого з антеною, до щільності потоку потужності  $S$  радіохвилі в точці прийому

$$A_e = P_{\text{узг}} / S.$$

$$A_e = \lambda^2 D / 4\pi .$$

### Шумова температура антени

Для надспрямованих приймальних антен, підключених до приймачів високої чутливості, часто буває необхідно знати так названу шумову температуру  $T_{\text{АШ}}$  антени. Вона визначається як температура резистора з опором, рівним вхідному опору антени, що, при підключенні до входу приймача, виділяє в ньому таку ж потужність шуму, як і сама антена. Потужність шумів антени (у ватах) при відомому значенні  $T_{\text{АШ}}$  дорівнює

$$P_{\text{АШ}} = K T_{\text{АШ}} \Delta f,$$

де:  $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Вт с/град;

$\Delta f$  – смуга пропускання лінійної частини прийомного тракту, Гц.

## ЛЕКЦІЯ 5

### Основні вимоги до антен, що використовуються на РРЛ Основні види антен РРЛ зв'язку

#### **Основні вимоги до антен, що використовуються на РРЛ**

Вибір типу антени для РРЛ в основному визначається робочим діапазоном хвиль, ємністю лінії, від якої залежить ширина смуги робочих частот, а також схемою розподілу частот

У діапазоні метрових хвиль, звичайно використовуваних на лініях малої ємності, широко застосовуються багатовібраторні синфазні антени. На дециметрових хвилях, а також на лініях малої ємності можуть застосовуватися антени цих же типів, а також антени дзеркального (параболічного) типу.

Параболічні антени широко застосовують у дециметровому діапазоні на лініях середньої ємності. У сантиметровому діапазоні хвиль на лініях малої й середньої ємності застосовуються, головним чином, параболічні антени.

На магістральних РРЛ великій ємності й великій довжині, що працюють у сантиметровому діапазоні хвиль, застосовують параболічні, рупорно-параболічні, параболічні з винесеним випромінювачем і дводзеркальні антени. Як правило, одна антена РРЛ використовується одночасно для передачі й для прийому.

У цей час на РРЛ прямої видимості застосовуються передавачі потужністю 2-10 Вт й останнім часом 0,5Вт. Відстань між проміжними пунктами становить 40-60 км і висота щогл 50-100 м. При цьому для стійкого зв'язку необхідно, щоб коефіцієнт підсилення антени складав 1000-4000 (30-46 дБ). Звичайно антени дециметрових хвиль мають коефіцієнт посилення приблизно 30 дБ й антени сантиметрових хвиль 40-46 дБ. На магістральних РРЛ великій ємності застосовують двох частотну схему, що вимагає захисної дії антен не менш 65-70 дБ. Для збільшення перехідного загасання між трактами прийому й передачі, випромінюване й прийняте антеною поля повинні мати взаємно перпендикулярні поляризації. Для цього лінії живлення та випромінювач антени повинні бути виконані так, щоб було можна одночасно передавати й приймати хвилі з різною поляризацією, а діаграма спрямованості антени повинна бути асиметричною.

#### **Основні види антен РРЛ зв'язку**

На РРЛ порівняно широко застосовуються так називані рефлекторні параболічні антени. Така антена складається із дзеркала, що відбиває, і розташованого в його фокусі випромінювача рис.5.1.

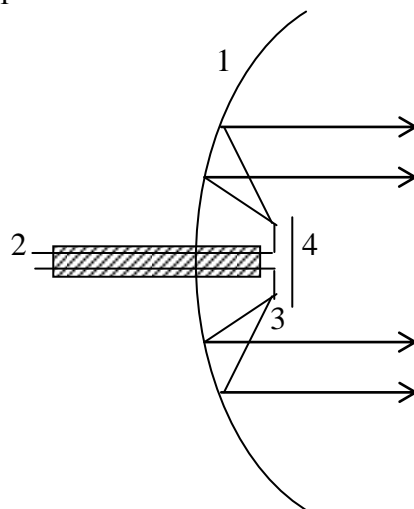


Рис.5.1.

- 1- дзеркало - відбивач (параболоїд обертання),
- 2- коаксіальний кабель,
- 3- симетричний вібратор,
- 4- рефлектор.

Дія параболічного дзеркала полягає в тім, що електромагнітна хвиля, випромінювана випромінювачем, що перебуває у фокусі дзеркала, досягши поверхні дзеркала, відбивається від нього й направляється зворотно до виходу дзеркала вже у вигляді плоскої хвилі. Коефіцієнт підсилення  $G$  параболічної антени з випромінювачем у вигляді елементарного вібратора дорівнює

$$G = 4\pi \cdot (S_0 / \lambda^2) \cdot K_{\text{п}},$$

де:  $S_0 = 4\pi \cdot R_0^2$  – площа розкриву параболоїда з радіусом  $R_0$ ;

$K_{\text{п}}$  – коефіцієнт використання поверхні розкриву параболоїда, що враховує нерівномірність розподілу фаз й амплітуд поля в розкритті. Практично цей коефіцієнт дорівнює  $0,5 \div 0,6$ .

### Рупорно-лінзова антена.

Вона являє собою сполучення металевого рупора й спеціальної лінзи, дія якої аналогічна діям оптичної лінзи.

Принципово можливе використання як антена тільки одного рупора без лінзи.

Зрівнювати фазу сигналу на виході рупорної антени можна, або використанням лінз, або застосуванням сектора параболоїда обертання.

У першому випадку антена буде рупорнолінзова, у другому рупорно-параболічна.

У рупорнолінзових антенах застосовують два типи лінз - металодіелектричні й металеві.

Металодіелектричні лінзи власне кажучи мало відрізняються від оптичної лінзи

рис.5.2

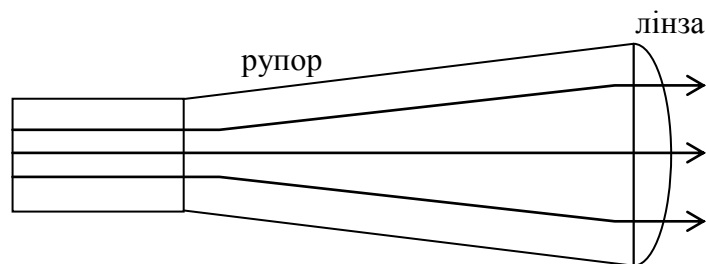


Рис.5.2.

### Рупорно-параболічна антена

Ця антена являє собою комбінацію із частини параболоїда обертання й пірамідального рупора, вершина якого збігається з фокусом параболоїда рис.5.3

З'єднання рупора, що опромінює, з параболічним дзеркалом у єдину металеву систему дозволяє зменшити величину бічних пелюстків і тим самим підвищити коефіцієнт захисної дії антени. Профіль дзеркала розраховується таким чином, щоб його фокус збігся з фазовим центром рупора.

РПА має дуже широку смугу пропускання. Вона одночасно може працювати в трьох широких смугах частот у діапазонах 4,6 й 11 ГГц по своїх електричних властивостях вона не уступає високоякісним лінзовим антенам, у той же час вони конструктивно простіше й набагато дешевше. У зв'язку із цим ці антени зараз одержали досить широке застосування на багатостовбурних багатоканальних РРЛ зв'язку.

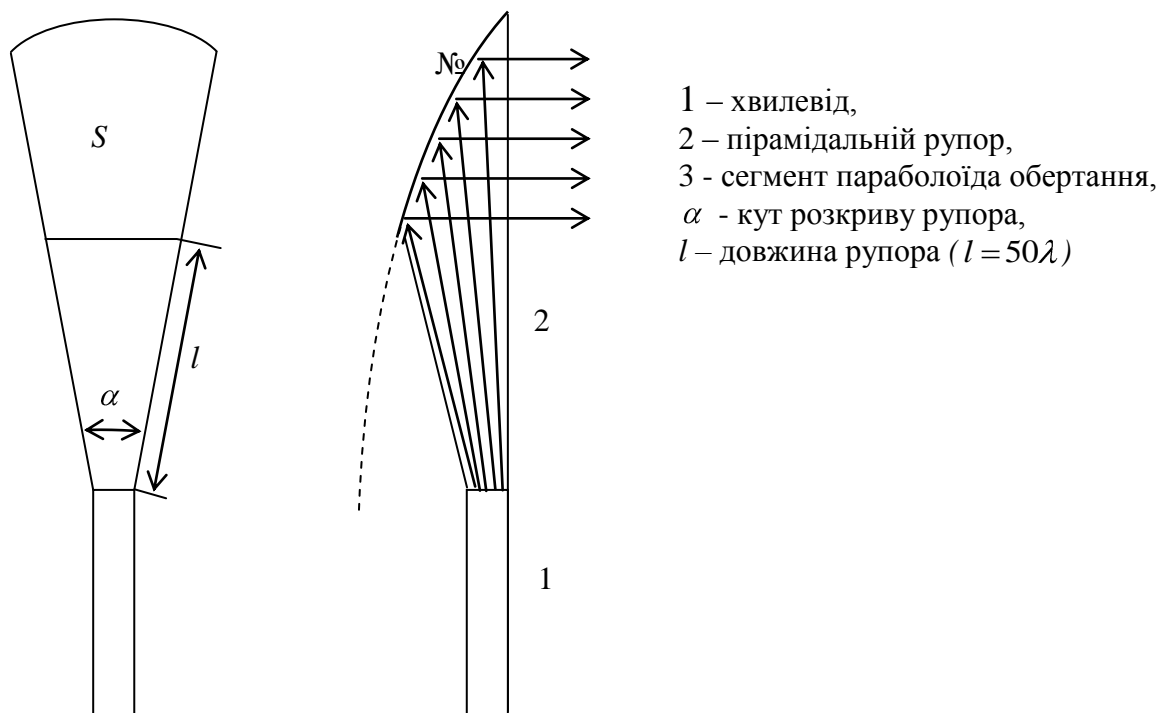


Рис.5.3

### Перископічна антенна система

Застосування цієї системи усуває необхідність використання довгих фідерних ліній для передачі енергії до антени. Така антенна система складається з гостроспрямованої антени (нижнє дзеркало), розміщеної в поверхні землі, і дзеркала - перевипромінювача, встановленого на вершині вежі. Це дзеркало (звичайно плоске) повертає головний максимум діаграми спрямованості антени в потрібному (горизонтальному) напрямку. Нижня гостроспрямована антена може бути будь-якого типу. Найчастіше застосовується антена із дзеркалами у вигляді параболоїда або еліпсоїда обертання рис.5.4.

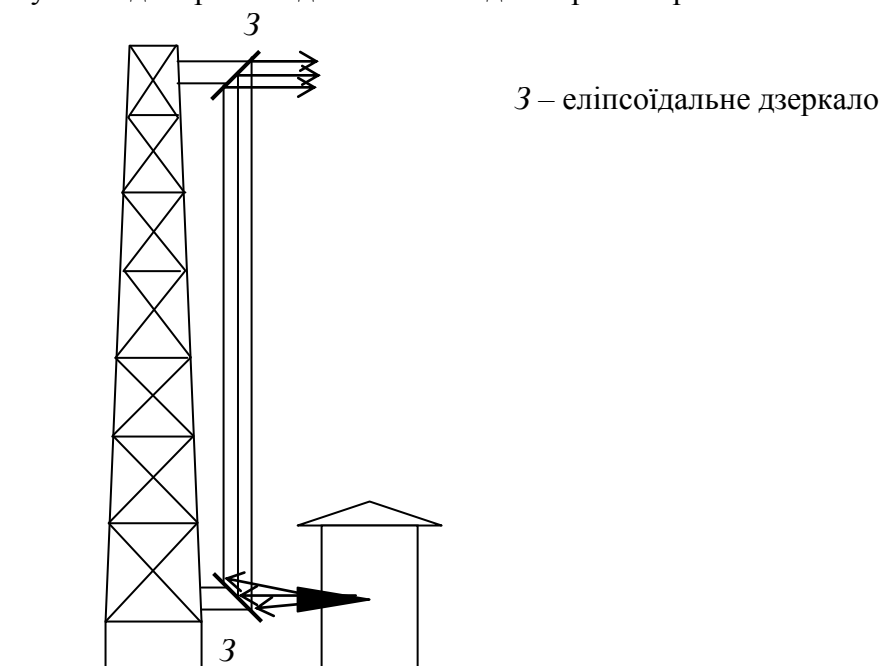


Рис.5.4



Коефіцієнт захисної дії перископічної системи антен становить  $54 \div 55$  дБ, що не дозволяє використовувати ці антени при двохчастотному плані. Крім того, ця система сильно піддана впливу від опадів і механічної деформації.

### Антенна Кассергена

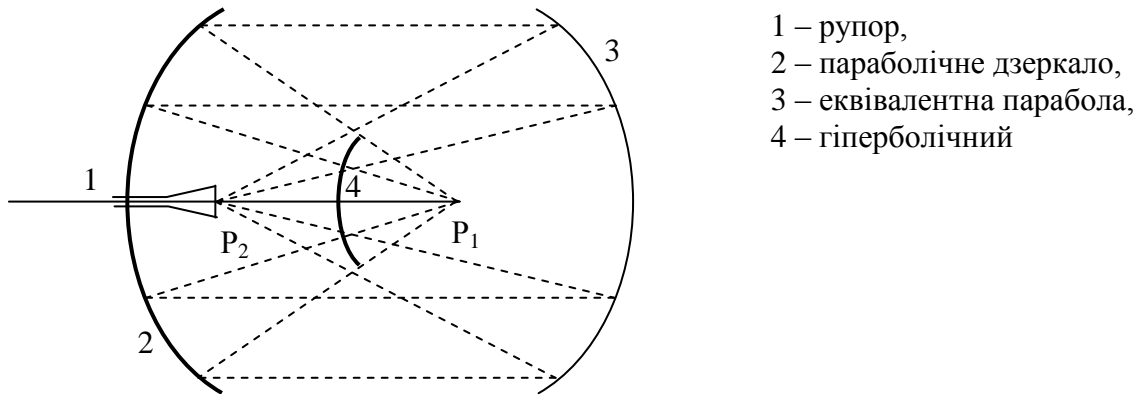


Рис.5.5

- 1 – рупор,
- 2 – параболічне дзеркало,
- 3 – еквівалентна парабола,
- 4 – гіперболічний

### Антенни пасивної ретрансляції для РРЛ

У гірській або горбкуватій місцевості для забезпечення прямої радіовидимості. Відомі три види пасивної ретрансляції: відбита, заломлююча й ретрансляція типу перешкода.

### Антенни для космічного радіозв'язку

Підрозділяються на антени земних станцій і бортові антени.

Вимоги, пропоновані до антен земних станцій:

1. Тому що бортові антени мають широку діаграму спрямованості й відповідно малий  $G$ , а також завдяки великому видаленню супутника від антени земної станції, останні повинні мати досить великі коефіцієнти підсилення ( $50 \div 55$  дБ).

2. На космічних лініях радіозв'язку застосовують високочутливі приймачі з малозумливими вхідними пристроями. При цьому шуми, створювані антеною й фідерним трактом, можуть виявитися порівнянними із власними шумами приймача або навіть перевершувати їх. Тому антенна температура й шумова температура фідерного тракту повинні бути мінімальними.

3. Антени земних станцій повинні забезпечувати керування діаграмою спрямованості ШСЗ. Із цією метою вони повинні забезпечуватися поворотними пристроями й системами керування ними.

Антени земних станцій для зв'язку з ШСЗ і для космічного радіозв'язку є складними інженерними спорудженнями. Приблизно 50 % вартості встаткування земної станції для зв'язку через ШСЗ доводиться на антенний пристрій.

Антенна температура  $T_A$  росте при зменшенні  $\Delta_{\text{макс}}$  (кут між напрямком максимального випромінювання й горизонтальною площиною). Через збільшення поглинання радіохвиль у прилягаючим до Землі шарах атмосфери й через прийом шумів теплового випромінювання Землі. Крім того, при малих кутах  $\Delta_{\text{макс}}$  ефективна шумова температура антени може підвищуватися через прийом антеною сигналів різних земних радіостанцій, перешкод промислового походження й хвиль, відбитих від різних місцевих предметів. Із цих причин при космічному радіозв'язку кут  $\Delta_{\text{макс}}$  повинен бути не менш ( $7 \div 10$ )°.

Тракт живлення антени також вносить значний вклад у сумарну шумову температуру прийомного пристрою. У випадку тракту з малим загасанням збільшення втрат у ньому на 1

дБ еквівалентно збільшенню шумової температури тракту на  $70^\circ \text{K}$ . При цьому, однак, варто мати на увазі, що шумова температура тракту не може перевершувати температуру навколишнього простору.

Тому що втрати в тракті ростуть зі збільшенням його довжини, то прагнуть скорочувати довжину хвилеводів, що підводять електромагнітну енергію від антени до приймачів, і виконувати елементи тракту з урахуванням одержання мінімальних втрат. У результаті цього втрати у ВЧ тракті антена-приймач становить  $0,1 \div 0,2$  дБ.

Антенна для космічного радіозв'язку іноді захищає від надмірного вітрового навантаження, від дії сонячних променів, дощу, льоду й снігу ковпаками, виконаними з радіопрозорого матеріалу. Однак радіопрозоре вкриття збільшують антенну шумову температуру, що порозумівається тепловими втратами в ньому, а також деяким збільшенням бічних пелюстків. Особливо сильно зростає антенна температура за рахунок радіопрозорого вкриття при наявності опадів.

Основною характеристикою антени земної станції системи зв'язку через ШСЗ є величина відносини коефіцієнта підсилення антени ( $G$ ) до антеною температури ( $TA$ ). Сучасні антени для двостороннього багатоканального зв'язку за допомогою ШСЗ мають відношення  $G/TA \approx 39 \div 41$  дБ. Діаметр розкриву цих антен становить  $D = 25 \div 28$  м.

Антени земних станцій для однобічного зв'язку через ШСЗ (наприклад "Орбіта") при  $D \approx 12$  м мають  $G/TA \approx 32$  дБ.

## Лекція 6

Системи зв'язку через ШСЗ  
Види орбітальних групувань  
Особливості систем зв'язку через ШСЗ  
Вибір діапазону робочих частот

### Системи зв'язку через ШСЗ

4 жовтня 1957 р. у колишньому СРСР був здійснений запуск ШСЗ. Першим супутником зв'язку став американський космічний апарат Echo-1, який запустили 12 серпня 1960 р. Це був пасивний ретронслятор - надувна куля діаметром порядку 30 м. з металізованою оболонкою на орбіті деяким вище 1,5 тис.км. Одним з найважливіших практичних застосувань ШСЗ є здійснення дальнього зв'язку на УКХ, при якому ШСЗ відіграє роль ретрансляційної станції (рис. 6.1).

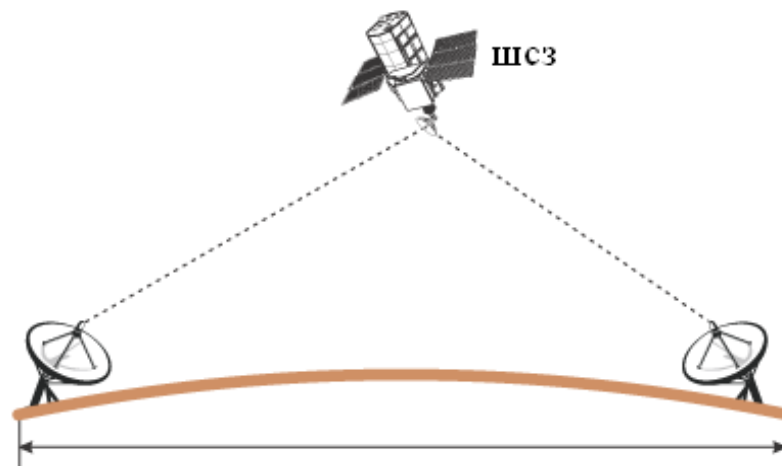


Рис.6.1

Після запуску КА Synson-3 20 серпня 1964 р. представники 11 держав під егідою США підписали угоду про створення міжнародного консоціуму супутникового зв'язку «Інтелсат». Сьогодні в консоціум «Інтелсат» входять 134 держави, вона забезпечує 2/3 всіх міжнародних телефонних розмов, не лічачи інших телекомунікаційних додатків. Перший супутник зв'язку колишнього Радянського Союзу «Молния-1» був виведений на високоеліптичну орбіту 23 квітня 1965 р.

### Види орбітальних групувань

Траєкторія руху супутників Землі й, отже, час спільного бачення ШСЗ визначається орбітою.

Основні характеристики орбіти:

- нахилення площини орбіти до площини екватора;
- висота перигею (нижча точка орбіти);
- висота апогею (вища точка орбіти).

Висоти орбіт не можуть бути довільними. Перше обмеження пов'язане з тим, що наша планета оточена двома хмарами іонізованих часток, так званими поясами Ван-Аллена. Пояса Ван-Аллена розташовані в екваторіальній площині. Перший пояс на висотах 1,5 до приблизно 4 тис.км, його товщина близько 600 км. Другий пояс Ван-Аллена розташований на висотах 13-19 тис.км і займає області порядку 500 км по обох сторін від площини екватора, товщина - 1000 км. Рівень іонізованого випромінювання в області поясів Ван-Аллена на порядок вище прилягаючих зон. Тому виділяють чотири основні градації висот орбіт:

- низькоорбітальні групування з висотами порядку 500-2000 км,

- середньовисотні групування з висотами 5-15 тис.км.,
- геостаціонарні групування на фіксованій висоті 36 тис.км,
- орбітальні групування на високоеліптичних орбітах.

Кожна із цих орбітальних позицій має свої достоїнства й недоліки.

Якщо орбіта кругова, то висота перигею й апогею рівні. Швидкість обертання ШСЗ навколо землі в цьому випадку дорівнює  $U=630\sqrt{r}$ , де  $r$  радіус орбіти в км, відлічений від центра Землі. Період обертання навколо Землі, згідно з закону Кеплера, дорівнює  $T=1,66 \cdot 10^{-4} \cdot r^{3/2}$  хв. Цей період називають сидеричним або зоряним, тобто незалежним від руху ШСЗ відносно Землі. Якщо сидеричний період дорівнює 24 годинам, тоді ШСЗ для наземного спостерігача буде нерухомий. Така орбіта зветься геостаціонарною (GEO). Висота її над поверхнею Землі складає порядку 36 тис.км. З супутниками на GEO, що відстоять один від одного на  $120^\circ$ , можливо забезпечити зв'язком усю земну кулю. В колишньому СРСР, а тепер в Росії на цю орбіту виводились супутники серії "РАДУГА" ("СТАЦИОНАР-І"), "СТАЦИОНАР-ІІ", "Горизонт" и "ЗЕРКАЛО".

Оскільки на ШСЗ, що знаходяться на геостаціонарній орбіті, крім притягання Землі діє притягання Місяця, Сонця й т.д., то для втримання супутника в заданій точці необхідно його коректувати, тобто на супутнику повинні бути рухові установки.

Недоліком GEO є складність і неможливість обслуговування приполярних районів вище  $81^\circ$  північної або південної широти.

Для обслуговування цих районів використовується інша орбіта, орбіта типу "Молнія". Ця орбіта еліптична (HEO) з перигеєм близько 500 км й апогеєм - 39000 км (рис.6.2).

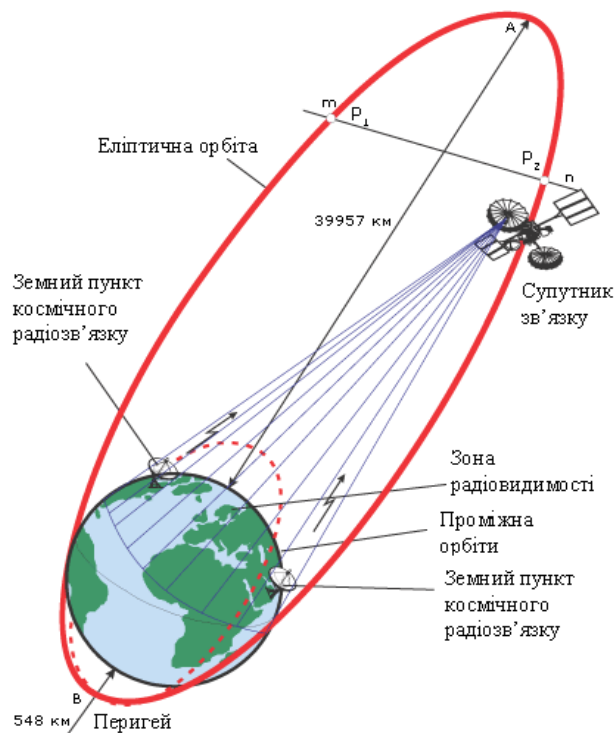


Рис.6.2

Нахилення орбіти до площини екватора приблизно  $63^\circ$ . Період обертання дорівнює 12 годинам. Для забезпечення цілодобового зв'язку на таку орбіту запускають одночасно не менш трьох супутників. Через ці супутники в цей час здійснюються всі види зв'язку в тому числі ТВ розподільна мережа "Орбита".

Середньовисотні орбіти (MEO) розташовуються між першим і другим поясами Ван-Аллена на висотах 5-15 тис.км. Зона охоплення таких КА істотно нижче, ніж у КА на

геостаціонарні або високоеліптичних орбітах. Крім того, час перебування в зоні радіовидимості наземної станції становить 1,5-2 години. Найбільш відомі системи на середньовисотних орбітах: ICO (10 КА +2 резервних, висота орбіти 10355 км, нахилення  $45^\circ$ ), «Ростелесат» (24 КА, висота орбіти 10360 км, нахилення  $82^\circ$ ) і Spaceway NGSO (20 КА, висота орбіти 10352 км, нахилення  $55^\circ$ ). Строк життя КА GEO й MEO до 10-15 років (за рахунок мінімального числа циклів перезарядження акумуляторних батарей).

Низька орбіта, це коли супутник переміщується близько Землі й ніколи не видний одночасно з пунктів А и Б. Супутник на цій орбіті працює як кур'єр. Пролітаючи над одним пунктом він приймає інформацію й пролітаючи над іншою передає її (рис. 6.3). Як правило, це кругові орбіти з нахиленням ) (екваторіальні),  $90^\circ$  (полярні) і малонахилені орбіти. Достоїнства низькоорбітальних (LEO) супутникових групувань очевидні - на один-два порядків менше по порівнянню з MEO й GEO відстань до ретранслятору й вимоги до потужності наземних передавачів. Однак період обертання супутника складає 1,5 - 2 години, тому до складу низькоорбітальних групувань входить від 48-70 КА (288 у ССЗ Teledesic). Термін життя КА на LEO становить 5-7 років тому що вони знаходяться в першому поясі Ван-Аллена.

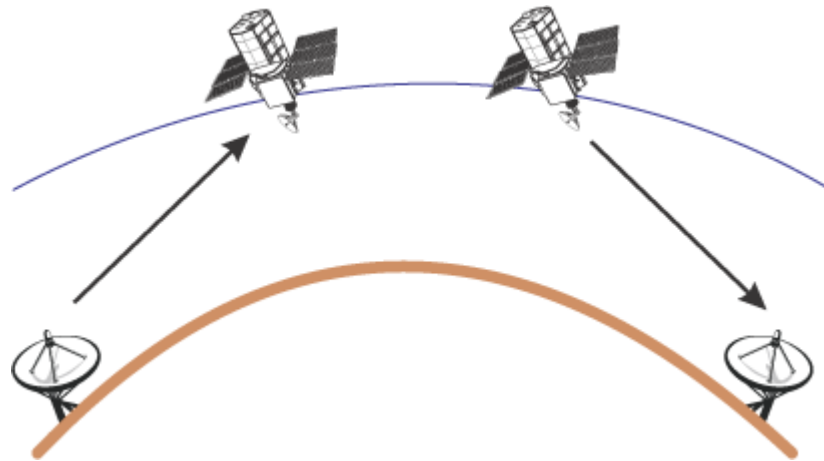


Рис.6.3

### **Особливості систем зв'язку через ШСЗ**

1. Складність запуску ШСЗ. Бере участь у роботі великий комплекс обладнання.
2. Відсутність завмирань при зв'язку через ШСЗ. Спостерігається тільки коливання рівня сигналу під час опадів.
3. Рівень сигналу на вході земної станції дуже слабкий. Потрібні чутливі приймачі.
4. Система зв'язку через ШСЗ охоплює велику територію на поверхні Землі. Трьома супутниками можна охопити 90% поверхні Землі. При цьому виникають у системах завади між станціями. Тому виникла необхідність вивчення електромагнітної сумісності зв'язку або систем зв'язку.
5. Бортова апаратура (ВЧ) постачена тільки однією антеною. Вона дивиться одночасно на обидві станції А и Б.
6. У системах з ШСЗ, як правило, застосовується 4-х частотна сітка частот.
7. Надійність бортових апаратів повинна бути високої (проводиться ретельний підбір всіх елементів).
8. Має місце запізнювання сигналу через великі відстані ( $H$ ,  $t \approx 0,3$  сек в одну сторону при стаціонарній орбіті). Це запізнювання приводить до відзвука сигналів, який виникає у диференціальній системі.
9. Виникає ефект Доплеру. Полягає він у тім, що через рух гетеродина приймача й гетеродина передавача, частота прийнятого сигналу змінюється. Для боротьби із цим явищем застосовується АПЧ.

10. Можливий багатостанційний доступ, що означає можливість організації зв'язку всіх земних станцій через один ШСЗ.

### Вибір діапазону робочих частот

Вибір частоти для передачі даних від земної станції до супутника й від супутника до земної станції не є довільним. Від частоти залежить, наприклад, поглинання радіохвиль в атмосфері, а також необхідні розміри передавальної й приймальної антен. Частоти, на яких відбувається передача від земної станції до супутника, відрізняються від частот, що використовують для передачі від супутника до земної станції (як правило, перші вище). Частоти, використовувані в супутниковому зв'язку, розділяють на діапазони, позначувані буквами. На жаль, у різній літературі точні межі діапазонів можуть не збігатися. Орієнтовні значення дані в рекомендації ІТУ-R V.431-6.

Назва діапазону	Частоти (згідно ІТУ-R V.431-6)	Застосування
L	1,5 ГГц	Рухливий супутниковий зв'язок
S	2,5 ГГц	Рухливий супутниковий зв'язок
C	4 ГГц, 6 ГГц	Фіксований супутниковий зв'язок
X	Для супутникового зв'язку рекомендаціями ІТУ-R частоти не визначені. Для додатків радіолокації зазначений діапазон 8-12 ГГц.	Фіксований супутниковий зв'язок (для військових цілей)
Ku	11 ГГц, 12 ГГц, 14 ГГц	Фіксований супутниковий зв'язок, супутникове віщання
K	20 ГГц	Фіксований супутниковий зв'язок, супутникове віщання
Ka	30 ГГц	Фіксований супутниковий зв'язок, міжсупутниковий зв'язок

Використовуються й більше високі частоти, але підвищення їх утруднене високим поглинанням радіохвиль цих частот атмосферою. Ku-діапазон дозволяє робити прийом порівняно невеликими антенами, і тому використовується в супутниковому телебаченні (DVB), незважаючи на те, що в цьому діапазоні погодні умови впливають на якість передачі. Для передачі даних великими користувачами (організаціями) часто застосовується C-діапазон. Це забезпечує більше високу якість прийому, але вимагає досить більших розмірів антени.

Поглинання сигналу атмосферою є залежним від його частоти. Максимуми поглинання приходиться на 22,3 ГГц (резонансводяних паров) і 60 ГГц (резонанс кисню)<sup>[24]</sup>. У цілому, поглинання істотно позначається на поширенні сигналів із частотою вище 10 ГГц (тобто, починаючи з Ku-діапазону). Крім поглинання, при поширенні радіохвиль в атмосфері присутній ефект завмирання, причиною якого є різниця в коефіцієнтах заломлення різних шарів атмосфери.

### Іоносферні ефекти

Ефекти в іоносфері обумовлені флуктуаціями розподілу вільних електронів. До іоносферних ефектів, що впливають на поширення радіохвиль, відносять мерехтіння, поглинання, затримку поширення, дисперсію, зміну частоти, обертання площини

поляризації. Всі ці ефекти послабляються зі збільшенням частоти. Для сигналів із частотами, більшими 10 ГГц, їхній вплив невеликий

Ефект	100 МГц	300 МГц	1 ГГц	3 ГГц	10 ГГц
Обертання площини поляризації	30 обертів	3,3 оберти	108°	12°	1,1°
Додаткова затримка сигналу	25 мс	2,8 мс	0,25 мс	28 нс	2,5 нс
Поглинання в іоносфері (на полюсі)	5 дБ	1,1 дБ	0,05 дБ	0,006 дБ	0,0005 дБ
Поглинання в іоносфері (у середніх широтах)	<1 дБ	0,1 дБ	<0,01 дБ	<0,001 дБ	<0,0001 дБ

Сигнали з відносно низькою частотою (L-діапазон і частково С-діапазон) страждають від *іоносферного мерехтіння*, що виникає через неоднорідності в іоносфері. Результатом цього мерехтіння є постійно мінлива потужність сигналу.

#### **Затримка поширення сигналу**

Проблема затримки поширення сигналу так чи інакше відноситься до всіх супутникових систем зв'язку. Найбільшою затримкою мають системи, що використовують супутниковий ретранслятор на геостаціонарній орбіті. У цьому випадку затримка, обумовлена скінченністю швидкості поширення радіохвиль, становить приблизно 250 мс, а з урахуванням мультиплексування, комутації й затримок обробки сигналу загальна затримка може становити до 400 мс.

Затримка поширення найбільш небажана в додатках реального часу, наприклад, у телефонному зв'язку. При цьому, якщо час поширення сигналу по супутниковому каналі зв'язку становить 250 мс, різниця в часі між репліками абонентів не може бути менше 500 мс.

У деяких системах (наприклад, у системах VSAT, що використовують топологію «зірка») сигнал двічі передається через супутниковий канал зв'язку (від терміналу до центрального вузла, і від центрального вузла до іншого терміналу). У цьому випадку загальна затримка подвоюється.

## Лекція 7

Архітектура й основні принципи роботи супутникових систем зв'язкуЯкісні показники супутникових систем зв'язкуЕнергетичний розрахунок супутникових систем зв'язкуВідношення сигнал/шум на вході приймача земної станції ( $P_C/P_{ш}$ )<sub>вх</sub>Багатостанційний доступ у супутникових системах зв'язку**Архітектура й основні принципи роботи супутникових систем зв'язку**

Супутникова система зв'язку складається із трьох сегментів: користувальницького, супутникового й сегмента керування. Користувальницький сегмент - це мережа абонентських станцій. Сегмент керування включає кілька наземних станцій, що забезпечують керування й сполучення ССЗ із наземними системами зв'язку. Можливі три основних напрямки передачі інформації: Земля-КА, КА-Земля й супутник-супутник. З погляду обслуговування виділяють глобальні й регіональні. Характерний приклад глобальних ССС - Intelsat, Inmarsat, регіональних - «Молнія», Autelsat, Arabtelsat.

Відповідно до історичної традиції прийняте ССЗ ділити на системи фіксованого зв'язку й рухливого зв'язку. Дана градація відбита в діючих нормативних документах. Для ФСЗ передбачено кілька можливих діапазонів частот: 3-діапазон (5,9-6,4 й 3,7-4,2 ГГц, що сходять і сходять канали відповідно), Ku-діапазон (14,0-14,5 й 11,7-12,2 ГГц) і Ka-діапазон (27-31 й 17-21 ГГц). Останнім часом освоюються діапазони Q- і V- діапазони (у районі 40 й 50 ГГц). Для міжсупутникових каналів використовують діапазони 54-58 й 59-64 ГГц. Найбільш розвинена сучасна система Intelsat заснована в 2001р. У її орбітальне угруповання входить 28 діючих (2 резервних) КА. ССЗ Intelsat зв'язує користувачів більш ніж 200 країн миру. Формально СРСЗ повинні працювати в L- і S- діапазонах частот (1,53-2,7 МГц й 2,7-3,5 ГГц) нижче 1 ГГц. Але розвиток мікроелектронних технологій дозволяє сьогодні працювати СРСЗ у Ka-діапазоні. В останні десятиліття потужний розвиток одержали мережі, що використовують геостационарні орбіти КА й наземні станції з дуже малою апертурою антен (VSAT). VSAT-системи широко використовуються при створенні корпоративних ССЗ. Такі системи за рахунок відносної простоти (діаметр антен порядку 1,5-1 м в Ku-діапазоні й 0,5 у Ka-діапазоні) дозволяють об'єднати вилучені друг від друга локальні об'єкти в єдину мережу передачі інформації зі швидкістю обміну порядку 2 Мбіт/с і вище. Для побудови розподілених мереж передачі використовують архітектуру «точка-точка», «кожний з кожним», «зірка». В останній технології зв'язок організується через центральну станцію в режимі поділу часу. З погляду супутникового сегмента відмінність технології VSAT - зона обслуговування не накривається одним глобальним променем, а розбита на ряд сегментів, що охоплюються рядом відносно вузьких променів. Такий метод підтримують практично всі сучасні КА на GEO.

**Якісні показники супутникових систем зв'язку**

Гіпотетичний еталонний ланцюг Земля- Супутник - Земля, містить один модулятор й один демодулятор. При передачі ТБ, відношення розмаху сигналу (від рівня білого, до рівня чорного) до визометричної напруги шумів повинне бути не менш 61 дБ в 80% часі, 57 дБ в 99% й 49 дБ в 99,9% часу будь-якого місяця. Відношення сигнал/завада для джерел живлення повинне бути більше 30 дБ, а для інших періодичних перешкод - не менш 50 дБ.

При передачі психофотометрична потужність шуму в точці з нульовим відносним рівнем не повинна перевищувати 10000 пВт у середньому за будь-яку годину. Допускається перевищення середньохвильового значення шуму величиною 10000 пВт не більш ніж в 20% часі будь-якого місяця й 50000 пВт не більш ніж в 0,3% часу будь-якого місяця. Перевищення не зваженим шумом 106 пВт допускається не більш ніж в 0,03% часу будь-



якого місяця. Припустимий час запізнювання групового часу поширення в системах з ШСЗ повинне бути не більше 300 мс.

### **Енергетичний розрахунок супутникових систем зв'язку**

Супутникова система зв'язку складається із двох ділянок Земля-ШСЗ й ШСЗ- Земля. Розрахунок її схожий на розрахунок РРС прямої видимості, що має два інтервали. Однак у супутникових системах необхідно враховувати особливості апаратурних відмінностей на цих ділянках, а також різних енергетичних потенціалів і шумів на цих ділянках.

### **Відношення сигнал/шум на вході приймача земної станції $(P_c/P_{ш})_{вх}$**

Потужність сигналу на вході приймача  $P_c$  пов'язане з потужністю передавача співвідношенням

$$P_c = P_{пер} \frac{G_{пер} G_{пр}}{\eta_{пер} \eta_{пр} V \cdot U}$$

де:  $G_{пер}$  й  $G_{пр}$  - коефіцієнт підсилення антен;

$\eta_{пер}$   $\eta_{пр}$  - втрати в антенно-фідерному тракті;

$V=(4\pi r/\lambda)^2$  - втрати у вільному просторі на відстані R;

$U$  - додаткові втрати в реальному просторі.

Або можна записати:

$$\left( \frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{вх} = P_{пер} \frac{G_{пер} G_{пр}}{\eta_{пер} \eta_{пр}} \cdot \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2} \cdot \frac{1}{U} \cdot \frac{1}{\kappa T_{\Sigma} \Delta f_{ш}}$$

$$P_{ш\Sigma} = \kappa T_{\Sigma} \Delta f_{ш}$$

Для всієї лінії з ШСЗ

$$\left( \frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{\Sigma} = \left( \frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{з-с} + \left( \frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{с-з}$$

Для ділянки Земля - Супутник

$$\left( \frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{з-с} = \frac{(4\pi)^2 R_{з-с}^2 \eta_{перз} \eta_{прс} \kappa T_{с\Sigma} \Delta f_{шс} U_{з-с}}{P_{перз} G_{перз} G_{прс} \lambda_{з-с}^2}$$

$$\left( \frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{с-з} = \frac{(4\pi)^2 R_{с-з}^2 \eta_{перс} \eta_{прз} \kappa T_{з\Sigma} \Delta f_{шз} U_{с-з}}{P_{перс} G_{перс} G_{прз} \lambda_{с-з}^2}$$

Для системи зв'язку через ШСЗ можна приблизно вважати, що:

1.  $R_{с-з}=R_{з-с}=R$ .

2.  $\eta_{перз}=\eta_{прз}=\eta_{з}$  й  $\eta_{перс}=\eta_{прс}=\eta_{с}$ .

3.  $\Delta f_{шс}=\Delta f_{шз}$ .

4.  $U_{з-с}=U_{с-з}=1$ .

Тому можна записати

$$\left( \frac{P_{ш}}{P_c} \right)_{\Sigma} = 16\pi^2 R^2 \eta_z \eta_c \kappa \cdot \Delta f_{шз} \cdot \left( \frac{T_{с\Sigma}}{P_{перз} G_{перз} G_{прс} \lambda_{з-с}^2} + \frac{T_{з\Sigma}}{P_{перс} G_{перс} G_{прз} \lambda_{с-з}^2} \right)$$

### **Шумова температура земного приймача визначається**

1. Потужністю власних шумів прийомного пристрою й потужністю шумів антенно-хвильоводного тракту.

2. Потужністю шумів антени, обумовлена впливом на неї теплового випромінювання Землі від атмосфери.
3. Потужністю шумів радіовипромінювання Сонця й інших космічних джерел.

$$T_{\Sigma} = T_{\text{пр}} + T_{\text{АФТ}} + \left( \frac{T_{\text{АТМОС}} + T_{\text{КОС}}}{\eta_3} \right)$$

де:  $T_{\text{пр}}$  - визначається вхідними ланцюгами й типом мало шумливий УНВЧ;

$T_{\text{АФТ}}$  - визначається як

$$T_{\text{АФТ}} = T_0 (1 - \eta_3)$$

де:  $T_0 = 290 \text{ К}$  - абсолютна температура;

$T_{\text{АТМ}}$  - є функцією кута місця й частоти. Зменшення кута місця різко збільшують шуми атмосфери, тому  $\beta \geq 50$ ;

$T_{\text{КОСМ}}$  - визначається температурою яскравості джерела  $T_{\text{я}}$

Якщо кутові розміри джерела випромінювання  $\Psi_{\text{п}}$  значно менше ширини діаграми спрямованості антени,  $\alpha_0$ , тоді

$$T_{\text{КОС}} = T_{\text{я}} \Psi_{\text{п}} / \alpha_0,$$

якщо  $\alpha_0 \leq \Psi_{\text{п}}$ , то  $T_{\text{КОСМ}} = T_{\text{я}}$ .

$T_{\text{КОСМ}}$  залежить від області неба, у яку спрямована антена й визначається по спеціальних картах. Найбільш інтенсивним джерелом шумів є Сонце.

### **Шумова температура бортового приймача ШСЗ**

$$T_{\text{СЗ}} = T_3 + T_{\text{атм}} + b T_{\text{КОСМ}} + T_{\text{пр.бор}}$$

де:  $T_3$  - еквівалентна шумова температура;

$b$  - коефіцієнт, що визначає, що космічні шуми приймаються тільки бортовими пелюстками бортової антени;

$T_{\text{пр.бор}}$  - шумова температура вхідного пристрою бортового приймача.

Як правило  $T_{\text{СЗ}}$  велико, однак збільшуючи енергетичні параметри земного встаткування можна вважати, що велике значення  $T_{\text{СЗ}}$  несуттєвим.

### **Багатостанційний доступ у супутникових системах зв'язку**

Багатостанційний доступ, це одночасна робота великої кількості земних станцій через один супутниковий ретранслятор. Він дозволяє створити мережу зв'язку, у якій можна організувати як магістральну мережу зв'язку, так і систему зв'язку кожний з кожним. У магістральній мережі можлива як одно, так і багатоканальна система зв'язку із центром. У загальному випадку це завдання аналогічне рішення завдання в мережі ТЛФ зв'язку, тобто абонент має вільний і практично незалежний доступ у мережу й за допомогою набору номера управляє з'єднанням.

- Множинний доступ з частотним розподілом (FDMA)— при цьому кожному користувачеві надається окремий діапазон частот.
- Множинний доступ з часовим розподілом (TDMA)— кожному користувачеві надається певний часовий інтервал (таймслот), протягом якого він робить передачу й прийом даних.
- Множинний доступ з кодовим розподілом (CDMA) — при цьому кожному користувачеві видається кодова послідовність, ортогональна кодовим послідовностям інших користувачів. Дані користувача накладаються на кодову послідовність таким чином, що передані сигнали різних користувачів не заважають один одному, хоча й передаються на тих самих частотах.

FDMA - багатостанційний доступ із частотним розподілом каналів є в цей час найпоширенішим. Тут кожному сигналу, який може бути у свою чергу одно або багатоканальним, приділяється деяка смуга частот. У середині цієї смуги сигнал може бути будь-якої модуляції:

У системі FDMA - ЧМ, у смузі ретранслятора сигнали відокремлюються друг від друга захисною смугою  $\delta f$ , що дозволяє зменшити вплив їхній один на одного.

Незважаючи на це, системи із FDMA мають ряд недоліків:

1. Виникнення перехідних перешкод через нелінійність передатної характеристики ретранслятора.
2. Виникнення перехідних перешкод через перетворення амплітудної модуляції у фазову, що при детектуванні дають перехідні перешкоди.
3. Взаємне придушення сигналів різного рівня.
4. Зниження вихідної потужності ретранслятора, обумовлене виникненням продуктів нелінійності, на які витрачається частина потужності кінцевого підсилювача ретранслятора.

Перераховані недоліки зменшують пропускну здатність ретранслятора зі ЧРК-ЧМ у порівнянні з передачею однієї несучої. У FDMA - ІКМ - ДОФМ можливе придавлення несучої, що дозволяє заощаджувати близько 5 дБ потужності ретранслятора.

Така система використана в мережі зв'язку "ІНТЕЛСАТ". У ній кожен канальний сигнал передається на окремій ВЧ несучій. Корисний ТЛФ сигнал, перетворений у восьмиразрядний сигнал ІКМ (64 кбіт/с), модулює по фазі ВЧ несучу. Ця система забезпечує передачу в одному стовбурі ретранслятора шириною 36 МГц 800 ТЛФ каналів (у попередній системі 420 ТЛФ каналів).

Робота в ній здійснюється по незакріплених каналах без центральної станції керування. Для встановлення з'єднання й контролю за станом виділених каналів використовується окремий канал.

TDMA - багатостанційний доступ з часовим поділом каналів позбавлений ряду недоліків властивих FDMA:

- немає придавлення сигналів різних рівнів, що спрощує апаратуру;
- вихідна пікова потужність ретранслятора максимальна незалежна від числа переданих сигналів, тобто скінчений каскад ретранслятора використовується повністю.

Основною проблемою тут є забезпечення твердої відносної синхронізації. Неточність синхронізації визначає ширину захисних інтервалів й ефективність використання пропускну здатності. Очевидно, що тверду синхронізацію складніше забезпечити для супутника виведеного на еліптичну орбіту, чим на геостаціонарну (різний час затримки сигналу).

Синхронізацію в системах TDMA ділять на два етапи:

1. входження в синхронізм;
2. забезпечення заданої точності синхронізації в сталому режимі.

У плинні першого етапу пакет синхроімпульсів займає місце у відведеному їм часовому інтервалі, а в плинні другого підтримується необхідна точність синхронізації системи.

Для забезпечення точності синхронізації головною "станцією" є ретранслятор на ІСЗ. Він посилає пакети синхроімпульсів на земні станції через які вони працюють.

Часові діаграми TDMA мають вигляд рис.6.1

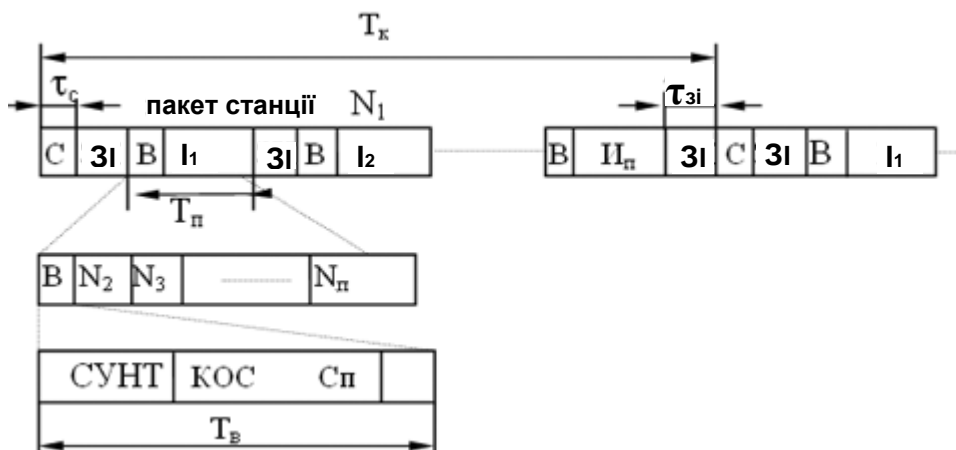


Рис.6.1

Тут  $T_k$  - період кадру, при ТЛФ дорівнює 125 мкс. Кадр починається із синхропакета С, він забезпечує загальносистемну синхронізацію. ЗІ - захисний інтервал, необхідний через неточну роботу системи синхронізації.  $T_n$  - тривалість пакета інформації окремої станції. Пакет складається з В - вступній частині й інформаційної  $N_2, N_3 \dots N_n$ .  $T_v$  - вступна частина служить для передачі службових сигналів - сигнал відновлення (синхронізації) частоти несучої й тактової синхронізації (СУНТ), код ідентифікації станції (впізнання). КОС - код службового каналу й сигналізації Сп. Вступна частина займає ємність (10 - 20)% довжини кадру, а інформація (80 - 90)%.

## Лекція 8

Перспективні методи множинного доступу

Модуляція й завадостійке кодування

Бортова апаратура ШСЗ

Земна апаратура систем супутникового зв'язку

Принцип спостереження антен за супутником

### Перспективні методи множинного доступу

Більше універсальним і перспективним методом множинного доступу є технологія CDMA. Основні достоїнства технології: невисока пікова потужність сигналу, гнучкість перебудови каналів і вибору смуги каналу, простота переходу з каналу на канал, можливість роботи декількох станцій в одному частотному діапазоні. Характерні приклади його систем, що використовують - CC3 Globalstar Ellipso.

Крім того, багатьом користувачам не потрібен постійний доступ до супутникового зв'язку. Цим користувачам канал зв'язку (таймслот) виділяється на вимогу за допомогою технології DAMA (Demand Assigned Multiple Access — множинний доступ з наданням каналів на вимогу).

Ще один перспективний метод множинного доступу - мультиплексування за допомогою ортогональних несучих (OFDM). Він вимагає щодо складних засобів цифрової обробки сигналу. На основі даної технології побудований стандарт цифрового телевізійного віщання DVB, у тому числі і його супутниковий варіант DVB-S.

Основні вимоги до систем багатостанційного доступу:

1. Ефективне використання потужності ретранслятора.
2. Максимально можливе використання смуги частот ретранслятора.
3. Припустимий рівень перехідних перешкод.
4. Гнучкість системи за допомогою керування мережею зв'язку при перерозподілі каналів і зміні трафіка з урахуванням економічних факторів. Для забезпечення гнучкості доцільно забезпечити роботу з незакріпленими каналами, тобто такі, які тимчасово утворюються на вимогу абонента для з'єднання будь-яких пар земних станцій, це приводить до ускладнення встаткування.

Можлива багатоадресна й одноадресна побудова групового повідомлення. При багатоадресній побудові кожний з  $n$  земних станцій передає в одному стовбурі всі повідомлення, призначені іншим  $n - 1$  станціям. На прийомі ці станції виділяють із групового сигналу "свої" повідомлення. Така побудова вимагає наявності на кожній станції  $n - 1$  комплекту прийомного встаткування. При одноадресній системі передачі кожна станція займає "свої" канали в  $n - 1$  стовбурах ретранслятора, призначених кожній певній станції. На прийомі всі сигнали даної станції виявляються в одному стовбурі, що істотно зменшує обсяг прийомного встаткування. Однак при цьому істотно ускладнюється

### Модуляція й завадостійке кодування

Особливістю супутникових систем зв'язку є необхідність працювати в умовах порівняно низького відношення сигнал/шум, викликаного декількома факторами:

- значною далекістю приймача від передавача,
- обмеженою потужністю супутника (неможливістю вести передачу на великій потужності).

У зв'язку із цим супутниковий зв'язок погано підходить для передачі аналогових сигналів. Тому для передачі мови її попередньо оцифровують, використовуючи, наприклад, імпульсно-кодову модуляцію (ІКМ).

Для передачі цифрових даних по супутниковому каналі зв'язку вони повинні бути спочатку перетворені в радіосигнал, що займає певний частотний діапазон. Для цього застосовується модуляція (цифрова модуляція називається також *маніпуляцією*). Найпоширенішими видами цифрової модуляції для додатків супутникового зв'язку є фазова маніпуляція і квадратурна амплітудна модуляція.

Через низьку потужності сигналу виникає необхідність у системах виправлення помилок. Для цього застосовуються різні схеми завадостійкого кодування, найчастіше різні варіанти згортуючих кодів (іноді в сполученні з кодами Ріда-Соломона), а також турбо-коди.

### **Бортова апаратура ШСЗ**

Основні вимоги й принципи побудови бортових апаратів ШСЗ:

1. Мінімальна маса й габарити;
2. Великий ККД, мале споживання енергії.
3. Висока надійність. Наробіток на відмову не менш 3-5 років;
4. Стабілізація супутника на орбіті.

Структурна схема бортових апаратів з негайною ретрансляцією має вигляд рис. 8.1.

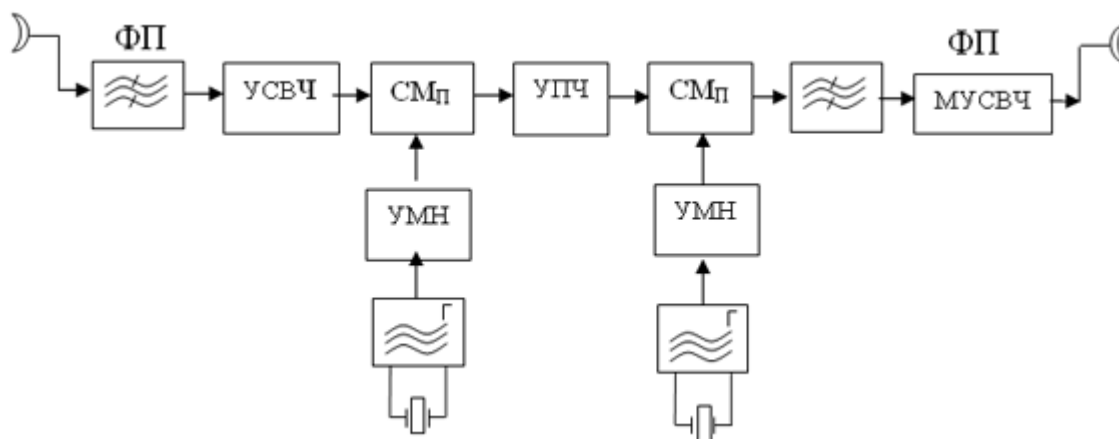


Рис.8.1

Якщо основне посилення здійснюється на НВЧ, то сигнал через ФП2 і ферритовий вентиль надходить на МУСВЧ (звичайно ЛБВ) і потім на антену. Використовується для прийому й передачі одна антена. Для розв'язки потужного вихідного й слабкого вхідного сигналу служить спеціальний пристрій, що розв'язує.

При багатостовбурному ретрансляторі апаратури ускладнюється й основне посилення здійснюється на НВЧ (тобто без перетворення на ПЧ).

### **Земна апаратура систем супутникового зв'язку**

Земні апаратури систем з ШСЗ будується аналогічно тропосферних РРС, тобто використовуються потужні підсилювачі на передачі й малошумливі підсилювачі на вході. Крім того в системах з ШСЗ передбачаються пристрої спостереження за ШСЗ і контролю й т.д.

Від ШСЗ сигнал приходить із обертаючою поляризацією й надходить на антену з діаметром  $12 \text{ м}^2$  або  $25 \text{ м}^2$  (залежно від ємності станції) шумова температура не більше 10 ДО. Антена переміщається й стежить за ШСЗ.

Проходячи обертові з'єднання ВР сигнал кругової поляризації перетворюється в лінійно поляризоване в Поляризаційному блоці. Далі через блок фільтрів надходить на МШУ - малошумливий пристрій. Він являє собою 4-х каскадний параметричний підсилювач. Перші два каскади охолоджені рідким азотом до 77 ДО. Шумова температура не більше 90 ДО.  $f_{\text{пч}} = 70 \text{ Мгц}$ . Стовбури резервуються. У ТВ стовбурі відео сигнал і звуковий супровід ущільнюється за часом.

На передачі:

КУ - потужний клістроний підсилювач 3 кВт;

ФГ - фільтр гармонік;

МС - міст додавання.

### ***Анени супутникових систем зв'язку***

Найбільше застосування в земних станціях супутникових систем зв'язку знайшли модифіковані двохдзеркальні антени з високим використанням поверхні (до 0,7). Розміри дзеркала досягають до 32 м, а G до 60 дБ.

Анени ЗС монтуються на опорно-поворотному пристрої, що забезпечує напрямок антени убік супутника. Для супутникових систем передачі в основному використовуються азимутально – кутові поворотні пристрої, за допомогою яких антени обертаються навколо осей: по азимуті й куту місця.

До фідерного тракту антеною системи ЗС пред'являються специфічні вимоги, обумовлені наявністю декількох стовбурів, високою рівнем переданої потужності (до 10 кВт), малим рівнем прийнятого сигналу й обертанням антени.

### ***Принцип спостереження антен за супутником***

Одним з основних відмінностей антеною системи ЗС є забезпечення спостереження променем діаграми спрямованості за супутником. Спостереження здійснюється як у повно поворотних антенах при використанні еліптичних орбіт, так і при неповноповоротних антенах великого діаметра (більше 2,5 м у смузі 4/6 ГГц) при використанні геостаціонарних орбіт.

Ширина лучачи антени ЗС, як правило, досить мала. Наприклад, в антен з діаметром 12 м на частоті 3 дБ становить  $16^\circ$ . Прийнято, що відхилення осі лучачи ДН від напрямку на супутник не повинна перевищувати десятої частки ширини лучачи на рівні 3 дБ, тобто точність наведення повинна збігатися 1,6 кутових хвилин. Для забезпечення такої точності наведення можливе застосування наступних способів:

1. ручне наведення;
2. програмне наведення з ручною корекцією;
3. автосупроводження.

На практиці в основному застосовується автосупроводження.

При цьому способі на супутнику передбачається або спеціальний маяк або спостереження здійснюється по інформаційному сигналі. У другому випадку апаратури простіше, тому що сполучено із приймачем інформаційного сигналу.

У свою чергу система автосупроводження має різновиди, які мають різні особливості й вибір залежить від конкретних умов. У випадку виходу з ладу автосупроводження переходять на ручне наведення.

## Лекція 9

### Перспективи розвитку радіорелейних і супутникові систем передачі

Радіорелейні системи із цифровими методами передачі інформації

Енергетичні характеристики сучасних РРЛ

Методи модуляції, що використовуються в сучасних РРС

Характеристики сучасного радіорелейного встаткування

Тенденції розвитку супутникових технологій

Черговий етап розвитку РРС і ССЗ характеризується переходом на цифрові методи передачі інформації. Цифрові радіорелейні системи зв'язку традиційно використовуються споживачами для побудови первинних мереж зв'язку. При цьому ієрархічний рівень таких первинних мереж зв'язку може бути різним: магістральні, внутрізонові й місцеві мережі (у тому числі мережі доступу або "остання миля").

Цифрові радіорелейні лінії (ЦРРЛ) є основою протяжних магістралей відомчих, корпоративних, регіональних, національних і навіть міжнародних, оскільки мають ряд важливих достоїнств, у тому числі:

- можливість швидкої установки встаткування при невеликих капітальних витратах;
- організація багатоканального зв'язку на ділянках місцевості зі складним рельєфом;
- можливість застосування для аварійного відновлення зв'язку у випадку катастроф, при рятувальних операціях й ін.;
- ефективність розгортання розгалужених цифрових мереж у більших містах й індустріальних зонах, де прокладка нових кабелів занадто дорога або неможлива;
- якість передачі інформації із цифрового РРЛ практично не уступає ВОЛЗ й іншим кабельним лініям.

Типове й найбільш масове застосування ЦРРЛ - у мережах стільникового рухомого зв'язку (УПС): для приєднання базових станцій (БС) і репітерів до інфраструктури регіональної мережі 2G/2.5G/3G. Впровадження операторами технологій ширококутового бездротового доступу (у тому числі на основі рішень Pre-WiMAX/WiMAX) стимулює попит на ЦРРС, оскільки ЦРРЛ є одним з ефективних засобів доставки трафіка до "місця роздачі" у мережах доступу.

Цифрові РРЛ для передачі цифрової інформації можна розділити на три основні групи, виходячи зі швидкості передачі інформації.

#### 1. Низькошвидкісні РРС

До них ставляться РРС розраховані на трафік до 16Е1 (або Е3) у мережах РДН. Технологія РДН - найбільше "стара" і традиційна, вона розвивається вже більше двадцяти років. Широко використовуються два стандарти - Північноамериканський, зі швидкістю передачі первинного потоку 1544 кбіт/с, і стандарт Європейської конференції адміністрації пошти і зв'язку (СЕПТ), зі швидкістю передачі первинного потоку 2048 кбіт/с.

#### 2. Високошвидкісні РРС.

Ці РРС у цей час створюються практично тільки на основі SDH-технології й мають швидкість передачі в одному стовбурі 155,52 Мбіт/с (STM-1). РРЛ зі швидкістю передачі 622,08 Мбіт/с в одному стовбурі

Високошвидкісні РРЛ застосовуються для побудови магістральних і зонних ліній, а також для резервування ВОЛС, у якості радіо вставок у ВОЛС на ділянках зі складним рельєфом, для сполучення ВОЛС (STM-4 або STM-16) із супутніми локальними цифровими мережами й ін.

Серед високошвидкісних РРС можна виділити дві групи, що відрізняються по призначенню, властивостям, конфігурації, конструкції й ін. Це, по-перше, багатостовбурні РРЛ, розраховані звичайно на передачу до 6-7 потоків STM-1 по паралельним радіостовбурами, з яких 1 або 2 - резервні (конфігурація встаткування "3+1", "7+1" або 2 x (3+1)). Довжина РРЛ, як правило, велика - сотні кілометрів і більше.



По-друге, РРС, призначені для відгалужень від магістральних ліній необхідних при створення зонних мереж і невеликих локальних відомчих мереж, а також для передачі потоків STM-1 (155 Мбіт/с) в умовах більших міст. Для цих відгалужень, як правило, використовуються діапазони 7, 8, рідше 11 ГГц, а для зв'язку в більших містах - діапазони 15, 18, 23 ГГц.

По конфігурації це звичайно двостовбурні РРЛ на швидкість STM-1, один зі стовбурів – резервний (за схемою “1+1”).

### 3.Средньошвидкісні РРС.

До них доцільно віднести лише встаткування для передачі сигналів STM-0 або SubSTM-1, зі швидкістю передачі в стовбурі 51,84 Мбіт/с або 55, 296 Мбіт/с. Це лінії - “зв'язування”, що дозволяють значно збільшити можливості побудови мереж SDH різної конфігурації, відгалужувати від ВОЛЗ або РРЛ інформацію до мереж доступу користувача, підключати до мереж SDH до 21 потоку E1, а також потоки E3.

Підвищення ефективності використання частотного ресурсу діапазону стало одним з найважливіших вимог до апаратур РРЛ. Наступає час, коли й у нас бурхливий ріст радіозв'язку впритул зіштовхується з гострим дефіцитом частотного ресурсу. На Заході ця проблема давно стала визначальним фактором при розробці й виробництві засобів зв'язку, у тому числі РРС.

У нашій країні насиченість радіорелейного зв'язку поки що багато менше, ніж у розвинених закордонних країнах, де вже йде інтенсивне освоєння всіх діапазонів до 40 ГГц.( Устаткування, що пропонуються в цей час закордонними вендорами функціонує в діапазоні 7-52 ГГц)

Ефективність використання частотного ресурсу діапазону визначається наступними факторами:

1. Необхідною шириною смуги прийомопередавача, що визначається швидкістю передачі інформації, обраним методом модуляції і рівнем стабілізації частоти передавача.
2. Параметрами електромагнітної сумісності.
3. Можливостями повного використання всієї відведеної ділянки діапазону, які забезпечуються використанням у складі станції синтезатора частоти. Практично всі вироблені провідними світовими фірмами РРС мають у своєму складі кварцовий синтезатор частоти.

### **Енергетичні характеристики сучасних РРЛ**

Вони визначають дальність зв'язку, характеризують технічний рівень апаратур і представляють основу для проектування РРЛ. Енергетичні характеристики в цей час оцінюють “Коефіцієнтом системи”  $K_c$ , що уявляє собою виражене в децибелах відношення вихідної потужності передавача до мінімальної - "граничної" потужності корисного сигналу на вході приймача при забезпеченні заданого рівня вірогідності передачі інформації. Очевидно, чим більше величина  $K_c$ , тим більше можлива відстань й якість зв'язку при фіксованій антені. Розглянемо основні фактори, що впливають на коефіцієнт системи. Потужність передавача для радіорелейних станцій обмежується зверху Міжнародними рекомендаціями, з одного боку, і можливістю реалізації з погляду габаритів, надійності, прийнятного рівня споживання з іншої сторони. Реально потужність НВЧ-передавачів сучасних РРС перебуває в межах від 1 Вт до 30 мВт. Коефіцієнт шуму визначається, в основному, вхідним МШУ й у сучасних приймачах становить від 1,5 до 9 дБ залежно від діапазону. Відношення сигнал/шум на вході демодулятора залежить від використовуваного способу модуляції й від обраної схеми реалізації демодулятора.

### Методи модуляції, що використовуються в сучасних РРС

Використовувана модуляція має основне значення для енергетичних характеристик станції, тому що одночасно визначає й ширину випромінюваного спектра, а, отже, необхідну ширину смуги прийомопередавача, і граничне відношення сигнал/шум у демодуляторі.

У цей час більшістю фірм зізнаються найбільш доцільні наступні види модуляції:

- для високошвидкісних РРС (від 155 Мбіт/с і вище) - квадратурна амплітудна модуляція з рівнем квантування 64 і вище (64QAM і вище), або більше складні методи модуляції, що поєднують модуляцію й кодування, зокрема, ґратчаста кодова модуляція (TCM) і блокова кодова модуляція (BCM);

- для середньошвидкісних РРС (від 34 Мбіт/с) - 16 QAM, 32 QAM. Є окремі приклади використання на швидкості 34 Мбіт/с модуляції QPSK, як основного виду, так і модифікованої: офсетної - OQPSK, або з постійної що обгинає - CEPM;

- для низькошвидкісних РРС (нижче 34 Мбіт/с) - найпоширенішим видом модуляції є QPSK, хоча деякі фірми застосовують 2-PSK (відносна фазова маніпуляція) або 4-FSK (4-х позиційна частотна маніпуляція). Як відомо, 4-FSK має енергетичний програш порядку 3 дБ у порівнянні з QPSK. Іноді використовують модуляцію 4QAM - різновид QPSK.

У такий спосіб, чим вище швидкість передачі, тим більше складну модуляцію доводиться використовувати, щоб вписатися в стандартні плани частот РРЛ. Так, при швидкості 51 Мбіт/с використовують модуляцію не нижче 16QAM (більш оптимально 32 QAM), а для швидкості 155 Мбіт/с уже необхідно 64 QAM. Але чим складніше вид модуляції, тим складніше апаратурна реалізація й, відповідно, вище вартість виробу.

### Характеристики сучасного радіорелейного встаткування

Для полегшення порівняння характеристик різного встаткування його розбивають на групи.

1. Радіорелейне цифрове встаткування, що працює в діапазонах вище 7 ГГц і призначене для передачі цифрової інформації із принципу "point-to-point".
2. Радіорелейне цифрове встаткування, що працює в діапазонах нижче 7 ГГц, призначене для передачі цифрової інформації із принципу "point-to-point".
3. Радіорелейне встаткування, призначене для передачі телевізійних сигналів.
4. Радіорелейне встаткування, призначене для передачі інформації із принципу "point-to-multipoint".

У групах 1,2 існує розбивка на підгрупи у відповідності зі швидкістю передачі інформації. У додатку наводяться технічні дані про радіорелейне встаткування, що випускається.

Конкуренцію ЦРРС у різних сегментах складають такі технології, як ШБД "точка - багато точок" (PMP), ВОЛЗ, xDSL (різні варіанти), супутниковий зв'язок (VSAT), PLC (Powerline Communications) і так званий коаксіал (див.табл.9.1)

Табл.9.1.

Технологія/основні споживачі	Мережі УПС (в основному підсистема Backhaul)	Відомчі мережі	ССОП, що пропонують послугу "широкошвидкісний доступ"	Мережі транкінгового зв'язку, у тому числі для служб безпеки й МНС	Корпоративні мережі, що вирішують завдання "останньої милі"	Мережі альтернативних операторів
ВОЛС	+	-	++	-	-	++
xDSL	+	-	+	-	+	+
VSAT (супутниковий зв'язок)	+	++	+	+	++	+
"Крапка -- багато крапок"	+	+	+	-	-	+
Коаксіал	-	+	+	-	+	+
PLC	-	-	+	-	+	+
<b>ЦРРС</b>	<b>++</b>	<b>+</b>	<b>-</b>	<b>++</b>	<b>+</b>	<b>+</b>

### Тенденції розвитку супутникового зв'язку

1. Найбільш важливою властивістю супутникових технологій є можливість ефективного рішення проблеми поширення однієї й тієї ж інформації для користувачів, розташованих на великій території. Це спричиняє сприятливі перспективи використання супутників у мережах безпосереднього телевізійного мовлення й розподілу телевізійних програм.

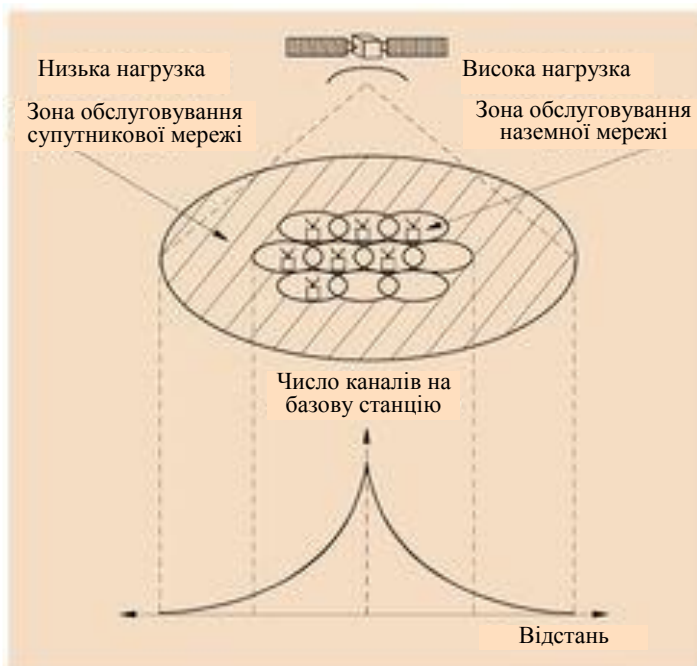


Рис.9.2. Концепція інтегрованої мережі РСС

2. Перспективним напрямком у розвитку систем рухомого супутникового зв'язку може стати не мова або передача даних на абонентські приймачі, а надання різних мовних послуг. У цьому випадку будуть створюватися накладені мережі для наземних мереж рухомого зв'язку, які можуть ефективно як з погляду економіки, так і використання спектра, надавати послуги по топології "точка - багато точок". Це може містити в собі мовлення звукових і телевізійних програм і циркулярне поширення різного типу даних для всіх або певних категорій абонентів (рис.9.2).

3. Супутники не можуть конкурувати з наземними системами зв'язку, а можуть тільки доповнювати їх як гарячий резерв або розширення зони обслуговування мережі. Розвиток й експлуатація мережі РСС може бути економічно виправдана

тільки у випадку фінансової підтримки з боку держави. Тенденції розвитку наземних технологій електровз'язку на магістральних лініях показують, що зниження цін на типове встаткування й підвищення ємності ВОЛЗ й радіорелейних систем не дозволить супутниковим системам збільшувати свою частку в цьому сегменті. Практично всі прогнози говорять про те, що потреба в супутниковій ємності для цих послуг у найближчому майбутньому буде колишньої або буде знижуватися.

4. Перспективними напрямками розвитку фіксованої супутникової служби є створення мереж VSAT, що надають послуги зв'язку корпоративним абонентам на зонавих і накладених мережах. Успіх впровадження таких систем в основному залежить від державної політики в області ліцензування й управління використання спектром.

5. Супутникові системи безпосереднього мовлення мають великий потенціал з точки зору переходу на цифрові методи передачі, що пов'язане з підвищенням ефективності використання спектру й мережних ресурсів, відсутністю необхідності використання потужних наземних ретрансляторів. Це стосується надання послуг як на фіксовані, так і рухомі абонентські пристрої.



№ п/п	Шифр РРС; сертификат РФ	Диапазон частот, <b>ГГц</b>	Варианты трафика	Коэфф. системы, Кс, дБ при BER=10 <sup>-3</sup>	Возможность оперативной перестройки частоты	Мощность ПРД, дБм, (пределы регулирования, дБ)	Соединение между ODU и IDU	Напряжение сети пост. тока, В; (потребление, Вт)	Параметры ODU (1+0)			Диаметр антенны, м; усиление антенны, дБ	Сервисные каналы; система управления; варианты конфигурации системы	Вид модуляции
									Объем ODU, дм <sup>3</sup>	Масса ODU кг	Рабочая температура, °С			

## ABB

1	RT-24	7,125÷7,85 7,8÷8,5	E1÷4E1 либо 8E1÷16E1 1 (E3); 2 варианта програм- м-ного переключе- ния	112 (4E1)	Имеется	20 или 24 [рег.40 дБ]	Один коак- сиальный кабель до 500 м  Тип Cu2Y1/4	-(36...72) VDC	10	От -35 до +55	1 канал ТЧ (32 АДИКМ);  1х64 кбит/с, V.28/V.11  1х32 кбит/с канал управления;  1х9,6 кбит/с или 2х4,8 кбит/с (RS 232);  [1+0; 1+1]	4 QAM
2	RT-26 B	12,75÷13,25			56 МГц							
3	RT-27	14,4÷15,35			Имеется							
4	RT-29	17,7÷19,7										
5	RT-32	21,2÷23,6										
6	RT-33L	24,5÷26,5										
7	RT-33U	27,5÷29,5										
8	RT-34	37÷39,5										

## Alcatel

1	9413 UX OC\1-PPC-198	12,75-13,25	2E1 4E1 E2 8E1 2E2 16E1 4E2 E3 Програм- ное пере- ключение	111 (E2)	200	25	1 коаксиальный кабель до 300 м (Belden 9913)	± (21,5..72) VDC [45 Вт(1+0)]	7,2 (1+0)	7 (1+0)	-40°C +50°C	0,6 1,2	(3-5)х64кбит/с 6 входов датчиков 1 выход обобщ.авар. 1 канал ТЧ 2х4,8 кбит/с  3 выхода сигнализации [1+0; 1+1]	4QAM
2	9415 UX OC\1-PPC-190	14,4-15,35		110 (E2)		12 или 26								
3	9418 UX OC\1-PPC-202	17,7-19,7		104 (E2)		16,5 или 24,5								
4	9423 UX	21,2-23,6		106 (E2)	500	20 [рег. 30 дБ]		± (21,5..72) VDC [ 60 Вт(1+0); 120 Вт(1+0)]					0,3; 0,6	
5	9425 UX	24,5-26,5		105 (E2)										
6	9428 UX	27,5-29,5		98 (E2)										
7	9438 UX	37-39,5												

## ALCOMA

1	AL-7D	7,1 – 8,5	E1	104 при E2	нет	15 ( 22 ) не регулируется	Кабель до 200 м.	Пост. 24 или 48 В (50 Вт)	16,72	5,5	-40 - +55	0,3 0,65 1,2	Канал ТЧ, 1х64 кбит/с, 2 реле	4FSK
2	AL-10D (4 модификации)	10,7 – 11,7	2xE1, 4xE1, E2, Ethernet + E1											
3	AL-13D	12,75 – 13,25	E1											
4	AL-18D	17,7 – 19,7	E1											

## ALLGON

1		18	2xE1, 4xE1, E2, 8xE1, 2xE2, 17xE1, 4xE2+E1, E3+E1	112	Нет данных	20 ( рег. 30 )	Кабель до 300 м.	от. 20 до 72 В (40 Вт при 4xE1)	4,79	2,5	-45 - +65	0,3 0,6, возможны большие размеры	Для потока 17xE1 1х64 кбит/с, включенный в один из E1 Для потоков 4xE1 и E3 дополн. Канал E1	Нет данных
2		23		110										
3		26												
4		28												
5		38												
6		39												

## BOSCH

1	DRS 2x2-34-13000 FSK	12,75-13,25	2E1 4E1 8E1 2E2 16E1 E3	103 (E2)	более 100 МГц	19	1 коакси- альный кабель до 300 м	-21,6... -72 [ 45 Вт(1+0)]	6,5 (1+0)	6 (1+0)	-33°C +55°C	0,3; 0,6; 1,2; 2,0; 3,0	Служебный ТЧ. Каналы управления. 5 цепей внешних датчиков. 1 вход внешней тревоги.	4FSK
2	DRS 2x2-34-15000 FSK	14,25-15,35		100 (E2)										
3	DRS 2x2-34-18700 FSK	17,7-19,7												
4	DRS 2x2-34-23000 FSK	21,2-23,6												
5	DRS 2x2-34-26000 FSK	25,25-27,5												
6	DRS 2x2-34-38000 CEPM	37-39,5												
7	DRS 2x2-34-15000 CEPM	14,25-15,35	2E1 4E1 8E1 2E2 17E1 E3+E1	106 (E2)	более 100 МГц							1 боковая дорожка E1 + все каналы управления и контроля	CEPM	
8	DRS 2x2-34-18700 CEPM	17,7-19,7		103 (E2)										
9	DRS 2x2-34-23000 CEPM	21,2-23,6												
10	DRS 2x2-34-26000 CEPM	25,25-27,5												
11	DRS 2x2-34-38000 CEPM	37-39,5												
12	DRS 2-34-15000-16 CEPM	14,25-15,35												106 (E2)

## California Microwave - MNS

1	7/8 GHz – Q – Model OC/1-PPC-13	7,125÷7,85 8,275÷8,5	16E1; E3 [38,38Мб ит/с]	100,5 (без потерь в волноводе)	нет	21 или 28,5	Волновод к антенне	±(21...56) 250 Вт (1+0)	-	-	От 0 до +40		1 канал ТЧ 2х9,6 кбит/с 2х64 кбит/с [1+1]	16 QAM
---	------------------------------------	-------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-----	-------------	-----------------------	----------------------------	---	---	-------------	--	--	--------

2	13 GHz – K – Model OC/1-PPC-13	12,75÷13,25	4E1 8E1 16E1 E3	100,5 (E2)	Более 50 МГц	21,5 или 29	Один коаксиальный кабель  До 300 м (Belden 9248, RG-6/U)  Или  До 600 м (Belden 9292, RG-11/U)	±(21...56) 160 Вт (1+1)	43 (1+1)	22,7 (1+1)	От -40 до +55	0,3 0,6 0,9 1,2	5 доп. входов для внешних датчиков  1 канал ТЧ 2х9,6 кбит/с 2х64 кбит/с (RS 232)	4FSK	
3	15 GHz – K – Model OC/1-PPC-31	14,4÷15,35		112 (E2)											
4	18 GHz – K – Model OC/1-PPC-32	17,7÷19,7		110,5 (E2)											
5	23 GHz – K – Model OC/1-PPC-33	21,2÷23,6													
6	38 GHz – K – Model OC/1-PPC-34	37÷39,5													
7	DR+13 OC/1-PPC-146	12,75÷13,25		2E1 (4,32Мбит/с)		107 (E2)									19 или 24
8	DR+15 OC/1-PPC-147	14,2÷15,35	4E1 (8,76Мбит/с)		20 или 25										
9	DR+18 OC/1-PPC-148	17,7÷19,7		102 (E2)											
10	DR+23 OC/1-PPC-149	21,2÷23,6		100 (E2)											
11	DR+38 OC/1-PPC-150	37÷39,5		16E1 (37,96Мбит/с)		99 (E2)	17								

Кроме того в России сертифицировано оборудование этой фирмы Telestar 2G (сертификат OC/1-PPC-138), работающее в диапазонах 1,7÷2,1 ГГц; 2,1÷2,3 ГГц и 2,3÷2,5 ГГц. Метод модуляции QPSK, трафик – 4E1÷16E1, E3+2E1.

## CODAN

1	7110	10,5 – 10,68	E1	Имеется встроенный синтезатор	Кабель многожильный	- 48 В (___ Вт)	-40 - +50	0,3 0,65 1,2	QPSK
2	7107	7,425 – 7,68	E1						
	7700-F7.2	7,125 – 7,425	4xE1, 8xE1, 16xE1, E3						
	7700-F7.5	7,425 – 7,725	16xE1, E3						
	7700-F8	7,725 – 8,275	16xE1, E3						
3	7700-F10.5	10,5 – 10,68	4xE1, 8xE1						
4	7700-F15	14,4 – 15,35	4xE1, 8xE1, 16xE1, E3						

## DMC (Digital Microwave Corporation)

1	“DMC-8 Spectrum II” OC/1-PPC-173	7,9÷8,4		111 (E2)	Предусмотрена перестройка	27 (Дрег. 10 дБ)	Один коаксиальный кабель	±(19,2...57,6)VDC	19 (1+0)	10,9 (1+0)	От -30 до +55	Антенны Фирмы Gabriel	1 канал ТЧ; 1 x (0÷9600) бит/с,	4-FSK
2	“DMC-13 Spectrum II” OC/1-PPC-98	12,75÷13,25		102 (E2)		18 (Дрег. 10 дБ)								

3	“DMC-15 Spectrum II” OC/1-PPC-76	14,4÷15,35	2E1 4E1 8E1 16E1	100 (E2)	программным методом.  Полоса перестройки ограничи- вается сменными фильтрами СВЧ	17 (Δпер. 10 дБ)	RG-6 (Belden 9248) – до 120 м  RG-11 (Belden 9292) – до 300 м	60 – 80 Вт (1+0)	32 (1+1)	17,7 (1+1)	Electronics	асинхронный, RS 232 С 3 x 64 кбит/с  [ 1+0, 1+1]	
4	“DMC-18 Spectrum II” OC/1-PPC-70	17,7÷19,7		102 (E2)		16 (Δпер. 10 дБ)		125-165 Вт(1+1)					
5	“DMC-23 Spectrum II” OC/1-PPC-77	21,2÷23,6											
6	“DMC-38 Spectrum II” OC/1-PPC-99	37÷39,5											
7	“DMC-26 Spectrum II”	24,25÷26,5		97		16 (Δпер. 30 дБ)							
8	“Quantum 7(16QAM)	7,1÷8,5	8E1 16E1 E3+E1	110,5 (E3)		27	±(42...56)VDC 85-95 Вт (1+0) 160-185 Вт(1+1)	45	29,5 (1+0) 33 (1+1)		Боковая дорожка E1; 2 канала ТЧ; 3 x (0...9600) бит/с, асинхронные RS 232 С, RS 422, RS 423	16 QAM	

## Ericsson

1	Mini-Link-7E OC/1-PPC-110	7,13-7,73	2E1 4E1	107(E2)	84	21 или 28	1 коаксиальный кабель	± (20..72)	17	7	-40°C +55°C	0,3 0,6 1,2 1,8 3,0	1 канал ТЧ 1x64 кбит/с 2x64 кбит/с RS-232, V24/V28 (1200 бит/с боковая дорожка E1) [1+0, 1+1, разнесения]	СЕРМ
2	Mini-Link-15E OC/1-PPC-79	14,4-15,35	8E1 16E1		100	18								
3	Mini-Link-18E OC/1-PPC-174	17,7-19,7	E3+E1		100									
4	Mini-Link-23E OC/1-PPC-79	21,6-23,6	(програм- мное переключе- ние)		550	20								
5	Mini-Link-26E OC/1-PPC-100	24,5-26,5			104(E2)	18								
6	Mini-Link-38E OC/1-PPC-83	37-39,5		98(E2)	15									
7	Mini-Link-15C OC/1-PPC-80	14,5-15,35	E1	109(E2)	Шаг синтезатора 1,75 МГц	18 или 25	1 кабель	± (39..72) или ± (20..58) [34 Вт 1+0]	30	8	-40°C +55°C IDU [-10°C...! +55°C]	0,6 1,2 0,3; 0,6 1,2 0,3 0,6	1 канал ТЧ встроенная система управления и контро- ля от РС, MNM, есть входы для пользователя [1+0, 1+1, частотн. и простр. разнесение]	4FSK
8	Mini-Link-23C OC/1-PPC-81	21,2-23,6	2E1 4E1	103(E2)		20								
9	Mini-Link-26C OC/1-PPC-82	24,5-26,5 25,25-27,5	8E1	101(E2)		10 или 19								
10	Mini-Link-38C OC/1-PPC-83	37-39,5		93(E2)		15								



## HARRIS

1	Quadralink 7/8 OC/1-PPC-109	7,125÷8,5	E1; 2E1; 4E1; E2; 2E2; 8E1; 16E1 E3+2E1	119,4 (E2) без учета потерь в волноводе	нет	27,4	Волновод эллиптический	$\pm (21 \div 60)$  50 ÷ 70 Вт(1+0) 85 ÷ 120 Вт (1+1)	-	-	От 0 до +55	Антенны фирмы Andrew	2 канала ТЧ; 2 канала 64 кбит/с; 2 дополн. потока E1 (боковая дорожка)  ["1+0", "1+1"]	O-QPSK
3	Globestar 13 OC/1-PPC-106	12,75÷13,25	E1; 2E1; 4E1; E2;	117 (2E1) 114 (E2)	нет	25 (APM)	Два кабеля	$\pm (21 \div 56)$  50 ÷ 70 Вт (1+0) 85 ÷ 120 Вт(1+1)	64	26	От -40 до +55		2 канала ИКМ-ТЧ (64 кбит/с); 2 канала 9,6 кбит/с; 2 дополн. потока E1 (боковая дорожка) ["1+0", "1+1"]	O-QPSK
4	Globestar 15 OC/1-PPC-107	14,4÷15,35	2E2; 8E1; 16E1 E3+2E1	108 (E3)										
5	Urbanet 18Z	17,7÷18,7	E1; 2E1;	111,5 (E2)	нет	24	Один кабель	$\pm (21 \div 56)$  145÷170 Вт (1+1)	14 (1+0) 29 (1+0)	8,2 16,3	От -30 до +55	0,6; 1,2; 1,8	2 канала ИКМ-ТЧ; 4x9,6 кбит/с	4 FSK
6	Urbanet 23Z	21,2÷23,6	4E1; E2;											

## INTRALINK

1	IDR - 21	2,025÷2,3	E1; 4E1	129 (E2) 124 (E2)	Шаг 250 МГц	33 (от +3 до -15)	Нет данных	От 36 до 72 (40 Вт)	отсутствует			Нет данных	До 3-х каналов по 64 кбит/с (V.11 или V.24), 4x4,8 кбит/с (v.24), 2 4- хпроводные и 1 2- хпроводный интерфейсы с циркулярным или избирательным вызовом	O-QPSK
---	----------	-----------	------------	----------------------	-------------	----------------------	------------	------------------------	-------------	--	--	---------------	--	--------

## NEC

1	Pasolink 15G8M8 OC/1-PPC-157	14,4÷15,35	2E1 4E1 E2	113,5 (E2)	56	25 (Δрег. 10 дБ)	Один коаксиальный кабель	-(20...72)VDC  50 (1+0)	5,2 (1+0)	5 (1+0)	От -40 до +50	0,6 м; 1,2 м; 0,3 м (38ГГц)  фирмы Andrew	2 канала ТЧ; 1x64 кбитс; 2x(300÷4800) бит/с, асинхронные, RS 232/422  [1+0]	QPSK
2	Pasolink 18G8M8 OC/1-PPC-158	17,7÷19,7		112,5 (E2)	252	23 (Δрег. 10 дБ)								
3	Pasolink 23G8M8 OC/1-PPC-157	21,2÷23,6		110,5 (E2)	280	23 (Δрег. 10 дБ)								
4	Pasolink 38G8M8 OC/1-PPC-157	37÷39,5		101 (E2)	280	15 (Δрег. 10 дБ)								
5	Pasolink 13G8M8	12,75÷13,25		115,5 (E2)	56	25 (Δрег. 10 дБ)								
6	Pasolink 26G8M8			107 (E2)	280	20 (Δрег. 10 дБ)								
7	Pasolink 28G8M8			107 (E2)	280									

## NERA

1	NL 187 OC/1-PPC-105	7,125÷7,725	E1...4E1 E2	117 (E2)	нет	+28	Один много- парный кабель	- 20...-60	37 ("1+1")	23 ("1+1")	От -50°C до +50°C	0,6 / (30,4) 1,2 / (37,6) 2,0 / (41,7) 3,0 / (45,4) 3,7 / (46,6)	5x64 кбит/с, ТЧ канал ИКМ	QPSK
2	NL 188	8,2÷8,5		116 (E2)		+ 27								
3	NL 241 OC/1-PPC-41	7,125÷7,725	16E1,E3	110,5 (E3)		+28	Волновод Andrew		ODU отсутствует					
4	NL 245 OC/1-PPC-183	7,9 ÷ 8,4		110 (E3)		+27,5								
5	NL 185 OC/1-PPC-13	14,5÷15,35	E1...4E1 E2	109 (E2)	нет	+21		- 20...-60	37 ("1+1")	23 ("1+1")	От -50°C до +55°C	0,6/ (36,2) 1,2/ (43,7) 2,0/ (46,6)	5x64 кбит/с, ТЧ канал ИКМ для E3 – доп.E1	QPSK
6	NL 247	14,5÷15,35	16E1/E3	102,5 (E2)										
7	NL 400-15	14,5÷15,35	2E1/4E1	93 (E2)										Коаксиальный кабель
8	NL 400-18	17,7÷19,7	8E1/ 16E1/E3	92 (E2)										
9	AccessLink 23	21,3÷23,6	2E1/4E1	107(E2)	>50*	20,5	Коаксиальный кабель	- 20...-60	12	8,5	От -45°C до +55°C	0,3 0,6	5x64 кбит/с, ТЧ канал ИКМ	QPSK
10	AccessLink 38	37,0÷39,5	8E1/ 16E1/E3											

## NOKIA

1	DMR 8	7,1÷7,9 7,7÷8,5	2E1/4E1/ 8E1/16E1	109 (E2) 103 (E3)	>100*	+27 (Δрег. 10дБ)	Один коакси- альный кабель  RG-6 (Belden 9248) до 120 м	± (19,2...57,6)	10 (1+0) 20 (1+1)		От -30°C до +55°C	0,6; 0,8 1,2; 1,8	9,6 кбит/с, Q1 интерф. NMS	4FSK
2	DMR 18 OC/1-PPC-53		2E1/4E1/ 8E1/16E1/ E3	98 (E2)	>100*	+16 (Δрег. 30дБ)		± (21,5...72)	45	15				
3	Nokia Prime-Hopper 18	17,7÷19,7	2E1/4E1	103 (E2)		+18 (Δрег. 30дБ)		± (20...72)	18	9,5				
4	Nokia Dina-Hopper 18		2E1/4E1/ 8E1/ 16E1/E3			± (21,5...72)								
5	DMR 23 OC/1-PPC-54	21,2÷23,6	2E1/4E1/ 8E1/ 16E1/E3	97 (E2) 91 (E3)	>100*	+16 (Δрег. 30дБ)	RG-11 (Belden 9292) до 300 м	± (21,5...72)	45	15	От -40°C до +45°C	0,3; 0,6; 1,2;	ТЧ канал ИКМ 3x(1,2...4,8) кбит/с 9,6 кбит/с	QPSK (CEP)
6	DMR 38 OC/1-PPC-55	37÷39,5	2E1/4E1/ 8E1	93 (E2)	+15 (Δрег. 30дБ)	0,3; 0,6;								
7	Nokia Prime-Hopper 23	21,2÷23,6	2E1/4E1	101 (E2)	+17 (Δрег. 30дБ)	0,3; 0,6; 1,2; 1,8								
8	Nokia Prime-Hopper 38	37÷39,5		97 (E2)	+16 (Δрег. 30дБ)									
9	Nokia Dyna-Hopper 23	21,2÷23,6	2E1/4E1/ 8E1/ 16E1/E3	101 (E2) 95 (E3)	+17 (Δрег. 30дБ)									
	Nokia Dyna-Hopper 38	37÷39,5		97 (E2) 91 (E3)	+16 (Δрег. 30дБ)	9,6 кбит/с								

## ORION

	Mikrolink -15 OC/1-PPC-166	14,5÷15,35			Перестройка в полосе 200 МГц		Два коаксиальных кабеля	-(20...72)VDC	1,8		От -30 до +55	0,6 м (34 дБ); 1,1 м (40 дБ)	(1÷4) каналов ТЧ;	
1	ML-15/0,7		0,704 Мбит	99		16								
2	ML-15/2		E1	103		17								
3	ML-15/8		E2	100										
4	ML-15/34		E3	94,4										

## PHILIPS

1	MDL - 38	37÷39,5	E1; 2E1 4E1; E2	99 (E2)	В диапазоне 560 МГц	16 (Дрег. 36 дБ)	Один коаксиальный кабель	±(18...36)VDC или ±(36...72)VDC  50 Вт(1+0)	10	10,5	От -30 до +45	0,25м (Ga = 36 дБ)  0,6м (Ga = 44 дБ)	1 канал ТЧ; 2 x 64 кбит/с, V.11;  3 канала для внешних датчиков	O-QPSK
---	----------	---------	--------------------	---------	------------------------	---------------------	--------------------------------	---	----	------	------------------	---	---	--------

В семейство MDL фирмы Philips входят аналогичные станции, отличающиеся лишь диапазоном частот:

MDL 13 – диапазон 12,75 ÷ 13,75; MDL 15 – диапазон 14,5 ÷ 15,35; MDL 23 и др.

Есть более старое семейство станции DRL без выносного оборудования, которое мы не рассматриваем для новых применений.

## SAT-SAGEM

1	Urbicom 2 – 2x2, 4x2 и 8x2	12,75÷13,25	2E1 4E1 8E1 (прог- раммно)	110 (2E1)	80	20 (Дрег.ул. =30дБ)	Один коаксиаль- ный кабель (600 м)	± (22 ÷ 72) VDC	5 (1+0)	2,8 (1+0)	От -33 до +55	0,3; 0,6; 0,75; 1,2; 1,8	1 x 72 кбит/с, V.28 (RS 232); 1 x 72 кбит/с, V.11 (RS 422); 5 входов внешн.датчиков 1 TTL выход общ.аварии	QPSK
2		14,4÷15,35		120										
3		17,7÷19,7		109 (2E1)	300									
4		21,2÷23,6		107 (2E1)	300									
5		24,5÷26,5		109 (2E1)	300									
6		37÷39,5		103 (2E1)	300									
7	Urbicom 2 – 8x2, 16x2 и 34	7,1÷7,7	8E1 16E1 E3	116 (8E1)	28	22 или 27		± (22 ÷ 72) VDC	10,6 (1+0)	8 (1+0)	От -33 до +55	0,3; 0,6; 0,75; 1,2; 1,8	1 канал ТЧ; 1 x 9,6 кбит/с, V.28 (RS 232); 1 x 64 кбит/с, V.11 (RS 422); 5 входов внешн.датчиков 4 внешние команды	QPSK
8		7,7÷8,5		110 (8E1)	56	21								
9		12,75÷13,25		115 (8E1)	56	26								
10		14,4÷15,35		105 (8E1)	300	18								
11		17,7÷19,7		103,5 (8E1)	300	16,5								
12		21,2÷23,6		102,5 (8E1)	300	16,5								
13		24,5÷26,5		101 (8E1)	300	16								
14		37÷39,5												
15	STR 300 – 7/8	7,128÷8,498	16E1	110,5 (E3)	1 или 2 синтезатора	22,5 или 26,5 (Δ = 12 дБ)		-48 DC (- 36...-72) 80 Вт (1+0)	71		От -35 до +50	1,2; 1,8; 2,4	боковая дорожка E1; 2 x 64 кбит/с; 1 канал ТЧ; 2 канала V.11 [ 1+0; 1+1]	QPSK
16	STR 300 – 13	12,75÷13,25	E3									0,7		
17	STD 10 – 7 GHz	7,1÷7,7	E1; 2E1 4E1	118 (4E1)	Имеется	23 или 26 (Δ = 11 дБ)		65 Вт (1+0) 130 Вт (1+1)			От -30 до +50	0,7; 1,1; 1,85	1 канал ТЧ; 1 x 64 кбит/с; 3 входа внешн.датчиков [ 1+0; 1+1]	CEPM
18	FHA 1010 OC/1-PPC-177	1429÷1434 1496÷1530	до 576 кбит/с	126	шаг 25 кГц	30 дБВт (Δ = 10 дБ)			-	- (12 кг IDU)	От -30 до +55		Малоканальная PPC, каналы 64 кбит/с с разными стыками. Может быть АСКП	CEPM

В России сертифицирована также малоканальная станция дециметрового диапазона ФНА 1010 (сертификат ОС/1-PPC-177). Диапазон частот 1429÷1434 МГц и 1496÷1530 МГц, трафик до 576 кбит/с, коэффициент системы 126 дБ, шаг синтезатора частоты 125 кГц.

Siemens

1	SRA-L 7/8	7,1÷7,9 8,2÷8,5	E1 2E1 4E1 8E1 изменяется програм- мно	113,5 (E2)	более 100МГц	25 (Δрег.24 дБ)	Один коаксиальный кабель	-(36...72) VDC - 40 Вт (1+0)	7 (1+0)	(экстрем.доп. от -50 до +60)	0,6 м 1,2 м	3x64 кбит/с, V.11; RS 232 для PC; RS 485 для NMC; Интерфейсы Qx, QD2, Q3 для TMN  [1+0, 1+1]	СЕРМ
2	SRA-L 15	14,4÷15,35		109 (E2)		21							
3	SRA-L 18	17,7÷19,7		106,5 (E2)		19							
4	SRA-L 23	21,2÷23,6		104,5 (E2)		18							
5	SRA-L 26	24,5÷26,5		105 (E2)		18							
6	SRA-L 38	37÷39,5		102 (E2)		17							