

## Лекція 7

### Системи супутникового зв'язку і їх порівняльні характеристики

#### 8.1. Переваги цифрового супутникового зв'язку

Супутникові системи зв'язку (ССЗ) відомі давно, і використовуються вони для передачі різних сигналів на великі відстані. З часу своєї появи супутниковий зв'язок стрімко розвивався, і у міру накопичення досвіду, вдосконалення апаратури, розвитку методів передачі сигналів відбувся перехід від окремих ліній супутникового зв'язку до локальних і глобальних систем.

Виникнення супутникового зв'язку було продиктовано потребами передачі великих обсягів інформації. Першою системою такого зв'язку стала система Intelsat, потім були створені аналогічні регіональні організації (Euteisat, Arabsat та ін.). З часом частка передачі мови в загальному обсягу магістрального трафіку постійно знижувалася, поступаючись місцем передачі даних.

Системи супутникового зв'язку розрізняють за типом сигналу, що передається, який може бути аналоговим або цифровим.

##### **Переваги передачі інформації в цифровій формі:**

1. Простота і ефективність об'єднання багатьох незалежних сигналів і перетворення цифрових повідомлень в "пакети" для зручності комутації.
2. Набагато менші енерговитрати порівняно з передачею аналогового сигналу.
3. Відносно менша чутливість цифрових каналів до ефекту накопичення спотворень при ретрансляціях, яка становить серйозну проблему в аналогових системах зв'язку.
4. Потенційна можливість отримання дуже малої вірогідності помилок передачі і досягнення високої точності відтворення даних, що передаються, шляхом виявлення і виправлення помилок.
5. Конфіденційність зв'язку.
6. Гнучкість реалізації цифрової апаратури на основі застосування мікропроцесорів, цифрової комутації, а також мікросхем.

#### 8.2. Недоліки супутникового зв'язку

**1. Слабкий захист від перешкод.** Внаслідок великих відстаней між земними станціями і супутником відношення сигнал/шум на приймачі набагато менше, ніж для більшості радіорелейних ліній зв'язку. Тому доводиться використовувати антени великих розмірів, малошумні елементи, а також складні завадостійкі коди – особливо в системах рухомого зв'язку з обмеженими розміром антени і потужністю передавача.

**2. Вплив атмосфери.** Ефекти в тропосфері і іоносфері суттєво впливають на якість супутникового зв'язку

**2.1. Поглинання в тропосфері.** Поглинання сигналу атмосферою напряму залежить від частоти сигналу, причому максимумами поглинання припадають на 22,3 ГГц (резонанс водяної пари) і 60 ГГц (резонанс кисню). В цілому, поглинання істотно позначається на розповсюдженні сигналів з частотою вище 10 ГГц. Крім поглинання, при розповсюдженні радіохвиль в атмосфері має місце

також ефект завмирання, викликаний різницею в коефіцієнтах заломлення різних шарів атмосфери.

**2.2. Іоносферні ефекти.** Ці ефекти зумовлені флуктуаціями розподілу вільних електронів і проявляються у вигляді мерехтінь, викликаних неоднорідною структурою іоносфери, що призводить до постійного змінювання потужності сигналу, поглинань, затримки в розповсюдженні, дисперсії, змінюванні частоти, обертанні площини поляризації, причому всі ці ефекти ослабляються із збільшенням частоти, і для сигналів з частотами понад 10 ГГц їх вплив незначний.

**3. Затримка розповсюдження сигналу** має місце у всіх супутникових системах зв'язку. Найбільшу затримку (приблизно 250 мс) мають системи з супутниковим ретранслятором, розміщеним на геостаціонарній орбіті, причому з урахуванням комутації і затримок обробки сигналу загальна затримка сигналу може доходити до 400 мс. Така затримка розповсюдження радіохвиль найбільш небажана в телефонному зв'язку, де різниця в часі між репліками абонентів не може бути меншою за 500 мс.

### **8.3. Супутникові служби зв'язку**

Відповідно до Регламенту радіозв'язку залежно від призначення супутникового зв'язку і типу використовуваних земних станцій (ЗС) розрізняють такі три основні служби супутникового зв'язку:

1. Фіксована супутникова служба (ФСС).
2. Рухома супутникова служба (РСС).
3. Радіомовна супутникова служба (РадСС).

Розглянемо ці служби докладніше.

**1. Фіксована супутникова служба** призначена для організації зв'язку між стаціонарними користувачами (магістральні лінії зв'язку великої протяжності, зоновий зв'язок тощо). В наш час найрозповсюдженішими є мережі персонального супутникового зв'язку на основі терміналів типу VSAT (Very Small Aperture Terminal – термінал з дуже маленькою апертурою), які широко використовуються для обміну банківською інформацією, в мережах торгових складів, оптових баз тощо і призначені забезпечувати роботу з кредитними картками. Станції ФСС – портативні, відносно дешеві, не вимагають наземних з'єднувальних ліній, їх розміщують безпосередньо в приміщенні користувача. Згідно прогнозу ФСС в перспективі мають забезпечувати не лише персональний мовний зв'язок, але й передачу даних, мультимедіа безпосередньо на домашні персональні комп'ютери.

**2. Рухома супутникова служба** призначена для організації зв'язку між мобільними об'єктами або між мобільним об'єктом і стаціонарним користувачем. Спочатку вона розглядалася як служба спеціального призначення для організації морського, повітряного, автомобільного і залізничного супутникового зв'язку. В наш час вона переорієнтовується на забезпечення послуг персонального зв'язку.

**Особливість РСС** – малий розмір антени терміналу, що утрудняє прийом сигналу. Для збільшення потужності сигналу і доведення його до достатнього рівня, застосовують одне з таких двох рішень:

1) Застосовують потужні передавачі, розміщені на супутниках на геостаціонарній орбіті на відстані 35786 км від поверхні Землі. Цей підхід

використовується системою Inmarsat, основною задачею якої є надання послуг зв'язку морським судам і деякими регіональними операторами персонального супутникового зв'язку (наприклад, Thuraya).

2) Застосовують декілька супутників, які розміщують на похилих або полярних орбітах. При цьому на супутниках встановлюють передавачі малої потужності, а вартість виведення таких супутників на орбіту значно менша порівняно з виведенням супутників на геостаціонарну орбіту. **Недолік такого підходу:** потрібно мати не лише велику кількість супутників, але й розгалужену мережу наземних комутаторів. Подібний метод використовується операторами Iridium і Globalstar.

В грудні 2006 року був запущений експериментальний геостаціонарний супутник Кіку-8 з рекордно великою площею антени, який використовується для відпрацювання технології роботи супутникового зв'язку з мобільними пристроями, розмір яких не перевищує розмір стільникових телефонів.

**Радіомовна супутникова служба** призначена для прийому телевізійних і радіомовних програм і охоплює системи безпосереднього телевізійного мовлення, супутникового телевізійного мовлення та супутникового радіомовлення.

Порівняно недавно в області телемовлення зародилася ідея персоналізації, тобто ідея інтерактивного обміну в процесі телепередач і задоволення індивідуальних запитів користувачів шляхом трансляції по закритих каналах замовлених телепрограм, а також надання можливості здійснювати інтерактивний обмін в процесі телепередач. В цьому випадку користувач перетворюється з пасивного споживача мовної інформації в активного учасника.

#### **8.4. Класифікація систем персонального супутникового зв'язку**

Під назвою "системи персонального супутникового зв'язку" розуміють різні за побудовою супутникові системи з космічними апаратами (КА) на геостаціонарній (GEO), середньовисотних (MEO – Medium Earth Orbit), низьких (LEO) і еліптичних орбітах, які працюють в різних діапазонах частот і надають користувачу різні послуги зв'язку за допомогою персонального терміналу (портативного, мобільного, стаціонарного).

В основу наведеної нижче класифікації покладено дві основні ознаки: інформаційна швидкість в абонентній лінії і тип орбіти.

Залежно від швидкості передачі системи персонального зв'язку поділяють на такі класи:

1. Системи з наднизькими потоками даних (інформаційна швидкість до 1,2 кбіт/с).
2. Низькошвидкісні системи (інформаційна швидкість 1,2 ... 9,6 кбіт/с).
3. Високошвидкісні системи (інформаційна швидкість 64 кбіт/с і вище).

**8.4.1. Системи з наднизькими потоками даних** призначені для виявлення і визначення місцеположення суден та літаків, що терплять біду, моніторингу навколишнього середовища та збирання різноманітних даних з морських і наземних об'єктів. По каналах цих систем передаються переважно однопакетні повідомлення завдовжки до 256 біт. Залежно від типу використовуваних орбіт такі системи поділяються на дві групи: LEO і GEO.

В глобальних системах, що використовують низькоорбітальні КА, зв'язок здійснюється на частотах, виділених МСЕ як аварійні для авіаційної і морської рухомих служб (121,5/243 МГц і 406 МГц). Обсяг передаваних аварійних і екстрених повідомлень достатньо малий. В якості абонентської апаратури використовуються радіомаяки і радіобуї, які приводяться в дію вручну або автоматично (в момент удару, при зануренні у водне середовище тощо). Електроживлення апаратури здійснюється від автономних джерел.

Передача повідомлень здійснюється регулярно у фіксовані тимчасові інтервали (для кожного радіомаяка виділений свій часовий інтервал), а кожний з обслуговуваних датчиків використовує один з фіксованих каналів ретранслятора. Такий метод організації збирання даних дозволяє позбутися взаємних перешкод від передавачів різних об'єктів.

**8.4.2. Низькошвидкісні системи персонального супутникового зв'язку** призначені для передачі даних і забезпечення вузькосмугового радіотелефонного зв'язку. Залежно від типу використовуваних орбіт системи поділяються на 5 основних груп: little LEO, big LEO, MEO, NEO і GEO.

Розглянемо призначення кожної з цих груп.

**Група little LEO** призначена для передачі даних зі швидкістю 1,2...9,6 кбит/с. Відмітною особливістю цієї групи є робота в діапазоні частот до 1 ГГц, використання легких КА масою порядку 50...250 кг, до яких не пред'являється жорстких вимог за часом доставки повідомлень. В системах використовується 6...48 КА. До систем групи little LEO відносяться: "Гонець"; Orbcomm; Starsys, Vitasat та ін.

**Основні режими роботи:**

- Передача коротких однопакетних повідомлень типу пейджингових з наданням каналів на вимогу або передача даних в режимі електронної пошти.
- Передача формалізованих повідомлень (коротких буквено-цифрових, попередньо записаних в пам'ять терміналу і таких, що передаються натисненням на одну або на декількох клавіш).
- Передача коротких повідомлень про місцеположення або стан обслуговуваних або необслуговуваних об'єктів.
- Передача групових і екстрених повідомлень.
- Визначення координат рухомого об'єкту (довгота, широта, універсальний час).

Відмітні особливості систем такого класу:

- Використання легких і портативних терміналів з ненаправленими антенами.
- Групове виведення малих КА на орбіту.

- Забезпечення набагато нижчих за вартістю послуг порівняно з іншими класами систем персонального супутникового зв'язку.

**Група big LEO.** До цієї групи відносяться системи, орієнтовані на забезпечення персонального радіотелефонного і пейджингового зв'язку в глобальному масштабі. Вони забезпечують безперервне, в реальному масштабі часу, обслуговування персональних абонентів, для досягнення якого виводяться на коректовані орбіти групи з 48...66 супутників масою 300...700 кг, що перевищує масу супутників в системах класу little LEO. Реальна пропускна спроможність систем класу big LEO, як правило, не перевищує 1200 еквівалентних телефонних каналів по 2,4 кбіт/с на КА. До групи big LEO входять системи Iridium, Globalstar, "Сигнал" та ін.

**Група систем МЕО.** Системи, що використовують КА, виведені на середньовисотні орбіти. Вони конкурують з системам класу big LEO, і їх особливістю є те, що вони орієнтовані на один і той же самий ринок послуг, що і системам класу big LEO, тобто вони орієнтовані на забезпечення Глобального радіотелефонного і пейджингового зв'язку. Якщо для забезпечення Глобального зв'язку в системах big LEO, що не використовують міжсупутникові лінії, потрібно мати 150...200 станцій сполучення (Globalstar), то в системах класу МЕО достатньо використовувати лише 7...12 таких станцій.

Пропускна спроможність систем цього класу, в яку входять системи Odyssey і ICO, складає 3000...4500 еквівалентних телефонних каналів на КА.

**Група систем НЕО і GEO.** Системи мобільного супутникового зв'язку, які використовують КА, що перебувають на геостаціонарній та високоеліптичній орбітах, призначені для забезпечення різних видів зв'язку, таких як мова, передача даних, телекс, факс. В цю найчисленнішу групу включені як існуючі і перспективні системи, орієнтовані як на передачу даних (Inmarsat-C, Omnitrac, Euteltrac, Prodat), так і системи, орієнтовані на організацію радіотелефонного зв'язку (Inmarsat-M, "Марафон", AMSC, MSAT, Optus, ACeS і ін.).

### **8.5. Високошвидкісні системи персонального супутникового зв'язку**

До цього класу відносяться глобальні системи широкосмугового зв'язку, які використовують LEO, МЕО і GEO орбіти. Ці системи призначені для передачі високоякісної мови, високошвидкісних потоків даних, мультимедіа, організації конференц-зв'язку, доступу в Internet, інтерактивного зв'язку.

Відмітні особливості систем цього класу:

- Передача даних з використанням протоколів і технологій IP, X.25, Frame Relay, В-ISDN, АТМ, SDH та ін.
- Доступ до БД інформаційних систем по разових запитах віддалених користувачів, доступ до мережі Internet.
- Передача відеоданих, мультимедіа.