

Тема 1.

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ СУПУТНИКОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Супутникові інформаційні мережі (СІМ) різного призначення можуть відрізнятися друг від друга за цілим рядом класифікаційних ознак, основними з яких є:

- характеристики області обслуговування;
- переважний напрямок інформаційних потоків у мережі;
- тип орбітального угруповання ретрансляторів,
- діапазони використовуваних частот;
- призначення СІМ і тип використовуваних станцій.

За територією обслуговування, адміністративній структурі керування і приналежності космічного та наземного сегментів супутникових інформаційних мереж можна виділити:

- глобальні СІМ, які забезпечують повний охоплення території Землі і розвиваються під керуванням та при координації міжнародних організацій, які поєднують більшість країн світу;
- інтернаціональні СІМ, які є об'єктом спільної діяльності декількох десятків країн, у тому числі регіональні СІМ, спільно використовувани країнами, розташованими у відносному сусідстві одна з одною і приналежними одному географічному регіону;
- національні СІМ, наземний сегмент яких зосереджений у межах однієї країни;
- корпоративні (відомчі) СІМ, наземний сегмент яких належить одному відомству, великій приватній компанії і т.п., а призначення мереж складається в забезпеченні обміну діловою інформацією і даними в інтересах організації-власника або орендаря мережі. Корпоративні мережі будуються переважно на основі ЗС типу VSAT (Very Small Aperture Terminal) і довгострокової оренди частини зв'язних ресурсів комерційних СР загального користування.

За переважачим напрямком передачі інформаційних потоків у СІМ розрізняють:

- мережі збору інформації, у яких інформація передається від численних джерел (датчиків) в один або декілька центрів збору й обробки інформації;
- мережі розподілу інформації, для яких характерна передача трафіка від невеликого числа центральних розподільних станцій до численних споживачів інформації. У зворотному напрямку може передаватися лише незначний обсяг інформації запиту. Для мереж розподілу інформації характерна наявність режимів багатоадресної та ширококомовної передачі;
- мережі обміну інформацією характеризуються тим, що в них ЗС є в приблизно рівному ступені джерелами та споживачами циркулюючих у мережі інформаційних потоків.

У найпростіших передумовах (Земля має форму ідеальної кулі, а на ШСЗ діє тільки гравітаційне поле Землі) рух супутника по навколоземної орбіти підкоряється законам Кеплера. Площина орбіти нерухома в часі і проходить через центр Землі, а орбіта має форму еліпса, в одному з фокусів якого розташована Земля. Точка перетинання лінії, що з'єднує ШСЗ і центр Землі, з поверхнею земної кулі називається **підсупутниковою точкою**. **Висота еліптичної орбіти h** (відстань між ШСЗ і його підсупутниковою точкою) міняється в часі з періодом, рівному часу обігу супутника по орбіті. Максимальне значення висоти орбіти називається **висотою в точці апогею**, а мінімальне - **висотою в точці перигею**. Іншими важливими параметрами, що характеризують навколоземну орбіту супутника зв'язку, є:

1. **Кут нахилення площини орбіти i** - кут між площиною екватора Землі і площиною орбіти, відлічуваний від площини екватора в напрямку на північ. По цьому параметрі розрізняють **екваторіальні** ($i = 0$), **полярні** ($i = 90^\circ$) і **похилі** ($0 < i < 90^\circ$, $90^\circ < i < 180^\circ$) орбіти. Якщо $0 < i < 90^\circ$, говорять, що супутник запусканий у східному напрямку, якщо ж $90^\circ < i < 180^\circ$ - у західному. Супутники зв'язку запускаються винятково в східному напрямку, оскільки їхній запуск у західному має тільки негативні сторони: зростає швидкість переміщення супутника щодо земної поверхні, а для виводу на орбіту потрібно могутніший носій.
2. **Довгота висхідного вузла** - довгота точки перетинання траєкторії підсупутникової точки з лінією екватора при русі супутника з півдня на північ.
3. **Ексцентриситет орбіти**, рівний $e = \sqrt{1 - b^2/a^2}$, де a і b відповідно більша й мала півосі еліпсу орбіти. Величина ексцентриситету може приймати значення в діапазоні $0 < e < 1$. Чим більше ексцентриситет, тим більше "вузькою і витягнутою" є орбіта супутника. При $e = 0$ еліптична орбіта вироджується в кругову з постійною висотою h .
4. **Час обігу супутника** по орбіті (час обертання супутника) - інтервал часу між сусідніми проходженнями супутником однієї й тієї ж точки орбіти.

При побудові СІМ можуть бути використані наступні типи орбіт:

- геостаціонарна орбіта (GEO - Geostationary Earth Orbit);
- низькі кругові орбіти (LEO - Low Earth Orbit);
- середньовисотні кругові орбіти (MEO - Medium Earth Orbit);
- еліптичні навколоземні (EEO - Elliptical Earth Orbit).

Геостаціонарні СР (ГСР) виводяться в східному напрямку на кругову орбіту з нульовим нахиленням (в екваторіальну площину) і висотою над поверхнею Землі $h=35875$ км. Ця орбіта характеризується тим, що кутова швидкість супутника збігається за величиною і напрямком з кутовою швидкістю обертання Землі і теоретично ГСР є нерухомим щодо точки екватора (підсупутникової точки), над якою розміщується ретранслятор. Внаслідок цього дана орбіта одержала спеціальну назву - **геостаціонарна орбіта (ГО)**.

Число супутників-ретрансляторів на геостаціонарній орбіті обмежується міжнародними нормами. Зокрема, ці обмеження визначають величину мінімального кутового розносу ретрансляторів. Для забезпечення прийнятної електромагнітної сумісності різних СІМ кутовий рознос ГСР на орбіті повинен бути не менше $0,5^\circ$.

Низькоорбітальні ретранслятори (НР) розміщуються на кругових орбітах висотою від 700 до 1500 км. Чим нижче орбіта, тим менше область обслуговування кожного СР. Тому для обслуговування досить більших територій земної поверхні потрібно багато супутників - від декількох десятків до декількох сотень. Період обігу ретрансляторів на низьких орбітах становить 90-120 хвилин, а максимальний час видимості супутника з фіксованої точки земної поверхні не перевищує 10-15 хвилин. Не занадто приємною особливістю низькоорбітальних угруповань ретрансляторів є те, що вони "діють за принципом все або нічого" у тому розумінні, що якщо від них потрібне обслуговування деякої області земної поверхні, вони в стані також обслужити майже будь-яку іншу аналогічну область, якщо навіть цього від них зовсім не потрібно. Тому при побудові регіональних СІМ зв'язні ресурси низькоорбітальних угруповань використовуються неефективно, а областю їхнього застосування є глобальні (або майже глобальні) супутникові інформаційні мережі.

Можливі траєкторії середньовисотних супутників вибираються на висотах від 5 до 15 тис. км. Область обслуговування кожного середньовисотного СР істотно менше, ніж геостаціонарного, тому для охоплення більш населених районів суші та судноплавних акваторій океанів необхідно створювати угруповання з 8-12 супутників. Сумарна (з обох боків) затримка сигналу при зв'язку через середньовисотні ретранслятори не перевищує 200 мс, що дозволяє використовувати їх для якісного радіотелефонного зв'язку. Тривалість перебування СР у зоні радіовидимості ЗС становить 1,5-2 години, а орбітальний ресурс середньовисотних супутників лише незначно менше, ніж у геостаціонарних. Період обігу супутника навколо Землі вибирається рівним 6 годин (при висоті орбіти 10350 км). Це призводить до повторення траєкторії підсупутникової точки через кожні 4 витки орбіти, що значно спрощує процес інформаційного обслуговування користувачів.

Для супутників на еліптичній орбіті характерно те, що в силу закону збереження енергії їхня кутова швидкість в апогеї значно менше, ніж у перигеї. Тому СР буде перебувати в зоні видимості певного регіону більше тривалого часу, чим негеостаціонарний супутник, орбіта якого є круговою. Наприклад, супутник-ретранслятор, виведений на орбіту типу «Блискавка» (апогей 40 тис. км, перигей 460 км, нахилення $63,4^\circ$), забезпечить сеанси зв'язку тривалістю 8-10 годин. Орбітальне угруповання всього із трьох таких супутників дозволяє забезпечити глобальний цілодобовий зв'язок.

СІМ працюють у діапазоні частот від декількох сотень МГц до декількох десятків ГГц у спеціально виділених Регламентом радіозв'язку ділянках спектра. Стосовно до СІМ використовуються наступні умовні літерні

позначення діапазонів частот: L - діапазон (0,5-1,5 ГГц), S - діапазон (1,5-2,5) ГГц, C - діапазон (4-8 ГГц), Ки - діапазон (12-18 ГГц), Ka - діапазон (20-40 ГГц) і Q/V- діапазон (40-74 ГГц).

За призначенням мережі та типу земних станцій існує поділ супутникових служб зв'язку уведений Регламентом радіозв'язку:

фіксована супутникова служба - ФСС (FSS - Fixed Satellite Service);

рухома супутникова служба - РСС (MSS - Mobile Satellite Service);

широкомовна супутникова служба - ШСС (BSS - Broadcast Satellite Service).

Приклади СМЗ різноманітних супутникових служб приведені в таблиці 1.1.

Мережі ФСС призначені для забезпечення зв'язку між стаціонарними станціями, організації магістральних каналів великої довжини і регіонального (зонового) зв'язку, побудови корпоративних мереж. Послуги ФСС надають п'ять великих міжнародних організацій і близько 50 регіональних і національних компаній. До найбільш значних комерційних систем фіксованої служби відносяться Intelsat, Intersputnik, Eutelsat, Arabsat й AsiaSat. Найбільш потужної є міжнародна система Intelsat, орбітальне угруповання якої охоплює чотири основних регіони обслуговування- Атлантичний, Індійський, Азіатсько-Тихоокеанський і Тихоокеанський.

Мережі РСС з'явилися близько 30 років тому. Залежно від типу станції вони підрозділяються на морську мобільну супутникову службу - ММСЗ (MMSS - Maritime Mobile Satellite Service), повітряну мобільну супутникову службу ПМСЗ (AMSS - Airborne Mobile Satellite Service) і сухопутну мобільну супутникову службу - СМСЗ (LMSS - Land Mobile Satellite Service).

Широкомовна супутникова служба призначена для прийому телевізійних і радіомовних програм і є головною службою систем безпосереднього телевізійного віщання (БТВ), супутникового телевізійного віщання і супутникового безпосереднього радіомовлення. Всі системи телерадіомовлення будуються на базі супутників на геостаціонарній орбіті. У цієї області телекомунікацій, де основна вимога до системи – суцільне покриття територій, які обслуговують, переваги геостаціонарних СІМ перед іншими засобами зв'язку проявляються найбільшою мірою.

Таблиця 1.1 - СМЗ різноманітних супутникових служб

Тип супутникової служби	Діапазон частот	Застосування	Тип земних станцій	Приклади систем
1	2	3	4	5
Фіксована супутникова служба на базі геостаціонарної супутникової мережі	C, Ku	Телефонія, передача даних, первинний розподіл ТВ-програм, додатки VSAT	Стационарна земна станція з антеною діаметром 1 м та більше	Intelsat, Eurosat, Intersputnik, Galaxy, Skynet
Широкомовна супутникова служба на базі геостаціонарної супутникової мережі	C, Ku	Передача відео- та аудіо- інформації напряму у будинки користувачів	Стационарна земна станція з антеною діаметром від 0,6 м до 4 м	DirecTV, EchoStar, USSB, Astra
Рухома супутникова служба на базі геостаціонарної супутникової мережі	L,S	Мовний зв'язок, низькошвидкісна передача даних, визначення місцеположення	Невеликий термінал, що встановлюється на автомобілі, судні або носить у руках	Inmarsat, AMSC, ACeS, Thuraya
Рухома супутникова служба на базі великої низькоорбітальної супутникової мережі	L,S	Рухома телефонія, пейджинг, низькошвидкісна передача даних, визначення місцеположення	Портативний телефон, пейджер або таксофон	Iridium, Globalstar
Рухома супутникова служба на базі малої низькоорбітальної супутникової мережі	Нижче 1 ГГц	Передача коротких повідомлень, визначення місцеположення, слідкування за рухомими об'єктами	Пристрій розміром з пачку цигарок, що має все напрямлену антену	ORBCOMM, ESAT, Гонець

Кінець таблиці 1.1

1	2	3	4	5
Широкомовна геостаціонарна супутникова мережа	Ka	Доступ до Internet, передача мови, аудіо, відео, графіки, даних та др.	Стационарна земна станція з антеною діаметром від 0,7 м до 3,5 м	Spaceway, CyberStar, Astrolink, WildBlue
Широкомовна негеостаціонарна супутникова мережа	Ku	Доступ до Internet, передача мови, аудіо, відео, графіки, даних та др.	Стационарна земна станція з антеною діаметром від 30 см до 70 см	SkyBridge