

## Лекція №8 Системи супутникового зв'язку і їх порівняльні характеристики (продовження)

Концепція персонального супутникового зв'язку реалізується в системах з космічними апаратами (КА) на геостаціонарній та на негеостаціонарних орбітах. При цьому більшість відомих негеостаціонарних систем будується за принципом "кілець", кожне з яких складається з декількох рівномірно розміщених уздовж усієї орбіти супутників, що рухаються на таких навколосемних орбітах, які розташовані в одній площині і створюють на поверхні Землі пояс зв'язку.

Розглянемо докладніше спочатку типи орбіт супутників та їхні основні показники, а потім перейдемо до розгляду деяких конкретних систем супутникового зв'язку.

### 8.1. Типи орбіт супутників та їхні основні показники

#### 8.1.1. Геостаціонарна орбіта

Геостаціонарні супутники, розташовуючись на висоті приблизно 36000 км від поверхні Землі, постійно знаходяться над заданою точкою земної поверхні. Це досягається за рахунок того, що КА, рухаючись із швидкістю обертання Землі, ніби зависає над певною точкою поверхні, розташованої на екваторі.

Особливість таких супутників полягає в тому, що зв'язок, який здійснюється через геостаціонарні КА, не переривається в часі. При цьому система з трьох таких супутників забезпечує охоплення практично всієї території земної поверхні. Проте КА, виведені на геостаціонарну орбіту, зможуть забезпечити послуги персонального зв'язку лише тоді, коли зони обслуговування, які формуються ними на поверхні Землі, будуть приблизно однаковими із зонами, утворюваними низькоорбітальними супутниками.

Орбітальний ресурс геостаціонарних КА досить високий: термін активного існування сучасних КА становить приблизно 15...25 років.

**Безперечні переваги систем на геостаціонарній орбіті:** можливість здійснення безперервного зв'язку в глобальній зоні обслуговування, практично повна відсутність зсуву частоти, зумовленого доплерівським ефектом тощо.

**Недоліки систем на геостаціонарній орбіті:** значно більша чутливість порівняно з негеостаціонарними орбітами до тривалих сумарних затримок сигналу, що становлять близько 500 мс (з урахуванням часу обробки і комутації в наземних мережах), що утруднює спілкування абонентів; зона огляду геостаціонарних КА не дозволяє забезпечити зв'язок у високоширотних районах, а, отже, гарантувати істинно глобальне обслуговування абонентів.

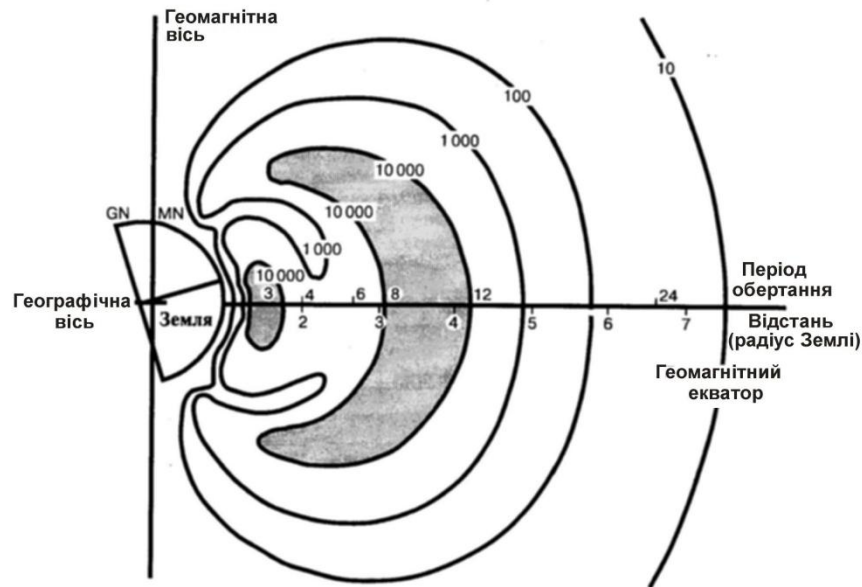
#### 8.1.2. Середньовисотні орбіти

Системи з середньовисотними КА забезпечують кращі характеристики обслуговування абонентів порівняно з геостаціонарними за рахунок збільшення робочих кутів місця і числа КА, які знаходяться одночасно в полі зору наземного абонента. Так, радіовидимість двох супутників в системах Odyssey або ICO забезпечується в 95% добового часу.

Однією з умов, що впливають на вибір структури негеостаціонарного орбітального угруповання і обмежують застосування таких угруповань, є

наявність просторових поясів заряджених частинок, захоплених магнітним полем Землі.

Схематичне розташування радіаційних поясів Ван Аллена наведено на **рис. 8.1**. Цей рисунок показує, що перший стійкий пояс радіації високої інтенсивності (10000 имп/сек) тягнеться на висоті 2000...9000 км і до 30° в обидві сторони від екватора. Другий пояс радіації такої ж високої інтенсивності розташований на висотах 13000...19000 км і до 50° в обидві сторони від екватора.



**Рис. 8.1.** Рівні радіації в зонах Ван Аллена (GN – географічна північ, MN – магнітна північ)

Середньовисотні супутники займають проміжне місце на орбіті. Їхня траса проходить між першим і другим поясами Ван Аллена, тобто в діапазоні висот 5000...15000 км. Вони створюють меншу зону обслуговування, ніж геостационарні КА. Тому для глобального охоплення з однократним покриттям найбільш населених районів Земної кулі і судноплавних акваторій необхідно мати 7...12 супутників.

Повна затримка розповсюдження сигналів радіозв'язку із застосуванням середньовисотних супутників не перевищує 130 мс, що дозволяє використовувати їх для персонального радіотелефонного зв'язку. Такі супутники виграють порівняно з системами з більш високими орбітами за енергетичними показниками, проте програють їм за тривалістю часу перебування КА в зоні радіовидимості ЗС, який не перевищує 1,5...2 годин.

Орбітальний ресурс середньовисотних КА лише трохи менший, ніж у геостационарних. Період обертання навколо Землі для середньовисотних кругових орбіт складає близько 6 годин, з яких лише декілька хвилин КА перебувають в області тіні Землі, що значно полегшує роботу бортової системи електроживлення і дозволяє забезпечити термін служби КА до 12...15 років.

Системи з середньовисотними КА забезпечують більш високі характеристики обслуговування абонентів за рахунок збільшення робочих кутів місця і числа КА, що одночасно знаходяться в зоні радіовидимості, а також

прийнятну затримку часу надходження сигналів при проведенні сеансів зв'язку (до 130 мс).

### 8.1.3. Низькі кругові орбіти

Залежно від величини нахилу площини орбіти і відносно площини екватора розрізняють такі орбіти:

- 1) низькі екваторіальні ( $i = 0^\circ$ );
- 2) полярні ( $i = 90^\circ$ );
- 3) похилі орбіти.

Раніше системи, що використовували супутники на низьких похилих або полярних орбітах, застосовувались в основному для науково-дослідної мети, дистанційного зондування, навігації, метеорологічних спостережень тощо. Інтенсивне освоєння таких похилих орбіт заввишки 700...1500 км і екваторіальних заввишки 2000 км для організації мобільного і персонального зв'язку почалося лише приблизно 25 років тому.

Якщо низькоорбітальна система повинна забезпечувати глобальний зв'язок з неперервним обслуговуванням, то кількість КА в орбітальній групі має бути не менша, ніж 48. Період обертання супутника на таких орбітах – від 90 хв до 2 годин, а максимальний час перебування КА в зоні радіовидимості не перевищує 10...15 хв.

**Основний недолік низьких кругових орбіт** – мала тривалість сеансів зв'язку і часу активного існування космічного апарату. Якщо період обертання КА навколо Землі складає 100 хв, то КА в середньому лише 30% часу перебуває на тінювій стороні Землі. Тому акумуляторні батареї на борту низькоорбітальних КА щорічно мають приблизно 5000 циклів зарядки/розрядки, і термін їх служби, як правило, не перевищує 5...8 років.

*Основна перевага низьких кругових орбіт – вигаи в енергетичних характеристиках порівняно з іншими орбітами.*

*Порівняльні характеристики систем, що використовують орбіти різного типу (GEO, MEO і LEO), наведені в табл. 10.1.*

**Табл. 8.1.** Порівняльні характеристики систем, що використовують різні типи орбіт

Тип орбіти	GEO	MEO	LEO
Висота орбіти, км	36000	10355	700-1500
Кількість КА в орбітальному угрупованні при безперервному глобальному обхваті	3	8-12	48-66
Площа зони покриття для одного КА, в % щодо поверхні Землі (кут місця $5^\circ$ )	34	25-28	3-7
Час перебування КА в зоні радіовидимості	Безперервне	1,5-2 год	10-15 хв
Затримка при передачі мови:			

– регіональний зв'язок	Не менше	80–130 мс	20–70 мс
– глобальний зв'язок	500 мс	250–400 мс	70–300 мс
Час перемикання (хв):			
– з одного супутника на іншій	Не потрібен	50–60	8–10
– з одного променя в іншій	10–15	5–6	1,5–2,0
Максимальний відносний доплеровський зсув	$\pm 10^{-8}$	$\pm 6 \cdot 10^{-6}$	$\pm (1,8-2,4) \cdot 10^{-5}$
Кут місця на краю зони обслуговування (град)	5	25–30	10–15

#### 8.1.4. Еліптичні орбіти

Основними параметрами, що характеризують тип еліптичної орбіти, є період обертання супутника навкруги Землі і ексцентриситет. В наш час застосовують декілька типів еліптичних орбіт з великим ексцентриситетом: типу *Borealis* (період обертання 3 год), типу *Archimedes* (8 год.), типу "Молнія" (12 год.), типу "Лопус" (14,4 год.), типу "Гундра" (24 год.).

За рахунок високого апогею супутник на еліптичних орбітах більшу частину часу знаходиться в зоні видимості певного регіону, забезпечуючи зв'язок протягом довгого часу. Так, супутник, виведений на орбіту типу "Молнія" (апогей 40000 км, перигей 460 км), забезпечує сеанси зв'язку тривалістю 8...10 годин, а система з трьох таких супутників – глобальний цілодобовий зв'язок.

Еліптичні орбіти з більш низьким апогеєм, такі як *Borealis* (апогей 7840 км, перигей 520 км) або *Archimedes* (апогей 26737 км, перигей 1000 км) призначені для забезпечення регіонального зв'язку. Системи з більш низьким апогеєм виграють в енергетичних характеристиках порівняно з високоеліптичними орбітами (ВЕО), програючи їм в тривалості сеансів. Для забезпечення безперервного цілодобового зв'язку з використанням синхронно-сонячних орбіт типу *Borealis* потрібно мати не менше 8 КА, що дозволяє обслуговувати максимальний трафік при кутах радіовидимості КА не менше 25°.

При виборі еліптичних орбіт на величину нахилу площини орбіти до екватора накладаються істотні обмеження, викликані тим, що внаслідок дії неоднорідностей гравітаційного поля Землі на велика вісь еліптичної орбіти діє обертальний момент, що призводить до коливань широти підсупутникової точки в апогеї. Постійність еліптичних орбіт забезпечується лише при двох значеннях нахилу: 63,4° та 116,6°. Крім того, на вибір параметрів еліптичних орбіт впливають небезпечні дії радіаційних поясів Ван Аллена, які неминуче перетинає КА під час свого руху по орбіті.

#### Системи VSAT

Системи VSAT надають послуги супутникового зв'язку клієнтам (як правило, невеликим організаціям), яким не потрібна висока пропускна спроможність каналу. Швидкість передачі даних для VSAT-терміналу не перевищує 2048 кбит/с. Розмір антен VSAT-терміналів набагато менший порівняно з розмірами більш старих антен магістральних систем зв'язку: VSAT-

термінали, що працюють в С-діапазоні, використовують антени діаметром 1,8...2,4 м, в Ки-діапазоні – 0,75...1,8 м.

В системах VSAT застосовується технологія надання каналів на вимогу.

### **VSAT-станція супутникового зв'язку**

**VSAT1-станція** – станція супутникового зв'язку з антеною малого діаметра, порядку 1,8 ... 2,4 м – використовується для обміну інформацією між наземними пунктами, а також в системах збору і розподілу даних. Вона разом з мережею земних станцій типу VSAT забезпечує телефонний зв'язок з цифровою передачею мови, а також передачу цифрової інформації.

**Супутникові канали VSAT** широко застосовуються при побудові розподілених корпоративних мереж, для яких передбачено досить високий рівень шифрування і захисту даних.

Системи зв'язку типу VSAT є незамінним рішенням для організації зв'язку у віддалених і труднодоступних місцях, за відсутності або у разі поганого стану існуючої інфраструктури наземних мереж дротяного зв'язку.

**Існують два основні різновиди мереж VSAT:** Mesh ("кожний з кожним") – безпосередній зв'язок між абонентними земними станціями, та Star ("зірка").

Потоки від кожної VSAT-станції розділені в часі і транслюються на центральну станцію, де сигнали мультиплекуються в єдиний цифровий потік, який доступний будь-якій абонентній станції мережі. При організації мережі типу Mesh передбачається виділення ресурсів мережі кожному з абонентів мережі лише на час їх активної взаємодії. Вибір топології мережі визначається задачами замовника. Так, мережа типу Star орієнтована в першу чергу на забезпечення послуг передачі даних, для яких можливість затримки сигналу до 0,6 с не принципова. Такі мережі створюються для обслуговування банкоматів, управління технологічними процесами на електростанціях тощо. В мережі Mesh час розповсюдження сигналу не перевищує 0,3 с, що практично не відчувається навіть при передачі голосу.

### **Основні переваги станції VSAT**

1. Станції VSAT не мають постійного кваліфікованого обслуговування і контролюються централізовано, хоча може застосовуватися і місцеве (автономне) управління.

2. Приймальні станції VSAT можуть використовуватись також і для прийому телепередач.

3. Впровадження станцій VSAT дозволяє надавати користувачам широкий спектр комунікаційних послуг:

- Організацію виділених мереж на базі VSAT, що забезпечують віддаленим користувачам отримання високоякісного телефонного і факсимільного зв'язку, передачу даних з різною швидкістю.

- Створення мереж корпоративного зв'язку в сільській місцевості або підключення віддалених станцій до існуючих мереж, у тому числі до комутованої мережі загального користування.

- Організацію магістральних каналів між телефонними станціями.

- Організацію доступу абонентів до мережі Інтернет і до цифрових мереж загального користування.

В другій половині 1990-х років намітилося значне прискорення процесу розвитку VSAT-мереж, особливо в корпоративних структурах. В таких мережах можуть широко використовуватися пересувні телевізійні станції (ПТС) для позастудійних зйомок та трансляції отриманої з місця події відеоінформації засобами цифрової техніки.

Привабливою особливістю станцій VSAT є можливість їх розміщення безпосередньо близько від користувачів, які завдяки цьому можуть обходитись без наземних ліній зв'язку.

**Найважливіші переваги таких систем:**

- висока надійність і стійкість до зовнішніх дій (повені, обвали, землетруси тощо);

- повна незалежність від існуючих мереж проводового та радіорелейного зв'язку.

**Переваги наземних супутникових станцій з малою апертурою:** велика зона покриття, висока швидкість передачі інформації, можливість інтеграції послуг, швидкість розгортання, економічність.