

## Тема 2

### ОРГАНІЗАЦІЯ СУПУТНИКОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

#### 2.1. Основні конфігурації побудови мережі супутникового зв'язку

На рисунку 2.1 представлена широко використовувана в минулому конфігурація мережі супутникового зв'язку МСЗ. У цієї МСЗ ретранслятор ШСЗ здійснює прийом сигналів у частотному діапазоні 6 ГГц і передачу сигналів у частотному діапазоні 4 ГГц. Бортова антена забезпечує покриття всієї зони обслуговування. Дані МСЗ мають майже ідеальні характеристики поширення радіохвиль, і параметри траси ШСЗ - земна станція (ЗС) є визначальними.

Однак МСЗ повинна забезпечити ефективне використання потужності, спектра й орбіти, а також можливість роботи в нових частотних діапазонах.

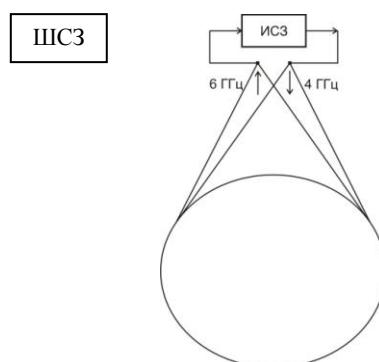


Рисунок 2.1- Конфігурація системи МСЗ

На рисунку 2.2 представлена сучасна конфігурація системи супутникового зв'язку із використанням вискоелективної бортової антени.

При цій конфігурації можливі наступні два варіанти побудови МСЗ:

1) використання скануючого променя бортової антени при роботі в режимі багатостанційного доступу з часовим поділом сигналів (1);

2) використання фіксованої багатопроменевої діаграми спрямованості бортової антени, постійно закріплених за кожним променем приймача й передавача, пристроїв комутації для з'єднання трактів різних променів (2).

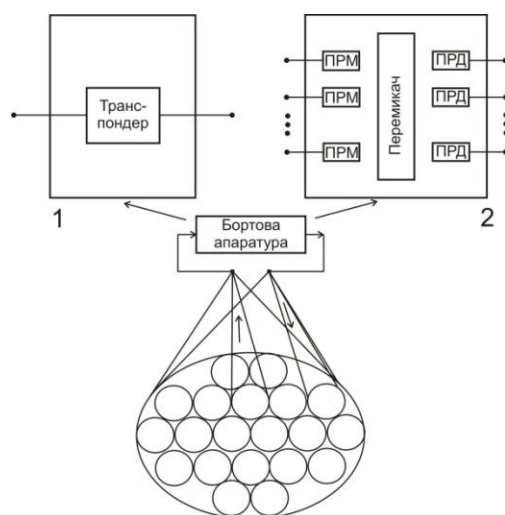


Рисунок 2.2 – Сучасна конфігурація мережі супутникового зв'язку:  
ПРМ– приймач; ПРД– передавач

Якщо загальне число ідентичних ЗС в обслугованій частині дорівнює  $S$ , число ЗС на один промінь дорівнює  $S_1$  і число променів дорівнює  $n$ , то тоді  $S = n \cdot S_1$ , тобто за рахунок високоефективної бортової антени забезпечується вигрощ порядку  $n$  у порівнянні з конфігурацією системи МСЗ, показаної на рисунку 2.1.

Для МСЗ зі скануючим променем вигрощ коефіцієнта підсилення (КП) бортової антени на лінії ШСЗ-ЗС визначає сумарний вигрощ випромінюваної потужності з борта ШСЗ:

$$P_{\sum \text{ середн. з часовим доступом}} = P_{\text{фіксов. променів}} / n$$

тобто потрібен менший рівень вихідної потужності транспондера. Однак на лінії ЗС-ШСЗ досяжний вигрощ КП бортової антени тільки компенсує втрати потужності, пов'язані з роботою передавача ЗС у переривчастому режимі. З урахуванням цих втрат сумарний вигрощ потужності дорівнює

$$n \frac{1}{S} = \frac{1}{S_1},$$

тобто при  $S_1 > 1$  є певні труднощі із втратою потужності в порівнянні з характеристиками МСЗ, у якій ЗС працюють у режимі безперервного випромінювання.

Таким чином, для МСЗ із фіксованою множиною променів сумарний вигрощ потужності на лінії ШСЗ-ЗС дорівнює  $n$  у випадку багатостанційного доступу з часовим поділом сигналів. На лінії ЗС - ШСЗ сумарний вигрощ також дорівнює  $n$  у випадку безперервного випромінювання зі ЗС і зменшується до  $n/S_1$  у випадку багатостанційного доступу з часовим поділом сигналів.

Крім ефективного використання потужності, ССЗ із фіксованою безліччю променів забезпечує високоефективне використання частотних смуг і позицій на геостаціонарній орбіті.

Розглянемо МСЗ зі скануючим променем, у яких застосовується багатостанційний доступ із частотним поділом сигналів з метою забезпечення безперервності передач зі ЗС. У цьому випадку для забезпечення виграшу на лінії ЗС - ШСЗ повинна застосовуватися спеціальна бортова антена. На рисунку 2.3 показана конфігурація СІМ із багатостанційним доступом на основі частотного поділу сигналів, що містить безліч променів на лінії ЗС-ШСЗ і одиночний промінь на лінії ШСЗ-ЗС.

На ШСЗ застосовується прийомна антена з багатопроменевою діаграмою спрямованості, і в кожному промені використовується різна частота. Після розділового фільтра здійснюється підсумовування сигналів всіх променів. При такому принципі побудови СІМ істотно поліпшується використання потужності на лінії ЗС-ШСЗ без аналогічного виграшу спектра, характерного для СІМ зі скануючим променем.

Якщо необхідно забезпечити краще використання потужності на лінії ШСЗ-ЗС, то буде потрібно ускладнення бортового ретранслятора. На рисунку 2.4 показана конфігурація СІМ із багатостанційним доступом на основі частотного поділу сигналів променів на лінії ЗС-ШСЗ і з часовим поділом сигналів і скануючим променем на лінії ШСЗ-ЗС.

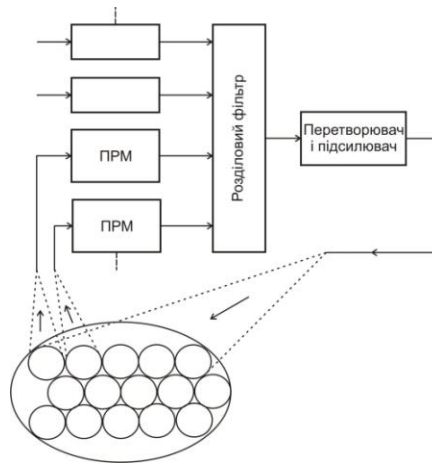


Рисунок 2.3

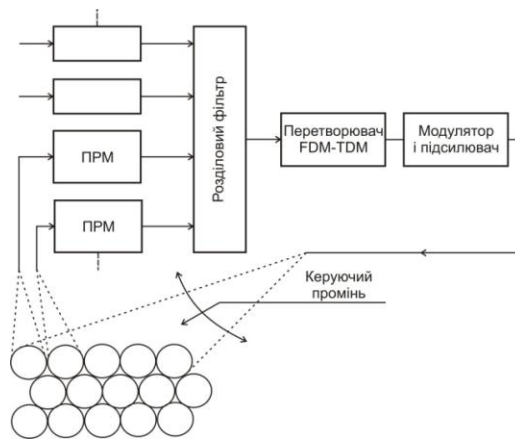


Рисунок 2.4

У ретрансляторі використовується перетворювач сигналів із частотним поділом в сигнали з часовим поділом, який складається з демодулятора-регенератора для кожних несучої й пристроїв пам'яті.

Перспективні СИМ відрізняються від існуючих також використанням більше високих частот (> 10 ГГц). При цьому варто зважати на ослаблення сигналів в опадах, що вимагає створення певних запасів потужності з метою скорочення часу простою систем супутникового зв'язку (ССЗ).

## 2.2. Мережі супутникового зв'язку з незакріпленими каналами

Вирішальне значення для підвищення економічної ефективності супутникової мережі зв'язку здобуває питання збільшення використання її каналів.

Супутниковий зв'язок завдяки його особливості – охопленню великої території – дозволяє значно збільшити завантаження каналів у порівнянні з наземними лініями зв'язку, якщо при організації роботи мережі використати незакріплені лінії й канали зв'язку. Незакріпленими будемо називати канали, які в мережі можуть займатися декількома станціями по черзі: за розкладом або в міру появи вимог на організацію зв'язку.

У документах МСЕ рекомендуються наступні терміни, які визначають канали супутникового зв'язку із багатостанційним доступом за способом їхнього використання в мережі:

1. **"Попередньо закріплені канали"**, тобто канали мережі супутникового зв'язку, що охоплюють деяку територію та включає ряд (більше двох) станцій. Незважаючи на слово "закріплені" у визначенні, канали закріплюються не постійно, як наземні лінії, а на деякий строк. Ці канали розділяються на два види:

- фіксовані, заздалегідь закріплені канали. Канали цього виду використовуються в тих випадках, коли зміна запитів протягом робочого періоду не має значення й бажані напівпостійні присвоєння.
- канали, закріплені на певний строк. Ці канали використовуються, коли передбачається значна зміна у вхідному потоці вимог на зв'язок і

потрібне закріплення каналів, що змінюються в часі; власне кажучи, це канали, що працюють за розкладом.

2. **"Канали зв'язку, що привласнюються на вимогу"**. Це категорія каналів, яку можна використовувати в тих випадках, коли навантаження в мережі змінюються випадково.

Залежно від способу організації роботи в мережі ці канали можуть бути трьох видів:

- "повністю непостійні канали", тобто канали, які можуть на вимогу організуватися між будь-якою парою кореспондентів мережі зв'язку;

- "канали зі змінною станцією призначення". Це канали, що вихідний (передавальний) кінець яких на певний строк закріплюється за якою-небудь станцією, а вхідний (приймний) кінець може бути адресований будь-якому абонентові мережі;

- "канали зі змінною вихідною станцією", тобто канали, у яких на якийсь час закріплюється вхідний (приймний) кінець, а вихідний може займатися на вимогу будь-якою станцією мережі.

Канали двох останніх видів поєднуються ще терміном "канали із багатостанційним доступом зі змінною адресою".

### 2.3. Способи використання бортового ретранслятора при організації супутникових мереж зв'язку

Супутник зв'язку – важливий елемент мережі, у значній мірі визначаючий її побудову. При організації мережі можливі різні варіанти використання супутникового ретранслятора (незалежно від того, буде він активний або пасивним); вибір того або іншого СР обумовлений вимогами, яким повинна задовольняти проектувана мережа зв'язку.

1. Найпростіший варіант – це безпосередній зв'язок через ШСЗ за допомогою окремих незалежних ліній зв'язку, що проходять через супутник (рисунок 2.5). Кожна така лінія повинна бути дуплексною, тобто містити два сигнали, випромінюваних кореспондуючими станціями. Число симплексних каналів  $r_{ij}$  у лінії від станції  $i$  до станції  $j$  може бути різним і визначається потребами цих станцій.

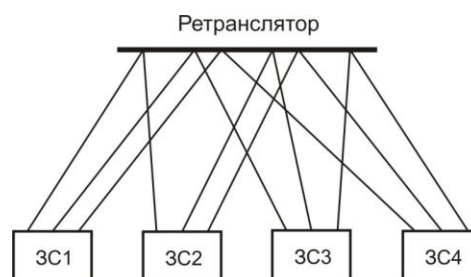


Рисунок 2.5 – Безпосередній зв'язок через ШСЗ за допомогою окремих ліній зв'язку

Однак мережа супутникового зв'язку з безпосереднім зв'язком станцій по окремих лініях не є оптимальною. Основний її недолік обумовлений необхідністю мати велике число порівняно малопотужних самостійних ліній зв'язку.

Програш за рахунок такої побудови мережі виходить подвійний:

- по-перше, за рахунок гіршого використання каналів у лініях (малі пучки каналів завжди мають більш низький коефіцієнт використання);
- по-друге, за рахунок гіршого використання (по тій же причині) потужності і смуги ретранслятора.

2. Одним з варіантів більш ефективної мережі є мережа з безпосереднім зв'язком станцій з використанням об'єднаних потужних пучків (груп) каналів, а не окремих ліній (рисунок 2.6).

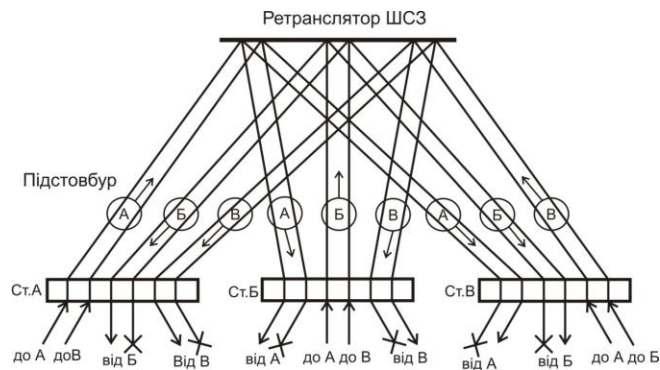


Рисунок 2.6 – Використання ретранслятора ШСЗ при безпосередньому зв'язку за допомогою об'єднаних пучків

Принцип роботи такої мережі полягає в наступному: одна зі станцій мережі, наприклад А, випромінює всю свою інформацію в загальному потужному пучку каналів (назвемо його багатоканальним підстволом) на супутник (рисунок 2.6). У цьому підстволі одночасно передаються повідомлення всім кореспондентам даної станції, тобто в максимальному варіанті в цьому підстволі перебувають сигнали, що адресуються до  $(S-1)$  іншим станціям мережі. Сигнали ретранслюються супутником і випромінюються на Землю, де приймаються цими  $(S-1)$  станціями мережі. Кожна станція (наприклад Б), приймаючи багатоканальний підствол, спочатку розділяє його на індивідуальні канали, а потім за допомогою спеціальної системи керування та комутації виділяє з нього тільки ті канали, які адресовані саме їй. У свою чергу, відповідаючи станції А, тобто організуючі відповідний канал, ця станція вкладає його в загальний пучок разом з каналами, адресованими й іншим кореспондентам.

При подібному методі роботи в мережі й на супутнику необхідно мати  $S$  потужних багатоканальних симплексних підстволів зв'язку, що є перевагою цього методу. Однак при цьому кожна земна станція повинна мати

можливість здійснювати прийом (аж до поділу на індивідуальні канали) ( $S - 1$ ) підстволів, передаючи лише один.

Таким чином, основний недолік цього методу полягає в поганому використанні прийомної апаратури земних станцій.

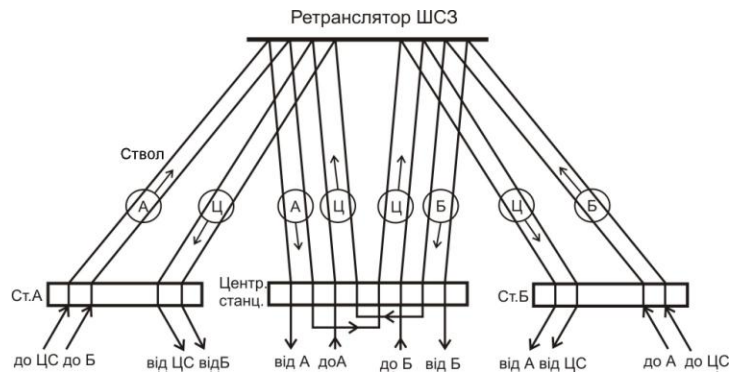


Рисунок 2.7 – Використання ретранслятора ШСЗ при організації мережі зі зв'язком через центр

3. Розглянемо ще один можливий метод роботи мережі супутникового зв'язку, що називається зв'язком через центр. У цьому випадку також передбачається, що кожна станція мережі, крім однієї центральної, випромінює всю інформацію, призначену її абонентам, в одному загальному багатоканальному підстволі (рисунок 2.7).

Однак сигнали цих підстволів приймаються тільки на одній центральній станції (ЦС). Таким чином, ЦС приймає інформацію з ( $S - 1$ ) підстволу від всіх периферійних ЗС. Далі на центральній станції здійснюється повний поділ всіх прийнятих підстволів до індивідуальних каналів і потім перекомутація їх. У процесі комутації утворюються групи каналів, адресовані різним ЗС, які потім випромінюються зі ЦС у вигляді багатоканальних підстволів на відповідні периферійні станції. При такій організації мережі на всіх периферійних ЗС необхідний обсяг приймальної і передавальної апаратури у точності відповідає потоку інформації цих станцій:

$$Q_{\text{прид}} = Q_{\text{прм}} = Q_i$$

Всі втрати й ускладнення, які виникають при описаному методі організації, переносяться на ЦС і супутниковий ретранслятор. У мережі, яка використовує зв'язок через центр, є два основних недоліки:

- погане використання супутникового ретранслятора;
- наявність у каналах між периферійними станціями двох стрибків ( $ZС_A \rightarrow ШСЗ \rightarrow ЦС \rightarrow ШСЗ \rightarrow ЗС_B$ ).

Низька ефективність використання ретранслятора є великим недоліком розглянутого способу організації мережі, оскільки ШСЗ із ретранслятором є найбільш складним і дорогим елементом системи, від ефективності

використання якого в найсильнішому ступені залежить економічна ефективність всієї мережі зв'язку в цілому.

Наявність двох стрибків у каналі стає помітним у тих випадках, коли ШСЗ мережі зв'язку перебувають на високих орбітах, наприклад геостаціонарної (висота над Землею близько 36 000 км). У цьому випадку при двох перегонах сигнал на шляху від однієї станції до іншої повинен перебороти відстань порядку 170 000 км, на що потрібно майже 0,6 секунд. При настільки великій затримці в поширенні сигналу дуплексний телефонний зв'язок стає неможливим. Оскільки телефонія становить основну частину обміну в мережі зв'язку, доцільно будувати мережі, які працюють через центр лише в тих випадках, коли в системі використовуються низьколітаючі супутники на висотах не більше 10-15 тис. км. У цьому випадку затримка в поширенні сигналу не буде занадто велика.

4. Обидва розглянуті вище способи використання супутника в мережах із багатоканальними лініями зв'язку мають наступні недоліки:

- при безпосередньому зв'язку погано використовується прийомна апаратура на земних станціях;
- при зв'язку через центр низька ефективність використання ретранслятора на ШСЗ.

Комбінуючи ці способи побудови мережі супутникового зв'язку, можна запропонувати спосіб організації, значною мірою позбавлений зазначених недоліків. Комбінований варіант організації є, власне кажучи, варіантом з безпосереднім зв'язком станцій, у якому, однак, здійснюється розподіл зв'язків периферійних ЗС між собою й зв'язків цих станцій із центральною станцією.

Зв'язок ЗС між собою здійснюється за варіантом безпосереднього зв'язку. Кожна периферійна станція в одному підстволі (пучку каналів) випромінює інформацію всім іншим ЗС і приймає всі підстволі, випромінювані цими ЗС, вибираючи з них адресовані даній станції канали. Зв'язок же ЗС з ЦС здійснюється так, як це робиться в системі зі зв'язком через центр. Для цього на ЦС за кожною периферійною станцією закріплюється певне число підстволів, тобто зв'язок між периферійною ЗС і ЦС здійснюється таким чином, що кожна ЗС знає, у якому з підстволів ЦС перебувають її канали, і приймає саме цей підствол. Отже, периферійна ЗС приймає не всі стовбури ЦС, як при чистому варіанті безпосереднього зв'язку, а лише один (або декілька, якщо в одному стандартному підстволі не може бути передана на дану ЗС вся адресована їй інформація).

Економія в прийомному встаткуванні периферійної ЗС виходить за рахунок того, що вона не приймає зі ЦС підстволі, адресовані іншим ЗС. Передача з периферійної ЗС на ЦС здійснюється в загальному підстволі, випромінюваному з ЗС.

5. Можливий, однак, ще один, принципово відмінний варіант використання супутника при організації мереж зв'язку. Мова йде про організації мережі із багатоканальними лініями зв'язку, що використовує супутник з комутацією на борті. У такій мережі кожна станція випромінює на



супутник всю інформацію в одному багатоканальному підстволі. На супутнику інформація із всіх станцій приймається, розділяється на індивідуальні канали, які перекомутуються відповідно до закладених адрес, і формуються нові багатоканальні підстволі, що направляються із супутника кожний на відповідну станцію. У такій мережі й супутник, і земне встаткування використалося б повністю й із цієї сторони подібна система зв'язку була би оптимальною. Однак ретранслятор супутника перетворюється в настільки складне, громіздке й дороге спорудження, що навряд чи можна говорити про створення подібних супутників у найближчий період часу.

Отже, в даній лекції розглянуті основні варіанти організації супутникових мереж, з погляду способу використання в них ретранслятора. Можна, звичайно, запропонувати й інші варіанти, однак всі вони, подібно розглянутому комбінованому можуть бути приведені до одного з розглянутих або їхньої комбінації.

Порівнюючи розглянуті варіанти, потрібно мати на увазі, що кожний з них володіє рядом переваг і недоліків, що визначають їхнє застосування в проєктованих інформаційних мережах супутникового зв'язку.