

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА КОСМІЧНИХ СИСТЕМ ТА КОМПЛЕКСІВ І СУПУТНИКОВИХ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ



**СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ І НАВІГАЦІЇ**  
**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК**

**КИЇВ - 2019**

УДК 621.739

**Срібна І.М., Є.І. Махонін, Власенко Г.М., Кирпач Л.А.** Супутникові системи зв'язку і навігації. Навчальний посібник. – К.: ДУТ, 2019. –123 с.

*Схвалено до друку вченою радою  
Державного університету телекомунікацій  
(протокол № 13 від 11 лютого 2019 року)*

Рецензенти:

Фролов Валерій Федорович, завідувач кафедри «Екології» Національного авіаційного університету, доктор технічних наук.

Коршун Наталія Володимирівна, доцент кафедри Телекомунікаційних систем та мереж Державного університету телекомунікацій.

Навчальний посібник розроблено згідно навчальної програми з дисципліни «Супутникові системи зв'язку та навігації», що викладається для студентів освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» спеціальності «172 Телекомунікації та радіотехніка» і являє собою стисле викладення теоретичного матеріалу, необхідного для підготовки до практичних занять та підсумкового контролю студентів Державного університету телекомунікацій зазначеної спеціальності.

Посібник розроблений для студентів денної та заочної форм навчання.

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ .....	5
1.1 Принципи цифрового супутникового зв'язку.....	5
1.2 Класифікація систем супутникового зв'язку.....	17
1.3 Основні складові систем супутникового зв'язку.....	21
1.4 Структура системи супутникового зв'язку.....	24
1.5 Частоти супутникового зв'язку.....	25
1.6 Основні показники космічних та земних станцій.....	28
1.7 Основні експлуатаційно-технічні показники систем супутникового зв'язку.....	32
1.8 Станції VSAT.....	36
1.9 Системи фіксованого супутникового зв'язку.....	40
1.10 Технології дуплексного супутникового доступу в Інтернет.....	43
1.11 Корпоративні мережі передачі даних з використанням супутникового зв'язку.....	44
1.12 Вступ в техніку множинного доступу.....	46
1.13 Особливості супутникового телебачення та Інтернету.....	55
1.14 Супутникове обладнання.....	58
РОЗДІЛ 2 ГЛОБАЛЬНІ НАВІГАЦІЙНІ СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ (ГНСС).....	65
2.1 Поняття та визначення.....	66
2.2 Класифікація технічних засобів навігації.....	70
2.3 Методи навігаційних визначень.....	71
2.4 Елементи механіки польоту штучних супутників землі та його просторово-часове забезпечення.....	73
2.5 Супутникові навігаційні системи.....	76
2.6 Структура системи GPS та принципи функціонування.....	83
2.7 Глобальна навігаційна супутникова система ГЛОНАСС.....	87
2.8 Міжнародна космічна система виявлення потерпілих КОСПАС-САРСАТ.....	89
2.9 Особливості організації пошуку і рятування потерпілих з використанням системи КОСПАС-САРСАТ.....	94
РОЗДІЛ 3 ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ РУХОМОГО СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ .....	96
3.1 СРСЗ Euteltracs.....	96
3.2 СРСЗ Emsat.....	103
3.3 СРСЗ Iridium.....	106
3.4 СРСЗ Globalstar.....	108
3.5 СРСЗ Inmarsat.....	110
3.6 СРСЗ Orbcomm.....	114
3.7 СРСЗ Turaya.....	118
3.8 СРСЗ Гонєць.....	121
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА .....	123

## **ВСТУП**

Метою вивчення дисципліни «Супутникові системи зв'язку та навігації» є отримання теоретичних знань з супутникових систем зв'язку, навігації та рятування; формування умінь застосовувати теоретичні знання при вирішенні поставлених завдань, розвиток у студентів логічного мислення, умінь аргументовано висловлювати думки при аналізі теоретичних проблем та практичних прикладів в процесі роботи.

Завдання дисципліни - навчити студентів застосовувати теоретичні методи та практичні навички в використанні космічних засобів, супроводженні нової техніки та інноваційних технологій та вирішенні прикладних завдань для різних галузей економіки.

## РОЗДІЛ 1 СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Супутниковий зв'язок має широке розповсюдження в світі і використовуються для створення міжнародних і національних мереж і передачі даних на основі малих земних станцій, які встановлюються безпосередньо у споживача, багатопрограмного телевізійного мовлення та індивідуальний прийом.

Взагалі, системи супутникового зв'язку дорожчі наземних. Слід зауважити, що проблема супутникового зв'язку та мовлення має кілька важливих аспектів. Перший - **технічний аспект**, який передбачає створення та вивід на орбіту декількаствольних супутників-ретрансляторів з вузько направленими антенами, створення наземних передавальних пунктів, виробництво простих приймальних пристроїв масового використання. Рішення такого технічного завдання потребує використання найсучасніших технологій і засобів космічної техніки.

**Економічний аспект** відіграє важливу роль. Оскільки засоби зв'язку та мовлення є масовими і, в залежності від розміру обслуговування можуть містити мільйони приймальних пристроїв. Таким чином, важливе значення приділяється економічній оптимізації, яка дозволяє зробити наземні засоби зв'язку та розповсюдження телевізійних програм найбільш ефективними і недорогими і тим самим знизити витрати на створення усєї системи.

Третій – це **міжнародний**. Під час створення практично будь-якої національної системи супутникового зв'язку (мовлення) не можна локалізувати її діяльність лише в межах зони обслуговування. Найбільш важлива та необхідна міжнародна координація супутникових систем, яка передбачає чітко сплановане використання геостаціонарної орбіти та регламентація кількості параметрів штучних супутників землі та земних станцій, які впливають на електромагнітну сумісність з іншими службами і системами.

### 1.1 Принципи цифрового супутникового зв'язку

За останні роки важливість цифрової передачі інформації, особливо в системах супутникового зв'язку, швидко зростає. Проектування та розробка цифрових систем кодування та систем передачі сигналів, а також запуск на орбіти все нових супутників зв'язку супроводжувалися багаточисельними публікаціями в науково-технічній літературі. За більше ніж 60 років освоєння космічного простору, на різні орбіти було запущено більш 6000 космічних апаратів різного призначення. На сьогоднішній день в космічному просторі знаходиться більше тисячі працюючих космічних апаратів. Це навігаційні супутники, метеосупутники, розвідувальні супутники, супутники, які забезпечують телебачення та інтернет. Решта супутників, закінчивши свій життєвий цикл, перетворилися у космічне сміття. Його, на сьогоднішній день, налічується більш 10.000 тонн.

Космічна система - це сукупність наземних і орбітальних технічних засобів, що функціонують за єдиним задумом і планом в інтересах вирішення

завдань в космосі і з космосу. Структурна схема космічної системи представлена на рисунку 1.1.

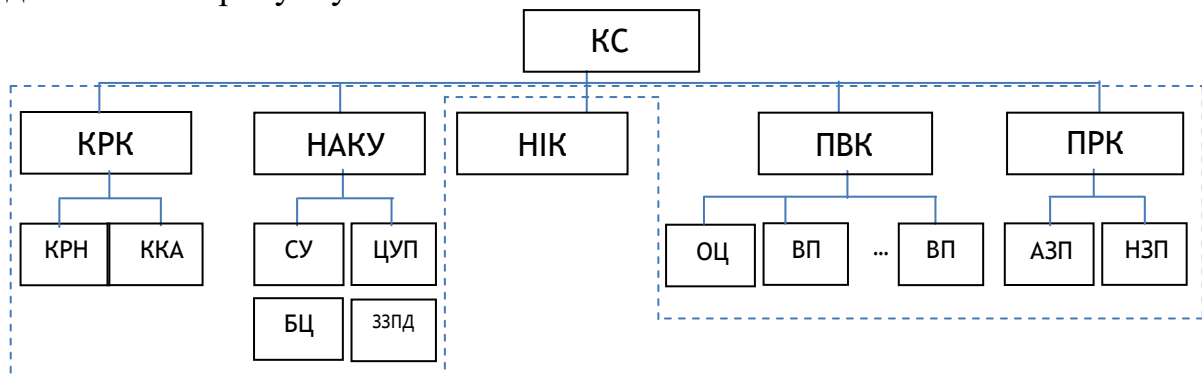


Рисунок 1.1 - Структурна схема космічної системи

КРК - космічний ракетний комплекс

НАКУ - наземний автоматизований комплекс управління

НІК - наземний інформаційний комплекс

ПВК - полігонний вимірювальний комплекс

ПРК - пошуково рятувальний комплекс

КРН - комплекс ракети носія

ККА - комплекс космічного апарата

ТК - технічний комплекс

СК - стартовий комплекс

ЗС - заправочна станція

СУ - станція управління

ЦУП - центр управління польотом

БЦ - балістичний центр

ЗЗПД - засоби зв'язку і передачі даних

ОЦ - обчислювальний центр

ВП - вимірювальний пункт

АЗП - авіаційні засоби порятунку

НЗП - наземні засоби порятунку

КК - космічний комплекс

КС – космічна система

КС без наземного інформаційного комплексу стає космічним комплексом. Розглянемо, тепер, основні принципи побудови і функціонування КС. КРК призначений, перш за все, для формування орбітального угруповання КА певного цільового призначення, які визначають тип КС. До його складу входять ТК, СК, ЗС (елементи космодрому), а також РН і, власне, КА. Троекторними і телеметричними вимірами на активній ділянці траєкторії виведення КА на задану орбіту забезпечує ПВК у складі ОЦ і трасових ВПів. Підготовка РН і КА до запуску, здійснюється на технічному (горизонтальному), і на стартовому (вертикальному) комплексах. ЗС забезпечує заправку двигунів управління (ДУ) КА компонентами палива. Підготовка РН на ТК включає в себе наступні випробування:

- вивантаження та збирання РН;
- перевірка ДУ, автономні і комплексні випробування СУ РН;
- збирання КРН (пристикування КА, стикування герметичної оболонки (ГО), перекладка на транспортно – установчий агрегат (ТУА), підготовка до вивезення на СК).

Підготовка КА на ТК включає:

- вивантаження і збирання КА;
- перевірку ДУ, автономні і комплексні випробування КА;
- заправку ДУ КА на заправній станції компонентами палива;
- стикування з РН, підготовку до вивезення на СК.

Після проведення всіх робіт з РН і КА на ТК, складається польотне завдання, де визначається:

- дата запуску;
- час запуску;
- азимут стрільби (формує нахил орбіти);
- траєкторія запуску (форма, висота орбіти, або її апогей, перигей);
- і деякі інші параметри.

Ракета-носій стикується з КА, надівається ГО, ракета космічного призначення укладається на транспортно-установчий агрегат (ТУА) і вивозиться на СК для підготовки її до пуску. РКН встановлюється в стартову систему, проводяться тестові перевірки РКН (тобто РН і КА), і генеральні випробування із записом на систему вимірювань. Після аналізу матеріалів реєстрації (при відсутності зауважень) дається команда на заправку РКН компонентами палива і запуск. Весь описаний цикл підготовки для різних КС (різних типів РН і КА) може становити 2-4 тижні на ТК і 4-12 годин на СК. Найбільш високі ступені готовності зі стану доставки до пуску мають українські РН типу «Зеніт» і «Циклон». Після старту РКН і виведення КА на задану орбіту, КА передається на управління НАКУ, який вирішує такі основні завдання:

- формує програму роботи бортового спеціального комплексу КА та закладає її на борт КА;
- проводить траєкторні вимірювання, контроль параметрів орбіти КА, формує цільові вказівки наземним радіотехнічним засобам;
- проводить аналіз отриманої телеметричної інформації про функціонування та стан бортових систем КА. Прийняття рішень в разі зауважень і несправностей.

До його складу, як правило, входять СУ, ЦУП, БЦ, засоби зв'язку і передачі даних. ПРК призначений для пошуку і порятунку КА і вантажів, які спускаються з орбіти. Включає авіаційну і наземну складові. ПРК не є обов'язковим елементом КС (КК). Наземний інформаційний комплекс представлений на рисунку 1.2.

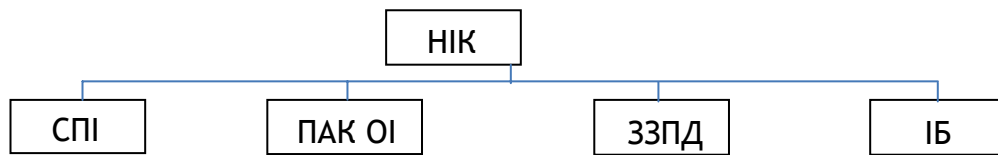


Рисунок 1.2 - Наземний інформаційний комплекс

СПІ - станція прийому інформації

ПАК ОІ - програмно-апаратний комплекс обробки інформації

ЗЗПД - засоби зв'язку і передачі даних

ІБ - інформаційний банк

Функціонально призначений для прийому, попередньої обробки, зберігання, доведення до споживачів цільової інформації КС. Саме з метою отримання цільової інформації створюються КС.

На цей час створено і розгорнуто велика кількість КС і КК. До їх числа слід, перш за все, віднести:

1. Народно-господарські: КС ДЗЗ, КС метеорологічні, КС наукові, КК зв'язку (низькоорбітальні, високоеліптичні, геостаціонарні), КС навігації, КС картографії та ін.

2. Військові: КС розвідки, КС ПРН, і цілий ряд інших.

Орбітальна побудова КА для різних КС, як правило, різна.

Дуже коротко розглянемо типи орбіт КА:

а) Орбіти кругові:

- низькі (до 1500 км);
- високі (до 26000 км);
- геостаціонарні (36000 км).

Особливістю геостаціонарних орбіт є:

- площина орбіти лежить в площині екватора Землі;
- кутова швидкість обертання Землі і КА на геостаціонарній орбіті (визначається висотою орбіти КА) однакова (див. рис.1.3).



Рисунок 1.3 - Кутова швидкість обертання Землі і КА на геостаціонарній орбіті

- сонячно-синхронні.

Особливістю сонячно-синхронних орбіт є:



- висота орбіти 600-800 км;
- нахил площини орбіти (кут між площиною орбіти і площиною екватора) становить  $-98^{\circ}$  (рис. 1.4).

Ці особливості викликають прецесію площини орбіти навколо Землі при обертанні Землі навколо Сонця при незмінному нахилу. Цим досягається висока ефективність КС ДЗЗ (розвідки), оскільки КА половину витка працює по максимально освітленій земній поверхні.

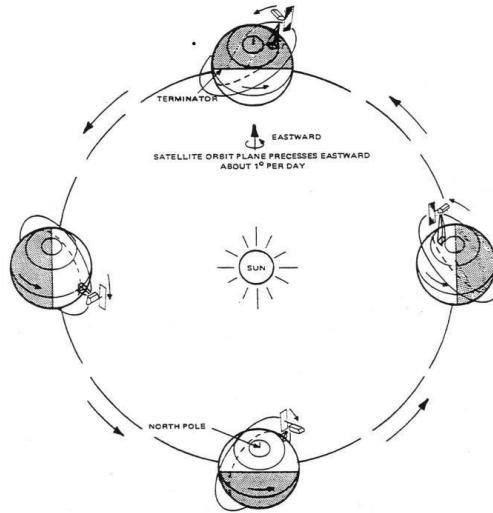


Рисунок 1.4 - Сонячно-синхронні орбіти

б) Орбіти еліптичні. Рисунок 1.5.

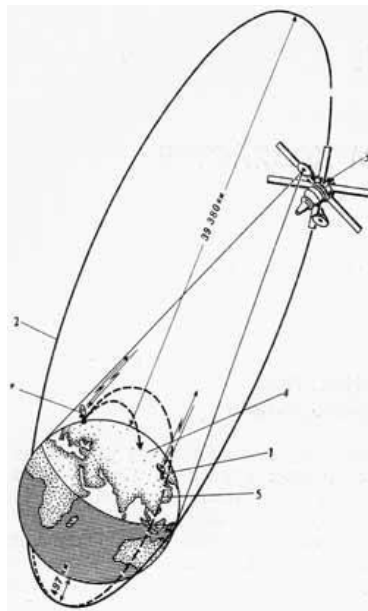


Рисунок 1.5 - Орбіти еліптичні

Особливостями еліптичних орбіт є:

- період обертання може становити 12-18 годин;
- апогей досягає - 39000 км;

- перигей досягає декількох сот км;
- нерівномірний рух КА по орбіті (максимальна швидкість в перигеї).

Таким чином, виходячи з особливостей КС, можна стверджувати, що кругові орбіти мають КС:

- \* Низькі - КС ДЗЗ, розвідки, зв'язку, наукові, картографічні та ін.
- \* Високі - КС метео, навігації, розвідки (РР) та ін.
- \* Геоостаціонарні - КС зв'язку, КС ПРН, метео та ін.

Високоеліптичні орбіти мають КА КС: КС зв'язку, ПРН, розвідки та ін.

Сьогодні на орбітах навколо Землі знаходяться кілька тисяч КА, з них в працездатному стані - кілька сотень. У зв'язку з цим виникла і існує так звана проблема космічного сміття.

*Можливості України в реалізації Космічної Програми та побудови космічних систем*

З моменту набуття Україною незалежності, склалися дуже непрості умови для функціонування промислового комплексу. Порушення міцних економічних зв'язків, перехід на національну валюту, втрата традиційних джерел сировини і комплектуючих і т.д. привели до різкого падіння об'ємів виробництва, закриття багатьох підприємств, згорання перспективних досліджень і програм.

У цих умовах, зусиллями таких людей як Лауреат Державної премії, академік НАНУ Горбулін В. П., Лауреат Державної премії, доктор технічних наук Негода О.О., Герой України, академік міжнародної академії астронавтики, Лауреат Державної премії України Алексєєв Ю.С. створені умови для формування ракетно-космічної галузі України. Були підготовлені і підписані цілий ряд міжнародних і міжурядових угод, розроблені і прийняті велика кількість Законів України, узгоджені та внесені до Кабінету Міністрів і прийняті Постанови Уряду. Ці документи, які створили основу Космічного Права України, заклали фундамент для збереження і наступного розвитку ракетно-космічної галузі України. Не можна не сказати і про те, що були виконані 4-ри п'ятирічні космічні Програми, затверджені Урядом України «Концепція реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року». Основу ракетно-космічної галузі України склали такі базові підприємства як:

1. Державне конструкторське бюро «Південне»;
2. Південний машинобудівний завод, м.Дніпро;
3. ДП ВО «Київприлад»;
4. Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал»;
5. Приватне акціонерне товариство «Науково-виробничий комплекс "Курс", м. Київ;
6. ВО «Павлоградський хімічний завод» м. Павлоград;
7. ДНВП «Об'єднання Комунар», м. Харків.

І ряд проектних науково-дослідних і технологічних інститутів. Сьогодні на підприємствах галузі виробляються ракети-носії «Зеніт» і її модифікації, «Циклон», космічні апарати ДЗЗ «Січ-2», станції управління НАКУ «СКТРЛ», станції прийому інформації «УНСП», ступінь для РН «Антарес», ДУ 4 СТ РН

«Вега» та ін. Ведеться ініціативна розробка БРК з ОТР в інтересах іноземного замовника. До складу Державного космічного агентства входить, також, Національний центр управління та випробувань космічних засобів (НЦУВКЗ). Структурна схема НЦУВКЗ представлена на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 - Структурна схема НЦУВКЗ

ЦПОСІ та КНП - центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля. Вирішує завдання НАКУ і НІК.

ЗЦРС - західний центр радіотехнічного спостереження, вирішує завдання контролю космічного простору на низьких орбітах.

ГЦСК - головний центр спеціального контролю, вирішує завдання з контролю за ядерними випробуваннями, контролю за сейсмічною обстановкою на території України (св. 3-х балів) і земної кулі (св. 6-ти балів).

На базі НЦУВКЗ розгорнуті і функціонують 2 системи:

1. Система космічного навігаційного забезпечення України (СКНЗУ);
2. Система контролю та аналізу космічної обстановки (СКАКО). НЦУВКЗ вирішує завдання випробувань і відпрацювання національних КСР.

Таким чином, детально розглянувши питання, що розкривають зміст суттєвості КС, можна зробити висновок про те, що сучасні космічні технології в великій мірі впливають на динаміку розвитку економіки, зміцнення оборони, розширення наукових знань.

Основні поняття і визначення.

**Космічний радіозв'язок** — радіозв'язок, при якому використовують космічні станції, розташовані на ШСЗ або інших космічних об'єктах.

**Космічна станція (КС)** — станція, розташована на об'єкті, яка знаходиться за межами основної частини атмосфери Землі (або знаходиться там, або призначена для виводу) наприклад на ШСЗ.

**Земна станція (ЗС)** — станція радіозв'язку, розташована на земній поверхні (або в основній частині земної атмосфери) і призначена для зв'язку з космічними станціями.

**Супутниковий зв'язок** — зв'язок між земними станціями через космічні станції або пасивні ШСЗ.



Рисунок 1.7 – Супутникова лінія

**Супутникова лінія** – це лінія зв'язку між земними станціями за допомогою одного ШСЗ на кожному напрямі, включає участок Земля — супутник (рис. 1.7) («лінія вгору») і участок супутник - Земля («лінія вниз»).

**Системою супутникового зв'язку** називається система, в якій проміжний ретранслятор системи зв'язку розміщується на штучному супутнику Землі (ШСЗ). Супутник рухається по доволі високій орбіті тривалий час без витрат енергії на цей рух. Енергопостачання бортового ретранслятора і інших систем супутника здійснюється від сонячних батарей, що працюють майже весь час під променями нічим не затемненого Сонця.

На досить високій орбіті ШСЗ «бачить» дуже велику територію — біля однієї третини поверхні Землі, тому через його бортовий ретранслятор можуть безпосередньо зв'язатися будь-які станції, які знаходяться на цій території. Три ШСЗ вистачає для створення майже глобальної системи зв'язку. В той же час сучасні технічні засоби дозволяють сформувати досить вузький промінь, щоб при необхідності сконцентрувати енергію передавача ШСЗ на обмеженій площі, наприклад на території невеликої держави.

Початком історії систем супутникового зв'язку можна вважати 1945 рік, коли американський письменник-фантаст Артур Кларк, описав в одному з журналів супутникову технологію, ідентичну сучасній.

4 жовтня 1957 року в СРСР був запущений перший штучний супутник Землі. Його вага сягала 83,6 кг, він мав форму кулі діаметром 580 мм, 4 штиркові антени довжиною 2,4 та 2,9 м. Радіопередавачі працювали на частотах 20.005 МГц та 40.002 МГц (довжина хвиль 15 та 7,5 м). Сигнали радіопередавача мали вигляд телеграфних посилок тривалістю 0,3 сек. Бортові системи живлення забезпечили йому роботу впродовж 3 тижнів. Параметри орбіти: висота перигея 228 км, висота апогею - 947 км, нахил орбіти 65,1°. Супутник проіснував як космічне тіло 92 доби, та 4 січня 1958 року увійшов у щільні шари атмосфери та згорів. Цей супутник дав змогу виміряти щільність верхніх шарів атмосфери, отримати данні по розповсюдженню радіосигналів в іоносфері, перевірити основні технічні рішення виведення окремих вантажів на орбіту.

В січні 1958 року США запустили свій перший штучний супутник "Explorer", а в грудні цього ж року перший супутник зв'язку "Score"(Скор).

Зв'язок через активні супутникові ретранслятори здійснювався пізніше, з 1962 року через супутник "Telstar"(Телстар), та з 1963 - через перший стаціонарний супутник "Синком". В СРСР практичне використання штучного супутника зв'язку, як ретранслятора, почалось з запуску 23 квітня 1965 року супутника зв'язку "Молнія-1". У США перший супутник системи зв'язку "Интелсат-1" був виведений на орбіту 6 квітня 1965 року.

Супутниковий зв'язок на сьогоднішній день являється основним видом міжнародної та національної системи зв'язку на великі та середні відстані. Служба супутникового зв'язку забезпечує зв'язком різні організації та уряди країн світу. Застосування штучних супутників зв'язку продовжує розширюватися. Багато країн вже мають та продовжують розвивати національні мережі супутникового зв'язку, які розташовані на геостаціонарних орбітах. Це суттєво спрощує загальну міжнародну систему зв'язку, при якій кожна наземна станція працює безперервно з одним супутником зв'язку.

На сьогоднішній день найбільше поширення одержав супутниковий зв'язок у США, де діють близько 30 державних і приватних систем, у тому числі військові: DSCS III і MILSTAR (BBC), FLEET-SATCOM і LEASAT (ВМС). З 1982 р. діє система військового зв'язку країн НАТО (НАТОСАТ III). Досить багато систем супутникового зв'язку має також Росія, серед них: "Тундра", "Молнія", "Сигнал", "Гонець", "Ямал" та багато інш.

Свої національні системи супутникового зв'язку мають Австралія - AUSSAT; Бразилія - SBTA; Канада - ANI 3; Індія - INSAT; Індонезія - PALAPAB; Колумбія - SATCOL; Мексика - ILHUICAHUA; Італія - ITALSAT I; Великобританія - UNISAT, L-SAT і військова SKYNETS; Франція - TELECOM I і TDF-1; Німеччина - DFS і TV-SAT; Швеція - TELE-X; Японія - CS-3 і BS-3; КНР - STW-2 і ін.

Україна також мала супутники, але це були супутники дистанційного зондування Землі: "Січ-1", "Океан-О", "Мікрон", "Єгипет-Сат-1", "Січ-2".

Планувався запуск національного супутника зв'язку "Либідь". Центр управління космічними засобами Державного космічного агентства України знаходиться в м.Євпаторія, запуск супутника постійно відкладається. Більш того, сам супутник свого часу був переданий російській стороні для його тестуванні в м. Железнодорожск, Челябінської області де він на даний час знаходиться. Супутник планується запустити на геостаціонарну орбіту (орбітальна позиція 48° східної довготи) з використанням трьох променів: європейського, західно-африканського, індійського.

Системи супутникового зв'язку мають цілий ряд переваг:

- Повна незалежність від операторів наземних мереж.
- Стійкі витрати. Вартість передачі через супутник по одному з'єднанню не залежить від відстані між передавальною і приймальною ЗС. Більше того, усі супутникові сигнали - ширококомвні. Отже, вартість супутникової передачі, залишається незмінною незалежно від числа приймаючих ЗС.
- Широка смуга пропускання

- Висока надійність, що досягає 99,9%. Мала вірогідність помилки. У зв'язку з тим, що при цифровій супутниковій передачі побітові помилки дуже випадкові, застосовуються ефективні і надійні статистичні схеми їх виявлення і виправлення.

- Широкий спектр послуг (дані, голос, відео).

Виділимо також ряд обмежень у використанні ССЗ :

- Значна затримка. Велика відстань від ЗС до супутника на геосинхронній орбіті призводить до затримки поширення, завдовжки майже в чверть секунди. Ця затримка цілком відчутна при телефонному з'єднанні і робить надзвичайно неефективним використання супутникових каналів при неадаптованій для ССЗ передачі даних.

- Розміри ЗС. Украй слабкий на деяких частотах супутниковий сигнал, що доходить до ЗС (особливо для супутників старих поколінь), змушує збільшувати діаметр антени ЗС, ускладнюючи тим самим процедуру розміщення станції.

- Захист від несанкціонованого доступу до інформації. Широкомовлення дозволяє будь-якій ЗС, налаштованій на відповідну частоту, приймати трансльовану супутником інформацію. Лише шифрування сигналів, частенько досить складне, забезпечує захист інформації від несанкціонованого доступу.

- Інтерференція. Супутникові сигнали, що діють в Ku, - або Ka- смугах частот, украй чутливі до поганої погоди. Супутникові мережі, що діють в С-смузі частот, сприйнятливі до мікрохвильових сигналів. Інтерференція внаслідок поганої погоди погіршує ефективність передачі в Ku - і Ka- смугах на період від декількох хвилин до декількох годин. Інтерференція в С-смузі обмежує розгортання ЗС в районах проживання з високою концентрацією жителів.

Вплив згаданих переваг і обмежень на вибір супутникових систем для приватних мереж досить вагоме. Рішення про використання ССЗ, а не розподілених наземних мереж, кожного разу необхідно економічно обґрунтувати.

Супутникові системи зв'язку широко використовуються як у міжнародних, так і в національних мережах зв'язку. В останні роки найбільш інтенсивний розвиток йде саме в національних мережах.

Все більший розвиток одержують мережі ділового зв'язку для фірм і підприємств. Часто вони організуються за принципом конференц-зв'язку з використанням на периферії малих станцій, у тому числі рухливих (на літаках, морських судах, у потягах і автомобілях).

Все більше значення має застосування каналів супутникового зв'язку, разом з наземними каналами, для організації стільникових мереж.

#### *Переваги цифрової передачі інформації*

Передача інформації в цифровій формі набуває все більшого і більшого значення для супутникових і інших систем радіозв'язку. Така передача володіє рядом переваг в порівнянні з іншими методами передачі. До них відносяться:

- 1) простота і ефективність об'єднання багатьох незалежних сигналів і перетворення цифрових повідомлень в «пакети» для зручності комутації;
- 2) відносна нечутливість цифрових каналів до ефекту накопичення спотворень при ретрансляціях, що зазвичай представляє серйозну проблему в аналогових системах зв'язку;
- 3) потенційна можливість отримання дуже малої вірогідності помилок передачі і досягнення високої вірності відтворення переданих повідомлень шляхом виявлення і виправлення помилок;
- 4) негласність зв'язку;
- 5) гнучкість реалізації цифрової апаратури, що допускає використання мікро- і мініпроцесорів, цифрову комутацію і застосування мікросхем з більшою мірою інтеграції компонентів (БІС).

Цифрові передачі повідомлень все широко застосовуються в супутникових, радіорелейних, кабельних і хвилеводних системах зв'язку. Проте вихідна і відновлена форми інформації, які передаються по цифровій лінії, можуть бути аналоговими (мовний сигнал, сигнал зображення та ін.). Тому аналого-цифровий перетворювач є важливим елементом цифрової системи зв'язку.

Більшість сучасних супутникових систем зв'язку працюють в діапазоні СВЧ, що володіє досить широкою смугою частот, необхідною для передачі сигналів з широким спектром. Проте діапазон УВЧ має важливе застосування для систем мобільного зв'язку з відносно малою швидкістю передачі, в яких використовуються слабонаправлені антени.

#### *Конфігурація системи.*

Вхідні повідомлення можуть надходити на земну станцію в аналоговому або цифровому вигляді. Найчастіше зустрічаються:

- а) аналогові: мовні сигнали, ущільнені по частоті групи мовних сигналів; сигнали телевізійні і фототелеграфу;
- б) цифрові: сигнали телетайпу або ущільнені в часі групи сигналів телетайпу; вхідні і вихідні сигнали ЕОМ; сигнали телевізійного зображення або фототелеграфу в цифровій формі і мовні сигнали в цифровій формі.

Перетворення аналогових сигналів в цифрову форму (рис. 1.8) може здійснюватися як на виході джерела сигналу, так і на самій земній станції. Якщо аналого-цифрове "перетворення (аналог/цифра) здійснюється на виході джерела повідомлення, то на станцію повідомлення надходять у вигляді незалежних цифрових потоків. Ці паралельні цифрові потоки від різних джерел зазвичай є квазісинхронними або плезіосинхронними (між собою розрізняються швидкістю дотримання елементів або тимчасовими співвідношеннями).

Вони мають бути перетворені в груповий сигнал із стабільною загальною тактовою частотою. При цьому об'єднання сигналів для узгодження потоків, що розрізняються, застосовуються методи стафінга елементів або кодових слів. Формування групового сигналу з високою стабільністю тактової частоти необхідне для ефективного демодуляції сигналів на приймальній стороні.

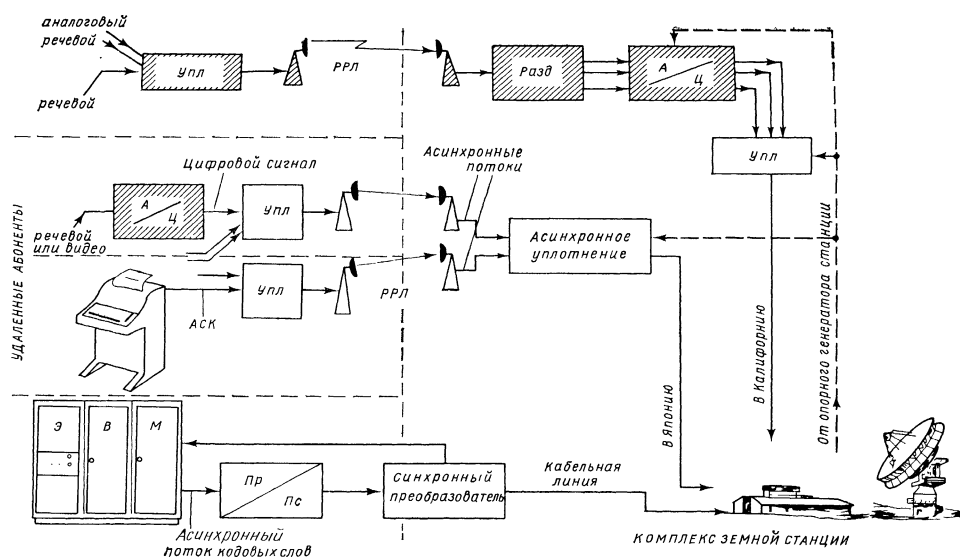


Рисунок 1.8 - Функціональна схема перетворень аналогових і цифрових сигналів, які надходять на земну станцію супутникового зв'язку

Формування групового сигналу з високою стабільністю тактової частоти необхідно для ефективної демодуляції сигналів на приймаючій стороні.

Іноді на наземну станцію надходять групи аналогових сигналів, які ущільнені аналоговими методами. В цьому випадку ці сигнали необхідно розділити між собою, а потім кожний з них перетворити в цифрову форму синхронно з тактовою частотою конкретної земної станції і, отримані в результаті синхронні потоки, згрупувати знову згідно кінцевих земних станцій призначення.

Паралельні синхронні потоки надходять далі на цифровий модем, де проводиться модуляція несучого коливання проміжної частоти (70 або 700 МГц). Далі модульоване коливання транспортується по частоті в підвищуючому перетворювачі та передається на супутник. На деяких земних станціях модулюється безпосередньо коливання радіочастоти.

Модульовані радіосигнали декількох земних станцій надходять на бортовий супутниковий ретранслятор, який ретранслює сукупність цих сигналів на конкретні земні станції за допомогою бортової антени з глобальною або вузькою діаграмою напрямку.

Деякі сигнали повинні ретранслюватися на станцію призначення другим супутником. Друга ретрансляція організується за допомогою проміжної земної станції де виконується демодуляція та розподіл сигналів, прийнятих від першого супутникового ретранслятора. Призначені для ретрансляції через другий супутник сигнали на проміжній наземній станції об'єднуються з іншими сигналами, які надходять на цю станцію зовні. При цьому може виникнути необхідність в асинхронному (або квазісинхронному) об'єднанні цифрових потоків, оскільки зазвичай опорні частоти, які використовуються при перетворенні сигналів на різних супутникових ретрансляторах, не дуже точно



синхронні між собою. Рисунок 1.9 зображує багатократну ретрансляцію сигналів за допомогою супутників зв'язку.

Висоти орбіт системи супутникового зв'язку визначаються виходячи з цілого ряду факторів, таких як: близькість радіаційних поясів Ван Алена, характеристики радіосигналу (затримка розповсюдження), розміри обслугованої території та ін.

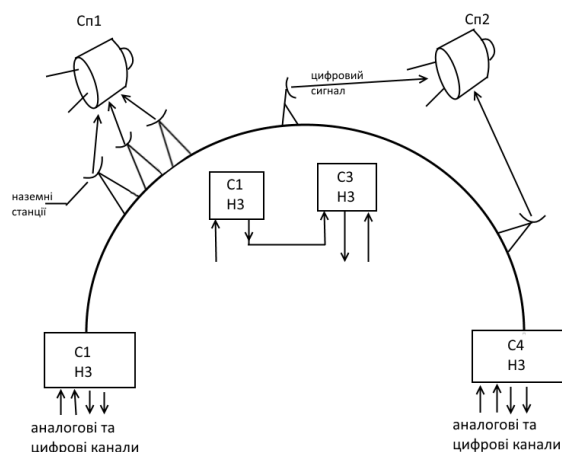


Рисунок 1.9 - Багатократна ретрансляція сигналів за допомогою супутників зв'язку: НЗС-наземні станції, Сп1-Сп2-супутники  
 $\text{НЗС1} \rightarrow \text{Сп1} \rightarrow \text{НЗС2} \rightarrow \text{НЗС3} \rightarrow \text{Сп2} \rightarrow \text{НЗС4}$

## 1.2 Класифікація систем супутникового зв'язку

За характером і висотою орбіти розрізняють 4 типи систем супутникового зв'язку:

1. **Низькоорбітальні системи** (LEO - Low Earth Orbit) - із круговими орбітами висотою 700-2000 км. Супутник, що знаходиться на низькій орбіті, перебуває в зоні прямої бачимості з певної точки земної поверхні лише на протязі 8-12 хв. Тому, для забезпечення неперервного зв'язку, необхідна велика кількість супутників, які взаємодіятимуть за допомогою шлюзових станцій або міжсупутникового зв'язку. Такі системи мають гарні енергетичні характеристики радіоліній. Приклади систем: Глобалстар, Ірідіум, Теледесік, Сигнал, Гонець.

2. **Середньоорбітальні** (MEO - Medium Earth Orbit) - із круговими орбітами 10 000 км. Затримка розповсюдження сигналу складає приблизно 130 мс, і дозволяє використовувати такі системи для радіотелефонного зв'язку. INMARSAT (міжнародна організація морського супутникового зв'язку), Odyssey, ISO, Ellipso

3. **Високоорбітальні чи геостационарні** (GEO - Geostationary Earth Orbit) - із круговими екваторіальними орбітами висотою близько 40 000 км. При цьому період обертання супутника навколо Землі дорівнює 24 год. Тобто, супутник завжди знаходиться над певною точкою Землі. Перевагою таких систем є можливість покриття всієї земної поверхні невеликою кількістю супутників (від

трьох). Основний недолік - великий час розповсюдження радіосигналів (затримка радіосигналу). Прикладами систем є: INMARSAT (міжнародна організація морського супутникового зв'язку), OmniTRACKS (північноамериканська система для передачі даних і визначення місця розташування), EUTELTRACKS (західноєвропейська з тими ж функціями), Mobilesat (австралійська система для мобільного і фіксованого зв'язку), "Сокіл" (російська).

4. **Високоеліптичні** (HEO - Highly Elliptical Orbit) - з витягнутими еліптичними орбітами, що мають радіус перигею порядку тисячі кілометрів і радіус апогею порядку одного чи декількох десятків тисяч кілометрів. Приклади систем: Tundra, Molnia.

В таблиці 1 наведена порівняльна характеристика GEO, MEO і LEO.

Таблиця 1 - Порівняльні характеристики GEO, MEO і LEO

Тип орбіти	GEO	MEO	LEO
Висота орбіти, км	36 000	5000-15000	500-2 000
Кількість КА в орбітальному угрупованні при безперервному глобальному покритті	3	8—12	48—66
Площа зони покриття для одного КА, % щодо поверхні Землі (кут місця 10°)	34	25—28	3—7
Час перебування КА в зоні радіобачення	24 години	1,5—2 години	10—15 хвилин
Затримка при передачі мовлення, мс, не менше	500	80—130	20—70
Частота перемикання з одного супутника на інший, хв	—	50	8—10
Мінімальний робочий кут місця, °	5	15—25	10—15

За зоною дії супутникові системи можна розділити на:

**Глобальні** - надають послуги над всією територією Землі. Наприклад: Globalstar, Inmarsat, Iridium.

**Регіональні** - надають послуги над обмеженою територією земної поверхні. Наприклад: Турая, Спейс Гейт.

**Зонові** – всі ЗС, які розташовані в межах однієї із зон (району) країни.

**Відомчі** (корпоративні, ділові), Зс яких належать одному відомству і передають тільки ділову інформацію і дані в інтересах відомства.

Вартість створення регіональних систем в 2-5 разів менша, ніж глобальних, за рахунок чого вони є привабливими для інвесторів.

Системи супутникового зв'язку можна також розділити на типи за їхнім призначенням. Так, існує поняття "служба супутникового зв'язку" - уведене Регламентом Радіозв'язку. Відповідно, виділяють: Фіксовані супутникові служби, Мобільні супутникові служби, Радіовіщальні супутникові служби. Процес персоналізації телекомунікацій привів до того, що межі між традиційними службами фіксованого та рухомого зв'язку почали поступово зникати. Єдине, що поки пов'язує портативний термінал і традиційні служби зв'язку — це розподіл частотного ресурсу. Проте і в цьому напрямі відбулися істотні зміни. Запропоновано низку проектів створення мобільних терміналів на вищих частотах, тобто в УВЧ- і НВЧ-діапазонах.

### *Класифікація і основні параметри систем космічного радіозв'язку*

Навколоземні орбіти супутників. Одним з головних класифікаційних ознак систем космічного радіозв'язку є тип орбіти, по якій рухаються супутники, що входять в систему, з розташованими на їх борту ретрансляторами радіосигналів і антенами.

Розрізняють два основних види навколоземних орбіт: геостаціонарні і негеостаціонарні, які, в свою чергу, поділяються на еліптичні, середньовисотні і низькі кругові.

Геостаціонарні орбіти є найбільш популярними при створенні систем супутникового зв'язку. Площина цієї орбіти збігається з площиною екватора, а супутники знаходяться на висоті близько 36 000 км. Період обертання супутника на геостаціонарній орбіті складає 24 години на добу, і для спостерігача на землі він здається нерухомим. Це дозволяє використовувати для зв'язку з супутником високоефективні фіксовані вузьконаправлені антени. Зона видимості геостаціонарного супутника становить майже третину поверхні землі, що дозволяє з їх допомогою обслуговувати великі території. Для обслуговування практично всієї земної суші достатньо трьох геостаціонарних супутників. Відстань між земними станціями, що працюють через такий супутник, може досягати декількох тисяч кілометрів. Недоліком геостаціонарної орбіти є велика відстань між супутником і земною станцією. У результаті цього відбувається сильне загасання сигналу на лінії земля-космос, що посилює вимоги до чутливості приймачів і вихідної потужності передавачів. Крім того, на таких відстанях стає помітною затримка при поширенні сигналу, складає близько 0,25 сек при одному стрибку (лінія земля-космос-земля).

Розташувавши на геостаціонарній орбіті три супутники, які мають між собою лінії зв'язку, можна з їх допомогою охопити радіозв'язком всю Землю, за винятком територій, що лежать за північним і південним полярними колами (рис. 1.10, а).

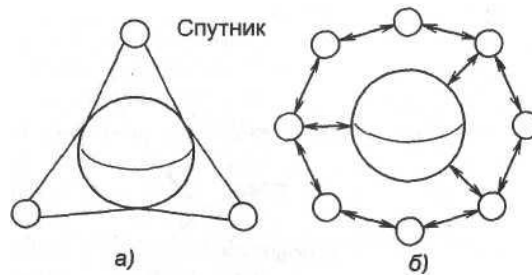


Рисунок 1.10 - Варіанти розташування трьох супутників на геостаціонарній орбіті

Особливість цієї системи радіозв'язку полягає або у відносно великій потужності радіопередавача наземного користувача через велику довжину радіотрас, або в необхідності високоточного наведення наземної і супутникової антен, що не завжди можливо. Однак, намітилася в останні роки тенденція використовувати на супутниках гостронаправлені, багатопроменеві антени. Це дозволяє вирішувати технічні труднощі, що виникають при створенні систем радіозв'язку даного класу.

При середньовисотних орбітах супутник обертається на відстані 5000 ... 15000 км від поверхні Землі. Тут безперервний радіозв'язок за допомогою одного супутника можна мати тільки протягом 1, 5 ... 2 год. Тому для здійснення безперервного цілодобового зв'язку в систему повинно входити не менше 8-12 супутників (рис. 1.10, б).

При низькій круговій орбіті супутник ще більш наближений до Землі (500 ... 2000 км), перебуваючи в зоні радіовидимості наземного спостерігача тільки протягом 10 ... 15 хв.

Тому для реалізації глобального радіозв'язку, тобто охоплення всієї поверхні Землі і здійснення безперервного цілодобового зв'язку, до складу системи повинно входити 48-66 низькоорбітальних супутників.

Перевагами такої системи радіозв'язку є знижена потужність радіопередавача (близько 1 Вт) наземного абонента через відносно малі протяжності радіотрас і виключені вимоги по точному наведенню наземної антени на супутник. При цьому, маса всієї радіостанції абонента може не перевищувати 0,5 кг.

У всіх системах для організації глобального радіозв'язку повинна бути вирішена задача не тільки по зв'язку наземного абонента з супутником, але і з обміну інформацією між супутниками. Така ретрансляція сигналу здійснюється або за допомогою міжсупутникових ліній зв'язку, або через спеціальні земні вузлові станції сполучення (рис. 1.11).



Рисунок 1.11 - Вузлові станції сполучення

Змінився підхід до мобільних ССЗ як до спеціалізованих систем (морських, повітряних, автомобільних і залізничних). Фактично сучасний мобільний термінал відрізняється лише конструктивним виконанням і інтерфейсом.

Можливості сучасного супутникового зв'язку здатні надавати іншу важливу послугу — визначення місцеположення рухомих абонентів, необхідну для супроводу транспортних і вантажних перевезень, відстежування втрачених або вкрадених автомобілів тощо.

Одним із найперспективніших напрямів розвитку мобільних ССЗ є їх інтеграція з існуючими стільниковими мережами. Супутникові системи не тільки забезпечать розширення спектру послуг обміну даними радіотелефонної і пейджингової мереж за допомогою дворежимних терміналів, але й дозволять у перспективі розв'язати найгострішу проблему забезпечення зв'язком малонаселених, віддалених і важкодоступних районів.

### 1.3 Основні складові систем супутникового зв'язку

Відповідно до Регламенту радіозв'язку залежно від призначення ССЗ і типу використовуваних ЗС розрізняють три основні служби супутникового зв'язку: фіксований супутниковий зв'язок (ФСЗ), рухомий супутниковий зв'язок (РСЗ) та радіомовний супутниковий зв'язок (РСЗ). Через низку причин, як технічних, так і історичних, такий розподіл зберігається і до цього дня, хоча і не повністю відображає динаміку розвитку сучасних засобів супутникового зв'язку, які сьогодні йдуть шляхом глобалізації і персоналізації телекомунікацій.

**Фіксована служба супутникового зв'язку.** Служба ФСЗ призначена для організації зв'язку між стаціонарними користувачами. Спочатку системи ФСЗ використовувалися виключно для організації магістральних ліній зв'язку великої протяжності та зонового зв'язку. Нині ФСЗ на базі терміналів типу VSAT вже застосовується для мереж електронної комерції, для обміну банківською інформацією, мереж оптових баз, торгових складів тощо. Крім того, розвиток ФСЗ йде у напрямі організації персонального зв'язку і передачі мультимедійної інформації на домашні ПК. Для систем ФСЗ виділені діапазони частот: С (4,6 ГГц), Х (7/8 ГГц), Ku (11/14 ГГц) і Ka (20/30 ГГц).

До ФСЗ належать також фідерні лінії, що забезпечують організацію високошвидкісних каналів сигналізації й управління між наземними станціями

мережі (ЦС, ВУС, станціями сполучення). Робота фідерних ліній забезпечується, як правило, в тих самих діапазонах частот.

Як уже було зазначено, межі між традиційними службами ФСЗ і РСЗ або ФСЗ і РСЗ поступово почали зникати. Так, персональні ЗС віддалених користувачів, які працюють в *Ku*- або *Ka*-діапазоні, формально належать до класу ФСЗ (робота в смугах частот, виділених для ФСЗ), проте за своїм призначенням і виконуваними функціями вони належать до елементів мобільної системи.

**Рухома супутникова служба зв'язку.** Системи РСЗ призначені для організації зв'язку між мобільними об'єктами або між мобільним об'єктом і стаціонарним. Спочатку РСЗ розглядалися як служби спеціального призначення, орієнтовані на організацію морського, повітряного, автомобільного та залізничного супутникового зв'язку. На сьогодні йде процес переорієнтації РСЗ на забезпечення послуг персонального зв'язку. Для систем РСЗ виділені діапазони частот до 1 ГГц, а також смуги частот у L- (1,5/1,6 ГГц) і S- (2,4/2,5 ГГц) діапазонах. У перспективних РСЗ планується робота в інших смугах частот S-діапазону (1,9/2,2 ГГц), у *Ka*- (20/30 ГГц) діапазоні і в НВЧ (40—50 ГГц).

**Радіомовна супутникова служба зв'язку.** Служба РСЗ призначена для прийому телевізійних і радіомовних програм. Вона охоплює системи безпосереднього телевізійного мовлення (БТМ), супутникове телевізійне мовлення і супутникове безпосереднє радіомовлення. Розвиток РСЗ йде в напрямку від аналогових до цифрових систем телебачення і радіомовлення.

У телерадіомовленні, де потрібне суцільне покриття обслуговуваних територій, переваги ССЗ перед іншими системами виявляються найбільшою мірою. В результаті переходу на цифрові методи передачі телевізійних сигналів виникла нова послуга — інтерактивне телебачення. Порівняно недавно зародилася також ідея персоналізації у сфері телемовлення, тобто можливість інтерактивного обміну в процесі телепередач і задоволення індивідуальних запитів за рахунок трансляції по закритих каналах замовлених телепрограм. У цьому разі користувач перетворюється з пасивного споживача мовленнєвої інформації в активного учасника телепрограми.

Сьогодні очевидне збільшення кількості програм, яке відбувається у тому числі й за рахунок створення каналів безпосереднього супутникового радіомовлення.

Сучасні системи персонального телерадіомовлення будуються на базі супутників на GEO. Проте найбільш перспективні ССЗ, які здатні привести до «революції» в інформаційних технологіях — це пряме супутникове мовлення на комп'ютери (Direct PC). Служба Direct PC дозволяє одержувати по супутникових каналах телевізійні зображення (швидкість 30 Мбіт/с) і інформацію з мережі Інтернет (швидкість до 400 кбіт/с) безпосередньо на ПК з апаратурою індивідуального прийому. Такі послуги, можливо, надаватиме низькоорбітальна система E.Sat, призначена для широкомовної передачі інформації безпосередньо на домашні термінали користувачів (direct-to-home-data broadcasting).

### Методи організації супутникового зв'язку

Організація зв'язку в ССЗ може визначатися згідно з методами ретрансляції (безпосередньо між ЗС або через ЦЗС), а також згідно з ієрархічною побудовою (радіальна та радіально-вузлова).

*Методи ретрансляції.* Віддаленість ретранслятора і відсутність його безпосереднього обслуговування надає ССЗ відповідної специфіки. Найпростішим методом організації зв'язку між земними абонентськими станціями через ретранслятор за принципом «кожний з кожним» (рис. 1.12).

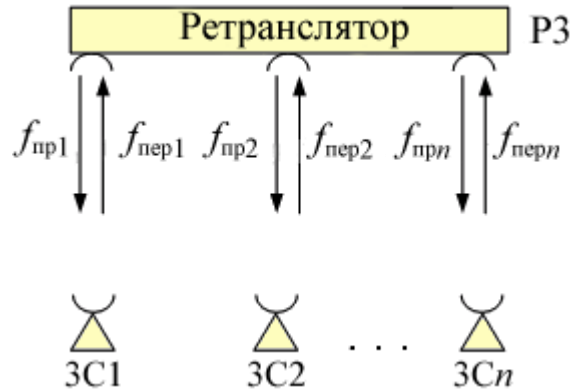


Рисунок 1.12 - Організація супутникового зв'язку за методом «кожний з кожним»

Такий метод застосовується для тих інформаційних систем, абоненти яких взаємодіють на основі рівноправних паритетних відносин.

Проте нерідко в інформаційних системах, як центральна, виступає одна із підсистем, яка виконує координуючі або контролюючі дії. До таких можна віднести центральний банк з його філіями в інших містах, головний офіс з його відділеннями, тощо. В цьому разі для забезпечення контролюючих координуючих функцій виділяється центральна або вузлова станція, через яку відбуваються всі зв'язки інших абонентських земних станцій (рис. 1.13). Кожна АЗС передає свій груповий сигнал  $\Gamma_{рсА}$  на ретранслятор і сума  $i$ -х

сигналів  $\sum_{i=1}^n \Gamma_{рс}$  надходить на ЦЗС.

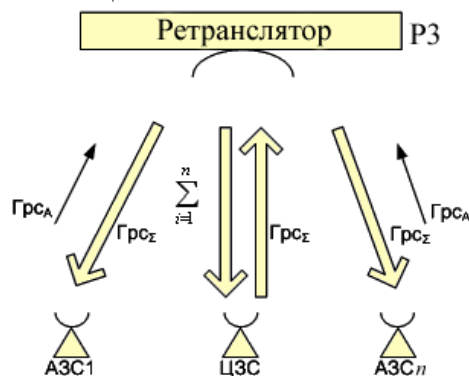


Рисунок 1.13 - Організація зв'язку абонентських земних станцій (АЗС) через центральну станцію (ЦЗС).  $\Gamma_{рс}$  — груповий сигнал

Там ці сигнали відповідно оброблюються і з них формується загальний груповий сигнал  $G_{рс}$ , що передається через РЗ на всі АЗС. Кожна з АЗС вибирає свій сигнал, у якому може бути інформація як від ЦЗС, так і від інших АЗС. Така організація зв'язку через ЦЗС може бути корисною також тоді, коли настає необхідність відмовити в доступі тій чи іншій АЗС. Окрім зазначених функцій, організація зв'язку через ЦЗС дозволяє покращити енергетику в лініях до АЗС порівняно з методом безпосереднього зв'язку, оскільки можливості і ресурси ЦЗС зазвичай перевищують можливості АЗС (у ЦЗС більша потужність передавача  $P_{пер}$ , більша площа антени тощо).

#### 1.4 Структура системи супутникового зв'язку

У системі супутникового зв'язку можна виділити чотири основні частини (рис. 1.14):

- 1) космічний сегмент;
- 2) сигнальна частина;
- 3) наземний сегмент;
- 4) користувацький сегмент.

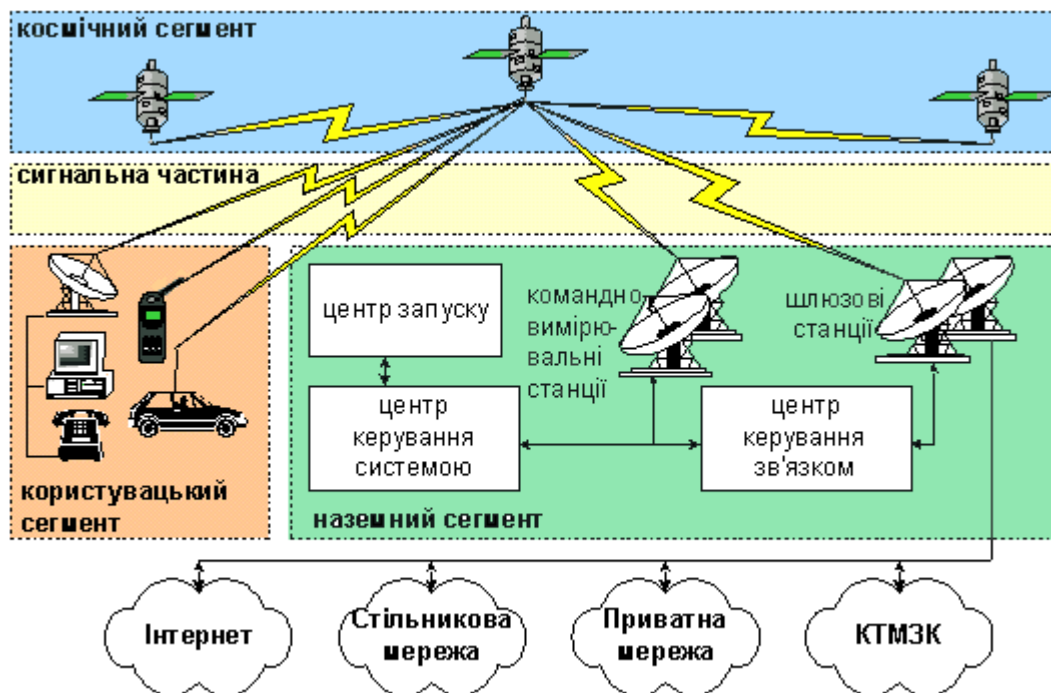


Рисунок 1.14 - Загальна структура системи супутникового зв'язку

Космічний сегмент охоплює питання щодо проектування і запуску супутників, розрахунку орбіт. Сигнальна частина стосується використовуваного спектра частот, впливу відстані на організацію і підтримку зв'язку, визначення джерел інтерференції сигналів, розроблення схем модуляції і протоколів передачі. Наземний сегмент включає розміщення і конструкцію наземних станцій, типи антен, використовуваних для різних додатків, схеми



мультиплексування, що забезпечують ефективний доступ до каналів супутників. До користувацького сегменту належить абонентське устаткування.

### **Космічний сегмент**

До системи супутникового зв'язку входить один або кілька супутників-ретрансляторів, які утворюють космічний сегмент системи. **Супутник** – це пристрій зв'язку, що приймає сигнали від наземної станції, підсилює і ретранслює їх одночасно на всі наземні станції, що знаходяться в зоні видимості супутника. Головними компонентами супутника є:

- ретранслятор (з приймальними і передавальними антенами);
- космічна платформа.

Бортовий ретранслятор приймає сигнали від наземних станцій, підсилює їх і передає на Землю. За допомогою бортових антен сигнал, що передається супутником, фокусується в один чи кілька променів, чим забезпечується формування необхідної зони обслуговування.

Космічна платформа призначена для підтримки функціонування супутника зв'язку. Основними функціями космічної платформи є забезпечення бортового ретранслятора електроживленням і утримання супутника на заданій орбіті. До складу космічної платформи можуть входити: центральний процесор; радіоелектронне обладнання; антенні системи; система орієнтації і стабілізації; двигуни; система електроживлення (акумулятори та сонячні батареї).

Розмір і маса супутника обмежені в основному можливостями транспортних засобів (ракет-носіїв), вимогами до сонячних батарей і обсягами палива, необхідними для його життєзабезпечення (зазвичай протягом десяти років).

Основними характеристиками супутників зв'язку є кількість радіочастотних каналів (ретрансляторів) чи стовбурів, потужність передавачів у кожному стовбурі, кількість і розміри зон обслуговування. Для зменшення взаємних перешкод передача сигналів із супутника (Downlink) ведеться на частоті, відмінній від частоти передачі сигналів із Землі на супутник (Uplink). Тому ретранслятори супутника мають у своєму складі перетворювачі частоти.

### **1.5 Частоти супутникового зв'язку**

Ширина смуги (bandwidth) супутникового каналу зв'язку характеризує кількість інформації, що він може передати за одиницю часу. Типовий супутниковий приймально-передавальний пристрій має ширину смуги 3,6 МГц на частотах від 4 до 6 МГц. Таких прийомопередавачів на супутнику встановлюється від 12 до 24, що дає в результаті діапазон частот від 432 до 864 МГц.

Сучасні супутникові системи найчастіше застосовують одну з двох смуг: S-смугу (від супутника до наземної станції – близько 6 ГГц і назад – близько 4 ГГц) чи Ku-смугу (відповідно 14 і 12 ГГц). Ширина будь-якої смуги становить 500 МГц.

LEO-супутники використовують інші смуги, що позначаються через L і Ka. L-смуга (15 МГц у діапазоні від 1,5 до 1,6 ГГц) використовується для

обслуговування трафіка між супутником і мобільним пристроєм. Ка-смуга (2,5 ГГц у діапазоні від 30 до 120 ГГц) використовується для зв'язку між супутниками, а також між супутником і наземними станціями.

У таблиці 2 наведено використання радіочастотних діапазонів у різних супутникових системах зв'язку.

Таблиця 2 Використання радіочастотних діапазонів у супутникових системах зв'язку

Позначення смуги	Діапазон частот (ГГц)	Приклади систем	Типове використання
<b>P</b>	0.23 - 1.00	Orbcomm, E-SAT	Пейджинг, визначення місцезнаходження
<b>L</b>	1.53 - 2.70	Iridium, Globalstar, ICO, Thuraya	Телефонія, мобільний зв'язок, пейджинг, низькошвидкісна передача даних
<b>S</b>	2.70 - 3.50	Globalstar	-/-
<b>C</b>	3.70 - 6.50	Intelsat, Skynet	Фіксований зв'язок, передача відео, VSAT-застосування
<b>X</b>	7.25 - 8.50	-	-
<b>Ku</b> (Європа)	11.0 - 14.0	Direct TV, Echostar, Astra	Фіксований зв'язок, ТВ, передача даних, мобільний зв'язок,
<b>Ku</b> (США)	11.0 - 17.8	Spaceway, Cyberstar, Astrolink, Teledesic	широкополосний зв'язок, доступ до Інтернет
<b>Ka</b>	17.7 - 30.5	Teledesic, Skybridge, Cyberstar	Широкополосний зв'язок, високошвидкісна передача даних, доступ до Інтернет
<b>V</b>	31.0 - 70.0	Milstar, AFSATCOM, USTS	Військові застосування

Атмосфера Землі прозора для електромагнітного випромінювання в С-смузі, однак багато наземних мікрохвильових пристроїв генерують сигнал на цих частотах, тому в умовах міста відносно слабкий супутниковий сигнал глушиться. Наземні станції для С-смуги вимагають дорогих і громізких антен і повинні розміщуватися подалі від міських центрів.

Радіохвилі Ku-смуги можна посилати, використовуючи сильний і вузьконаправлений промінь. Це дозволяє використовувати антени невеликого діаметру і різко знижує їхню вартість. Наземні мікрохвильові сигнали ніяким

чином не впливають на сигнали Ku-смуги, і наземні станції Ku-смуги можуть бути розміщені в центрах міст. Однак у даному діапазоні частот радіохвилі чутливі до атмосферних явищ.

### **Наземний сегмент**

В наземному сегменті супутникової системи зв'язку можуть виділятися:

- **Центр запуску** - визначає програму запуску, збірку ракети-носія, передстартові перевірки та випробовування. Після запуску супутника керування ним здійснюється центром керування системою.

- **Центр керування системою** здійснює керування космічним угрупованням: - контроль запуску і точності виведення на задану орбіту; - контроль стану супутників; - контроль і керування орбітами супутників; - виведення супутників зі складу орбітального угруповання; та ін. Вказані функції здійснюються на основі інформації від супутників. Службова інформація може передаватися також через територіально рознесені **командно-вимірювальні станції**.

- **Центр керування зв'язком** - планує використання ресурсів супутників. Здійснює аналіз і контроль зв'язку через національні шлюзові станції.

- **Шлюзові станції (наземні станції)** - до складу системи може входити декілька шлюзових станцій, які можуть встановлюватися незалежно у різних регіонах чи країнах.

Наземні станції можуть розрізнятися по видах послуг, що надаються з їхнім використанням, по складу устаткування а також по належності до того чи іншого стандарту.

Серед основних функцій шлюзової станції: - організація доступу до супутника із наземних мереж, мультиплексування, модуляція, обробка сигналу і перетворення частот.

До складу будь-якої наземної станції входить радіочастотне і каналоутворююче устаткування. До радіочастотного устаткування відносяться: антени СВЧ -діапазону - для прийому та ретрансляції сигналів; транспондери - прийомо-передавачі. Як правило, ці компоненти поставляються в комплекті. Радіочастотне устаткування повинне відповідати типу обраного супутника і забезпечувати роботу каналоутворюючого устаткування.

Каналоутворююче устаткування визначає принципи роботи наземної станції і всієї мережі і працює за певними стандартами (SCPC, DAMA, TDMA, TDM/TDMA). До каналоутворюючого устаткування відносяться пакетні модеми (48 Мбіт/с).

Серед інших компонентів технічного забезпечення наземної шлюзової станції слід вказати: ЕОМ - для керування великими потоками інформації (з базою даних персональних терміналів); комутаційне обладнання - для з'єднання з різними наземними системами зв'язку.

На сьогоднішній день надзвичайно популярними є наземні станції на основі VSAT-терміналів, які відрізняються невеликими розмірами, легкістю установки та невеликою ціною.

## 1.6 Основні показники космічних та земних станцій

До складу будь-якої ССЗ, незважаючи на їхню відмінність, входить декілька однакових за призначенням елементів:

- *космічні станції* (КС), що являють собою ретрансляційний (приймально- передавальний) пристрій, розміщений на штучному супутнику Землі, з антенами для прийому і передачі радіосигналів та системами забезпечення: джерелами енергопостачання, системами орієнтації антен (на Землю) і сонячних батарей (на Сонце), системами корекції положення ШСЗ на орбіті, терморегулювання і т.д.:

- *земні станції* (ЗС) різного типу.

Розглянемо докладніше основні типи ЗС.

*Приймальні ЗС* розподільних систем (систем супутникового мовлення) - найпростіший тип станцій, що здійснюють тільки прийом телевізійних програм і (або) інших циркулярних програм, наприклад звукового мовлення, зображень газетних смуг: зазвичай приймальні ЗС для здешевлення комплектують антеною малого розміру, а кількість таких ЗС у системі велика.

*Передавальні ЗС* системи супутникового мовлення (ЗС фідерної лінії, ЗС1 на рис. 1.15) - станції, що здійснюють передачу на ділянці Земля-ШСЗ циркулярних програм, які підлягають поширенню мережею приймальних станцій; якщо передавальна ЗС знаходиться в межах зони, що обслуговується, і на ній можливий прийом сигналів, випромінюваних ШСЗ цієї системи, то такий прийом звичайно здійснюється для контролю якості мовлення; передавальних станцій у системі може бути кілька.

*Приймально-передавальні ЗС РСС* (ЗС1, 2, 3 на рис. 1.15), що працюють у мережі дуплексного телефонного зв'язку (у тому числі з можливістю передачі по телефонних каналах чи групам каналів інших видів повідомлень - телеграфних, даних, програм звукового мовлення та ін.), а також у мережі обміну телевізійними програмами: такі станції часто бувають укомплектовані апаратурою, що дозволяє працювати через декілька каналів ШСЗ одночасно; нерідко приймально-передавальні станції телефонної системи є також передавальними або приймальними станціями системи мовлення, такими є більшість ЗС «Орбіта» (ЗС1, ЗС2 на рис.1.15).

*Контрольні ЗС* - станції, що контролюють режим роботи ретранслятора космічної станції, дотримання земними станціями мережі важливих для роботи всієї мережі показників – випромінюваної потужності, частоти передачі, поляризації, якості модулюючого сигналу і т.д. Роль контрольних ЗС у підтримці нормальної роботи системи - дуже значна. Часто функції контрольної станції покладаються на одну з передавальних чи приймально-передавальних станцій мережі. Контрольні і центральні станції мережі як правило мають можливість обміну інформацією зі станціями мережі по спеціально створеній підсистемі службового зв'язку. Зазвичай вдається утворити цю підсистему через той самий ШСЗ, через який працює основна мережа, але в деяких випадках доводиться використовувати наземні канали службового зв'язку.

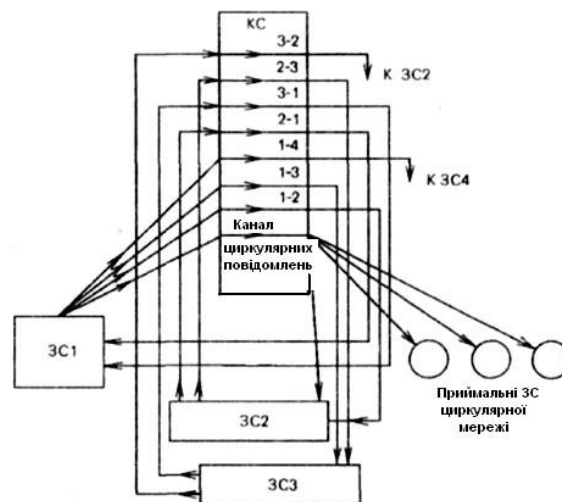


Рисунок 1.15 - Схема організації циркулярних і дуплексних каналів через ШСЗ

*Земні станції системи управління і контролю ШСЗ* - станції, що здійснюють управління функціонуванням КС і всіма іншими підсистемами ШСЗ, контроль за їхнім станом, виведенням ШСЗ на орбіту при початкових випробуваннях і введенням в експлуатацію КС.

*З'єднувальні наземні лінії* використовуються для з'єднання ЗС із джерелами і споживачами переданої інформації, оскільки ЗС як правило віддалена від них з міркувань зменшення впливу перешкод, кутів закриття антени та ін. Такими є з'єднувальні лінії від приймально-передавальної ЗС до міжміської телефонної станції (МТС) чи іншого вузла комутації телефонної мережі, від приймальної ЗС до телевізійного передавача, радіомовної станції чи комп'ютерної мережі.

*Виносне устаткування* - та частина устаткування супутникового зв'язку, що розташовується не на станціях супутникового зв'язку, а на інших об'єктах. Так, на МТС можуть встановлюватися необхідні для роботи супутникових каналів ехоперешкоджателі, іноді апаратура ущільнення, каналоутворення і навіть модуляції, причому вихідний сигнал цієї апаратури, пройшовши по наземній з'єднувальній лінії (звичайно радіорелейній), надходить безпосередньо на ВЧ тракт супутникової лінії зв'язку.

*Центр управління системою зв'язку* - орган, що здійснює керівництво експлуатацією системи та її розвитком, тобто запровадженням у дію нових ЗС і ШСЗ, розкладом їхньої роботи, наданням каналів споживачам, проведенням ремонтно-профілактичних робіт і т.ін. Центр управління як правило з'єднують зі станціями мережі каналами службового зв'язку. Іноді центр управління може з'єднуватися з передавальною станцією системи супутникового мовлення або з контрольною ЗС.

*Склад земних і космічних станцій.*

Розглянемо найпростішу земну станцію, призначену для прийому односпрямованої інформації – одноканальну приймальну ЗС (рис. 1.16).

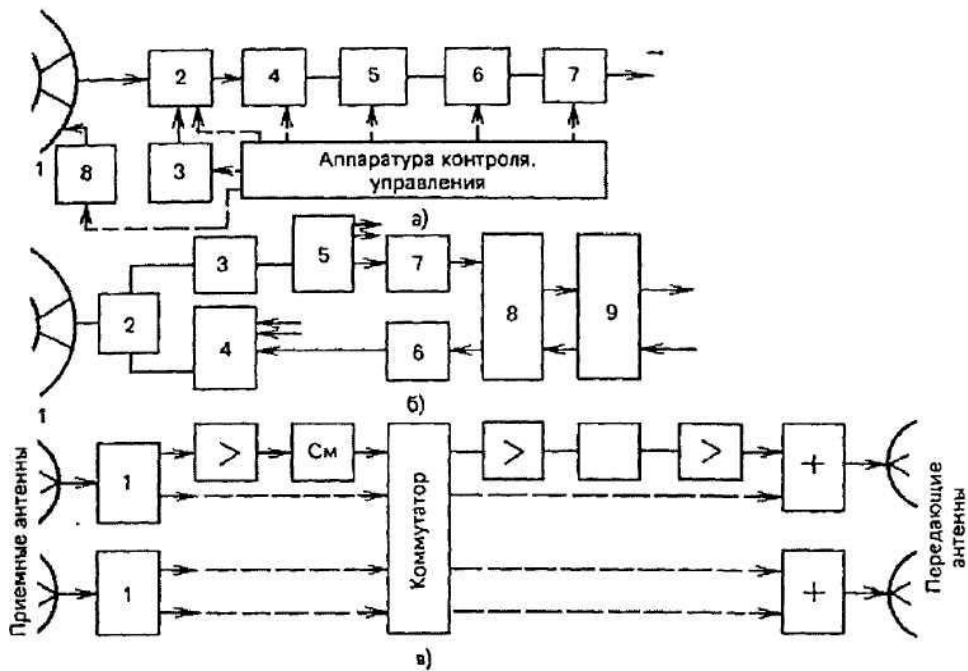


Рисунок 1.16 - Спрощені структурні схеми одноканальної приймальної (а) і багатоканальної приймально-передавальної (б) ЗС, а також бортового ретранслятора КС (в)

Сигнали, випромінювані ШСЗ, приймаються (рис. 1.16,а) антеною 1 ЗС, що перехоплює електромагнітне випромінювання і перетворює його в електричну напругу. Далі прийнятий сигнал підсилюється малошумним входним пристроєм 2, що містить малошумний підсилювач, змішувач, попередній підсилювач проміжної частоти. Необхідні для перетворення частоти коливання формуються гетеродинним трактом 3. Основне посилення сигналу здійснюється в підсилювачі проміжної частоти ППЧ 4, до складу якого входить фільтр (чи фільтри), що формує смугу пропускання, оптимальну для прийому сигналу (смуга або близька до смуги каналу, якщо прийнятий сигнал займає весь канал, як при прийомі програм телебачення, багатоканальних телефонних повідомлень з часовим багатостанційним доступом і т.ін., або складає лише частину смуги каналу, наприклад при прийомі телефонних сигналів у системі з частотним багатостанційним доступом. За підсилювачем ідуть демодулятор 5, що виділяє передане повідомлення, і кінцеве каналоутворююче устаткування 6. Наприклад, при прийомі програм телебачення у пристрої 6 можуть здійснюватися регенерація синхросуміші, виділення каналу звукового супроводу, розсекречення сигналів і т.ін. Прийнята інформація надходить по наземній з'єднувальній лінії 7 до споживача програм (на телевизор, якщо це станція індивідуального прийому супутникового телебачення). У сучасних прийомних пристроях часто застосовують дворазове перетворення частоти.

Комплекс 8 служить для наведення антен на ШСЗ; до його складу входять прилад, що переміщає антену, і апаратура наведення, що керує його рухом. У простих приймальних станціях антена як правило нерухома (є лише механізм неоперативної первісної орієнтації) або має механізм установки в кілька фіксованих положень (позиціонер).

Більш складними є земні станції, що призначені для дуплексного зв'язку і, працюючи в декількох каналах ШСЗ, будуються за більш загальною схемою (рис. 1.16,б), де 1 - антена з комплексом наведення, яка використовується одночасно для прийому і передачі; 2 - фільтр поділу прийому і передачі; 3 - малошумний підсилювач; 4 - пристрій додавання (фільтр додавання) сигналів передавачів різних каналів; 5 - пристрій поділу (фільтр поділу) прийнятих сигналів з різних каналів; 6 - передавальний пристрій каналу; 7 - прийомний пристрій каналу; 8 - каналоутворююча апаратура; 9 - апаратура з'єднувальної лінії. На схемі не показані резервні комплекти і перемикачі на резервні комплекти, що зазвичай встановлюються на ЗС.

Розглянемо основні елементи радіотехнічного комплексу космічної станції, що входить у систему супутникового зв'язку. Цей комплекс складається з двох основних частин - антен і бортового ретранслятора.

На борту сучасних ШСЗ зазвичай встановлюють декілька приймальних і передавальних антен. Це пояснюється необхідністю сформувати різні зони обслуговування з метою привести у відповідність випромінювання антен з розміщенням земних станцій на поверхні Землі, щоб не розсіювати енергію даремно на ті райони, де вона не використовується. Висока спрямованість приймальних і передавальних антен ШСЗ сприяє також зменшенню взаємних перешкод з іншими системами зв'язку — супутниковими і наземними, підвищує ефективність використання геостаціонарної орбіти.

Сигнал, прийнятий антеною КС, надходить на вхідний малошумний пристрій 1 (рис. 1.16, в), в якості якого на ШСЗ застосовуються змішувачі, підсилювачі на малошумних ЛБХ або транзисторах. Прийнятий сигнал підсилюється на частоті прийому, проміжній частоті і частоті передачі. У сучасних ШСЗ часто здійснюється не двох-, а однократне перетворення частоти, безпосередньо з вхідної у вихідну, при цьому підсилювач ПЧ відсутній.

У схемі можуть застосовуватися пристрої поділу, комутації, об'єднання сигналів (комутатор на рис. 1.16, в), ціль яких - подати сигнали, адресовані тим чи іншим ЗС, на передавальні антени з відповідною зоною обслуговування. Перспективними є системи зі швидкодіючою переорієнтацією вузького променя антени (з комутацією променя), що дозволяють здійснювати зв'язок з багатьма ЗС через гостроспрямовані антени, не збільшуючи числа антен на борту ШСЗ і багаторазово використовувати смугу частот.

На рис.1.16, в не показані резервні елементи і пристрої переключення на резерв; ці схеми як правило є досить складними, оскільки ступінь резервування різна для різних елементів тракту в залежності від їхньої надійності, важливості для життєздатності і терміну служби ШСЗ.

У деяких випадках на космічній станції виконується більш складна обробка сигналів, наприклад перетворення виду модуляції, регенерація сигналів, переданих у дискретній формі.

## 1.7 Основні експлуатаційно-технічні показники систем супутникового зв'язку

Найважливіші показники земних станцій:

1. *Діапазони частот на прийом і передачу*, на роботу в яких розраховане устаткування станції - антена, прийомна і передавальна апаратура; більшість ЗС ФСС працює в діапазонах 4 або 11 ГГц на прийом і 6 або 14 ГГц на передачу.

2. *Добротність станції на прийом  $G/T$*  - відношення посилення антени (у децибелах на частоті прийому) до сумарної шумової температури станції (у децибелах відносно 1 К); досягає 42 дБ/К для найбільших застосовуваних на практиці антен (діаметром 32 м), складає 20...31,7 дБ/К для ЗС більшості національних і регіональних систем.

3. *Еквівалентна ізотропно випромінювана потужність (ЕІВП)* - добуток потужності передавача на посилення антени (у смузі передачі) щодо ізотропної антени: як правило знаходиться в межах 50...95 дБВт. Для спрощеного розрахунку перешкод, створюваних іншим мережам зв'язку, часто вказують максимальну спектральну щільність випромінюваної ЗС ЕІВП (Вт/Гц), хоча точний розрахунок перехресних перешкод вимагає знання структури застосовуваних у системі сигналів (виду і параметрів модуляції і т.ін.).

$$P_{\Sigma} = P_{пер} \cdot G_{пер} \cdot \eta_{пер}$$

4. *Діаметр антени* впливає на розміри і вартість ЗС; він визначає добротність і ЕІВП станції, а також її просторову вибірковість: якщо в системі використовується поділ сигналів за поляризацією, необхідно знати кросполяризаційні характеристики антени і вказувати, з якою поляризацією станція працює на передачу і на прийом. На ЗС телефонного обміну застосовують антени діаметром від 1.5...2, 5 м до 12 м, іноді до 32 м, на ЗС прийому циркулярної інформації від 0,45 до 2.5... 4 м.

Антена характеризується також показниками опорно-поворотного пристрою і всієї системи наведення антени на ШСЗ; розрізняють антени *повноповоротні*, здатні направлятися в будь-яку точку небосхилу, і *неповноповоротні*, що мають обмежену область оперативного наведення на джерело сигналу. Системи наведення антен характеризуються також можливою швидкістю і прискоренням кутового переміщення. В останні роки все частіше застосовують неповноповоротні, що повільно рухаються і нерухомі антени, придатні для роботи тільки з геостаціонарними ШСЗ.

*Основні показники космічних станцій.*

В основному космічна станція характеризується тими ж показниками, що і ЗС: робочим діапазоном частот, добротністю, ЕІВП кожного передавача, поляризацією випромінюваних і прийнятих сигналів. Однак значення ряду параметрів істотно відмінні від зазначених для ЗС. Наприклад, добротність прийомного тракту КС звичайно складає -10 ... + 6 дБ/К (що викликано не тільки меншими розмірами антени, але і застосуванням більш простого, з



більшою шумовою температурою вхідного малошумного підсилювача), ЕІВП, як правило, не перевищує 23...45 дБВт, досягаючи 52...58 дБВт на супутниках безпосереднього телевізійного мовлення.

Важливою характеристикою бортового ретранслятора космічної станції є кількість каналів.

*Каналом ретранслятора або ЗС, або каналом супутникового зв'язку, будемо називати приймально-передавальний тракт, у якому радіосигнали проходять через загальні підсилюючі елементи (загальний передавач) у деякій виділеній для каналу загальній смузі частот. Весь діапазон частот, у якому працює супутник зв'язку, прийнято поділяти на деякі смуги (шириною 27...36, 72... 120 МГц), в яких посилення сигналів здійснюється окремим трактом — каналом. Кілька каналів можуть мати загальні елементи — антену, хвилеводний тракт, малошумний вхідний підсилювач. З іншого боку, на ЗС смуга одного каналу може розділятися фільтрами для виділення і наступного детектування сигналів від різних земних станцій, що проходять через загальний канал ШСЗ. Замість терміна «канал» часто застосовується англійський термін «транспондер».*

Число каналів, що одночасно діють на ШСЗ, може скласти 6-12, досягаючи 27-48 на найбільш потужних ШСЗ. Сигнали цих каналів поділяються за частотою, простором, поляризацією. Числом каналів, їхньою смугою пропускання і ЕІВП визначається в основному найважливіший сумарний показник ШСЗ – його пропусканна здатність, тобто число телефонних і телевізійних каналів, або в більш загальному виді кількість двійкових одиниць у секунду, яку можна передати через даний ШСЗ. Зрозуміло, про пропусканну здатність ШСЗ можна говорити лише умовно, оскільки вона залежить від добротності застосовуваних у системі земних станцій, а також від виду застосовуваних радіосигналів; пропусканна здатність, власне кажучи, - характеристика системи, а не ШСЗ. Проте, у літературі часто використовується поняття пропусканної здатності (ємності) ШСЗ.

Відзначимо, що пропусканна здатність каналу ШСЗ залежить у деякій мірі не тільки від основних показників - смуги пропускання і ЕІВП, але і від інших параметрів, що визначають перекручування переданих сигналів: нерівномірності амплітудної характеристики, коефіцієнта АМ-ФМ перетворення, нерівномірності ГВЗ у смузі ВЧ каналу та ін. Ці параметри впливають на взаємні перешкоди між сигналами різних ЗС, на вірогідність прийому сигналів і тим самим на енергетичні втрати, обумовлені проходженням сигналів через неідеальний тракт бортового ретранслятора ШСЗ.

У залежності від ширини діаграми спрямованості бортових антен ШСЗ (або його окремий канал, якщо на борту кілька антен і вони різні) характеризується *зоною покриття* — частиною поверхні земної кулі, у межах якої забезпечується рівень сигналів від ШСЗ, необхідний для їхнього прийому з заданою якістю на ЗС визначеної добротності, а також гарантується здатність прийняти на вході ШСЗ сигнали від ЗС, що володіють визначеною ЕІВП. Очевидно, що зона покриття ШСЗ характеризує систему супутникового зв'язку, а не тільки власне ШСЗ.

*Зона покриття* визначається шириною діаграми спрямованості антени ШСЗ і розраховується як перетин поверхні Землі конусом променя антени. Форма цього перетину залежить від точки розміщення ШСЗ, «точки прицілювання» — точки перетинання осі головної пелюстки антени ШСЗ із земною поверхнею, а також від нестабільності положення ШСЗ і орієнтації його антен. У зв'язку з нестабільністю вводиться поняття гарантованої зони обслуговування, у якій забезпечується збереження зазначених раніше умов прийому і передачі при будь-яких сполученнях відхилень ШСЗ і антени ШСЗ від середнього положення.

Точка розміщення ШСЗ на орбіті, точка прицілювання його антени, нестабільності цих параметрів істотні не тільки для розрахунку зон обслуговування, але і для розрахунку взаємних перешкод між ССЗ. Для спрощеного розрахунку взаємних перешкод часто також вказується максимальна спектральна щільність випромінюваного ШСЗ потоку потужності (Вт/ГГц).

Нарешті, найважливішим показником ШСЗ, що визначає не тільки надійність і безперебійність зв'язку, але насамперед економічні характеристики всієї системи зв'язку, є *термін служби ШСЗ* - час напрацювання до відмовлення супутника цілком або припустимого числа каналів космічної станції, що визначається з високою імовірністю - як правило 0.9 і більше. У сучасних ШСЗ досягнуто термін служби 10...12 років і більше завдяки високій надійності елементів, гнучкій і розгалуженій схемі резервування.

#### *Основні показники систем супутникового зв'язку*

*Зона обслуговування системи* — це сукупність (об'єднання) зон обслуговування окремих ШСЗ, що входять у систему (рис. 1.17). Слово «об'єднання» (а не «сума») ужито тому, що зони окремих ШСЗ як правило перекриваються між собою (що неминуче при досягненні суцільного покриття і корисно для організації зв'язку між земними станціями, розташованими в різних зонах), і тому загальна зона виявляється по площі менше суми площ окремих зон.

*Пропускна здатність системи* є об'єднання пропускних здібностей ШСЗ, які входять у систему. У даному випадку слову «об'єднання» (а не «сума») надається той же зміст. Пропускна здатність системи виявляється менше суми пропускних здібностей окремих ШСЗ, оскільки для зв'язку між собою станцій, що працюють через різні ШСЗ, частина каналів транслюється двома КС послідовно — за допомогою двохстрибкових ліній (ЗЕМЛЯ-ШСЗ-ЗЕМЛЯ-ШСЗ-ЗЕМЛЯ) або прямих міжсупутникових з'єднань (ЗЕМЛЯ-ШСЗ-ШСЗ-ЗЕМЛЯ).

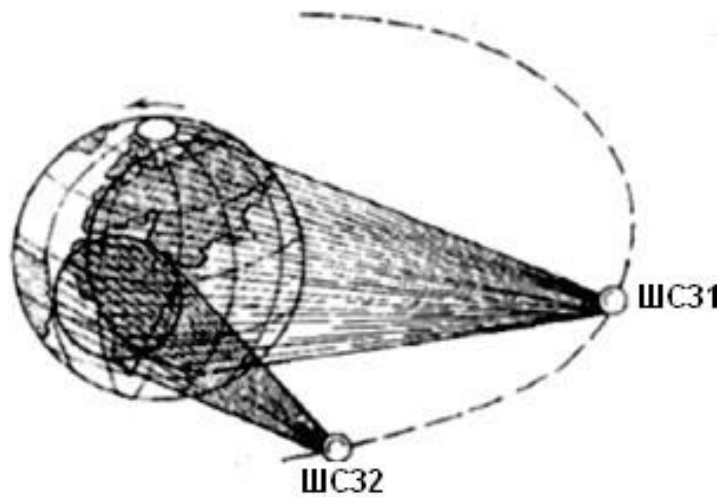


Рисунок 1.17 - До визначення зони обслуговування системи супутникового зв'язку з декількома ШСЗ

Якщо в ССЗ використовується тільки один ШСЗ, зона обслуговування і пропускна здатність системи і ШСЗ збігаються.

Пропускна здатність системи залежить у деякій мірі від впливу перешкод, створюваних іншими ССЗ і роль цих перешкод зростає по мірі збільшення числа супутників на орбіті.

Система супутникового зв'язку характеризується *числом і розміщенням ЗС, числом ШСЗ і типом їхньої орбіти, точкою розміщення на геостаціонарній орбіті*. Характеристикою системи є також *число каналів на ШСЗ, їхня смуга пропускання, смуги частот каналів на ділянках Земля-супутник і супутник-Земля*.

Однією з найважливіших характеристик системи є *метод багатостанційного доступу* - метод сполучення сигналів, випромінюваних різними ЗС, для їхнього проходження через загальний канал бортового ретранслятора космічної станції. Багатостанційний доступ (БД) застосовують тому, що звичайно виявляється неекономічним створювати число стовбурів на ШСЗ, яке дорівнює числу ЗС у системі. Застосовують БД із поділом сигналів за *частотою, формою і часом*. Різний спосіб БД приводить до втрати пропускної здатності каналу до 3...6 дБ, хоча в найбільш досконалих системах (з часовим поділом - БДЧП) ці втрати можуть не перевищувати 0,5...2 дБ.

На енергетичні характеристики системи зв'язку, необхідну смугу частот, її електромагнітну сумісність з іншими системами істотно впливає застосований метод модуляції; найбільш поширена частотна модуляція (ЧМ) при передачі повідомлень в аналоговій формі і фазова модуляція (ФМ) при передачі повідомлень у дискретній формі. З параметрів модуляції найважливіше значення при ЧМ має девіація частоти, при ФМ - число фаз несучої (кратність модуляції), а при передачі програм телебачення - також спосіб передачі звукового супроводу (часове або частотне сполучення з відеосигналом, частота піднесучої і т.ін.). Метод модуляції і параметри модульованого сигналу повинні бути узгоджені зі смугою пропускання й енергетикою каналів системи зв'язку.

Іншою важливою характеристикою системи є якість каналів передачі повідомлень — телевізійних, телефонних та ін. Відмітимо, що звичайно ССЗ використовується для створення міжнародних або міжміських каналів зв'язку великої довжини, і якість цих каналів відповідає вимогам, сформульованим у рекомендаціях Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ) або у внутрішньодержавних нормативних документах. Однак у деяких системах супутникового зв'язку виходячи з їхнього специфічного призначення або з економічних міркувань досягаються більш високі або більш низькі показники якості. Так, у системах телевізійного мовлення з прийомом сигналів простими колективними й особливо індивідуальними установками часто допускається знижене відношення сигнал-шум; це, зокрема, рекомендовано планом систем супутникового мовлення, прийнятим Всесвітньою адміністративною конференцією по радіо в 1977 р. Аналогічне рішення було прийняте в радянській системі «Екран». Причиною зниження відношення сигнал-шум є не тільки бажання зменшити вартість прийомної станції, але і можливість зберегти при цьому досить високу якість прийому в абонента. Дійсно, прийомна станція такої системи наближена до абонента, супутникова лінія замінює не тільки міжміську наземну лінію, але і частину розподільчої мережі, спрощується або зовсім виключається наземний телевізійний передавальний центр.

Іноді у телефонних каналах також встановлюють трохи знижене відношення сигнал-шум або скорочену смугу пропускання в порівнянні з рекомендованими для міжміських каналів, якщо ССЗ призначена для спеціалізованих або внутрішньовідомчих (корпоративних, службових) цілей. Як і в попередньому випадку, у таких спеціалізованих системах спрощені станції наближені до абонента, і якість каналу для абонента залишається прийнятно високою.

У деяких ССЗ, побудованих на основі частотного багатостанційного доступу і передачі кожного каналу на окремій несучій, застосовують шумознижувачі (компандери), дія яких заснована на особливостях сприйняття шумів при звуковому сигналі. Компандери дозволяють зменшити помітність шумів на 10...20 дБ і відповідно виграти в енергетиці ліній зв'язку і пропускну здатності системи зв'язку, але роблять канали неуніверсальними, оскільки зазначений вииграш не реалізується при передачі по каналах тональної частоти телеграфних повідомлень, даних та ін.

З іншого боку, саме в супутникових системах можлива і здійснюється передача телевізійних сигналів підвищеної якості і високої чіткості (за стандартом HDTV).

## **1.8 Станції VSAT**

### **Поняття VSAT**

VSAT (Very Small Aperture Terminal) дослівно переводиться як "термінал з дуже малою апертурою" (антени).

Це наземні станції супутникового зв'язку, технічні характеристики яких відповідають вимогам Рекомендацій МСЕ-R S.725-S.729.

Серед основних вимог:

- станції VSAT відносяться до Фіксованої супутникової служби (ФСС) і повинні відповідати вимогам Регламенту Радіозв'язку;
- для роботи використовуються діапазони частот, виділені для ФСС (14 і 6 ГГц на лінії "вгору" і 11-12 і 4 ГГц на лінії "вниз");
- діаметр антен знаходиться в межах 0.9... 3.5 м;
- швидкість передачі інформації зі станції знаходиться в межах 1.2 кбіт/с - 2.048 Мбіт/с;
- станції встановлюються безпосередньо в користувача, причому щільність розміщення їх на обмеженій території може бути дуже високою;
- станції можуть працювати автономно, контроль і керування роботою станцій у мережі здійснюються централізовано;
- станції можуть застосовуватися для передачі даних і телефонії в цифровому вигляді і в режимах роботи тільки на прийом (симплекс) чи на прийом/передачу (дуплекс);
- у станціях використовується малопотужний радіопередавач (від декількох ватів до десятків ватів) з обов'язковим обмеженням випромінюваної потужності з метою безпеки користувачів.

Мережі VSAT будуються на базі геостаціонарних супутників-ретрансляторів. Це дозволяє максимально спрощувати конструкцію абонентських терміналів і постачати їх простими фіксованими антенами без системи спостереження за супутником. Для забезпечення роботи через малогабаритні абонентські станції типу VSAT супутникові передавачі повинні мати вихідну потужність близько 40 Вт.

Оскільки станції VSAT відносяться до Фіксованої супутникової служби, на їх основі можна будувати супутникові мережі для надання послуг, передбачених цією службою, тобто: - передача даних; - передача голосу; - передача зображень; - відеоконференції; - доступ в Інтернет; - мультимедіа.

По усьому світі число встановлених станцій вимірюється сотнями тисяч, а число абонентів, що обслуговуються - сотнями мільйонів. В Україні на сьогоднішній день вже більше 400 станцій по всій країні, об'єднані в корпоративні системи.

Слід відмітити також, що поряд із такими перевагами даної технології як відносна дешевизна та швидкість монтажу, для використання станції VSAT необхідний дозвіл відповідних органів.

### Структура станції VSAT

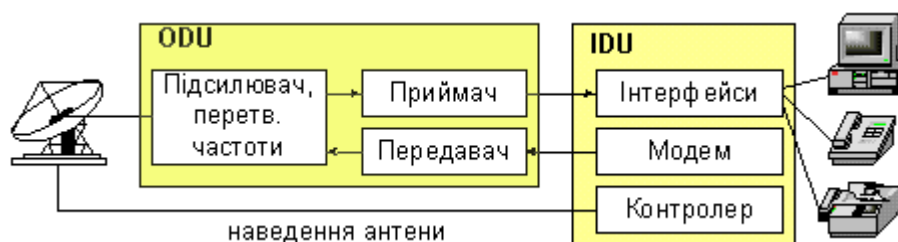


Рисунок 1.18 - Структура VSAT-терміналу

Термінал VSAT складається з трьох основних елементів (рис. 1.18):

- Антенна система.
- Зовнішній блок (OutDoor Unit, ODU), що розміщується безпосередньо на антені.
- Внутрішній блок (Indoor Unit, IDU), що встановлюється в приміщенні користувача.



VSAT -антена з ODU

Діаметр антен визначається діапазоном частот, швидкістю передачі інформації, потужністю радіоканалу та умовами експлуатації.

Зовнішній блок зазвичай складається з підсилювача з перетворювачем частоти та приймача (і передавача).

Внутрішній блок включає супутниковий модем, контролер та інтерфейсні плати, які дозволяють підключати різноманітне обладнання обробки даних та забезпечити зв'язок з телефонною мережею.

Серед лідерів світових постачальників VSAT компанії: Hughes, NEC, AT&T Tridon, GTE Spacenet, Scientific Atlanta. Існують також російські виробники VSAT-терміналів, продукція яких не поступається західним зразкам (РКК "Енергія" та ін.).

### **Типи терміналів.**

Існує кілька типів земних станцій VSAT. Їх можна умовно розділити на три покоління. Поява кожного нового покоління VSAT ставала можливою у міру появи нових технологій, створення більш потужних супутників зв'язку й освоєння нових діапазонів частот.

VSAT першого покоління працювали в С-діапазоні і використовувалися тільки в мережах віщального типу, тобто абонентські термінали могли лише приймати потоки даних і режим передачі в них не передбачався. Мережі віщального типу дотепер широко використовуються для розподілу фінансової і ділової інформації, біржових зведень, передачі газетних смуг, у системах асиметричного доступу в Інтернет.

Друге покоління наземних станцій VSAT характеризується тим, що вони можуть підтримувати двосторонній (дуплексний) зв'язок. Ці термінали використовуються банківськими і фінансовими організаціями в мережах обміну даними, мережами роздрібною й оптовою торгівлі, промисловими підприємствами для зв'язку з філіями і постачальниками, а також для організації високошвидкісного двостороннього доступу в Інтернет, та операторами зв'язку для створення виділених магістральних каналів між віддаленими вузлами з великим обсягом обміну даними. Більшість з них працює в Ku-діапазоні, хоча в деяких країнах у мережах як і раніше використовується С-діапазон.

Широке поширення одержали термінали третього покоління, з антенами діаметром 1,2 м і менше. Вони використовуються у великих мережах, що відрізняються низьким рівнем непостійного трафіка між ними. Такі термінали прості по конструкції, відрізняються низькою ціною і працюють винятково в Ku-діапазоні.

В останні роки на ринку з'явилося четверте покоління VSAT для мультимедійних додатків (USAT - Ultra Small Aperture Terminal). Вони працюють у Ku- і Ka-діапазонах і забезпечують швидкість до декількох мегабіт у секунду. При цьому розмір їхніх антен (у Ka-діапазоні) складає, до 70 см.

### Архітектура мереж VSAT

Архітектури мереж супутникового зв'язку розрізняються по конфігурації трафіка та за структурою керування.

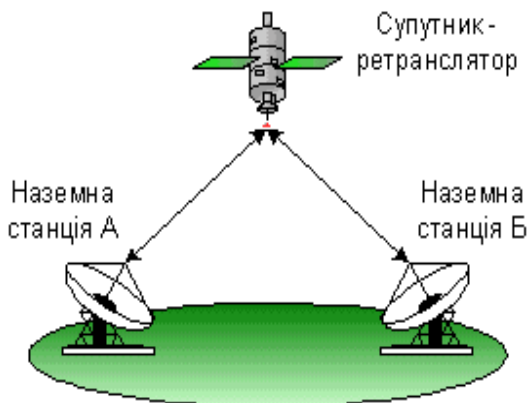


Рисунок 1.19 - Топологія "точка-точка"

**Мережа "точка - точка"** (рис. 1.19) дозволяє забезпечувати прямий дуплексний зв'язок між двома віддаленими абонентськими станціями по виділених каналах. Така схема зв'язку найбільш ефективна при великому завантаженні каналів (не менш 30 - 40%). Перевагою такої архітектури є простота організації каналів зв'язку і їхня повна прозорість для різних протоколів обміну. Крім того, така мережа не вимагає

системи керування.

**Мережа типу "зірка"** (рис. 1.20) є найбільш розповсюдженою

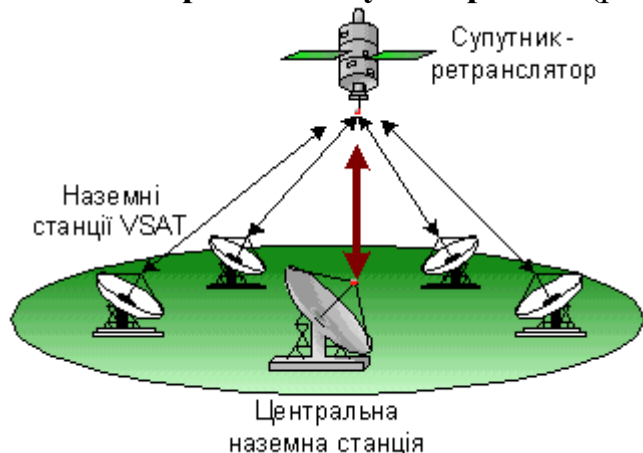


Рис. 1.20 - Топологія "зірка"

архітектурою побудови супутникових систем зв'язку з абонентськими станціями класу VSAT. Така мережа забезпечує багатонаправлений радіальний трафік між центральною наземною станцією (ЦЗС в російській чи HUB в англійській літературі). ЦЗС оснащена антеною великого діаметра і потужним передавачем) і віддаленими периферійними станціями (терміналами). На рисунку 1.21 показано зовнішній вигляд центральної наземної станції.

Недоліком архітектури "зірка" є наявність подвійного стрибка при зв'язку між терміналами мережі, що приводить до помітних затримок сигналу.

Мережі VSAT подібної архітектури широко використовуються для побудови корпоративних мереж різних транспортних, виробничих і фінансових установ для організації інформаційного обміну між великим числом віддалених терміналів (що не мають істотного взаємного трафіка) і центральним офісом фірми. Аналогічно будуються мережі телефонного зв'язку для обслуговування віддалених абонентів. Вихід на



Рис.1.21 Центральна наземна станція



телефонну комутовану мережу загального користування здійснюється через центральну станцію, підключену до наземного центра комутації чи АТС.

Функції контролю і керування в мережі типу "зірка" зазвичай централізовані і зосереджені в центральній керуючій станції мережі (ЦЗС). Ресурси однієї ЦЗС можуть використовуватися декількома автономними підмережами VSAT (загальна ємність мереж до 10 тис. терміналів).

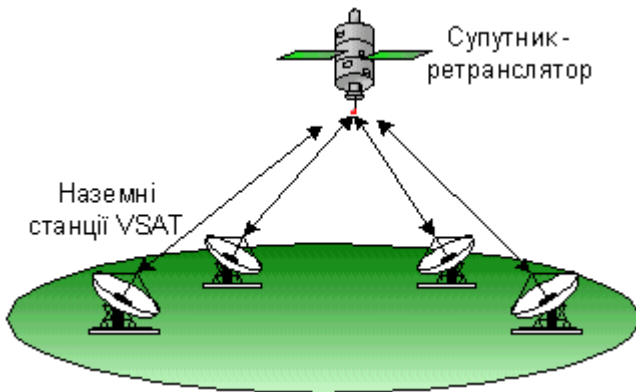


Рис.1.22 - Топологія "кожний з кожним"

**Мережі "кожний з кожним"** (рис. 1.22) або повнозв'язні мережі, забезпечують прямі з'єднання між будь-якими абонентськими станціями (так званий "односкачковий" режим зв'язку). Кількість необхідних дуплексних радіоканалів дорівнює  $N \times (N - 1)$ , де  $N$  - число абонентських станцій у мережі. При цьому кожна абонентська станція повинна мати  $(N - 1)$  каналів прийому-передачі. Така архітектура оптимальна для

телефонних мереж, створюваних у важкодоступних чи віддалених районах, а також для мереж передачі даних з відносно невеликим числом віддалених терміналів.

У зв'язку з тим, що для роботи між двома малими терміналами від VSAT вимагаються великі енергетичні ресурси в порівнянні з мережею "зірка", у мережах типу "кожний з кожним" на абонентських станціях доводиться використовувати більш потужні передавачі й антени більшого діаметру, що помітно відбивається на їхній ціні.

В таких мережах реалізується децентралізований варіант керування мережею - центральна керуюча станція відсутня, а елементи системи керування входять до складу кожної VSAT станції. Ця схема керування доцільна лише при створенні невеликих мереж (до 30 терміналів) з високим трафіком між абонентами.

Кожна з описаних топологій має свої переваги і недоліки. У реальних ситуаціях часто потрібне надання широкого спектру послуг, кожна з яких краще реалізується в різних топологіях. Тому багато мереж будуються по змішаних топологіях.

## 1.9 Системи фіксованого супутникового зв'язку

Фіксовані супутникові служби призначені для організації зв'язку з нерухомими наземними станціями і зазвичай будуються на базі супутників-ретрансляторів, що запускаються на геостаціонарну орбіту.

Послуги фіксованого супутникового зв'язку надають п'ять великих міжнародних організацій: Intelsat, Intersputnik, Eutelsat, Arabsat і AsiaSat і близько 50 регіональних і національних компаній. Серед них безперечним лідером є міжнародна система Intelsat. Серйозну конкуренцію складають також



міжнародні комерційні супутникові системи PanAmSat і Orion, що забезпечують безперервне покриття основних регіонів Земної кулі.

До систем фіксованого супутникового зв'язку відносяться:

- **Системи розподілу радіо- і телевізійних програм** (широковіщання) - займають до 80% ресурсів геостаціонарних супутникових систем. Як приклади таких систем можна назвати російські супутники "Галс", "Бонум-1" і закордонні Intelsat, Astra, DirectTV, що працюють з антенами діаметром 45-90 см.

- **Системи телефонного зв'язку** (віддаленого доступу до телефонних мереж). Як приклад, можна навести систему Intelsat, через 25 супутників якої передається приблизно 2/3 міжнародного телефонного трафіка.

- **Супутникові магістральні системи**, для організації каналів між великими вузлами (опорні мережі). Як приклади магістральних систем можна назвати російські супутники "Обрій" і "Експрес", що є малопотужними магістральними системами, для роботи з ними необхідні антени розміром 4,5-12 м. До систем середньої потужності можна також віднести супутники "Експрес-М", "Купон", "Ямал", що дозволяють використовувати для роботи з ними невеликі наземні станції з антенами діаметром 1,2-2,4 м.

- **Системи передачі даних**, корпоративні мережі передачі даних створюються переважно на основі геостаціонарних систем.

### **Системи широковіщання та доступ в Інтернет**

У регіонах з недостатньо розвинутою телекомунікаційною інфраструктурою реальною альтернативою наземним каналам є організація високошвидкісного доступу в Інтернет через супутник.

Існує два варіанти організації доступу в Інтернет за допомогою систем супутникового зв'язку:

- Симплексний (передача інформації через спутниковий канал лише в одному напрямку - до користувача).
- Дуплексний (передача інформації через спутниковий канал здійснюється в обох напрямках).

На сьогоднішній день найбільш розповсюдженим варіантом є симплексний канал чи Інтернет віщання (IP-broadcasting). Для організації таких каналів використовуються супутникові системи розподілу радіо- і телевізійних програм (DVB -технологія).

**DVB-технологія.** Системи на базі DVB (digital video broadcast) технології одержали широке поширення з початком ери цифрового телебачення і появою самого протоколу DVB. Перша система на базі цієї технології для інтернет-віщання - DirecPC - з'явилася у 1998 році і мала успіх у США і Західній Європі. Серед інших подібних систем можна назвати: Speedcast, Heliosnet, НТВ-Інтернет, IP-Advantage.

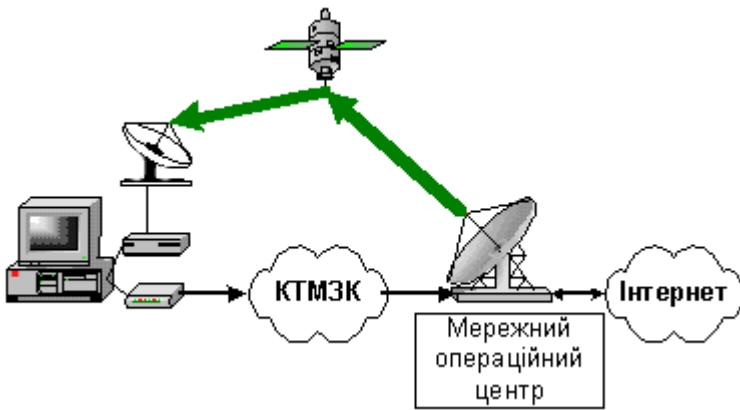


Рис. 1.23 - Схема зв'язку в DVB-системах

7-10 до клієнта), то така організація зв'язку є досить ефективною.

Основні клієнти такої послуги - SOHO (small office - home office, тобто маленькі компанії, та домашні користувачі).

Оскільки необхідно також платити за використовуваний супутниковий ресурс, а при невеликій абонентській базі використання цього ресурсу незначне і система не є окупною, такі проекти реалізуються шляхом інтеграції рішення по Інтернет доступу в мережу регіонального телерадіомовлення. У цьому випадку Інтернет-провайдер несе витрати тільки за займану ним під IP віщання смугу транспондера супутника-ретранслятора.

**Frame Relay.** Особливістю використання протоколу Frame Relay в супутникових мережах є те, що він має широкі можливості по розподілу фізичного каналу передачі на незалежні віртуальні канали, у кожному з яких передається свій потік інформації на відміну від протоколу DVB, що не має гнучких засобів керування і резервування пропускної здатності. Якщо ж канал не завантажений, то вільною смугою можуть користуватися всі, досягаючи швидкостей у кілька разів більших, ніж обговорена мінімальна.

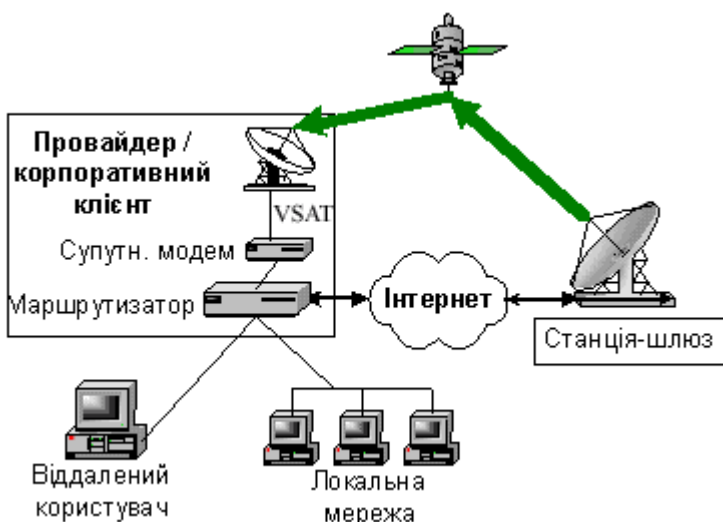


Рис.1.24 - Схема зв'язку в мережі Frame Relay

каналі варіюється з 32 кбіт/с до 8 Мбіт/с.

Серед рішень на основі Frame Relay можна назвати IP Multicasting.

Передача супутникового сигналу в цьому випадку ведеться тільки в одну сторону, до клієнта, а зворотний канал організований по "землі" (рис.1.23). Пропускна здатність супутникового каналу - до 45 Мбіт/с, наземного каналу - 9,6...33.6 кбіт/с.

Оскільки клієнтський трафік має високу асиметричність (1 від клієнта та

Крім цього, протокол Frame Relay може здійснювати транспорт не тільки IP, але й інших типів трафіка, наприклад, X.25, Ethernet Bridge, Voice over FR що розширює область застосування каналів broadcast на основі Frame Relay. Для реалізації такої функції в DVB - системі на прийомній стороні потрібно додатковий маршрутизатор і досить дорогий пристрій - демультіплексор DVB.

Швидкість у супутниковому каналі варіюється з 32 кбіт/с до 8 Мбіт/с.

Серед рішень на основі Frame Relay можна назвати IP Multicasting.

Дана технологія орієнтована на ISP (регіональних) і корпоративних клієнтів. Безумовно, використання такої супутникової мережі не забезпечить дуже низьких цін на Інтернет для тих, хто підключений до прийомних абонентських станцій. Однак вона надасть високошвидкісний доступ до Інтернет у тих місцях, де іншої альтернативи просто немає.

### 1.10 Технології дуплексного супутникового доступу в Інтернет

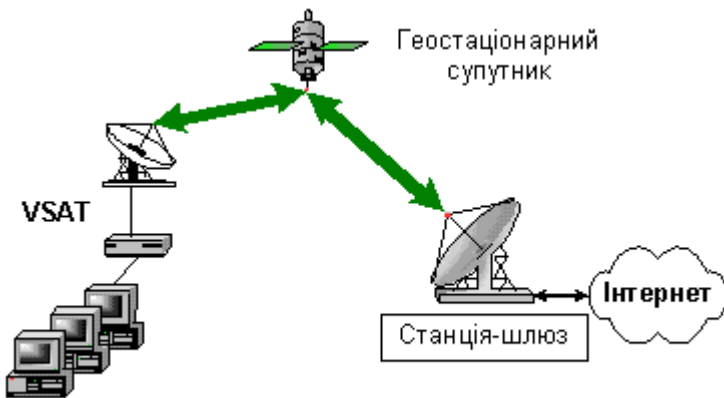


Рис.1.25 - Схема зв'язку за технологією SCPC

#### SCPC технологія.

Найбільше "старим" рішенням двостороннього супутникового Інтернет є дуплексні SCPC канали, включені за схемою "точка-точка" (рис.1.25).

Оскільки висока ціна з розрахунку на один абонентський вузол не дозволяє будувати на даній технології регіональні мережі. Дуплексні SCPC канали використовуються відносно великими

провайдерами при відсутності наземних каналів або як резервний канал.

**Технології для VSAT-мереж з топологією "зірка".** В даний час ринок пропонує деяку кількість мережних технологій з різними методами доступу (TDMA, DAMA, FTDMA) до космічного сегмента. Як правило, вони мають

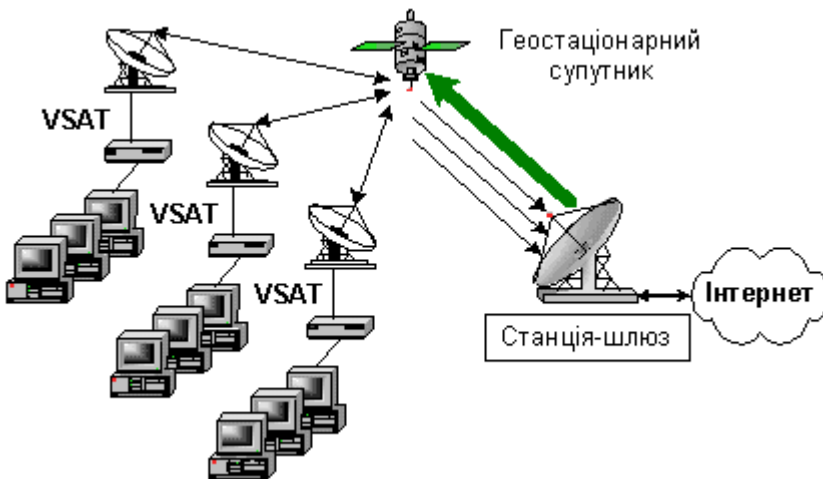


Рис. 1.26 - Схема зв'язку з Інтернет при використанні мережі VSAT

телефонії і передачі факсу.

топологію "зірка". У мережі існує центральна станція, що сполучає в собі функції шлюзу в зовнішні мережі і центру керування, а також невеликі абонентські термінали.

Віддалений абонентський термінал має наступні характеристики: - прийом до 8 Мбіт/с, зворотний канал до 128 Кбіт/с, можливість організації

## 1.11 Корпоративні мережі передачі даних з використанням супутникового зв'язку

При проектуванні корпоративної мережі вибір технічного рішення доцільно здійснювати в три етапи:

1. Вибір технології (TDM/TDMA, SCPC, MF-TDMA чи ін.).
2. Вибір супутника-ретранслятора.
3. Вибір конкретної системи серед наявних на ринку.

В даний час існують декілька основних технологій роботи мереж супутникового зв'язку. Усі вони мають свої переваги і недоліки, і не одна з них не є універсальною. Для підвищення ефективності роботи в багатьох сучасних системах успішно сполучаються кілька технологій одночасно. Основна відмінність між ними - спосіб використання ресурсу супутникового ретранслятора. Розглянемо ці технології.

**SCPC** (Single Channel Per Carrier)/ **MCPC** (Multi Channel Per Carrier) активно застосовують для побудови невеликих мереж з інтенсивним трафіком. Кожна наземна станція, що реалізує SCPC, має виділений постійний сегмент ємності супутникового ретранслятора і підтримує постійне з'єднання. Основною перевагою даної технології є те, що вона гарантує необхідну пропускну здатність каналу супутникового зв'язку, а основний недолік - відсутність у ній можливості динамічного перерозподілу ресурсу ретранслятора між вузлами мережі.

**DAMA** (Demand Assigned Multiple Access) надає ресурс супутникового ретранслятора за вимогою. У мережах з технологією DAMA канал зв'язку виділяється користувачу тільки на час проведення сеансу зв'язку, що значно заощаджує ресурси супутникового ретранслятора. У деяких реалізаціях технології DAMA передбачена можливість встановлення з'єднань з різною пропускну здатністю для різних сеансів зв'язку. Ресурс ретранслятора розподіляється центральною станцією мережі.

**MF-TDMA** (Multi Frequency-Time Division Multiple Access) - надає безлічі станцій динамічний доступ до загального каналу з часовим поділом. На відміну від технології DAMA доступ надається значно швидше. Однак наземні станції мережі TDMA коштують досить дорого, оскільки кожна з цих станцій - навіть із самим мінімальним трафіком, повинна передавати дані зі швидкістю, рівною загальній пропускну здатності розділеного за часом каналу. У мережах TDMA центральна керуюча станція, як правило, відсутня.

**FTDMA** (Frequency Time Division Multiple Access) - технологія для мереж з різними топологіями (повнозв'язна чи "зірка"), що вибирається в залежності від типу основного трафіка ( телефонія чи передача даних). У мережі FTDMA центральна наземна станція організовує зв'язок для віддалених станцій, надаючи їм вільні тимчасові слоти на декількох несучих.

**TDM/TDMA** (Time Division Multiplexing / Time Division Multiple Access) - комбінована технологія мереж з топологією типу "зірка". Центральна наземна станція зв'язується зі станціями користувачів за допомогою одного чи декількох закріплених каналів TDM (з часовим мультиплексуванням), а станції

користувачів здійснюють доступ до центральної наземної станції через канали TDMA. У мережі TDM/TDMA дані, передані між двома будь-якими станціями користувачів, двічі проходять через спутник-ретранслятор ("подвійний стрибок"). При цьому виникає істотна (1-2 с) затримка сигналу.

При виборі тієї чи іншої технології враховуються такі вхідні дані, як число терміналів у мережі, функціональність, пропускна здатність каналів зв'язку (таблиця).

Таблиця

Технологія	Максимальна швидкість передачі даних, кбіт/с	Число терміналів у мережі
SCPC/MCPC	2048	2 - 16
MF-TDMA	3800	10-200
TDM/TDMA	128	30-1500
FTDMA	128	15-3000

При виборі супутника слід враховувати такі параметри, як: ціна оренди космічного сегмента, енергетичні параметри транспондера і його зона покриття.

Вибір конкретної системи (технічного обладнання) досить складний, оскільки при всій схожості систем супутникового зв'язку різних виробників, що працюють по одній і тій же технології, вони далеко не ідентичні і мають багато особливостей, що здатні сильно вплинути на інвестиційні й експлуатаційні характеристики створюваної мережі. Як приклади таких систем можна назвати: SkyWAN, SkyPerformer, LinkWay 2000 та ін.

Узагальнена структура корпоративної мережі на основі супутникових каналів зв'язку зображена на рисунку 1.27.

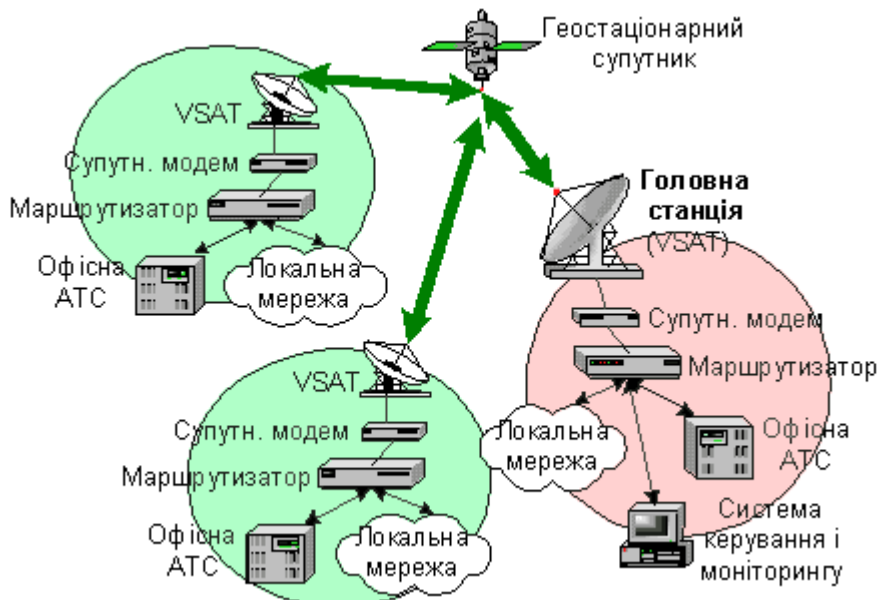


Рис. 1.27 - Структура корпоративної мережі з використанням супутникових каналів

Найчастіше в таких системах реалізується топологія "кожний з кожним" або "зірка". У віддалених офісах компанії встановлюються супутникові станції класу VSAT.

Для конфігурації і моніторингу мережі використовуються системи керування і моніторингу (NMS), що встановлюються зазвичай на центральній наземній станції. Основні функції - перерозподіл ресурсів між користувачами, керування віддаленими станціями, контроль поточного статусу компонентів мережі. Засобами NMS забезпечується збір і первинна обробка статистичних даних про мережу.

Системи керування і моніторингу будуються на основі SNMP агентів, встановлених на кожному віддаленому терміналі.

## 1.12 Вступ в техніку множинного доступу

Трактування систем зв'язку до сих пір була сфокусована на єдину лінію зв'язку, що включає передавач і приймач. В цьому розділі увага приділяється багатьом користувачам і багатьом лініям зв'язку. Ми досліджуємо різні шляхи, за допомогою яких багато користувачів отримують доступ до загального каналу для передачі інформації. Методи множинного доступу, які описуються в цьому розділі, утворюють основу для сучасних і майбутніх провідних і бездротових мереж зв'язку, таких як мережі космічного зв'язку, мережі стільникового та мобільного зв'язку та мереж підводного акустичного зв'язку.

Варто розрізняти кілька типів систем зв'язку з багатьма користувачами. Один тип - це система множинного доступу, в якій велике число користувачів займає загальний канал зв'язку для передачі інформації до приймача. Така система зображена на рисунку 1.28.

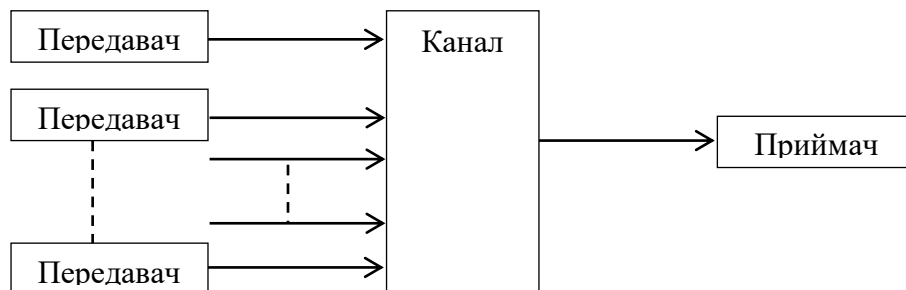


Рисунок 1.28 - Система з множинним доступом

Загальний канал може бути середовищем в космічній системі зв'язку, або кабелем, до якого приєднаний ряд терміналів, які мають доступ до центрального комп'ютера, або деяка смуга частот в радіоспектрі, яка використовується багатьма користувачами для зв'язку з радіоприймачем. Для прикладу, в мобільній стільниковій системі зв'язку користувачами є мобільні передавачі в деякій приватній соті системи, а приймач знаходиться на базовій станції приватної соти.

Другий тип системи зв'язку з багатьма користувачами є мережа мовлення, в якій окремий передавач передає інформацію багатьом приймачам, як показано на рис. 1.29. Різні види мовних систем включають загальний радіоканал і системи телевізійного мовлення, як і в космічних системах.

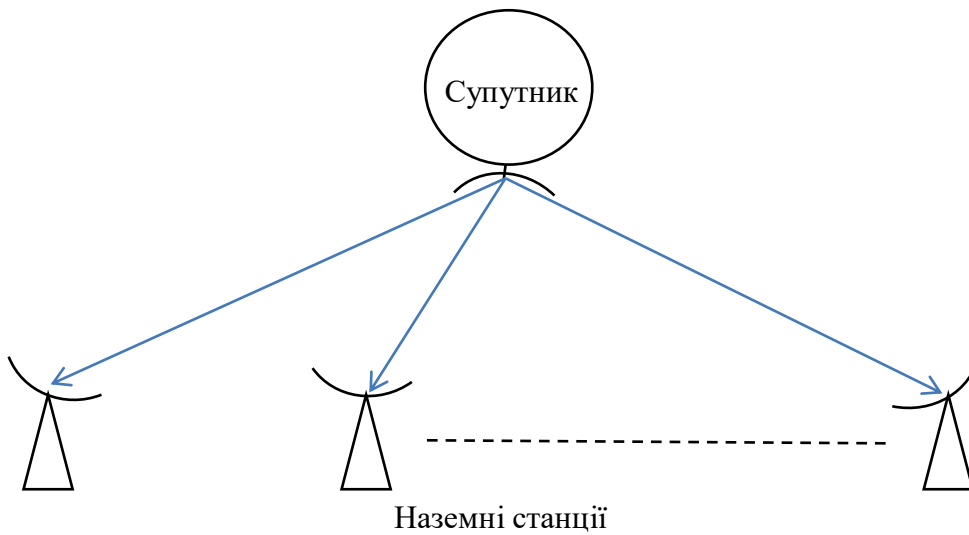


Рисунок 1.29 - Мережа мовлення

Множинний доступ і мережі мовлення утворюють, ймовірно, найбільш загальну систему зв'язку з багатьма користувачами.

Третій тип системи з багатьма користувачами - це мережі накопичення-передачі, як показано на рис. 1.30.

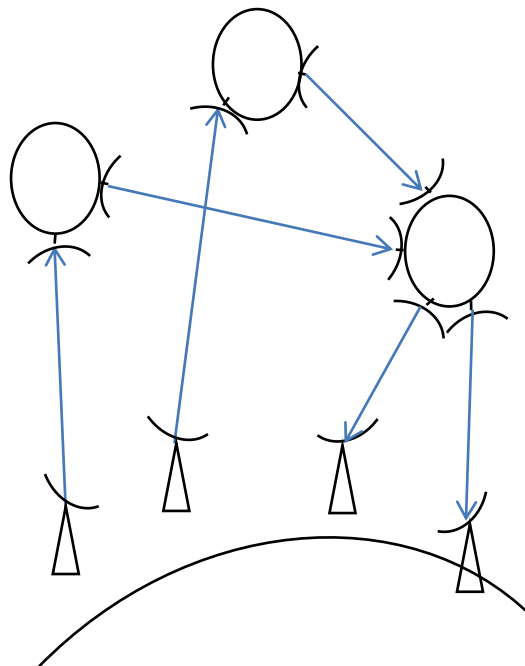


Рисунок 1.30 - Мережа збору і передачі інформації зі супутниковими ретрансляторами

Четвертим типом є двосторонні (дуплексні) системи зв'язку, показані на рис. 1.31.

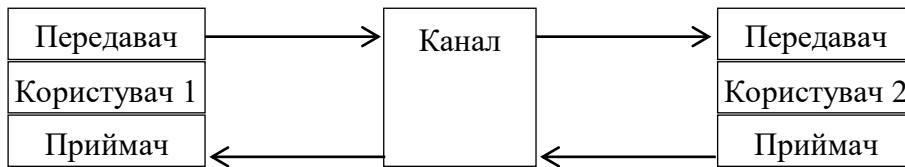


Рисунок 1.31 - Двохсторонній канал зв'язку

У цьому розділі сконцентровано увагу на методі множинного доступу для зв'язку з багатьма користувачами. Загалом, є кілька різних шляхів, за допомогою яких багато користувачів можуть надсилати інформацію через канал зв'язку на приймач. Один простий метод зводиться до поділу доступної смуги частот каналу на певне число  $N$  неперекриваючих частотних підканалів, як показано на рис.1.32, і призначенням підканала кожному користувачеві на його вимогу. Цей метод в загальному називається **множинний доступ з частотним поділом [МДЧР-FDMA – Frequency Division Multiple Access]**, і він зазвичай використовується в непереводових каналах, щоб розмістити багатьох користувачів передачі мови і даних.

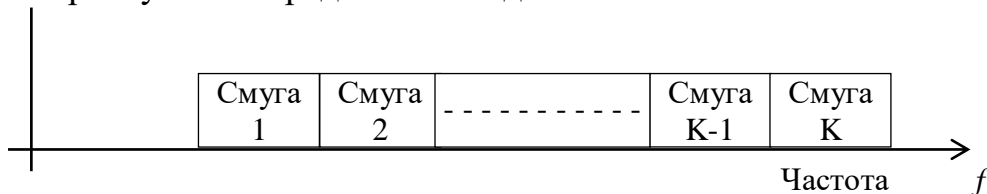


Рисунок 1.32 - Розбиття каналу на неперервні частотні смуги

Інший метод для створення багатьох підканалів для множинного доступу зводиться до поділу тривалості  $T_f$ , званої рамковою (каркасною) тривалістю, на, скажімо,  $N$  неперекриваючих інтервалів, кожен тривалістю  $T_f / N$ . Кожному користувачеві, який бажає передати інформацію, виділяється приватний часовий інтервал всередині кожного каркаса. Цей метод множинного доступу названий **множинним доступом з часовим поділом [МДВР-TDMA – Time Division Multiple Access]** і він часто використовується при передачі даних і мови.

Зрозуміло, що в FDMA і TDMA канали принципово підрозділяються на незалежні підканали, що виділяються окремим користувачам. У цьому сенсі методи синтезу систем зв'язку, які описано для єдиного користувача системи, безпосередньо застосовані і не виникають нові проблеми в обстановці множинного доступу, виключаючи додаткової задачі закріплення користувачів до можливих каналів.

Цікава проблема виникає, коли дані користувачів, надходячі в мережу, утворюють за своєю природою спалахи. Іншими словами, інформація, передана від одного користувача, відділяється періодами, коли передачі інформації від цього користувача немає, причому періоди мовчання можуть бути довше періоду передачі. Так зазвичай йдуть справи з користувачами різних терміналів комп'ютерної мережі зв'язку, яка містить центральний комп'ютер. Певною мірою це також має місце в мобільних стільникових системах зв'язку, які



передають оцифрований голос, оскільки для сигналів мови характерна наявність довгих пауз.

В обстановці, коли передача від різних користувачів утворює спалахи, низькошвидкісний цикл FDMA і TDMA може бути неефективним, оскільки певний відсоток наданих частотних і часових інтервалів не переносять інформацію. В остаточному підсумку, неефективний синтез систем множинного доступу обмежує число одночасних користувачів для каналу.

Альтернативою FDMA і TDMA полягає в тому, щоб дозволити більше ніж одному користувачеві володіти спільно каналом або підканалами шляхом використання прямих послідовностей широкосмугових сигналів. У цьому методі кожному користувачеві привласнюється унікальна кодова послідовність або адресна послідовність (послідовність підпису), яка дозволяє користувачеві розсіяти інформаційний сигнал по виділеній смузі частот. Сигнали різних користувачів поділяються на прийомі за допомогою взаємної кореляції прийнятого сигналу з адресною послідовністю кожного з користувачів. Синтезуючи ці кодові послідовності з відносно малими взаємними кореляціями, можна мінімізувати перехідну перешкоду, що виникає при демодуляції сигналів, які приймаються від безлічі передавачів. Цей метод множинного доступу названий **множинним доступом з кодовим поділом [МДКР-CDMA – Code Division Multiple Access]**.

У CDMA користувачі надходять в канал випадковим чином. Отже, сигнали, що передаються від багатьох користувачів, повністю перекриваються в часі і частоті. Демодуляція і поділ цих сигналів на прийомі полегшується тим фактом, що кожен сигнал розпорошений по частоті за допомогою псевдовипадкової кодової послідовності. CDMA називають множинним доступом з розсіяним спектром [МДРС-SSMA].

Альтернатива CDMA - випадковий доступ без розсіювання сигналу по спектру. У цьому випадку, коли два користувача намагаються використовувати загальний канал одночасно, їх передачі стикаються і інтерферують один з одним. Якщо це трапляється, інформація втрачається і повинна бути знову передана. Щоб обговорити виникаючу ситуацію, слід встановлювати протоколи для повторних передач (ретрансляції) повідомлень, які стикаються.

**FDMA (Frequency Division Multiple Access) - множинний доступ з частотним поділом.** Це один з найпоширеніших методів множинного доступу, що застосовуються не тільки в стільниковому зв'язку, але і в інших системах радіозв'язку. Сам термін "множинний доступ" передбачає поділ загального ресурсу лінії зв'язку між інформаційними джерелами. Принцип FDMA полягає в тому, що весь частотний спектр поділяється між користувачами на рівні або нерівні частотні смуги (рис. 1.33). Причому канали можуть бути як симетричними в обох напрямках, так і асиметричними. Джерела інформації можуть використовувати виділений їм частотний ресурс необмежено за часом, але при цьому не повинні створювати перешкоди сусіднім каналам. Щоб уникнути перехідних перешкод вводять спеціальний захисний частотний інтервал між сусідніми каналами. Це так звана смуга

розфільтровки. Вона не використовується для передачі інформації і тому знижує загальну пропускну спроможність наявного каналу зв'язку.

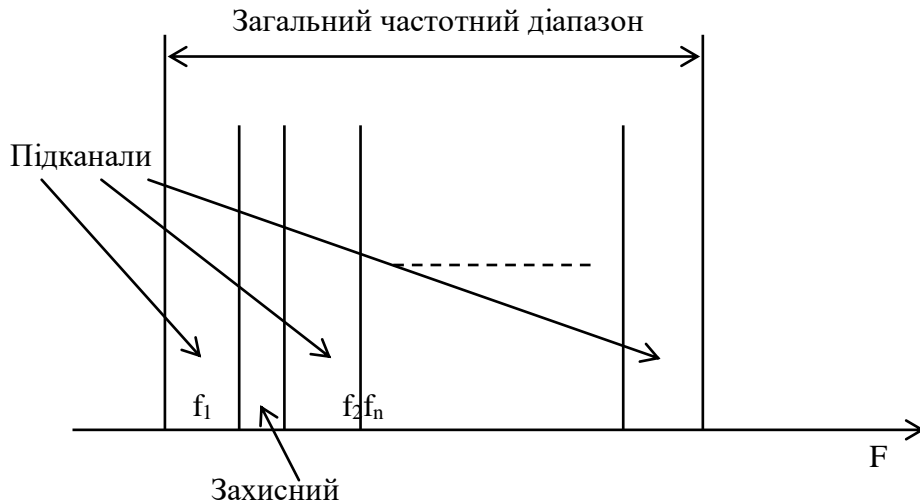


Рисунок 1.33 - Розподіл частотного спектру за принципом FDMA

Метод FDMA використовується як в аналогових системах зв'язку, так і в цифрових зазвичай на ряду разом з іншими методами множинного доступу TDMA (Time Division Multiple Access) і CDMA. У стільниковому зв'язку FDMA застосовується у всіх стандартах: NMT (Nordic Mobile Telephone), GSM (Global System for Mobile Communications), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), LTE (Long Term Evolution), Mobile WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Таке широке поширення FDMA в першу чергу обумовлено тим, що всі системи стільникового зв'язку використовують радіо з'єднання на ділянці між мобільною станцією і базовою, а частота - це найважливіший і цінний ресурс такого з'єднання. Справа в тому, що на відміну від проводових з'єднань, доступ до яких мають лише абоненти даної мережі, в радіо з'єднаннях доступ до ефіру мають одночасно кілька абонентів / операторів / систем стільникового зв'язку та вони не можуть працювати на одній частоті в одній точці простору. У зв'язку з цим виникає потреба в поділі всього наявного ресурсу на частотні смуги.

FDMA часто застосовується в сукупності з іншими методами поділу каналів. У GSM частотний метод поділу застосовується разом з TDMA. Весь частотний діапазон поділяється на послідовно пронумеровані частотні симетричні в обох напрямках смуги, кожен шириною 200 кГц. У свою чергу кожен частотний канал розділяється на 8 таймслотів, в яких вже і передається інформація абонентів і системи. Між частотними каналами використовується смуга розфільтровки для того, щоб уникнути перехідних перешкод. У стандарті UMTS також використовується FDMA разом з CDMA. Однак в цьому випадку використовують набагато ширші частотні канали і менші смуги розфільтровки за рахунок меншого рівня випромінюваної потужності.

**TDMA (Time Division Multiple Access) – множинний доступ з часовим поділом.** Це один з трьох основних методів множинного доступу, тобто способів поділу загального ресурсу каналу зв'язку між учасниками інформаційного обміну. TDMA широко застосовується в стандартах другого

покоління стільникового зв'язку таких як, наприклад, GSM (Global System for Mobile Communications).

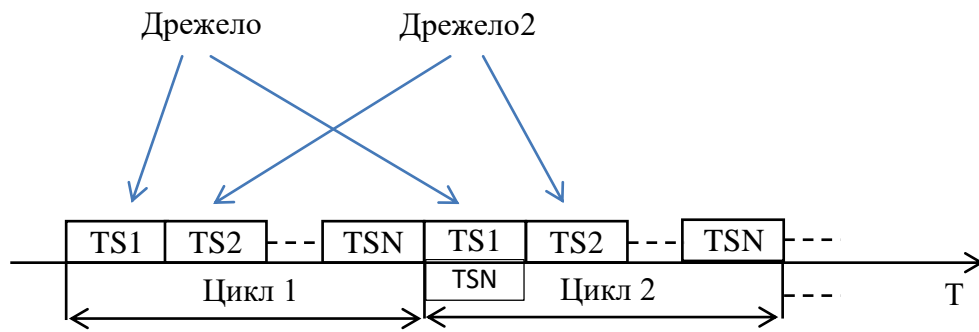


Рисунок 1.34 - Структура циклу TDMA

Основний принцип TDMA полягає в тому, що наявний ресурс поділяється між учасниками інформаційного обміну на циклічно повторюючі проміжки часу. Проміжки часу отримали назву "таймслот" (timeslot, TS) (рис. 1.34). При цьому абонент може використовувати всю ширину пропускання каналу, але тільки в певні часові відрізки. У такій ситуації головне, щоб сигнали сусідніх таймслотів не накладалися один на одного. Це може бути викликано як занадто високою потужністю передачі, так і перешкодами в каналі, недосконалістю використовуваного обладнання. Щоб уникнути подібних міжслотових перешкод часто вводять спеціальний захисний часовий інтервал (рис. 1.35). Таким чином, якщо частина енергії одного передавача просочиться за межі відведеного йому таймслота, то вона буде впливати лише на захисний інтервал, що не несе інформацію. Введення такого інтервалу знижує загальну пропускну здатність каналу зв'язку, але необхідне для підтримки заданих характеристик якості обслуговування.



Рисунок 1.35 Захисні інтервали в циклі TDMA

Метод TDMA знайшов широке застосування після появи цифрових систем передачі, зокрема PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy - плезиохронна цифрова ієрархія) і SDH (Synchronous Digital Hierarchy - синхронна цифрова ієрархія). TDMA більше підходить для передачі цифрового потоку, ніж FDMA (Frequency Division Multiple Access), тому що для його передачі якраз характерні особливості TDMA: широкосмуговість і невеликий час передачі.

У стандарті GSM одночасно використовуються TDMA і FDMA. Весь частотний діапазон поділяється на частотні канали по 200 кГц кожен, які в свою чергу складаються з 8 таймслотів. Також TDMA на ряду з іншими методами множинного доступу використовується в стандартах UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) і LTE (Long Term Evolution).

**CDMA (Code Division Multiple Access) - метод множинного доступу з кодовим розділенням.** Цей метод відрізняється від двох інших найбільш поширених методів поділу каналів FDMA (Frequency Division Multiple Access) і TDMA (Time Division Multiple Access) тим, що коди на відміну від часу і частоти не є явним ресурсом каналу зв'язку. Незважаючи на складність реалізації даний метод використовується в радіозв'язку вже досить давно, тому що володіє дуже привабливими перевагами, яких не мають інші методи множинного доступу.



Рисунок 1.36 - Принцип організації CDMA

Принцип CDMA полягає в тому, що кожному джерелу інформації призначається індивідуальний код, за допомогою якого він кодує передане повідомлення. Приймач інформації також знає цей код і його завдання в тому, щоб виділити закодоване повідомлення потрібного відправника з усього потоку інших повідомлень. В цьому і полягає вся складність, тому що коди повинні бути якомога менше схожі один на одного, навіть при тимчасовому зсуві повідомлень. На математичній мові властивість "схожості" називається кореляцією. Таким чином, закодовані повідомлення повинні володіти якомога меншою кореляцією. Цією властивістю володіють ортогональні коди, взаємний скалярний добуток яких дорівнює 0. На практиці вдається отримати неповністю ортогональні коди, а майже ортогональні. Це означає, що ортогональний добуток прагне до 0, але не досягає його, чого цілком достатньо для стійкої роботи системи, але, в свою чергу, накладає певні обмеження. В теорії, якби можна було згенерувати нескінченне число повністю ортогональних кодів, то в одному каналі зв'язку зможуть одночасно працювати нескінченне число абонентів. Через неповну ортогональність кодів сигнали різних джерел можуть створювати перешкоди один одному. Причому чим вище потужності сигналів, тим відчутніше може виявитися вплив. Тому, число одночасно працюючих абонентів і максимально можлива передана потужність в системі з CDMA, обмежені.

Метод CDMA використовується в основному в системах радіодоступу, тому що в провідних системах його недоцільно використовувати через високу

складність і вартість приймально-передавальних пристроїв. У стільниковому зв'язку принцип CDMA знайшов застосування в стандартах 2G і 3G.

#### *Типи багатостанційного доступу у мережах VSAT*

Багатостанційний доступ у мережах VSAT як правило організовується на основі методу частотного розподілу (БДЧР) у режимі закріплених каналів між станціями з інтенсивним трафіком або в режимі БДЧР із наданням каналів за вимогою (БДЧР-НКВ) для інтерактивного трафіка. В інтерактивному режимі передачі інформації станції мережі VSAT здійснюють доступ до виділеного в каналі ретранслятора несучої на основі методу часового розподілу (БДЧсР), у тому числі за протоколом БДЧсР із випадковим доступом типу ALOHA або більш ефективним різновидом цього протоколу: «тактована» ALOHA (S-ALOHA) і ALOHA з резервуванням (R-ALOHA).

Як показано на рисинку 1.37 у мережах типу «зірка» розрізняють вихідні (ЦЗС- VSAT) і вхідні (VSAT-ЦЗС) супутникові канали, що утворяться на основі БДЧР у виділеній для даної мережі VSAT смузі частот каналу супутникового ретранслятора.

У мережах VSAT з великим числом периферійних терміналів кожному вихідному каналу ЦЗС як правило відповідає декілька (1,2,...,n) вхідних каналів ( $n < 32$ ), що використовуються різними групами терміналів VSAT.



Рисунок 1. 37 - Багатостанційний доступ у мережах VSAT типу «зірка»

Структура вхідних і вихідних каналів у кожному конкретному випадку визначається на основі вимог до мережі зв'язку, складу мережі, видам і швидкості передачі інформації. В одній мережі може бути організоване декілька вихідних і відповідних їм вхідних каналів.

Вихідний канал ЦЗС -VSAT організується зазвичай як канал на окремій несучій з часовим розподілом (ЧсР) і пакетуванням переданої інформації. Швидкість передачі інформації у вихідному каналі визначається загальним обсягом радіального трафіка від ЦЗС мережі до групи периферійних терміналів VSAT, що обслуговуються. Типові швидкості передачі інформації у вихідних каналах діючих мереж VSAT 256... 2048 Кбіт/с, метод модуляції – дворазова фазова маніпуляція (ДФМ/QPSK).

ЦЗС передає інформацію у вихідному каналі у вигляді безперервного сигналу з регулярною кадровою структурою, що складається з часової

послідовності інформаційних пакетів, що повторюють класичну структуру пакетів систем із БДЧсР: 1) мітка початку пакета (преамбула), 2) заголовок пакета, 3) блок даних (корисна інформація), 4) перевірна послідовність (виправлення помилок), 5) мітка закінчення пакета (постамбула). Границі кадру позначаються унікальним словом (UW) і блоком службової інформації, що використовуються для мережної кадрової синхронізації пакетів, переданих терміналами VSAT у вхідних каналах VSAT-ЦЗС, і для управління терміналами VSAT по протоколах S, R-ALOHA.

Сукупність переданих у вихідному каналі ЦЗС пакетів призначена (адресується) групі периферійних терміналів VSAT. Кожен термінал VSAT за кодом адресного поля в заголовку пакетів приймає тільки адресовані цьому терміналові пакети з переданої послідовності. Інші пакети пропускаються (ігноруються).

У кожному з відповідних вхідних каналів VSAT-ЦЗС переданих на окремих несучих (див. рис. 1.38), забезпечується часовий доступ групи терміналів VSAT з передачею інформації пакетами з наступною структурою: 1) преамбула, 2) заголовок, 3) інформаційний блок, 4) перевірна послідовність, 5) постамбула.

Пакети різних станцій VSAT розташовуються на часових інтервалах у межах загального часового кадру. Для доступу найбільше часто використовуються різновиди одного з протоколів БДЧсР із випадковим доступом типу S-ALOHA, R-ALOHA або більш ефективних протоколів, адаптивних до значення завантаження каналу (наприклад, типу БДЧсР-НКВ). Типові швидкості передачі пакетованої інформації у вхідних каналах становлять 64/128 Кбіт/с, модуляція ФМ-2/ФМ-4 (BPSK/QPSK).

Іноді в мережах для передачі телефонії вхідні канали VSAT-ЦЗС організуються як звичайні канали з частотним поділом типу «один канал на несучу» (БДЧР-ОКН) і економічними швидкостями передачі 16/24/32 Кбіт/с, що надаються за вимогою абонентам телефонної мережі на весь час з'єднання.

У ряді випадків застосовується багатостанційний доступ з одовим поділом сигналів (БДКП), що дозволяє найбільше ефективно вирішувати проблему електромагнітної сумісності (ЕМС) мереж VSAT з наземними й іншими супутниковими мережами, але що поступається БДЧсР і МДЧР за ефективністю використання пропускної здатності супутникового ретранслятора.

В даний час застосовуються як мережі VSAT для передачі окремих видів інформації (телефонні мережі, мережі передачі даних), так і інтегровані мережі «ділового» супутникового зв'язку, що надають користувачам комплекс послуг по передачі з кожного термінала VSAT різних видів інформації в цифровій формі (даних, мовних повідомлень, сигналів факсу і телекса). У цьому випадку для передачі кожного виду інформації можуть бути використані найбільш ефективні з перерахованих вище методів доступу термінала VSAT до супутникового сегмента, що забезпечують оптимальні затримки передачі інформації між абонентами мережі для інтерактивних режимів роботи, передачі великих файлів даних або комбінованих варіантів трафіка.

### 1.13 Особливості супутникового телебачення та Інтернету

Деякі люди не уявляють, що це - супутниковий Інтернет і супутникове телебачення. Багато телелюбителів припускають, що обладнання для перегляду супутникового телебачення потрібно направляти на міський телецентр, і чим більше дзеркало супутникової тарілки, тим більше каналів.

Безумовно, всі знають, як працює звичайний телевізор. У місті стоїть телецентр, де знаходиться велика антена. Майже в кожній квартирі городянина є телевізор, у який підключена антена. Це може бути маленька кімнатна, зовнішня або колективна (залежно від місця прийому). Телевежа посиляє сигнал - ваша антена його приймає і передає по дроту в телевізор, який цей сигнал розшифровує і показує.

Супутникові засоби зв'язку працюють за схожим принципом. Спочатку в космос запускають супутники, які виводяться на геостаціонарну орбіту.



Супутники на геостаціонарній орбіті



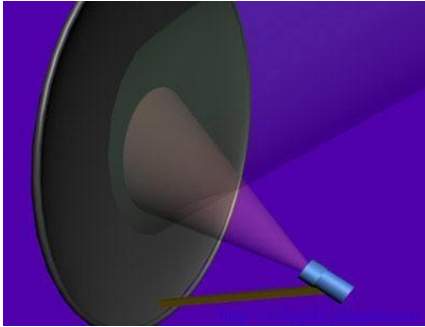
Передавальна антена

Основний момент полягає в тому, що відносно спостерігача на землі, супутник завжди нерухомий і знаходиться в одній точці. Потім на супутники за допомогою потужних антен передають сигнал (телепередачі, Інтернет). Супутник цей сигнал приймає і за допомогою своїх передавачів (транспондерів) посиляє на землю. Місце на землі, куди потрапляє сигнал від супутника, називають зоною покриття. Відповідно, є місця, де сигнал сильний, а є – де слабкий. Посилка сигналу на землю нагадує роботу ліхтарика в темноті, де в центрі променя яскраво, а по краях вже значно темніше. Передавачі можуть бути направлені на яку-небудь певну частину суші, тому, як і в звичайному житті, їх спрямованість називають променями (європейський промінь, російський промінь, азійський промінь). Прийом супутникового сигналу дуже схожий з прийомом звичайних телепередач. Лише сигнал з супутника дуже слабкий і зловити його так просто не можна. Для цього були придумані супутникові антени, які ще називають супутниковими тарілками (оскільки формою вони нагадують звичайну тарілку). Сенс полягає в наступному: сигнал, потрапляючи на тарілку, відбивається і завдяки формі антени сходиться в одній точці. Саме у цій точці і є найсильніший сигнал, точка називається фокусом. Для того, щоб приймати цей сигнал, необхідно встановити у фокусі спеціальний пристрій – конвертер, який не лише прийматиме сигнал, але і додатково опромінюватиме



антену, з метою отримання усього корисного сигналу. На рисунку нижче видно як сигнал приходить з супутника (зверху), і потім конвертер його ловить.

До конвертера підключається спеціальний кабель, який йде до супутникового ресивера. Телевізійний ресивер, який встановлений у вас в телевізорі, не може приймати супутниковий діапазон, тому використовується додатковий супутниковий ресивер. Ресивер перетворює сигнал в звичайний телевізійний формат і передає його до вас в телевізор у вигляді зображення. Підключається він як звичайний відеомагнітофон або dvd-плеєр. Також, існують ресивери для комп'ютерів, які перетворюють сигнал в комп'ютерний формат.



Резюме: супутниковий сигнал посилається з супутника і приймається супутниковою антенною, на якій встановлений конвертер. Конвертер передає сигнал по кабелю в супутниковий ресивер, а той, у свою чергу, на телевізор. Супутниковий Інтернет працює приблизно так само, лише сигнал передається в комп'ютер, а зворотний канал забезпечується за рахунок наземних видів зв'язку (GPRS, Dial up, ADSL).

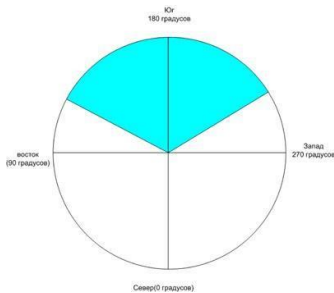
Залишилося ще невелике уточнення: як і в звичайному телевізорі (MB, ДМВ) супутниковий сигнал може передаватися в C або Ku діапазоні (це основні діапазони) і може мати кругову або лінійну поляризацію. Не заглиблюючись в наукові ази, відзначимо, що для прийому того або іншого сигналу потрібний призначений для цього діапазону конвертер. Такі конвертери так і називаються – конвертер C діапазону, універсальний конвертер Ku діапазону.

### ***Визначення розташування супутників***

Як було сказано в попередній главі, супутники виводяться на геостаціонарну орбіту і знаходяться відносно вас на землі завжди в одній точці. Погодьтеся, що було б не дуже зручно, якби супутник, який нам треба знайти, знаходився в постійному русі, тоді б довелось кожного разу щоразу підстроювати антену. На картинці, де показаний супутниковий сигнал, видно, що фокус дуже маленький і зрушення навіть на 10 мм від точного налаштування не дасть можливості конвертеру прийняти сигнал: він просто піде мимо нього.

Тому супутники завжди знаходяться в одному і тому ж місці, якщо дивитися із землі. Природно, що супутники із землі не побачити (вони знаходяться дуже далеко), але знати, де вони розташовані – потрібно, інакше вам не налаштувати антену. Тому, перш за все, треба навчитися шукати супутники всліпу. Виявляється, це дуже просто! Для цього необхідно зорієнтуватися на місцевості.

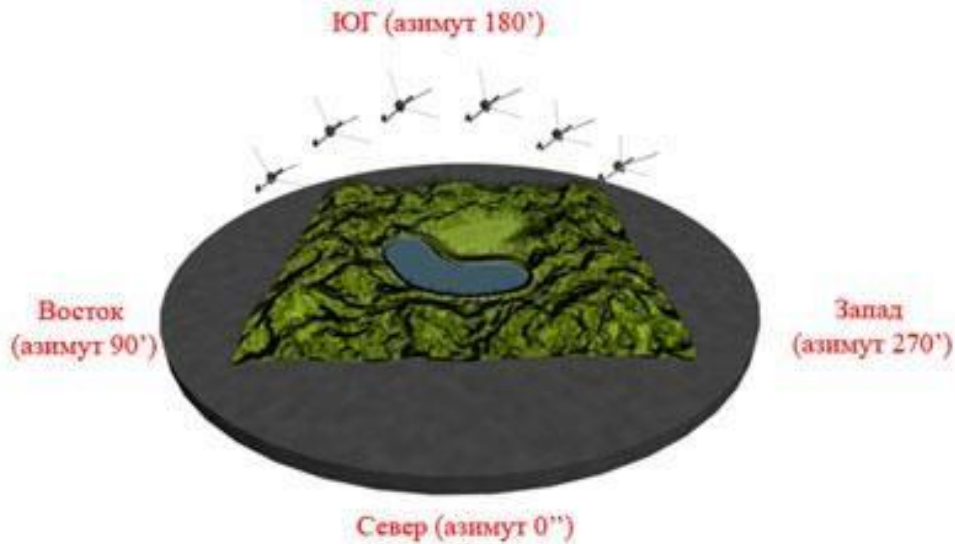
Познайомимося з азимутом. Що таке азимут? Це точка на колі. Для простоти назвемо її точкою на горизонті. Тобто, якщо ви зараз представите де у вас північ, то без зусиль зможете визначити південь, схід або захід. Відповідно, використовуючи картинку нижче, легко обчислити кут півночі, сходу, півдня і





заходу. Тобто, якщо ви дивитесь у вікно і у вас там сходить сонце, то це - схід або ~ азимут 90 градусів.

Кожен супутник розташовується точно під певним градусом і знаходиться там постійно. На рисунку показаний синій сектор, який показує видиму частину супутників. Для кращого розуміння матеріалу, ми виконаємо той же самий рисунок в тривимірному вигляді, а для наочності розташуємо супутники і частину суші разом з нашим колом.



На даному рисунку наочно показано, що із землі в даній точці буде видно лише частина дуги, на якій розташовуються супутники.

Змоделюємо, як це бачитиме спостерігач, що знаходиться на цій місцевості:

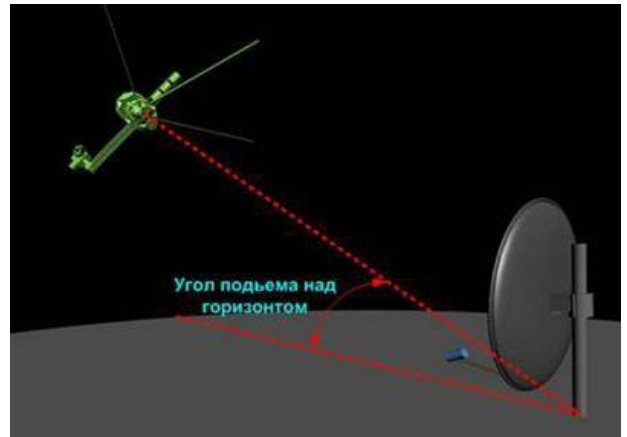


Зверніть увагу, що супутники розташовуються не на лінії горизонту, а на дузі над горизонтом, яка починається на сході і закінчується на заході, залежно від місця прийому.

Тепер відійдемо від комп'ютерного моделювання і поглянемо, як це виглядатиме насправді.

Виглянемо у вікно. Дивний вигляд, але жодних супутників не видно. Але ви вже знаєте, що вони є. Представимо, ніби то ми здатні бачити далеко-далеко.

Ось, де насправді знаходяться супутники. Тепер ви уявляєте, що для точного наведення на супутник, необхідно знати його координати в піднебінні - азимут і кут підйому (кут місця) над горизонтом.



Коротке резюме: нам необхідно знати азимут і кут, під яким видно супутник. Як же це зробити? Все дуже просто - завантажуюмо прекрасну програму: <http://www.al-soft.com/saa/satinfo.shtml>, вводимо координати міста.

### 1.14 Супутникове обладнання

У цій главі ми розповімо про супутникове устаткування. Погодьтеся, що не можна йти в магазин, не маючи уявлення про те, що купувати. Ми постараємося детально розповісти про ключові моменти у виборі устаткування, але дозволимо опустити професійну частину, оскільки даний документ призначений все-таки для початкуючих користувачів.

У попередньому матеріалі ви вивчили, що сигнал приймається за допомогою супутникової антени, конвертера, кабелю і ресивера.

Розглянемо кожен пристрій детальніше.

*Супутникова антена (тарілка).*

Супутникові антени бувають в основному двох видів: прямофокусні і офсетні.

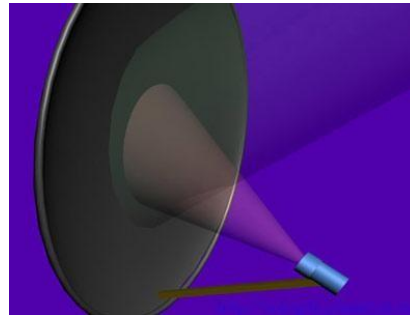
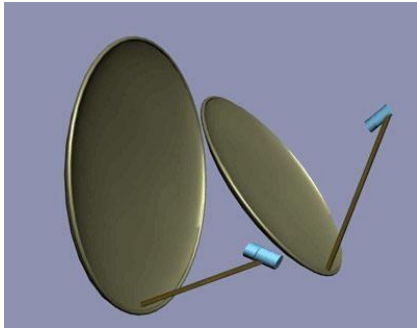


Офсетна антена



Прямофокусна антена

Лише по назві можна зрозуміти принцип роботи кожної з антен. У прямофокусної антени конвертер розташований в центрі, і фокус знаходиться в центрі антени на певній відстані від дзеркала. В офсетній антені сигнал йде під кутом і, відбившись під тим же кутом, потрапляє на конвертер (фокус зміщений відносно центру). Для наочності, направимо дві антени на один і той же супутник і поглянемо їх розташування:



Ближня - це офсетна тарілка, а далека - прямофокусна. Видно, що прямофокусну антену необхідно встановлювати під кутом, який дорівнює куту підйому супутника над горизонтом. З офсетною антеною все по-іншому. Пригадаємо її принцип дії: сигнал падає під кутом і відбивається під тим же кутом. Відповідно, згадуючи принцип дії звичайного дзеркала, сонячного променя і основ геометрії, стає зрозуміло, що антену необхідно виставляти під деяким кутом так, щоб сигнал з супутника падав і попадав в конвертер.

Сигнал падає на антену під кутом, який дорівнює куту підйому супутника над горизонтом. Відбившись, він йде в конвертер. Розташуємо антену строго вертикально. Жирною лінією показана площина антени.



Коли антену розташована вертикально - це означає, що площина розташована під кутом 90 градусів до горизонту. антена падає сигнал і відбивається під кутом 90 градусів. Між горизонтом і кутом падіння сигналу, коли офсетна антена строго перпендикулярна землі, утворюється кут. Його назвали кутом зсуву антени. Цей кут в антен різних діаметрів різний і є одним з характеристик антени.

Відповідно, якщо встановити антену вертикально, то автоматично вона буде направлена на точку в піднебінні під кутом, який дорівнює куту зсуву.

Наступний важливий параметр – діаметр антени. Тут все просто, чим більше - тим сильніше сигнал вона може сфокусувати. У характеристиках антени вказують діаметр і чутливість. Чутливість дуже сильно залежить від розміру і менш залежна від форми і якості. Проте інколи бувають і виключення, так деякі імпортовані антени 0.9 м-кодів приймають сигнал краще, ніж наші 1.2.

Залишилося познайомитися з останнім важливим параметром – способом кріплення. Спершу проведемо невеликий дослід. Візьмемо в руки олівець і увіткнемо в нього шпильку. Розташуємо олівець строго вертикально і зробимо розворот на 90 градусів. Ви побачите, що голівка шпильки завжди знаходитиметься на однаковій відстані над землею. Тепер розташуйте олівець

під кутом і виконайте той же поворот. Голівка шпильки описала дугу. Саме на цьому принципі засновано два типи кріплення – азимутне, коли антена кріпиться на вертикальній опорі і обертається лише паралельно землі і полярне, коли до вертикального кріплення вішається ще одне - під кутом. Тоді антена, обертаючись, описує дугу. Можна набудувати антену так, щоб дуга збігалася з дугою супутників. Відповідно, набудувавши один раз таку антену, можна налаштуватися на інший супутник простим поворотом на потрібний градус. В разі азимутних антен, після повороту, антені треба буде виставляти кут підйому. Відразу хочеться відмітити, що ціна на полярні антени значно вище і, якщо ви не ентузіаст, то, швидше за все, вам це не знадобиться. Коротке резюме: при виборі антени особливу увагу необхідно звертати на розмір, чутливість, спосіб кріплення і відношення FD.

### *Конвертер.*

Ви вже знаєте, що сигнал з антени приймає конвертер. Назвали його так тому, що він конвертує сигнал в нижчий діапазон частот.



Конвертер встановлений на антену



Такий же конвертер, тільки поблизу

Різноманітність конвертерів дуже велика, ми виділимо три основні типи, які найчастіше використовуються в побуті:

1. Конвертер С діапазону.
2. Конвертер Ku діапазону з круговою поляризацією.
3. Універсальний конвертер Ku діапазону (вертикальна і горизонтальна поляризація).

Ми зупинимося на конвертерах Ku діапазону, тому що вони найчастіше використовуються і не такі складні в експлуатації.

Конвертерів продається досить багато. Бувають здвоєні конвертери і конвертери з двома виходами. Якщо ви плануєте приймати з одного супутника Інтернет і ТБ одночасно, то краще поставити Twin (конвертер на 2 виходи). Вони коштують дорожче.

Найкращі результати показав конвертер DKF - 71 (див. фото вище).

Особливо варто відмітити, що вибір конвертора для короткофокусних антен ("Супрал" 0.9, 1.2) досить проблематичний, оскільки не усі конвертери мають параметри для роботи з такими антенами. З довгофокусними антенами працюють більшість конвертерів.

Але все одно це приблизне спостереження, оскільки існує дуже багато чинників, що впливають на роботу конвертера.



### *Кабелі.*

Для чого потрібні кабелі - знають усі, а ось які вони бувають - далеко не кожен. Навіть однакові на вигляд кабелі серйозно розрізняються своїми характеристиками. Основна характеристика - загасання сигналу. Але пояснювати принципи роботи і технологію людині, яка тільки зібралася купувати устаткування, було б не правильним. Постараємося навести простий приклад.

Припустимо, що супутниковий сигнал вимірюється в умовних одиницях - у.о. Передавачі на супутнику бувають сильні і слабкі для конкретного місця, в залежності їх спрямованості на нашу планету. Отже, ви вибрали супутник, на якому хочете дивитися ТБ. Живете ви на 3-му поверсі, антена розташована на 5-му поверсі. На супутнику є два передавачі з потрібними каналами. Один - сильний, інший - слабкий. У Вас є правильно налагоджена антена.

Устаткування на даху будинку показало: сильний передавач - 99 у.о., слабкий - 50. Провели кабель до квартири. Сигнал - 90 і 40 відповідно. Потім вам потрібно було після ремонту перекинути кабель до іншої кімнати. Ви бачите 70 і 0. Пішла злива і сигнал 25 і 0. Здавалося б, все, оскільки треба, а показує у результаті погано.

Ось саме тоді люди починають замислюватися про те, чому пропадає слабкий сигнал. На хорошому кабелі падіння в 10 одиниць бути не повинно (на відстані 8 метрів між дахом і квартирою). А кабель між кімнатами не повинен знижувати сигнал на 20 одиниць. Проте, це факт. На 30-ти метровому нормальному кабелі сигнал падає на 2 одиниці. А 6 метровий RG-6U кабель примудрився посадити сигнал на 8 у.о. Тому, не жалійте грошей на кабель! Витрати на збільшення діаметру тарілки значно більше.

Детальніше про кабелі і їх характеристики можна почитати по наступних посиланнях: <http://www.telesputnik.ru/archive/all/n41/62.html>  
<http://www.telesputnik.ru/archive/all/n31/58.html>.

### *Пристрої для прийому супутникового сигналу - ресивери.*

Нарешті, ми підійшли до найважливішого - до пристроїв для прийому супутникового сигналу.

Їх називають супутникові ресивери - пристрої, призначені для розкодування супутникового сигналу і передачі його на ТБ пристрій для показу. Сучасний супутниковий сигнал - цифровий, тому його необхідно перевести в доступний вид. Проте все не так просто, щоб хоч щось розуміти в ресиверах, необхідно сказати пару слів про кодоване ТБ. Це складна тема і ми постараємося не вдаватися углиб, щоб зовсім вас не заплутати.

Для того, щоб зробити перегляд ТБ якіснішим, потрібне фінансове підживлення компаній. Тому з'явилося платне телебачення (ТБ). А для того, щоб платне телебачення дивилися тільки ті, хто заплатив гроші - ввели систему кодування. Кодування - штука тонка, проте бажання "халяви" і цілком реальне почуття образи бере своє, тому знання простих людей постійно розширюються в цьому напрямі. Як це працює, ми зараз побачимо на простому прикладі.

Припустимо, оператор захотів закодувати слово "МАМА" і зробити так, щоб воно було доступне тільки передплатникам. Сенс кодування звівся до того,

що слово перевернули навпаки і отримали "АМАМ", і потім передали через супутник на землю, а користувачам роздали карти доступу, в яких вбудований спеціальний чіп. Якщо на карту подати команду (припустимо) "ЗОРЯ", то карта видає відповідь "Перевернути навпаки". Під час передачі команди "АМАМ", одночасно з цим передається команда "ЗОРЯ". Тепер найголовніше! Ресивер отримує сигнал, який містить "АМАМ" і "ЗОРЯ". За допомогою спеціального модуля він посилає команду "ЗОРЯ" на карту і, отримавши відповідь через спеціальний модуль "Перевернути навпаки", розшифровує слово "АМАМ" в слово "МАМА". Спеціальний модуль - це такий програмний модуль, який забезпечує взаємодію з картою доступу.

Будь ласка, постарайтеся зрозуміти суть написаного, без цього вибір ресивера втрачає сенс.

Якщо ви засвоїли цей простий приклад, переходимо до самих ресиверів. Ресивер зовні нагадує відеомагнітофон.

У нього є входи (DVB супутниковий вхід) і виходи (SCART, RCA, Audio). На вхід подається супутниковий сигнал, а з виходу йде звичайний відеосигнал. Якщо ресивер приймає тільки відкритий (не закодований) сигнал, то він називається FTA (Free To Air) ресивером. Це найдешевші пристрої на ринку.



Наступний тип ресиверів має спеціальний модуль, який захищений в ресивер. Як правило, він підтримує тільки один тип карт кодованого ТВ і далеко не завжди може бути змінений. Насправді кодувань значно більше і, якщо припустимо, ви хочете дивитися канал Viasat і у вас є родич, який оплачує за вас підписку в Прибалтиці, то вам потрібний ресивер із спеціальним модулем з підтримкою Videoguard.

Проте вбудовувані модулі втрачають універсальність. У ресивер з Viaccess модулем не можна вставити Viasat карту. Для цього був придуманий універсальний CI (Common Interface) інтерфейс. Цей інтерфейс є PCMCIA сумісний роз'єм, в який вставляється спеціальний модуль, - CAM модуль.

Цей пристрій містить програму для роботи з картами доступу і має два роз'єми. Один - для установки в ресивер, інший - картоприймач. Такі CAM модулі відразу підтримують декілька кодувань для різних карт доступу і іноді можуть бути перепрограмовані на інші кодування. Ресивер обов'язково повинен мати CI інтерфейс, щоб в нього можна було вставити такий модуль.

Ресивер із спеціальним модулем (рис. а) і CI інтерфейсом (рис. б).



Рис. а



Рис. б

### *САМ модулі.*

Те, що тут написано - це досить важливо, оскільки нас усіх чекає перехід на цифрове наземне ТБ і ніхто не може передбачити, чим це закінчиться. Вже є кодовані ефірні цифрові канали саме з таким принципом роботи.

Також відмітимо, що супутниковий сигнал - ця безліч MPEG2 потоків, тому тюнери працюють, передусім, саме з цим стандартом.

І, нарешті, резюмуємо: ресивери бувають FTA, зі вбудованим кодуванням (НТВ = Viaccess) і з CI інтерфейсом.

### *Ресивери.*

Ми спеціально виділили цей тип пристроїв в окрему групу. Основна їх відмінність від звичайних ресиверів - наявність додаткових портів COM, USB, LAN - для взаємодії із зовнішнім світом. Також, деякі пристрої мають жорсткі диски для запису ТБ програм і подальшого офлайн перегляду (а іноді і передачі на комп'ютер). Також, за допомогою таких ресиверів з'явилася можливість "злому" кодованого ТБ через Інтернет або більше законний спосіб - розшарування однієї карти на домашні ресивери. Уявіть собі, що у вас удома 3 телевізори. Ви встановили три ресивери і конвертер з 4-ма виходами. Один хоче дивитися НТВ прем'єрові, інший - НТВ Євроспорт, а ще інший - НТВ Hallmark. Що робити? Тільки купувати три карти доступу. Завдяки технології кардшарингу вдалося одну карту використати відразу на три комп'ютери.

Такі ресивери називаються "з підтримкою можливості кардшаринга", але це ніколи не буде написано в паспорті до апарату.

*DVB карти.* Супутникові карти прийому для комп'ютера.

Технології не стоять на місці і услід за комп'ютерними ТБ-тюнерами, з'явилися DVB карти прийому.

**DVB - S** (S означає Satellite – супутник) **карти** – це пристрої, які приймають сигнал, оцифровують і передають в комп'ютер для розкодування. Це набагато перспективніше звичайного ресивера, оскільки програму замінити набагато простіше, ніж САМ модуль. Головне, щоб її хто-небудь написав.

Коротко, існують наступні карти:

1. Найпростіші, які тільки оцифровують і передають. (FTA карти).
2. Карти зі вбудованим CI інтерфейсом (що це таке - читайте вище).
3. З апаратним кодуванням ТБ сигналу MPEG2.
4. З підтримкою оцифрування аналогового сигналу. (AV in).
5. З підтримкою кабельного ТБ (DVB - C/DVB - T).
6. З підтримкою технології "Супутниковий Інтернет" - DVB - IP.
7. Карти, які працюють з новим стандартом DVB - S2.
8. DVB - S2 карти з CI інтерфейсом.

## Питання для самоперевірки

1. Призначення, склад, принципи побудови та функціонування космічних систем.
2. Типи космічних систем.
3. Класифікація систем супутникового зв'язку.
4. Основні поняття і визначення в супутникових системах.
5. Структура системи супутникового зв'язку.
6. Поняття та структура станції VSAT. Топологія мережі.
7. Особливості функціонування систем рухомого супутникового зв'язку.
8. Для чого призначена фіксована служба супутникового зв'язку.
9. Для чого призначена рухома супутникова служба зв'язку.
10. Для чого призначена радіомовна супутникова служба зв'язку.
11. Основні складові систем супутникового зв'язку.
12. Загальна структура системи супутникового зв'язку.
13. Частоти супутникового зв'язку.
14. Основні показники космічних та земних станцій.
15. Проектування корпоративної мережі передачі даних з використанням супутникового зв'язку.
16. Множинний доступ з частотним, часовим та кодовим поділом.
17. Особливості організації супутникового телебачення та Інтернету.
18. Яке Ви занете супутникове обладнання?



## 2 ГЛОБАЛЬНІ НАВІГАЦІЙНІ СУПУТНИКОВІ СИСТЕМИ (ГНСС)

Початок розвитку і застосування глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) було покладено в СРСР запуском 4 жовтня 1957 р. першого в історії людства штучного супутника Землі (ШСЗ). Також у період 1955-57р.р. у Ленінграді були проведені перші дослідження й обґрунтування по навігаційному використанню ШСЗ, під керівництвом проф. В.С. Шебшаєвича, опубліковані в жовтні 1957 р. Ці роботи були проведені в Ленінградській військово-повітряній інженерній академії ім. А.Ф. Можайського.

Наукові основи по створенню низькоорбітальних супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) були розвинуті в період 1958-1963 р.р. групою фахівців (А.І. Лур'є, П.Е. Ельясберг, Ю.В. Батраков, Е.Д. Голіков, В.П. Заколюдяжний, Н.М. Кобрин, А.А. Колосов, Л.І. Кузнєцов, В.А. Фуфаєв, Е.П. Чуров та ін.). Ці дослідження дозволили перейти до дослідно-конструкторських робіт по створенню першої вітчизняної низькоорбітальної РНС 1-го покоління "Цикада", що була прийнята в експлуатацію з 1979 р. Великий внесок у розробку і створення системи "Цикада" був внесений колективом Красноярського науково виробничого об'єднання прикладної механіки, очолюваного генеральним конструктором космічних систем навігації і зв'язку, академіком М.Ф. Решетневим.

СРНС "Цикада" зарекомендувала себе як точний і надійний засіб судноводіння, повітряної навігації, для визначення параметрів руху космічних апаратів (КА), для навігації наземних рухомих об'єктів. Ідеологія побудови й апаратурні рішення системи "Цикада" були використані надалі для створення міжнародної системи виявлення потерпілих КОСПАС-САРСАТ, у розробці якої взяли участь СРСР, США, Франція і Канада. У цей же період у США була створена низькоорбітальна СРНС "Транзит" для навігаційного забезпечення атомних підводних човнів.

Істотним недоліком СРНС 1-го покоління була мала точність місцевизначення при русі споживача (С) через вплив погрішностей обчислення; це пов'язано з великою тривалістю навігаційних сеансів і значними інтервалами між ними.

Тому основна увага в останні роки була зосереджена на середньоорбітальних супутниках, що мають досить велику зону видимості і забезпечують можливість координації просторового розташування навігаційних ШСЗ (НШСЗ) на орбітах і координацію за часом досліджуваних супутниками сигналів.

В 70-і р.р. у СРСР і США відпрацьовувалися принципи і технічні рішення для побудови середньо-орбітальних СРНС, що призвело до створення в СРСР 2-го покоління ГЛОНАСС (глобальна навігаційна супутникова система), а в США - до створення СРНС НАВСТАР (Navstar: Navigation Satellite Time and Ranging), що одержала і другу назву за своїм призначенням GPS (Global Positioning System - глобальна система місцевизначення).

СРНС 2-го покоління є мережними системами безупинної дії, що забезпечують глобальне високоточне визначення повного вектора стану С.

Мережа НШСЗ розгорнута на 18-24 супутниках, що обертаються на середньовисоких орбітах, що лежать у 3-6 площинах, що перетинаються. Розробка мережної СРНС (МСРНС) ГЛОНАСС проводилася великими колективами під керівництвом М.Ф. Решетнева, Ю.Г. Гужви, Л.І. Гусєва, Н.Е. Іванова та ін.

Значний внесок у створення і розвиток МСРНС був внесений також колективами ряду підприємств України (міст Києва, Дніпропетровська, Харкова). У процесі використання МСРНС виявилася доцільність спільного застосування сигналів обох систем ГЛОНАСС і Навстар, що привело до необхідності створення інтегрованої апаратури споживачів (АС), сумісної в роботі з обома СРНС.

Наприкінці 80-х років почалася реалізація диференціальних підсистем (ДПС) СРНС ГЛОНАСС і Навстар, що дозволило підвищити точність місцевизначення рухомих об'єктів (РО) до одиниць метрів, а отже, дало можливість не тільки ефективного вирішення навігаційних задач, але також і забезпечення посадки літаків на необладнані посадковими засобами аеродроми.

## 2.1 Поняття та визначення

Термін «навігація» зародився у мореплавстві (походить від слів «navis»- корабель і «agere» - управляти) і спочатку означав лише способи водіння морських суден. У теперішній час цей термін поширюється на способи і засоби водіння таких рухомих об'єктів (РО) як літаки, вертольоти, космічні кораблі, а також сухопутні транспортні засоби. Отже, зараз цьому терміну можна дати наступне визначення: **навігація** – це наука про способи і засоби водіння РО по встановленим просторово-часовим траєкторіям.

Види навігації:

- Автомобільна навігація - технологія обчислення оптимального маршруту проїзду транспортного засобу по дорогах і подальшого ведення за маршрутом за допомогою візуальних і голосових підказок про маневри. Використовує GPS / інерціальної навігації, автомобільну навігаційну карту і оперативну інформацію про пробки.
- Астрономічна навігація - метод визначення координат суден і літальних апаратів, заснований на використанні радіовипромінювання або світлового випромінювання небесних світил.
- Біонавігація - здатність тварин вибирати напрямок руху при регулярних сезонних міграціях.
- Повітряна навігація - прикладна наука про точне, безпечне водіння в повітрі літальних апаратів; на ранніх етапах розвитку іменувалася «Аеронавігація» (дисципліна, яка вчить, як можна визначити напрямок польоту аероплана або дирижабля, не користуючись картою).
- Інерціальна навігація - метод визначення параметрів руху та координат об'єкта, що не має потреби в зовнішніх орієнтирах або сигналах.
- Інформаційна навігація - процес водіння користувача по логічно пов'язаним даними.

- Космічна навігація - управління рухом космічного літального апарата; включає в себе підвид - Астроінерціальна навігація - метод навігації космічного літального апарату, що комбінує засоби інерціальної системи навігації та астрономічної навігації.

- Морська навігація - основний розділ судноводіння .

- Радіонавігація - теоретичні питання та практичні прийоми водіння судів і літальних апаратів за допомогою радіотехнічних засобів та пристроїв.

- Супутникова навігація - практичне застосування засобів GPS / ГЛОНАСС для визначення місцезнаходження та напрямку руху.

- Підземна навігація - практичне застосування різних засобів вимірювань, для визначення місцезнаходження та напрямки руху підземних прохідницьких комплексів.

У зв'язку із специфічними особливостями керування морськими, повітряними, космічними та наземними РО в навігації як у науці виділилися відповідні напрямки: морська навігація, повітряна (аеронавігація), космічна і наземна (сухопутна).

*Основна задача навігації* – виведення РО по оптимальній за існуючих умов траєкторії в задану точку (або область) простору в заданий момент часу. Вирішення цієї загальної задачі поділяють на ряд часткових задач, що різняться за характером і методами рішення. До часткових задач навігації відносять:

- 1) Вибір і розрахунок оптимальної траєкторії і часових характеристик руху об'єкту.

- 2) Вимірювання навігаційних параметрів РО, визначення його повного вектору стану (включає координати, швидкість, напрямок руху (курс) об'єкту на кожний момент часу).

- 3) Порівняння результатів вимірів навігаційних параметрів з їх розрахунковими значеннями і наступне формування корегуючих (управляючих) впливів та команд, які забезпечують рух об'єкта, необхідний для рішення навігаційної задачі.

*Навігаційний параметр (НП)* – величина (фізична, геометрична), що визначається навігаційною апаратурою шляхом виміру і обробки навігаційного сигналу та дозволяє оцінити координати й параметри руху РО.

*Навігаційний орієнтир (НО)* – це стаціонарний або мобільний об'єкт з відомими координатами (законом руху), відносно якого проводяться навігаційні виміри і визначаються невідомі координати РО в єдиній системі просторово- часового відліку.

*Азимут (пеленг) РО* відносно НО – це кут ( $\alpha_1$ ) у горизонтальній площині між північним напрямком меридіану, що проведений у точці НО, і прямою, що з'єднує РО і НО (рис. 2.1). І навпаки *азимут (пеленг) НО* відносно РО – це кут ( $\alpha_2$ ) у горизонтальній площині між північним напрямком меридіану, що проведений у точці РО, і прямою, що з'єднує РО і НО (рис.2.1). Азимути відкладаються за годинниковою стрілкою.

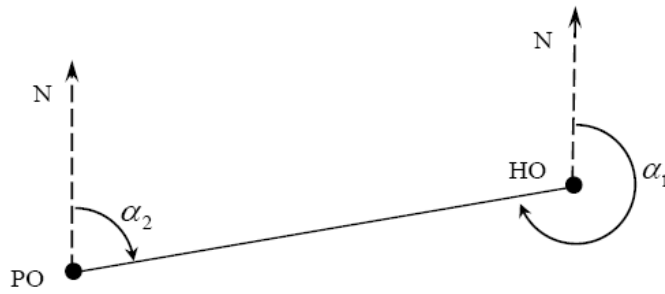


Рисунок 2.1 - До визначення азимутів РО і НО

У випадку повітряної та комірної (супутникової) навігації, коли взаємне розташування НО і РО оцінюється у тривимірному просторі, доцільно також визначити такий параметр як *кут місця* – це кут у вертикальній площині між площиною обрїю у точці місцезнаходження РО і прямою, що з'єднує РО і НО (рис. 2. 2). Кут місця змінюється у межах  $0^{\circ}$  -  $90^{\circ}$ .

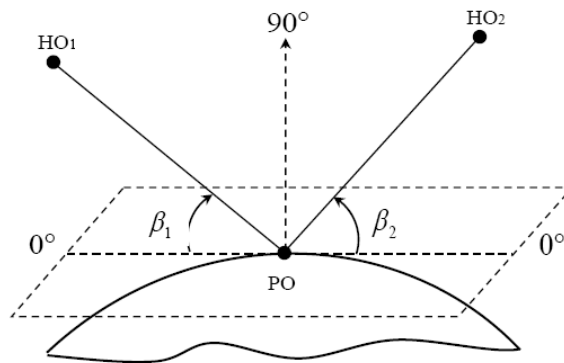


Рисунок 2.2 - До визначення кута місця космічного НО відносно наземного РО

Для визначення напрямку руху об'єктів використовується параметр під назвою *курс*. Він оцінюється кутом у горизонтальній площині між північним напрямком меридіану, що проведений через центр ваги РО, і повздовжньою віссю РО (рис.2.3).

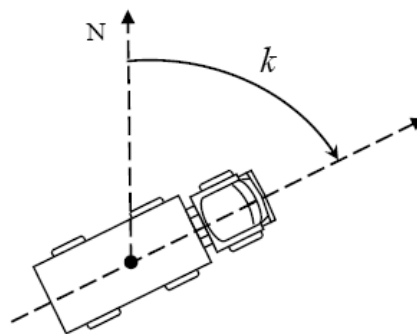


Рисунок 2.3 - До визначення курсу РО

*Навігаційна система (НС)* – це набір технічних засобів, призначений для вирішення задач навігації. Розрізняють багатопозиційні (БНС) і комплексні (КНС) навігаційні системи. *БНС* розглядається як мережа просторово рознесених навігаційних засобів (РНО і апаратури РО), що використовують однакові фізичні принципи та вирішують однакові цільові задачі. Вона може складатися або з однотипних структур НС (наприклад, різницево-далекомірної РНС), або різнотипних (групи далекомірних, кутомірних, кутомірно-далекомірних, доплерівських радіонавігаційних систем).

*КНС (або навігаційний комплекс)* являє собою сукупність навігаційних засобів та систем, заснованих на різних фізичних принципах територіально розподілених і працюючих на борту РО або у диспетчерському пункті при використанні засобів збору, обробки, передачі та відображення інформації.

До складу БНС (КНС), як правило, входять групи просторово рознесених випромінювачів навігаційних сигналів (рис.2.4). Причому на РО з різними закономірностями їхнього відносного переміщення в просторі можуть встановлюватись пристрої, як випромінювання сигналів, так і прийому.

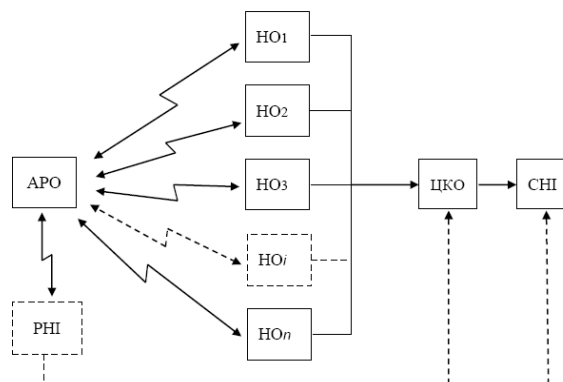


Рисунок 2.4 - Узагальнена структурна схема КНС

Згідно наведеної вище схеми до складу КНС входять:

- *Навігаційні орієнтири (НО)*, що випромінюють (або приймають) сигнали та визначають за ними навігаційні параметри (НП).
- *Апаратура РО (АРО)*, яка випромінює (або приймає) сигнали, визначає НП (у тому числі власні координати) та передає їх за допомогою ретранслятора навігаційної інформації (РНІ) у центр комплексної обробки (ЦКО) для подальшого використання.
- *ЦКО*, що здійснює комплексну просторово-часову обробку первинної НІ, одержаної від НО або РО, і передає результат споживачам навігаційної інформації (СНІ).

## 2.2 Класифікація технічних засобів навігації

Для визначення навігаційних параметрів РО застосовують різні технічні засоби, які можна розділити на 5 груп в залежності від фізичних принципів, що в них покладені:

1. *Астрономічні засоби* навігації, що базуються на використанні закономірної зміни взаємного положення Землі та різних небесних світил. До цієї групи відносяться астрономічний компас, авіаційний сектант, автоматичний астроорієнтатор. Застосування вказаних астрономічних засобів можливо лише при достатній візуальній видимості небесних світил.

2. *Світлотехнічні та інші візуальні засоби* навігації, до яких відносяться світлові маяки, посадкові вогні, бортові вогні, прожектори, кольорові сигнальні знаки (полотнища), сигнальні ракети. Ці засоби вирішують обмежене коло навігаційних задач (є допоміжними) і, як астрономічні, можуть бути використані лише в умовах достатньої видимості. Незважаючи на це, світлотехнічні та візуальні засоби навігації набули широкого використання на транспорті, зокрема на мореплавстві (маяки) та при організації дорожнього руху (дорожня розмітка, світловідбиваючі знаки і електронні табло).

3. *Геотехнічні засоби*, що базуються на використанні різних фізичних властивостей Землі та її атмосфери (геофізичні поля, зміни атмосферного тиску із зростанням висоти, залежності тиску повітря від швидкості руху тощо). До цієї групи відносяться магнітні й гіроскопічні компаси, барометричні висотоміри, датчики швидкості та інш. Ці засоби достатньо прості та надійні у роботі, проте призначені для вирішення обмеженого кола навігаційних задач і не завжди забезпечують високу точність, а тому застосовуються переважно у комплексі з іншими засобами навігації.

4. *Інерційні засоби навігації* базуються на вимірюванні прискорень мобільних об'єктів, що викликані силами негравітаційного походження (тяга двигунів, сила опору атмосфери, підйомна й відцентрова сили). Інтегрування прискорень, виміряних на борту РО, дозволяє визначити його швидкість і напрямок руху, а наступне інтегрування швидкостей – пройдений шлях. Головними перевагами інерційних засобів є їх повна автономність, простота і надійність роботи. Недоліком цих засобів є поступове накопичення похибок розрахунку швидкості і пройденого шляху. У зв'язку з цим інерційні засоби, як правило, використовують у комплексі з іншими більш точними навігаційними засобами, що дозволяють періодично корегувати накопичені похибки інтегрування. У доповнення до інерційних, як правило, використовують засоби обчислення пройденого шляху. Найбільш відомим є пристрій одометр (від грецького).

5. *Радіотехнічні засоби* навігації базуються на використанні властивостей і закономірностей поширення у просторі електромагнітних хвиль радіотехнічного діапазону (радіохвиль). Основними з цих властивостей і закономірностей є: прямолінійність поширення і постійність швидкості переміщення хвиль в однорідному середовищі, відбиття

радіохвиль від земної поверхні та інших об'єктів (у тому числі рухомих), ефект зсуву частоти приймаючих сигналів відносно частоти випромінюючих сигналів, який виникає при взаємному переміщенні джерела та приймача радіохвиль (відомий як ефект Доплера).

До радіотехнічних засобів відносяться радари, далекоміри і кутоміри, спостерігачі частот, а також їх комбіновані варіанти реалізації. Кожний з цих засобів призначений для вимірювання конкретного радіонавігаційного параметра (РНП), за яким в ході подальшої просторово-часової обробки розраховуються повний вектор стану РО.

*Перевагою радіотехнічних засобів навігації є те, що вони дозволяють розв'язувати навігаційну задачу в умовах відсутності візуального контакту з НО, що є обов'язковим для астрономічних і світлотехнічних засобів. Крім цього радіотехнічні засоби навігації володіють високою точністю виміру навігаційних параметрів, широкою зоною дії, зазвичай не потребують додаткових навігаційних пристроїв (як у випадку інерційних засобів) та комплексно вирішують навігаційну задачу. Проте обмеження зони радіозв'язку (радіовидимості) через недостатню потужність сигналів, або за наявності перешкод на шляху їх поширення, може призвести до невірною розв'язання навігаційної задачі. У зв'язку з цим останнім часом разом з радіотехнічними засобами у складі комплексних навігаційних систем (КНС) використовують інерційні навігаційні системи (ІНС), що дозволяє автономно вимірювати навігаційні параметри РО у випадку відсутності радіозв'язку з НО.*

### **2.3 Методи навігаційних визначень**

*Методи навігаційних визначень можна поділити на дві основні групи. Перша включає методи оцінки місцезнаходження об'єктів, що базуються на використанні поверхонь та ліній положення (ЛП) РО в координатному просторі і враховують геометричні зв'язки між координатами. До цієї групи відносяться:*

- *позиційні методи* (с формуванням ЛП на основі інформації, одержаної від радіотехнічних, астрономічних та інших систем);
- *методи зчислення шляху* (з використанням вимірювачів інерційних, доплерівських, повітряної швидкості);
- *оглядово-порівняльні* (порівняння радіолокаційних, телевізійних зображень місцевості з відповідними картами; кореляційно-екстремальні методи оцінки координат за фізичними полями Землі).

Друга група методів базується на використанні поверхонь і ліній постійності НП у просторах швидкостей і прискорень. У методах цієї групи використовуються диференціально-геометричні зв'язки між складовими прискорення, швидкостями і координатами місцезнаходження РО. Методи, що відносяться до другої групи є універсальними, так як дозволяють визначати параметри руху об'єктів без будь-яких обмежень на характер руху. Однак, зважаючи на більш складний математичний апарат, ця група

методів не одержала широкого поширення. Вони знайшли застосування у супутникових системах першого покоління, системах пошуку і рятування потерпілих, а також у деяких КНС.

Найбільше поширення в навігації одержала перша група методів, зокрема *позиційний метод*. Цей метод базується на визначенні місцезнаходження РО шляхом перетину двох або більше ліній (поверхонь у просторі) положення (ЛП), побудованих відносно радіонавігаційних орієнтирів (РНО). В залежності від використовуваних ЛП і відповідних їм радіонавігаційних засобів позиційний метод має наступні варіанти реалізації: далекомірний (рис. 2.5), кутомірний (пеленгаційний) (рис. 2.6), різницево-далекомірний (рис. 2.7) і кутомірно-далекомірний (рис. 2.8).

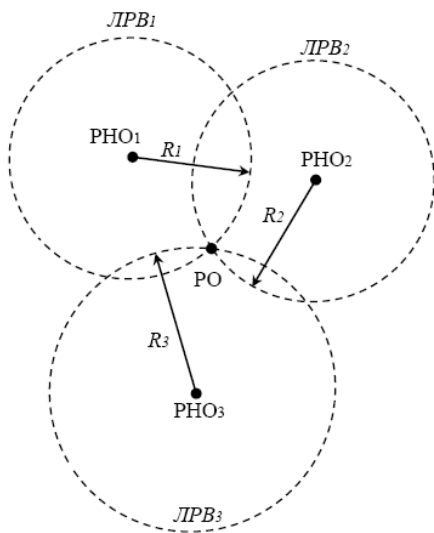


Рисунок 2.5 - Далекомірний метод

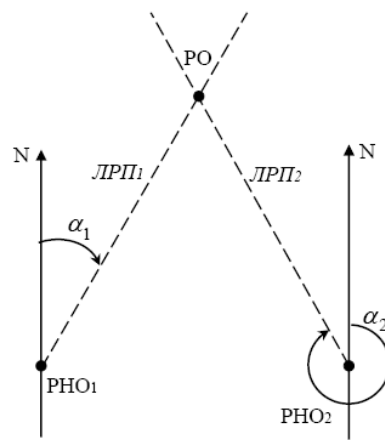


Рисунок 2.6 - Кутомірний метод

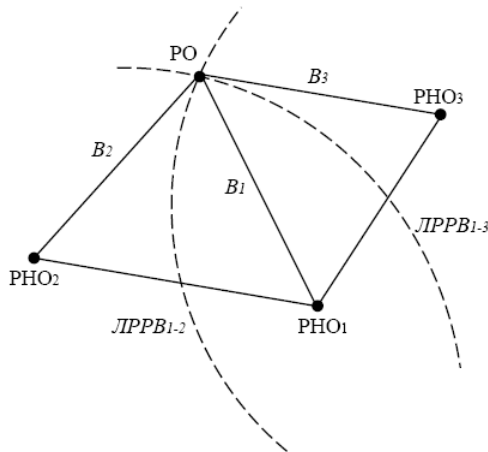


Рисунок 2.7 - Різницево-далекомірний метод

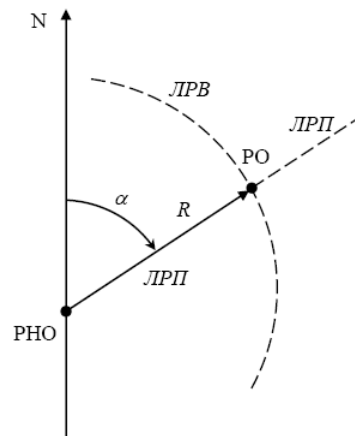


Рисунок 2.8 - Кутомірно-далекомірний метод

При використанні далекомірного методу місце розташування об'єкта визначається перетином трьох кіл у точці РО. Кола зветься лініями рівних відстаней (ЛРВ), які будуються по відстанях  $R_i$  до кожного РНО. Цей варіант позиційного методу (зокрема його тривимірна реалізація)



успішно використовується у сучасних супутникових радіонавігаційних системах.

Кутомірний (пеленгаційний) метод оцінки місця розташування РО допускає використання двох ліній рівних пеленгів (ЛРП), що будуються за вимірами, одержаними від двох кутомірних РНО (рис. 2.6). Оскільки на порівняно малих відстанях (300...400 км) ЛРП можуть бути з достатнім ступенем точності замінені прямими лініями, визначення місця розташування РО за цим методом значно спрощується, що і обумовлює його широке практичне застосування. Цей метод використовується у системах наземної навігації (система OMEGA).

Різницево-далекомірним методом оцінюють місце розташування РО у результаті перетинання двох гіпербол, що будуються за результатами вимірів різниць відстаней між парами РНО і РО. При цьому необхідно використовувати не менш двох пар наземних РНО, один з яких є спільним для обох пар (рис. 2.7). Це можна вважати основним недоліком різницево-далекомірного методу, що обумовлює його обмежене використання. Різницево-далекомірний метод знайшов практичне застосування у наземних радіонавігаційних системах Чайка і Logan C.

Кутомірно-далекомірний метод дозволяє визначити місце розташування об'єкта шляхом перетину двох різних ЛП: ЛРП і ЛРВ, тобто точка РО визначається на площині за допомогою двох вимірів: дальності і азимута або дальності та кута місця (рис. 2.8). Характерна риса цього методу — можливість однозначно з високою точністю визначити місце розташування об'єкта використовуючи лише один РНО, що є великою перевагою в порівнянні з іншими методами.

Загалом, позиційні методи (особливо далекомірний варіант) одержали широке застосування в навігації завдяки високій точності оцінки місця розташування РО і відсутності необхідності обліку пройденого шляху при проведенні обчислень. Недоліками усіх позиційних методів є дискретність навігаційних вимірів і можливість визначення координат РО тільки в зоні дії РНО.

## **2.4 Елементи механіки польоту штучних супутників землі та його просторово-часове забезпечення**

### **Закони Кеплера**

Закони руху двох тіл під дією сил тяжіння були вперше сформульовані Кеплером (німецький астроном 17 століття) на основі спостережень за рухом планет сонячної системи. Ці закони формуються у такий спосіб:

1. Усі планети рухаються по еліпсах, в одному з фокусів яких знаходиться Сонце.
2. Кожна планета рухається таким чином, що її радіус-вектор щодо Сонця описує рівні площі за рівні проміжки часу.
3. Квадрати періодів обертання планет навколо Сонця відносяться як куби великих напіввісей їхніх орбіт.

Ці закони справедливі й у відношенні НШСЗ з урахуванням зроблених раніше допущень.

Перший закон Кеплера може бути уточнений стосовно до руху НШСЗ і сформульований у такий спосіб. Незбурена орбіта НШСЗ є плоскою кривою другого порядку (окружність, еліпс, парабола, гіпербола), в одному з фокусів якої знаходиться тіло, що притягує.

У загальному випадку НШСЗ рухається по еліптичних орбітах, елементи яких розглянемо з використанням рисунка 2.9.

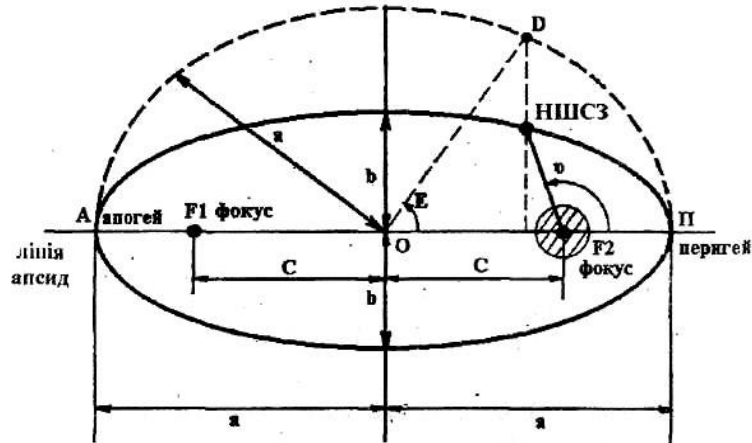


Рисунок 2.9 - Еліптична орбіта НШСЗ

Як відомо, еліпсом називається геометричне місце точок, сума відстаней якої до двох обраних точок, названих фокусами ( $F_1$ ,  $F_2$ ), залишається постійною величиною. В одному з фокусів орбіти ( $F_2$ ) знаходиться тіло, що і притягує (Земля).

Пряму лінію, що проходить через фокуси еліпса, називають *лінією апсид*.

Точка орбіти НШСЗ ( $\Pi$ ), найбільш близька до фокусу, у якому знаходиться тіло, що притягує (Земля), називається *перигеєм* (*періцентром*).

Точка орбіти НШСЗ ( $A$ ), найбільш віддалена від фокусу, у якому знаходиться тіло, що притягає (Земля), називається *апогеєм* (*апоцентром*).

Позначимо довжини великої і малої вісей еліптичної орбіти відповідно  $2a$  і  $2b$  (рис. 2.9).

Ексцентриситетом орбіти НШСЗ ( $e$ ) називається відношення відстані між фокусами до великої вісі, та характеризує форму орбіти

$$e = c/a, \quad (2.1)$$

де:  $c$  – відстань від центру еліпса до фокуса,

$a$  — велика піввісь.

Істинною аномалією називається поточне кутове положення ШСЗ на орбіті, яке визначає положення ШСЗ у будь-який момент часу і відлічується від перигею.

Ексцентричну аномалію ( $E$ ) введемо, використовуючи допоміжну окружність радіусу  $a$  (рис. 2.9). З точки місця розташування НШСЗ опустимо

перпендикуляр на лінію апсид і продовжимо його до перетинання з допоміжною окружністю (точка  $D$ ). Кут між лінією апсид і прямою  $OD$  називається ексцентричною аномалією  $E$ .

Другий закон Кеплера пояснюється з використанням рисунка 2.10. Величина площі  $dS$  (елементарний трикутник), описуваний радіус-вектором НШСЗ за короткий інтервал часу  $dt$ , очевидно дорівнює:

$$dS = \frac{1}{2} V dt r \sin \alpha; dt = const \quad (2.2)$$

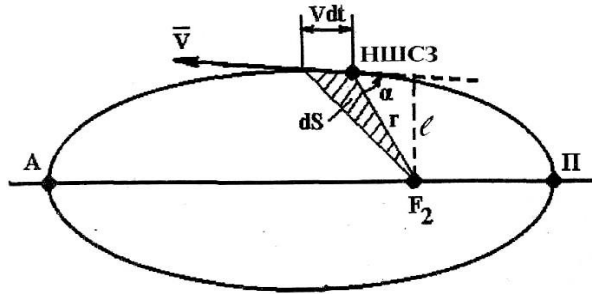


Рисунок 2.10 - До пояснення 2-го закону Кеплера

Переходячи до кінцевих збільшень:

$$\Delta S = V \Delta t l / 2 = const, \Delta t = const,$$

де  $V$ - модуль лінійної швидкості НШСЗ;

$r$ - радіус-вектор НШСЗ;

$l$  - висота елементарного трикутника  $l = r \sin \alpha$ .

Швидкість руху НШСЗ по еліптичній орбіті в загальному випадку дорівнює:

$$V = \sqrt{\mu \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}, \quad (2.3)$$

тобто, вона максимальна в перигеї і мінімальна в апогеї.

Третій закон Кеплера стосовно до незбуреного руху НШСЗ можна сформулювати в такий спосіб: відношення квадрата періоду обертання НШСЗ по орбіті ( $T$ ) до куба її великої піввісі є величина постійна, тобто

$$\frac{T^2}{a^3} = const \quad (2.4)$$

## 2.5 Супутникові навігаційні системи

Прилади супутникової навігації стрімко ввійшли у наше життя. Геодезичні вимірювання, геодинамічні спостереження, навігація морських суден та літаків, моніторинг транспортних засобів, персональна навігація - ось неповний перелік сфер, де сьогодні широко застосовуються GPS- або ГЛОНАСС-прилади.

Космічна система навігації представлена на рисунку 2.11.

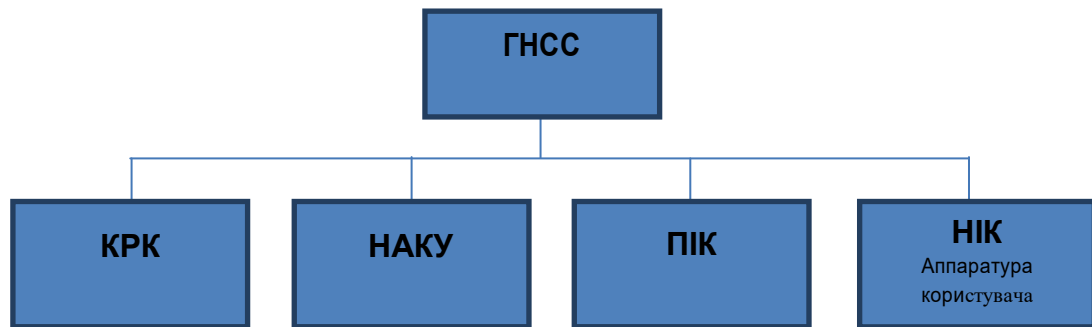


Рисунок 2.11 - Космічна система навігації

Перші спроби створення GNSS відносяться до середини 60-х років минулого століття. Так, в 1964 році в США була розгорнута система Transit (Navsat), яка складається з 6 низькоорбітальних супутників. Майже через 10 років в СРСР також були розгорнуті супутникові навігаційні системи Циклон (Цикада). Великими недоліками ранніх систем супутникової навігації були:

- невисока точність визначення місцезнаходження (200 - 500 м.);
- низька надійність;
- неможливість забезпечення глобального і безперервного покриття.

У 1974 р. в США приступили до розгортання системи супутникової навігації NAVSTAR (GPS), завершення якого відбулося в 1993 р. запуском 24-го навігаційного супутника.

У 1984 р. Радянський Союз почав створення своєї супутникової навігаційної системи ГЛОНАСС. Цей процес завершила вже Росія в 2010 р. Супутникові системи навігації створюються, як правило, на 3-х кругових орбітах, розгорнутих по відношенню одна до одної на  $120^{\circ}$  і мають висоти понад 20000 км. І нахил орбіти  $63^{\circ}$  (ГЛОНАСС).

Період обертання навігаційного супутника становить близько 12 годин (GPS). Тобто за добу супутник робить 2 обороти навколо Землі. Позиціонування в мережі GPS проводиться шляхом вимірювання відстані від приймача до декількох супутників. Вимірювання відстані проводиться шляхом множення затримки на швидкість світла. Зв'язок з першим супутником дає інформацію лише про сферу можливих розташувань приймача. Перетин двох сфер дасть окружність, трьох - 2 точки, а чотирьох - єдино вірну точку на карті. Точність позиціонування сучасних GNSS становить 50-100 м.



Рисунок 2.12 - Орбіти навігаційних супутників

Кожен супутник відправляє приймачу (споживачеві) великий набір інформації: точний час, альманах, дані ефемерид (координати, які обчислені для майбутніх фіксованих моментів часу на підставі прогнозування руху НШСЗ). Для кожного супутника поправка шкали часу розраховується ЦУПом. Альманах, який також розраховується ЦУПом, являє собою таблицю параметрів орбіт супутників на місяць вперед. Передають супутники і індивідуальні дані ефемерид, на основі яких обчислюються відхилення орбіти і затримки при проходженні сигналу в іоносфері.

Системи GNSS забезпечують досить високу стійкість перед перешкодами, формуючи швидкість передачі даних 50 біт/сек на як правило, двох частотах.

#### ***Основні елементи***

Основні елементи супутникової системи навігації:

- Орбітальне угруповання, що складається з декількох (від 2 до 30) супутників, випромінюючих спеціальні радіосигнали.
- Наземна система управління і контролю, що включає блоки вимірювання поточного положення супутників і передачі на них отриманої інформації для коригування інформації про орбіти.
- Приймальне клієнтське обладнання ("супутникові навігатори"), що використовується для визначення координат.
- Опціонально: наземна система радіомаяків, що дозволяє значно підвищити точність визначення координат.
- Опціонально: інформаційна радіосистема для передачі користувачам поправок, що дозволяють значно підвищити точність визначення координат.

#### ***Принцип роботи***

Принцип роботи супутникових систем навігації заснований на вимірюванні відстані від антени на об'єкті (координати якого необхідно отримати) до супутників, положення яких відомо з великою точністю. Таблиця положень всіх супутників називається *альманахом*, яким повинен володіти будь-який супутниковий приймач до початку вимірювань. Зазвичай приймач зберігає

альманах в пам'яті з часу останнього виключення і якщо він не застарів - миттєво використовує його. Кожен супутник передає у своєму сигналі весь альманах. Таким чином, знаючи відстані до декількох супутників системи, за допомогою звичайних геометричних побудов, на основі альманаху, можна обчислити положення об'єкта в просторі.

Метод вимірювання відстані від супутника до антени приймача заснований на визначеності швидкості розповсюдження радіохвиль. Для здійснення можливості виміру часу розповсюджуваного радіосигналу кожен супутник навігаційної системи випромінює сигнали точного часу, використовуючи точно синхронізовані з системним часом атомний годинник. При роботі супутникового приймача його годинник синхронізується з системним часом, і при подальшому прийомі сигналів обчислюється затримка між часом випромінювання, що містяться в самому сигналі, і часом прийому сигналу. Маючи цю інформацією, навігаційний приймач обчислює координати антени. Всі інші параметри руху (швидкість, курс, пройдена відстань) обчислюються на основі вимірювання часу, який об'єкт витратив на переміщення між двома або більше точками з певними координатами.

У реальності робота системи відбувається значно складніше. Нижче перераховані деякі проблеми, що вимагають спеціальних технічних прийомів щодо їх вирішення:

- Відсутність атомного годинника в більшості навігаційних приймачів. Цей недолік усувається зазвичай вимогою отримання інформації не менше ніж з трьох (2-мірна навігація при відомій висоті) або чотирьох (3-мірна навігація) супутників (при наявності сигналу хоча б з одного супутника можна визначити поточний час з гарною точністю).

- Неоднорідність гравітаційного поля Землі, що впливає на орбіти супутників.

- Неоднорідність атмосфери, через яку швидкість і напрямок поширення радіохвиль може змінюватися в деяких межах.

- Відбитки сигналів від наземних об'єктів, що особливо помітно в місті.

- Неможливість розмістити на супутниках передавачі великої потужності, через що прийом їх сигналів можливий тільки в прямій видимості на відкритому повітрі.

### ***Застосування систем навігації***

Крім навігації, координати, які можуть бути одержані завдяки супутниковим системам, використовуються в наступних галузях:

- Геодезія : за допомогою систем навігації визначаються точні координати точок та межі земельних ділянок.
- Картографія : системи навігації використовуються в цивільній і військовій картографії.
- Навігація : із застосуванням систем навігації здійснюється як морська, так і дорожня навігація.
- Супутниковий моніторинг транспорту: за допомогою систем навігації ведеться моніторинг за становищем, швидкістю автомобілів, контроль за їх рухом.

- Стільниковий зв'язок: перші мобільні телефони з GPS з'явилися в 90-х роках. У деяких країнах (наприклад, США) це використовується для оперативного визначення місцезнаходження людини, що дзвонить 911. У Росії в 2010 році розпочато реалізацію аналогічного проекту - Ера-ГЛОНАСС.
- Тектоніка, Тектоніка плит: за допомогою систем навігації ведуться спостереження рухів і коливань плит.
- Активний відпочинок: існують різні ігри, де застосовуються системи навігації, наприклад, Геокешінг та ін.
- Геотегінгу: інформація, наприклад фотографії, "прив'язуються" до координат завдяки вбудованим або зовнішнім GPS-приймачам.

Системи супутникової навігації GNSS широко застосовуються в різних сферах економіки (в промисловості, на транспорті, логістиці, в сфері оборони і безпеки та ін.), і, по суті, є взаємодоповнюючими. Новітні навігаційні приймачі підтримують обидва стандарти зв'язку і підключаються до тих супутників, які знаходять першими. Американська GPS і російська ГЛОНАСС - далеко не єдині в світі системи супутникової навігації. Європейський Союз створює свою GNSS під назвою GALILEO, яка зафункціонує до 2020 р. Звичайно, новостворювані системи будуть сумісні з вже існуючими системами.

Історія розвитку супутникових систем навігації починається запуском 4 жовтня 1957 року першого штучного супутника Землі. Для визначення параметрів руху супутника з пункту з відомими координатами виконувалися вимірювання доплерівського зсуву частоти. Було очевидним, що при відомих параметрах руху аналогічні вимірювання дозволяли б визначити невідомі координати пункту спостереження. Розвитком цієї ідеї стали радіонавігаційні супутникові системи першого покоління: **Цикада (Циклон)** в СРСР та **Transit** в США.

В таких системах визначення координат виконувалось по одному супутнику на основі спостереження напротязі 5-6 хвилин доплерівського зсуву частоти. Цей метод дозволяв визначити дві координати об'єкта з точністю близько 100 метрів. Але крім невисокої точності місцевизначення він мав і ряд інших недоліків, наприклад, вимагав незалежного визначення швидкості руху об'єкта. Ще один суттєвий недолік - висототочне визначення координат було можливе лише для нерухомих об'єктів та тих, що рухалися достатньо повільно. Тому такі системи були прийнятними лише для навігації флоту.



Супутник системи  
Transit

Американська супутникова система першого покоління - Transit для навігаційного забезпечення підводних човнів була створена у 1964 році. А у 1967 році вона була відкрита і для цивільного використання.





Супутник системи "Цикада"

функціонувати: навігаційним обладнанням задатним визначати положення судна за супутниками "Циклон" обладнані як цивільні суда, так і кораблі ВМФ.

Завдяки розробці у 1960 році високоточних атомних годинників став можливий новий спосіб визначення координат. Застосування таких годинників на супутниках давало змогу перетворити орбітальне угруповання в мережу синхронізованих передавачів кодових сигналів. А координати приймача визначати шляхом вимірювання затримок сигналів на шляху від супутника до точки вимірювання. 31 травня 1967 року на орбіту було виведено американський супутник TIMATION-I а 30 вересня 1969 року - супутник TIMATION-II, що реалізували кодовий спосіб місцевизначення.

У 1964 році в США починаються дослідження щодо застосування в інтересах місцевизначення широкополосних сигналів, модульованих псевдовипадковими шумами. А у 1973 році різні американські програми досліджень в галузі супутникової навігації поєднуються в одну програму - "Навігаційну технологічну програму". В рамках цієї програми 14 липня 1974 року було виведено на орбіту супутник NTS-1, обладнаний кварцевим та рубідієвим еталонами частоти. Потім апарати NTS-2 та NTS-3 з цезієвими та водородними еталонами. В подальшому ця програма отримує назву NAVSTAR.



Супутник GPS типу Block II

С запуском у 1978 році перших чотирьох супутників типу Block-I починається її практична реалізація системи NAVSTAR-GPS. Розгортання системи до штатного складу завершилося у 1995 році. У квітні 2000 року система була повністю відкрита для комерційного використання.

У жовтні 1982 року на орбіту було виведено навігаційний супутник Космос-1413 нової радянської навігаційної системи ГЛОНАСС. А у 1995 році орбітальне угруповання ГЛОНАСС було доведено до штатного складу - 24 супутника. З часом внаслідок занепаду космічної отрасли в Росії частина супутників системи

вийшла з ладу.

У 1967 році відбувся запуск першого радянського навігаційного супутника "Космос-192" навігаційної системи військово морського флоту "Циклон". У 1976 році цю систему було прийнято на озброєння. А у 1979 році створено її цивільний аналог - супутникову систему "Циклон". Система "Циклон" згодом була доповнена комплексом обладнання "Коспас-Сарсат" для пошуку суден, що потерпають лиха. Ця система і досі продовжує



Супутник ГЛОНАСС



### *Сучасний стан*

В даний час працюють або готуються до розгортання наступні системи супутникової навігації:

#### **GPS**

Належить міністерству оборони США. Цей факт, на думку деяких держав, є її головним недоліком. Пристрої, які підтримують навігацію по GPS є найпоширенішими у світі. Також відома під більш ранню назвою NAVSTAR.

#### **ГЛОНАСС**

Належить міністерству оборони Росії. Система, за заявами розробників наземного обладнання, володітиме деякими технічними перевагами в порівнянні з GPS. Після 1996 року супутникове угруповання скорочувалося і до 2002 року практично повністю занепало. Було повністю відновлено тільки в кінці 2011 року. Відзначається мала поширеність клієнтського обладнання. До 2025 року передбачається глибока модернізація системи.

#### **Бейдоу**

Розгортається Китаєм. Підсистема GNSS призначена для використання тільки в цій країні. Особливість - невелика кількість супутників, що знаходяться на геостаціонарній орбіті. На даний момент виведено на орбіту землі вісім навігаційних супутників. В 2012 році вона зможе покривати Азіатсько-Тихоокеанський регіон, а до 2020 року, коли кількість супутників буде збільшено до 35, система "Бейдоу" зможе працювати як глобальна. Реалізація даної програми почалася в 2000 році. Перший супутник вийшов на орбіту в 2007-му.

#### **Galileo**

Європейська система, що знаходиться на етапі створення супутникового угруповання. Планується повністю розгорнути супутникове угруповання до 2020 року.

#### **IRNSS**

Індійська навігаційна супутникова система, в стані розробки. Передбачається для використання тільки в цій країні. Перший супутник був запусканий в 2008 році.

Технічні деталі роботи систем. Коротко розглянемо деякі особливості основних діючих систем супутникової навігації (GPS і ГЛОНАСС):

- Обидві системи мають подвійне призначення - військове та цивільне, тому випромінюють два види сигналів: один із зниженою точністю визначення координат (~ 100 м) для цивільного застосування та іншої високої точності (~ 10-15 м і точніше) для військового застосування. Для обмеження доступу до точної навігаційної інформації вводять спеціальні перешкоди, які можуть бути враховані після отримання ключів від відповідного військового відомства (США для GPS і Росії для ГЛОНАСС). В даний час ці перешкоди скасовані, і точний сигнал доступний цивільним приймачів, проте, в разі відповідного рішення державних органів країн-власників, військовий код може бути знову заблокований (в системі GPS це обмеження було скасовано лише в травні 2000 року і в будь-який момент може бути відновлено).

- Супутники GPS розташовуються в шести площинах на висоті приблизно 20 180 км. Супутники ГЛОНАСС (шифр "Ураган") знаходяться в трьох площинах на висоті приблизно 19 100 км. Номінальна кількість супутників в обох системах - 24. Угруповання GPS повністю укомплектована в квітні [1994](#) - го і з тих пір підтримується, угруповання ГЛОНАСС була повністю розгорнена в грудні [1995](#) -го, але з тих пір значно деградувала. У 2011 році система ГЛОНАСС повністю відновлена, кількість супутників досягла 24. В системі з'явився орбітальний резерв.

- Обидві системи використовують сигнали на основі т. зв. "Псевдошумових послідовностей", застосування яких надає їм високу перешкодозахищеність і надійність при невисокій потужності випромінювання передавачів.

- Відповідно до призначення, в кожній системі є дві базові частоти - L1 (стандартної точності) і L2 (високої точності). Для GPS L1 = 1575,42 МГц і L2 = 1227,6 МГц. У ГЛОНАСС використовується частотне розділення сигналів, тобто кожен супутник працює на своїй частоті і, відповідно, L1 знаходиться в межах від 1602,56 до 1615,5 МГц і L2 від 1246,43 до 1256,53. Сигнал в L1 доступний всім користувачам, сигнал в L2 - тільки військовим (тобто, не може бути розшифрований без спеціального секретного ключа).

- Кожен супутник системи, крім основної інформації, передає також допоміжну, необхідну для безперервної роботи приймальних пристроїв. У цю категорію входить повний альманах всього супутникового угруповання, переданий послідовно протягом декількох хвилин. Таким чином, старт приймального пристрою може бути досить швидким, якщо він містить актуальний альманах (близько 1-ї хвилини) - це називається "теплий старт", але може зайняти і до 15-ти хвилин, якщо приймач змушений отримувати повний альманах - т. зв. "Холодний старт". Необхідність в "холодному старті" виникає зазвичай при першому включенні приймача, або якщо він довго не використовувався.

- Для придушення сигналів супутникових навігаційних систем використовуються передавачі активних перешкод.

#### *Диференціальний вимір*

Окремі моделі супутникових приймачів дозволяють виробляти т.зв. "Диференціальний вимір" відстаней між двома точками з великою точністю (сантиметри). Для цього вимірюється положення навігатора в двох точках з невеликим проміжком часу. При цьому, хоча кожний такий вимір має точність близько 10-15 метрів без наземної системи коригування та 10-50 см з такою системою, вимірювання відстаней має похибку набагато меншу, так як фактори, що заважають вимірюванню (похибка орбіт супутників, неоднорідність атмосфери в даному місці Землі і т. д.) в цьому випадку взаємно віднімаються. Крім того, є кілька систем, які посилюють уточнюючу інформацію ("диференціальну поправку до координат"), що дозволяє підвищити точність вимірювання координат приймача до десяти сантиметрів. Диференціальна поправка пересилається або з геостаціонарних супутників, або з наземних базових станцій, може бути платною (розшифровка сигналу можлива тільки

одним певним приймачем після оплати "підписки на послугу") або безкоштовною.

З 2009 року існують безкоштовні американська система WAAS, європейська система EGNOS, японська система MSAS, які засновані на декількох передавальних корекціях геостаціонарних супутників, дозволяють отримати високу точність (до 30 см).

Заплановано створення системи корекції для ГЛОНАСС під назвою СДКМ.

GPS та ГЛОНАСС - це системи другого покоління. Визначення положення приймача в них можна розглядати як вирішення просторової лінійної засічки: визначення відстаней від пункту (приймача) з невідомими координатами до кількох об'єктів (супутників) з відомими координатами. Поточні координати супутників розраховуються по відомим параметрам руху. Визначення відстаней від приймача до супутників виконується шляхом спостереження кодових сигналів, а у спеціальних високоточних приймачах також і за рахунок спостереження фази несучої сигналу. Висока швидкість руху супутників дозволяє за короткий інтервал спостережень отримати великий обсяг вимірювань відстаней для різних положень кожного супутника і застосувати методи статистичної обробки для отримання максимально точного результату.

Сьогодні система NAVSTAR чудово функціонує і складається з 32 супутників, серед яких 24 вважаються основними. Орбітальні апарати системи забезпечують повне покриття нашої планети, але на всяк випадок у резерві є ще 8. Рухаються супутники GPS на чималій відстані від землі за кількома орбітами. Повний оборот навколо Землі супутник здійснює майже за цілий день.

## 2.6 Структура системи GPS та принципи функціонування

GPS складається з трьох сегментів: управління, космічного та сегменту користувачів (рис. 2.13). Сегмент управління вбирає в себе головну станцію контролю та управління, групу контрольних станцій та станцій зв'язку (рис. 2.14).

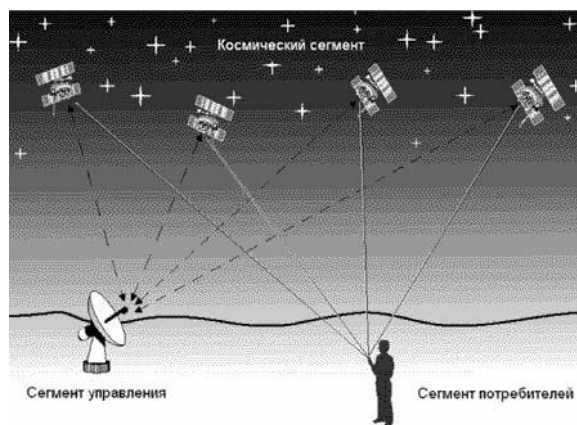


Рисунок 2.13 – Сегменти супутникових навігаційних систем



Рисунок 2.14 - Розташування елементів сегменту управління GPS

Головна станція контролю та управління знаходиться разом з однією з контрольних станцій на авіабазі "Шривер" (Schriever AFB) поблизу м. Колорадо-Спрингс штат Колорадо. Контрольні станції та станції зв'язку (рис. 2.15) розташовано на атолі Дієго-Гарсія (Чагос, Індійський океан), на острові Вознесіння (Атлантичний океан), на Гавайських островах, атолі Кваджалейн (Тихий океан), мисі Канаверел (півострів Флорида).



Контрольна станція на острові  
Оаху, Гаваї  
(натисніть на рисунок, щоб  
відкрити в Google Earth)

Контрольні станції ведуть спостереження за супутниками та здійснюють високоточне визначення відстаней. За цими даними головна станція визначає параметри орбіт, похибки бортових годинників, визначає коефіцієнти моделі іоносфери та формує повідомлення, які станціями зв'язку закладаються на борт супутників.

У 2005 року систему контрольних станцій розширено за рахунок станцій Національного агентства геопросторової розвідки США (National Geospatial-Intelligence Agency).

Космічний сегмент GPS складається з 28 супутників, розташованих в шести площинах, розвернутих через  $60^\circ$  по довготі верхобіжного кута. Ексцентриситет орбіт становить від 0,02 до 0,001 - орбіти близькі до кругових. Приблизна висота обертання супутників  $H = 20150$  км, період обертання  $T$  дорівнює близько 11 годин 58 хвилин. Нахил орбіти  $i = 55^\circ$ . Кожні 30 секунд супутник передає навігаційні повідомлення, в яких містяться дані про положення

супутника на певний час, дані про якість сигналу, похибку супутникового годинника та коефіцієнти моделі іоносфери.



Авіабаза  
"Шривер"

Острів  
Вознесіння

Атол Дієго  
Гарсія

Мис  
Канаверел

Атол  
Кваджалейн

Рисунок 2.15 - Місця розташування контрольних станцій GPS  
(натисніть на рисунок, щоб відкрити в Google Earth)

Сегмент користувачів складається з GPS-приймачів різних типів (рис. 2.16). Для високоточних вимірювань в геодезії та геодинаміці використовуються спеціалізовані двохчастотні багатоканальні приймачі, здатні здійснювати як кодові, так і фазові вимірювання в усіх можливих режимах. Для навігації, моніторингу транспортних засобів та широкого кола інших подібних задач застосовуються значно простіші та дешевші приймачі, здатні виконувати вимірювання тільки спостереженням за кодом сигналів.

Для визначення координат GPS-приймачі здійснюють кодові чи кодово-фазові вимірювання. Під час кодових вимірювань аналізується зміст повідомлень супутників та вимірюється запізнення сигналу по спеціальних далекомірних кодах. Аналіз цих даних дозволяє визначити відстані до супутників. На основі визначених відстаней та даних про положення щонайменше чотирьох супутників, використовуючи просторову лінійну засічку, GPS-приймачі визначають своє положення в просторі та часі.



Рисунок 2.16 - Обладнання сегменту GPS-користувачів

- 1) геодезичні приймачі; 2) морські навігаційні приймачі; 3) автомобільні GPS-навігатори; 4) картографічні GPS-приймачі; 5) засоби персональної навігації; 6) прилади моніторингу





При кодово-фазових вимірюваннях на основі кодових даних визначається положення супутників, а визначення відстані до супутника спирається на спостереження фази несучої. Такі вимірювання є похідними від вимірювань різниці між опорним сигналом, сформованим внутрішнім генератором приймача, та сигналом, отриманим з супутника. Спостереження фази несучої є результатом цього процесу визначення різниці.

Розрізняють кілька способів визначення положення: *абсолютні* та *відносні*. При абсолютних визначеннях координати визначаються лінійною засічкою по кодовим вимірюванням псевдовідстаней. Цей спосіб використовується в першу чергу в навігації. Абсолютні визначення в свою чергу поділяють на автономні та диференційні. Автономні визначення здійснюються одним приймачем і чутливі до будь-яких викривлень. При диференційних визначеннях використовуються щонайменше два приймача. Один, так звана базова (опорна) станція, працює на точці з відомими координатами і формує поправки на основі різниці між визначеними по супутникам та наперед відомими координатами. Інший приймач безпосередньо здійснює позиціювання, використовуючи поправки, створені базовою станцією.

В відносних способах координати визначаються спільною обробкою даних, отриманих кількома приймачами, серед яких щонайменше один розташовано на точці з відомими координатами. При цьому здебільшого використовується кодово-фазовий тип визначення відстаней. Спосіб дає високоточні результати і широко використовується при геодезичних визначеннях. Між тим такі вимірювання вимагають значного ускладнення обладнання приймачів, програмного забезпечення для обробки даних спостережень.

## Типи GPS-супутників



### **BLOCK I**

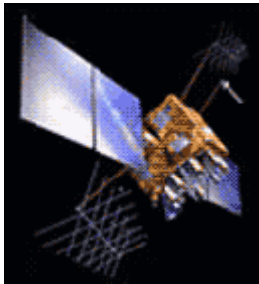
Запуски супутників цього типу відбувалися з лютого 1978 року по жовтень 1985 року (SNR 01-12). Розробником апарату була компанія Rockwell International. Супутники було обладнано 1 цезієвим та 2 рубідієвими стандартами частоти. Термін життя супутника склав 5 років.

### **BLOCK II та BLOCK IIA**



З лютого 1989 року по жовтень 1990 року на орбіту виводилися супутники типу BLOCK II (SNR 13-21). Супутники було обладнано 2 цезієвими та 2 рубідієвими стандартами частоти. Термін життя BLOCK II, як і попередника, склав 7.5 років.

Їм на зміну прийшли у листопаді 1990 року супутники типу BLOCK ІА. Запуски супутників цього типу тривали по вересень 1996 року (SNR 22-40). Кілька з них ще й досі працюють на орбіті.



### **BLOCK ІІР та BLOCK ІІР-М**

З січня 1997 року почалося використання супутників типу BLOCK ІІР (SNR 41-61). Розробник - компанія Lockheed Martin. Супутники обладнано 3-ма рубідієвими стандартами частоти. Термін життя апаратів цього типу становить 10 років. У вересні 2005 року почався запуск супутників типу BLOCK ІІР-М, що крім традиційного C/A та P-коду передають також код L2C.

### **BLOCK ІІФ**



У 2009 році космічне угруповання GPS почне поповнюватися супутниками типу BLOCK ІІФ, розробки компанії Boeing.

Вони мають забезпечити поступовий перехід до системи GPS ІІІ. Супутники будуть передавати сигнали на ще одній частоті L5.

Спеціально для програми ІІФ компанія Kernco Inc. розробило новий цифровий цезієвий стандарт частоти (Digital Cesium Frequency Standard, DCFS).

## **2.7 Глобальна навігаційна супутникова система ГЛОНАСС**

Глобальна навігаційна супутникова система ГЛОНАСС призначена для визначення місця розташування, швидкості руху, а також точного часу морських, повітряних, сухопутних та інших видів споживачів.

ГЛОНАСС складається з трьох підсистем:

- підсистеми космічних апаратів (ПКА);
- підсистеми контролю і управління (ПКУ);
- навігаційної апаратури споживачів (НАП).

Підсистема космічних апаратів системи ГЛОНАСС складається з 24-х супутників, що знаходяться на кругових орбітах висотою 19100 км, нахилом  $64,8^\circ$  і періодом обігу 11 годин 15 хвилин в трьох орбітальних площинах. Орбітальні площини рознесені по довготі на  $120^\circ$ . У кожній орбітальній площині розміщуються по 8 супутників з рівномірним зрушенням по аргументу широти  $45^\circ$ . Крім цього, у площинах положення супутників зрушені відносно один одного аргументу широти на  $15^\circ$ . Така конфігурація ПКА дозволяє забезпечити безперервне і глобальне покриття земної поверхні і навколоземного простору навігаційним полем.

Підсистема контролю та управління складається з Центру управління системою ГЛОНАСС і мережі станцій вимірювання, керування і контролю, розосередженої по всій території Росії. У завдання ПКУ входить контроль

правильності функціонування ПКА, безперервне уточнення параметрів орбіт і видача на супутники тимчасових програм, команд управління і навігаційної інформації.

Навігаційна апаратура споживачів складається з навігаційних приймачів і пристроїв обробки, призначених для прийому сигналів навігаційних супутників ГЛОНАСС і обчислення власних координат, швидкості і часу.

#### *Принципи роботи.*

Принцип визначення позиції аналогічний американській системі NAVSTAR. Перший супутник ГЛОНАСС був виведений на орбіту 12 жовтня 1982 року. 24 вересня 1993 року система була офіційно прийнята в експлуатацію. Супутники системи ГЛОНАСС безперервно випромінюють навігаційні сигнали двох типів: навігаційний сигнал стандартної точності (СТ) в діапазоні L1 (1,6 ГГц) і навігаційний сигнал високої точності (ВТ) в діапазонах L1 і L2 (1,2 ГГц). Інформація, що надається навігаційним сигналом СТ, доступна всім споживачам на постійній і глобальній основі та забезпечує, при використанні приймачів ГЛОНАСС, можливість визначення:

- горизонтальних координат;
- вертикальних координат;
- складових вектора швидкості;
- точного часу.

Точності визначення можна значно поліпшити, якщо використовувати диференціальний метод навігації та/або додаткові спеціальні методи вимірювань.

Для визначення просторових координат і точного часу потрібно прийняти і обробити навігаційні сигнали не менш ніж 4-х супутників ГЛОНАСС. При прийомі навігаційних радіосигналів ГЛОНАСС приймач, використовуючи відомі радіотехнічні методи, вимірює дальність до видимих супутників і вимірює швидкості їх руху.

Одночасно з проведенням вимірювань в приймачі виконується автоматична обробка міток часу і цифрової інформації, які містяться в кожному навігаційному радіосигналі. Цифрова інформація описує положення даного супутника в просторі і часі (ефемериди) щодо єдиної системи шкали часу і в геоцентричній декартовій системі координат. Крім того, цифрова інформація описує становище інших супутників системи (альманах) у вигляді кеплеровських елементів їх орбіт і містить деякі інші параметри. Результати вимірювань і прийнята цифрова інформація є вихідними даними для вирішення навігаційної задачі з визначення координат і параметрів руху. Навігаційне завдання вирішується автоматично в обчислювальному пристрої приймача, при цьому використовується відомий метод найменших квадратів. В результаті рішення визначаються три координати місцеположення споживача, швидкість його руху і здійснюється прив'язка шкали часу споживача до високоточної шкали Універсального координованого часу (UTC).

#### *ГЛОНАСС сьогодні*

В даний час орбітальне угруповання складається з 26 супутників, але ще не забезпечує 100-відсоткову доступність послуг ГЛОНАСС на території країни,



однак кількість видимих над горизонтом у Росії супутників ГЛОНАСС, як правило, дорівнює трьом або більше. За заявами продавців навігаційного приладу Glospace, для визначення місця розташування досить трьох видимих супутників ГЛОНАСС, а четвертий дає уточнення про висоту. Звідси неважко зробити висновок, що для орієнтування наземних користувачів (автоводіїв, грибників, туристів, тощо) система цілком придатна прямо зараз, хоча при управлінні літаком ще можуть виникати певні труднощі.

Після розгортання орбітального угруповання з 24-х космічних апаратів, для її підтримки потрібно робити по одному груповому пуску в рік двох КА «ГЛОНАСС-К» на носії «Союз», що істотно знизить експлуатаційні витрати.

## **2.8 Міжнародна космічна система виявлення потерпілих КОСПАС-САРСАТ**

### *Етапи створення системи КОСПАС-САРСАТ.*

Супутникова радіонавігаційна система КОСПАС-САРСАТ створювалася в рамках міжнародного співробітництва, здійснюваного СРСР, США, Францією і Канадою.

У 1979 р. ці країни підписали меморандум, у якому були викладені цілі, задачі і форми співробітництва по створенню системи, а також підписали документ "План реалізації проекту КОСПАС-САРСАТ".

У 1979 р. для забезпечення ефективного співробітництва була створена міжнародна координаційна група КОСПАС-САРСАТ. У 1982 р. (30 червня) був запущений у СРСР ШСЗ КОСМОС-1383 (КОСПАС-1).

У 1983 р. запущені КОСМОС-1447 (КОСПАС-2) і САРСАТ-1, у 1984 - КОСМОС-1574 (КОСПАС-3) і САРСАТ-2.

У 1983 р. в СРСР і інших країнах були проведені комплексні випробування системи КОСПАС-САРСАТ, що показали високу ефективність і точність системи, що досягала в межах значень  $\sigma = 1 - 5$  км.

### *Структура і функціонування системи КОСПАС-САРСАТ.*

До складу космічної системи КОСПАС-САРСАТ входять три основні підсистеми: аварійні радіобуї (АРБ), космічна (ШСЗ) і наземна підсистема (рис. 2.17).

Аварійний радіобуй є джерелом аварійного повідомлення і призначений для передачі сигналу небезпеки протягом визначеного часу у випадку виникнення аварійної ситуації. При спрацюванні датчика аварійної ситуації (датчик перевантажень, датчик наявності води і т.ін.), включається апаратура АРБ і в ефір випромінюється сигнал, що несе аварійне повідомлення.

АРБ може бути встановлений на корпусі літака, на палубі судна, може плавати у воді, переноситися вручну екіпажами повітряних і морських судів, геологами, альпіністами, туристами і ін. АРБ являє собою радіопередаючий пристрій СВЧ діапазону, що автоматично включається, випромінює гармонійні коливання і працює від автономних джерел електроживлення.

Космічна підсистема призначена для прийому аварійних сигналів від АРБ, безпосередньої ретрансляції їх на наземні пункти прийому інформації (НПІ), що

знаходяться в зоні прямої видимості ШСЗ, а також для обробки і збереження інформації в пам'яті з метою наступної передачі її наземним засобам у зоні їхньої видимості. Вона складається з декількох ШСЗ, на борту яких встановлена апаратура для визначення їхнього місця розташування у просторі, а також спеціальна апаратура для прийому і обробки сигналів від АРБ та передачі інформації на Землю (в цілому бортову апаратуру називають бортовим радіокомплексом - БРК).

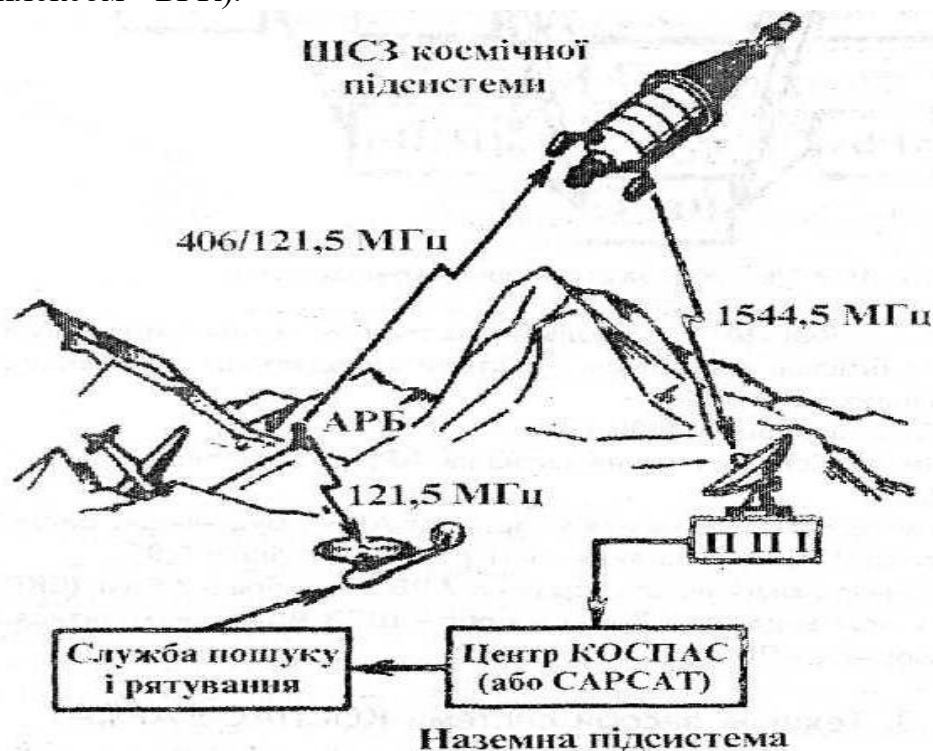


Рисунок 2.17 - До принципу дії системи КОСПАС-САРСАТ

Наземна підсистема призначена для прийому від БРК ретрансльованих сигналів АРБ через ППІ (пункт прийому інформації), обробки цих сигналів для визначення координат АРБ, виділення аварійного повідомлення і передачі цих даних через центр системи (ЦС) у рятувально-координаційний центр (РКЦ).

Узагальнена структурна схема системи КОСПАС-САРСАТ подана на рис. 2.18 де видно взаємозв'язки її елементів. Сигнали будь-якого АРБ (1,..., N) можуть прийматися будь-яким супутником (1,..., K); у той же час інформація з будь-якого супутника може надходити в будь-який наземний ППІ (1,..., M). Інформація від усіх ППІ збирається в ЦС. Система КОСПАС задовольняє наступним технічним вимогам:

1. Орбітальні угруповання системи складаються з низькоорбітальних біляполярних ШСЗ.
2. Висота орбіт - 1000 км.
3. Імовірність виявлення сигналів АРБ у будь-якому районі Землі не гірше 0,98.
4. Імовірність визначення координат АРБ у будь-якому районі Землі за один прохід ШСЗ у зоні видимості АРБ - не гірше 0,95.
5. Точність визначення координат АРБ - не гірше 3,6 км. ( $СКП \leq 3,6$  км).

6. У зоні видимості Землі з орбіти ШСЗ може знаходитися не менше 20 працюючих АРБ.

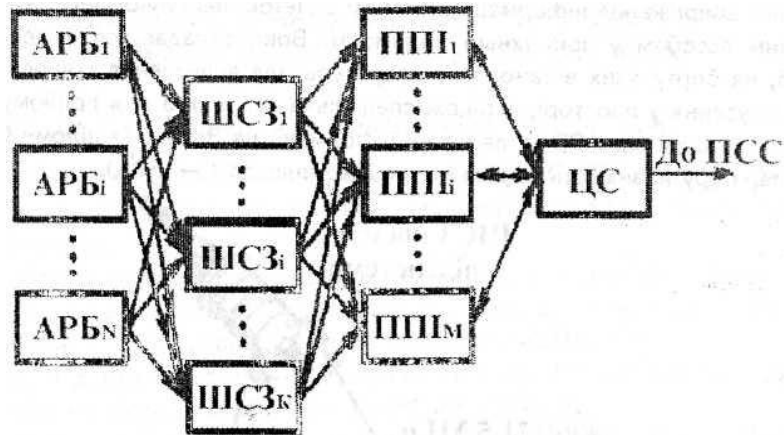


Рисунок 2.17 - Узагальнена структурна схема системи

#### *Технічні засоби системи КОСПАС-САРСАТ*

Технічні засоби СРНС забезпечують роботу (відповідно до структурної схеми рис. 2.18) у наступних режимах: безпосередньої ретрансляції (БР); ретрансляції з обробкою на борту (РОБ) і переносу інформації з затримкою (ПЗ).

Режим БР реалізується тільки в спільній зоні видимості АРБ-ШСЗ-ППІ. При цьому спектр прийнятого від АРБ сигналу передається без обробки на борту прямо на вхід приймача ППІ, де відбувається обробка для виділення аварійного повідомлення, виміру доплерівського зсуву і розрахунку координат АРБ. Такий режим дозволяє застосовувати сучасні і високоефективні методи виявлення, виділення і обробки сигналів, тому що на ППІ немає обмежень на масу апаратури та електроенергію.

У режимі РОБ, що також здійснюється в спільній зоні видимості АРБ-ШСЗ-ППІ, в БРК виділяється аварійне повідомлення, вимірюється доплерівський зсув частоти і вся інформація записується в бортову пам'ять. Оброблена інформація в реальному часі через бортовий ПРД передається на вхід приймача ППІ, де і розраховуються координати АРБ.

У режимі ПЗ накопичення в бортовій пам'яті, інформація починає передаватися в ППІ у момент прильоту ШСЗ в зону видимості ППІ. Цей режим дозволяє приймати сигнали у зоні видимості АРБ-ШСЗ, обробляти і запам'ятовувати результати обробки, а також передавати їх у зоні видимості ШСЗ-ППІ. У цьому режимі забезпечується глобальне охоплення поверхні Землі. Технічні засоби СРНС "КОСПАС" складаються з апаратури АРБ, апаратури БРК, розташовуваної на ШСЗ і наземної апаратури.

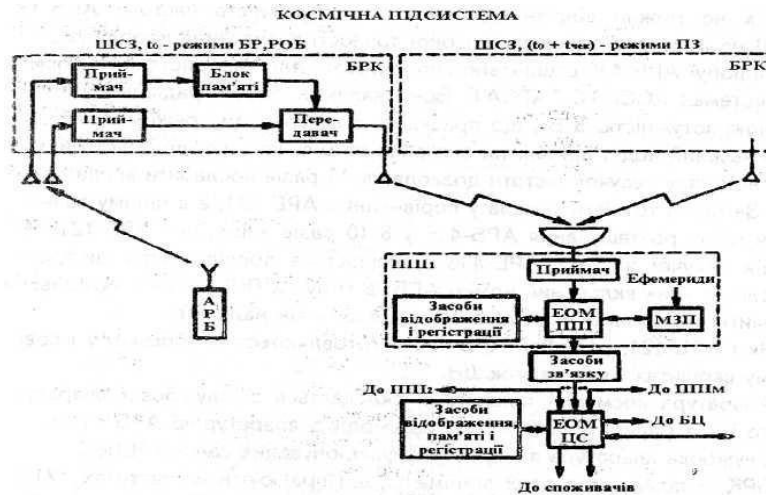


Рисунок 2.18 - Структурна схема системи КОСПАС

В СРНС "КОСПАС" використовуються АРБ, що працюють на частотах 121,5 МГц (АРБ-121) і 406 МГц (АРБ-406).

Сигнал небезпеки, формований в АРБ-121 (розроблених для суден і літаків у 70-і роки), являє собою високочастотний сигнал потужністю 100 МВт, модульований по амплітуді звуковими частотами (сигнал SOS).

Діаграма антени АРБ-121 дозволяє випромінювати сигнал у всій верхній півсфері щодо площини об'їму. Сигнали всіх АРБ практично збігаються і їх не можна відрізнити. Невисока стабільність частоти АРБ-121 ( $5 \cdot 10^{-6}$ ) не дозволяє одержати високої точності визначення координат.

Радіобуї АРБ-406 спеціально спроектовані для використання в космічних системах КОСПАС-САРСАТ. Вони являють собою радіопередавачі з вихідною потужністю 5 Вт, що працюють в імпульсному режимі і забезпечують часовий поділ прийнятих сигналів; стабільність несучої частоти  $10^{-8}$ ; вибір номіналу несучої частоти дозволяє в 10 разів послабити вплив іоносфери Землі на точність вимірів у порівнянні з АРБ-121, а в цілому точність оцінки місця розташування АРБ-406 у 8-10 разів вище, ніж АРБ-121. Модуляція несучої частоти АРБ-406 здійснюється послідовністю цифрових символів, у яких вкладений номер АРБ, а тому на ППІ мається можливість визначити номер АРБ, а отже, і об'єкт, якому він належить.

Як і АРБ-121, радіобуї АРБ-406 виготовляються в морському і повітряному варіантах і має таку ж ДН.

Апаратура космічної підсистеми складається зі службової апаратури самого ШСЗ і апаратури БРК, яка взаємодіє з апаратурою АРБ і ППІ.

Службова апаратура забезпечує функціонування самого ШСЗ. БРК складається з двох приймачів, що працюють на частотах 121,5 і 406 МГц, передавача, що працює на частоті 1544,5 МГц і пристрою запам'ятовування інформації. Є дві приймальні і передавальні антени, що мають ДНА біля  $120^\circ$  (перекриття кутового розміру Землі з висоти 1000 км).

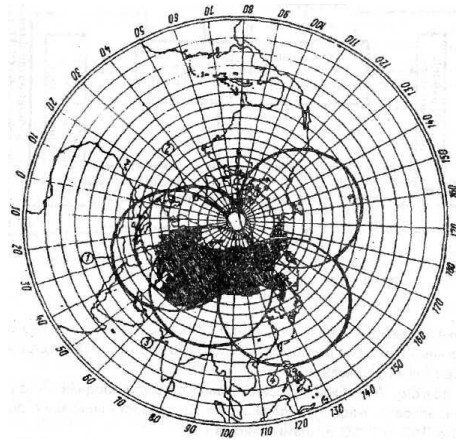


Рисунок 2.19 - Зони видимості чотирьох ППІ системи КОСПАС

Технічні засоби наземної радіосистеми складаються з апаратури ППІ, апаратури засобів зв'язку ППІ з центром системи і апаратури центра системи. Зони видимості чотирьох ППІ системи КОСПАС приведені на рисунку 2.19. Для прийому сигналів від ШСЗ на ППІ встановлена поворотна антена ( $D = 2,5$  м), що приводиться в рух системою, що стежить, керованою від ЕОМ.

Виділені в прийомному пристрої сигнали обробляються в ЕОМ разом з даними про ефемериди ШСЗ з метою визначення координат. Для операторів ППІ є засоби відображення на дисплеї і засоби реєстрації на друкувальних пристроях.

Для обміну службовими і аварійними даними між ППІ і ПС використовуються штатні, радіо і телефонні канали міністерств зв'язку. Для операторів ЦС встановлені дисплейні посади. Інформація до споживачів надходить через телексні і телеграфні ЛПД.

Оскільки проект "КОСПАС" розроблявся в межах міжнародного співробітництва зі США, Францією і Канадою, апаратура АРБ, БРК і ППІ "КОСПАС" сумісна з закордонною апаратурою, що працює в системі "САРСАТ".

Система КОСПАС працює одночасно з АРБ-121 і АРБ-406. При цьому на ППІ інформація обробляється послідовно; спочатку від АРБ-406, а потім від АРБ-121. Основним режимом роботи з АРБ-406 є перенос інформації з затримкою, що сполучений з режимом передачі сигналів шляхом ретрансляції з обробкою на борту. Центр системи "КОСПАС" одержує аварійні дані одночасно від трьох ППІ і може видавати необхідну ефемеридну інформацію, також у три адреси.

Для обробки на ППІ сигналів АРБ-406, одержуваних з американських супутників системи "САРСАТ", у центр системи КОСПАС щодоби надходять з центра системи САРСАТ ефемеридні дані про ШСЗ САРСАТ.

## 2.9 Особливості організації пошуку і рятування потерпілих з використанням системи КОСПАС-САРСАТ

Система КОСПАС-САРСАТ стала першим ефективно діючим засобом глобального оповіщення про нещастя і точне визначення місцезнаходження потерпілих (а раніше доля потерпілих залежала від випадкового надання допомоги морськими, повітряними суднами, рятувальними групами і т.д., що близько знаходяться). Як видно з рисунку 2.20 КОСПАС-САРСАТ, яка є глобальною системою виявлення потерпілих, здійснює свої функції через координацію, взаємодію і матеріально-технічне забезпечення на трьох рівнях.

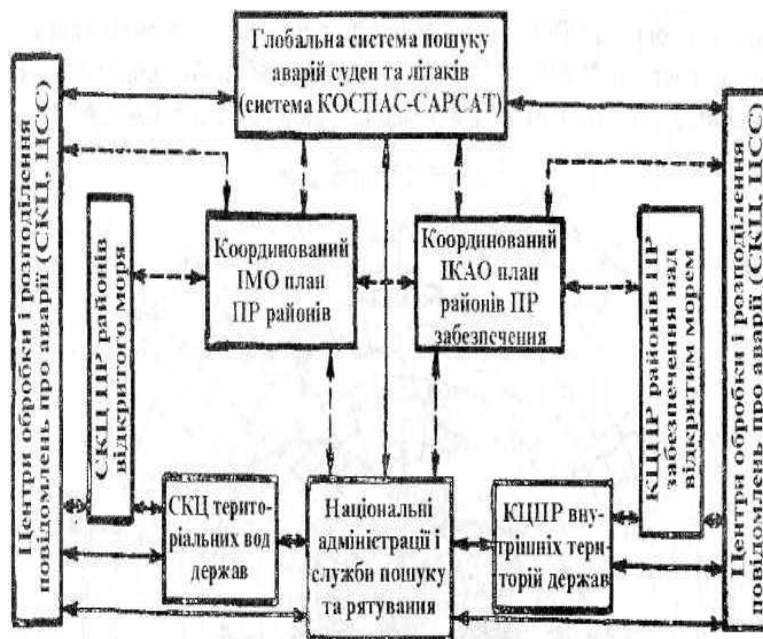


Рисунок 2.20 - Загальна схема забезпечення охорони людського життя при аваріях кораблів та літаків з урахуванням використання системи КОСПАС-САРСАТ

Верхній рівень — це сама система КОСПАС-САРСАТ, що взаємодіє з регіональними центрами розподілу повідомлень про нещастя і підтримується зацікавленими державами.

На другому (проміжному) рівні здійснюється координована функція системи і, зокрема, маршрутів оповіщення про нещастя відповідно до розробленого ІМО та ІКАО планами районів ПР.

На третьому, базисному рівні, держави здійснюють матеріально-технічне забезпечення системи, створюючи центри обробки і розподілу повідомлень про нещастя, взаємодіючи з СКЦ і координаційними центрами пошуку рятування (КЦПР) ПС. Забезпечення СКЦ і КЦПР персоналом і матеріально-технічними засобами також здійснюється зацікавленими державами.

Оскільки система КОСПАС-САРСАТ при використанні АРБ-406 забезпечує визначення національної приналежності, індивідуальних даних аварійного об'єкта і координат місця нещастя, оповіщення завжди може бути спрямоване відповідній

національній адміністрації чи в СКЦ, який ближче усього розташований до місця нещастя. Завдяки цьому досвід практичного використання КОСПАС-САРСАТ буде сприяти вирішенню проблеми координації пошуково-рятувальних операцій у районах міжнародного судноплавства й у зонах міжнародних авіаліній.

### **ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ**

1. Що таке навігація?
2. З яких частин складається навігація?
3. Назвіть види навігації.
4. Що таке навігаційні системи?
5. Назвіть види навігаційних систем.
6. Назвіть технічні засоби для визначення навігаційних параметрів РО.
7. Основні методи навігаційних визначень.
8. Сформулюйте другий закон Кеплера. Напишіть відповідну формулу.
9. Сформулюйте третій закон Кеплера. Напишіть відповідну формулу.
10. З чого складається система GPS.
11. Призначення та принцип роботи глобальної навігаційної супутникової системи ГЛОНАСС.
12. Структура і функціонування системи КОСПАС-САРСАТ.

## РОЗДІЛ 3 ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ РУХОМОГО СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

### 3.1 СРСЗ Euteltracs

Ідея створення вузько спеціалізованої системи супутникового зв'язку (ССЗ), орієнтованої тільки на вирішення задач контролю за вантажоперевезеннями, ще в 1985 р. У той час почалася комерціалізація військових космічних технологій у США, і компанія Qualcomm доклала зусиль до використання в комерційну систему найбільш передових військових технологій, такі як кодовий поділ каналів (CDMA) і псевдовипадкова перебудова робочої частоти (ППРЧ) у широкій смузі частот (36 МГц). Для цієї системи була спеціально створена високонадійна антена для стеження Ку-діапазона з механічним керуванням.

Супутникова система зв'язку і контролю за рухом транспортних засобів Euteltracs (Eutelsat Transport Ranging and Communications Services) була розгорнута трохи пізніше, у 1991 р., і фактично являє собою європейську версію Omnitracс. Архітектура, види послуг, принципи роботи і протоколи обміну даними в обох системах ідентичні. Основне розходження – у регіонах, що обслуговуються: Omnitracс покриває всю континентальну частину США, а Euteltracs призначена для обслуговування території європейських країн, Північної Африки і Близького Сходу.

Від початку орбітальне угруповання Euteltracs складалося з двох КА: зв'язку Eutelsat I-F4 ( $25,56^\circ$  в.д.) і навігації Eutelsat II-F4 ( $76^\circ$  в.д.). Зона обслуговування цієї ССЗ простиралася від Північного Льодовитого океану до Африки і від Атлантики до Уралу. Після 17 червня 2000 р., коли почалася комерційна експлуатація супутника SESAT ( $366^\circ$  с.д.), зона дії Euteltracs розширилася на Схід і охопила практично весь Сибір (рис. 3.1).

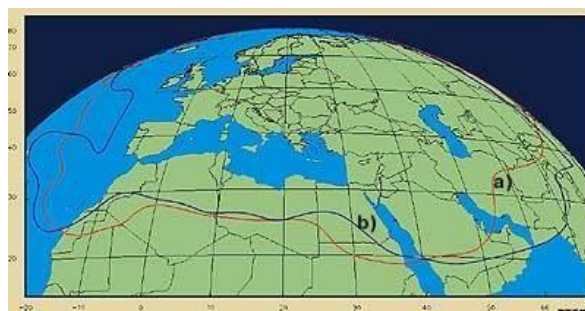


Рисунок 3.1 - Зона обслуговування Euteltracs а) Через супутник SESAT, б)Через супутник W3

*Мережна інфраструктура.* До складу системи Euteltracs входять два супутникових ретранслятори (зв'язку і навігації), центральна станція (HUB), Європейський центр мережного керування (NMC), парк мобільних терміналів і диспетчерські пункти автопредприємств і суднових компаній. Архітектура



системи строго централізована. Мережний трафік регіону замикається на HUB, зв'язаний з єдиним центром керування Euteltracs у Рамбуїє (пригород Парижа).

Центральна станція має дві антени: первинну (зв'язку) і допоміжну (навігації). За допомогою першої передається і приймається весь трафік регіону. Друга служить для передачі сигналу радіомаяка, синхронізованого з інформаційним сигналом. Центр мережного керування здійснює маршрутизацію інформації, що надходить як від HUB, так і від користувачів системи – компаній-операторів. Саме NMC забезпечує аутентифікацію абонентів, захист від несанкціонованого доступу, автоматичне відновлення інформації про місце розташування рухливих абонентів, а також ідентифікацію повідомлень за допомогою контролю їх номерів у прямому і зворотному каналах.

Центр керування зв'язаний орендованими міжнародними лініями з регіональними або національними сервіс-провайдерами, а до них, у свою чергу, теж через наземні канали підключені диспетчерські пункти автопідприємств або офіси компаній-вантажоперевізників. Устаткування диспетчерських пунктів гранично мінімізовано, у нього не входять дорогі приймачі і передавачі зв'язку.

*Технічні можливості.* На КА зв'язку Euteltracs передбачено два супутникових ретранслятори з вертикальною лінійною поляризацією. Один з них передає дані зі швидкістю 5–15 кбіт/с від центральної станції до мобільних терміналів (прямий канал), а другий використовується для прийому сигналів (зворотний канал).

У прямому каналі реалізований метод тимчасового поділу каналів (TDM), що забезпечує передачу на одній несучій частоті до 25 симплексних каналів зі швидкістю кожного 4,96 кбіт/с (модуляція BPSK) або 14,88 кбіт/с (QPSK). У передавачі використовується метод лінійної частотної модуляції з частотою сканування 33,07 Гц, за допомогою якого спектр вихідного сигналу розширюється по смузі до 2 МГц. Таке рішення не тільки підвищує конфіденційність передачі інформації, але і поліпшує електромагнітну сумісність Euteltracs із системами фіксованого супутникового зв'язку, що працюють у том ж діапазоні частот.

Швидкість обміну даними по зворотному каналу відносно невелика (від 55 до 165 біт/с), що пояснюється необхідністю забезпечення запасу по енергетиці в зонах зі зниженою якістю обслуговування. Поліпшення умов прийому досягається за рахунок триразового повторення інформаційних символів. У зворотному каналі використана 32-позиційна частотна маніпуляція (32 FSK), при якій потік розбивається на пакети по 5 біт, кожний з яких кодується загортковим кодом ( $R=1/3$ ,  $K=7$ ). На виході частотного модулятора ширина сигналу дорівнює 6,35 кГц, а розніс між сусідніми частотами складає 198,4 Гц.

У загальній смузі стовбура величиною 36 МГц можна організувати до 90 частотних каналів шириною по 400 кГц кожний, з розносом між сусідніми 400 кГц. Період повторення складає 15,12 мс або 5,04 мс. Задана якість

обслуговування гарантується при величині відносної енергії сигналу до спектральної щільності шуму ( $E_b/N_0$ ) не менш 10 дБ.

Для розширення спектра в зворотному каналі використовуються методи прямої послідовності (DS, Direct Sequence) і псевдовипадкової перебудови робочої частоти (остання застосовується в смузі 5 МГц, якщо кількість абонентів не перевищує 1 тис., і по всій ширині стовбура – при більшому числі абонентів). Таке сполучення методів формування сигналів дозволяє обслуговувати в зоні покриття значне число користувачів, не створюючи перешкод для служб ФСС. Теоретично, система з двоствольним ретранслятором здатна підтримувати роботу до 100 тис. абонентів. Нарощування пропускної здатності при збереженні якості зв'язку повинно здійснюватися за рахунок введення додаткових стовбурів супутникових ретрансляторів.

*Організація зв'язку.* Процедура «входження в зв'язок» для абонентів Euteltracs організована в такий спосіб. Після включення користувача, мобільний термінал автоматично переводиться в режим чергового прийому, у якому виконується пошук сигналу за допомогою антени стежиння. Власне, прийом починається після «захоплення» сигналу КА. У процесі руху антена постійно відслідковує місце розташування навігаційного і супутників зв'язку.

Передача повідомлень здійснюється в напівдуплексному режимі, тобто сеанси прийому і передачі даних чергуються. Така організація зв'язку забезпечує безперервне спостереження за сигналом у лінії «Земля-супутник». При провалі прийнятого сигналу термінал припиняє передачу і переходить у режим чергового прийому (щоб не створювати перешкод). Зв'язок не має обмежень за часом доби і місцю розташування абонента в зоні обслуговування Euteltracs.

Процедура керування зв'язком строго регламентована. Абонент передає повідомлення в диспетчерський центр, що відсилає йому підтвердження про одержання (якщо інформація адресована групі абонентів, то таке підтвердження не потрібно) і формує з повідомлень чергу для передачі на КА. Коли абонентський термінал приймає повідомлення, він висилає квитанції про одержання і прочитання. Кожне з повідомлень супроводжується даними про місце розташування абонента. Диспетчер веде спостереження за пересуванням користувачів за допомогою монітора по карті автодоріг, де відображається місцезнаходження об'єктів зв'язку.

Щоб виключити вплив несприятливих умов передачі, що впливають на надійність і своєчасність доставки повідомлень (автотранспортний засіб може виявитися в тунелі, під мостом), у Euteltracs передбачене підтвердження доставки. При його відсутності система автоматично повторює повідомлення з заданою періодичністю, поки автомобіль не виявиться в зоні зв'язку і підтвердження не буде отримано. Час повторення встановлюється диспетчером. Якщо після семи спроб встановлення зв'язку (чотирьох у перші 5 хв і трьох у наступні 18 г, – вони передаються з інтервалом у 6 г) транспортний засіб не виявляється в зоні зв'язку, диспетчер одержує повідомлення, що повідомлення не вручене.

Крім того, використовується і більш точна навігація абонента. Кожне передане повідомлення супроводжується двома квитанціями (разом з ними приходять координати абонента й інформація про час одержання повідомлення), що одержує диспетчер. У першій з них, квитанції про доставку, вказуються відомості про те, коли й у якій точці маршруту (обумовленої звичайно з точністю до 100 м) повідомлення надійшло на транспортний засіб. Друга повідомляє про те, коли повідомлення було прочитано користувачем і де він знаходився в цей момент.

Система забезпечує передачу різних типів повідомлень – індивідуальних, групових і декількох видів системних (аварійних, екстрених, пріоритетних). У надзвичайній ситуації абонент може передати екстрений сигнал (шляхом натискання кнопки тривоги, Panic Button), разом з яким у диспетчерський центр направляються дані про його точне місцезнаходження і час відправлення. Передача такого сигналу завжди дублюється по «гарячій» лінії зв'язку, що з'єднує центр зв'язку в Рамбуїє з національними постачальниками послуг.

Гарантований час доставки складає 2 хв, однак реально понад 90% усіх повідомлень транспортуються не більш ніж за 30 с. Для підвищення оперативності зв'язку водії і диспетчери користуються макроповідомленнями, що зберігаються в енергонезалежному ЗП (його об'єм розрахований на 63 макроповідомлення). Кожен індивідуальний користувач і будь-яка група можуть мати власні набори макроповідомлень.

*Безпека зв'язку.* Для системи Euteltracs характерне забезпечення високої конфіденційності інформаційного обміну. За кожним транспортним засобом закріплений свій індивідуальний код, і повідомлення одержує тільки адресат. Використання широкосмугових шумоподібних сигналів з рівнем випромінюваної потужності нижче рівня шуму, а також гостронаправлених антен робить перехоплення сигналів украй важкою задачею. Тому найбільшу клопотаність у потенційних користувачів Euteltracs викликає обов'язкове транспортування комерційної (по суті) інформації через єдиний центр мережного керування, розташований у Рамбуїє.

Є кілька шляхів рішення цієї проблеми. Оскільки в системі Euteltracs відбувається обмін тільки текстовими повідомленнями, то їх досить просто зашифрувати; застосування індивідуальних кодів і паролів практично виключає можливість перехоплення інформації або посилки помилкового повідомлення на транспортний засіб.

Правила безпеки системи вимагають, щоб дані передавалися тільки після реєстрації абонента. Реєстраційне повідомлення, що включає в себе обліковий номер користувача і пароль, надходить в центр керування і порівнюється з реєстраційними даними, що зберігались в абонентському файлі. Після трьох невдалих спроб встановлення зв'язку абонент автоматично відключається, причому всі ці спроби реєструються і їх статистика відслідковується операторами, що обслуговують систему. Прийом повідомлень дозволений лише після ідентифікації користувача.

До міри забезпечення безпеки можна віднести і процедури контролю за часом, що абонент проводить у шляху (відслідковується за допомогою додаткового бортового комп'ютера автомобіля і тахометра). Слід зазначити, що в країнах Європейського союзу ці процедури жорстко регламентуються; порушення регламенту спричиняє значні штрафи й інші покарання, аж до позбавлення компанії-перевізника ліцензії.

На базі системи Euteltracs у диспетчерському пункті можна створити систему контролю за станом транспортного засобу і перевезеного вантажу. Тоді при відхиленні від заданого маршруту або виникненні проблем з перевезеним вантажем, ця система здатна автоматично (або по команді диспетчера) включити сирену й аварійну сигналізацію, примусово обмежити швидкість руху або (у надзвичайній ситуації) блокувати термінал.

*Мова або дані ?* Використання під час перевезення вантажів режиму текстових повідомлень має ряд переваг у порівнянні з традиційною передачею мови. Крім конфіденційності цей режим автоматично забезпечує документування всієї переданої і прийнятої інформації. Не менш важливий і той факт, що абонент-водій одержує дані про зміни маршруту з точними назвами міст і прикордонних пунктів, що у випадку голосового зв'язку не завжди правильно відтворюються.

Передача текстового повідомлення не вимагає обов'язкової присутності абонента або диспетчера в момент передачі (на відміну від голосового зв'язку). Навіть при відключенні термінала воно обов'язково надійде до адресата.

На диспетчерському пункті комп'ютер приймає і зберігає всю інформацію, що надходить, але навіть якщо він виключений, ці відомості не пропадають, а зберігаються в іншому пристрої – комп'ютері регіонального оператора. При включенні комп'ютера і встановленні модемного зв'язку з регіональним центром диспетчер одержує всю інформацію, що надійшла для нього. Електронні карти місцевості, на які можуть бути нанесені зображення всіх машин даного господарства, дозволяють йому оперативно відслідковувати маршрути руху автотранспорту.

Хотілося б особливо помітити, що така організація зв'язку забезпечує (при необхідності) контроль за транспортними засобами й у неробочий час. Наприклад, його можна здійснювати з домашніх комп'ютерів співробітників автопідприємств або судових компаній, підключених через модем до телефонної лінії. Найближчим часом у Euteltracs планується впровадити нове ПЗ, що буде підтримувати доступ до системи через Internet.

*Абонентське устаткування.* На транспортному засобі встановлюється абонентський комплект, що складається з трьох базових блоків – зовнішнього (він захищений радіопрозорим ковпаком), внутрішнього модуля зв'язку і клавіатури з дисплеєм.

До складу зовнішнього блоку входять антена стежиння, з механічним керуванням, вхідні каскади приймача і вихідні каскади передавача. Конструкція зовнішнього блоку дозволяє встановлювати його на будь-яких транспортних засобах і експлуатувати при зміні температури навколишнього середовища від -30 до +6°C.

Сигнал випромінюється гостронаправленою антеною з коефіцієнтом підсилення 19 дБ. Ширина діаграми спрямованості (ДН) за рівнем 3 дБ складає  $66^\circ$  в азимутальній площині і  $50^\circ$  по куту місця (ДН керується тільки по азимуту). Рівень бічних пелюстків антени не перевищує 12 дБ щодо коефіцієнта підсилення по осі діаграми спрямованості. Вихідна потужність передавача – 1 Вт.

Термінал оснащений ЗП для збереження повідомлень. Максимальна довжина кожного з них обмежена 1900 знаками (6 біт на символ ASCII) або, відповідно до максимального об'єму ЗП, 1425 байтами. Мікропроцесори терміналу забезпечують усі функції обробки сигналів, входження в зв'язок і демодуляції. Передбачений також режим перевірки працездатності і пошуку несправностей.

Блок прийопередатчика може розміщатися в будь-якому місці салону автомобіля, тому що керування роботою терміналу здійснюється за допомогою клавіатури й вбудованого дисплея. Клавіатура (розкладка QWERTY) має додатково кілька перепрограмованих функціональних клавіш і оснащена засобами індикації часу чекання повідомлення, синхронізації з КА і вихідної потужності.

Невелика вихідна потужність і порівняно низьке енергоспоживання (до 35 Вт) терміналу дозволяють йому тривалий час працювати від акумуляторних батарей, навіть при виключеному двигуні. Крім того, відразу ж після зупинки двигуна термінал автоматично переключається в енергозберігаючий режим, у якому відбувається його періодичне включення/виключення, завдяки чому зв'язок можна підтримувати протягом декількох діб без ризику «посадити» акумулятор.

Мобільний термінал екологічно безпечний. За рівнем випромінюваної їм потужності він схожий із трубками стільникового зв'язку, а ширина його променя істотно менше, та й спрямований він вгору.

*Тарифи.* Відомо, що сервіс супутникового зв'язку не можна назвати дешевим, особливо послуги передачі мови. Транспортування текстових повідомлень трохи вигідніше, тому що користувач платить тільки за об'єм відправленої інформації, а не за увесь час зв'язку. Крім того, на передачу короткого повідомлення витрачається істотно менше ресурсів, чим у випадку використання голосового зв'язку, а застосування в Euteltracs «макросів» (стандартні повідомлення типу бланка) дозволяють ще більше скоротити об'єм трафіка.

В останні роки темпи розвитку телекомунікаційних технологій стали настільки стрімкими, а конкуренція такою твердою, що час «життя» практично будь-якої системи мобільного зв'язку, як правило, не перевищує десяти років. Якщо навіть апаратура функціонує надійно, вона застаріває морально і вимагає модернізації або заміни.

Європейська система Euteltracs є виключенням. Вона успішно експлуатується на ринку вантажоперевезень, впевнено утримуючи свої позиції. Цією ССЗ користуються ведучі «перевізники» світу, банки і деякі інші

споживачі. Її послугами тільки в Німеччині користуються більше 8 тис. транспортних засобів.

Обслуговування вантажних перевезень – досить привабливий сегмент ринку супутникового зв'язку, на якому Euteltracs змогла скласти серйозну конкуренцію таким ССЗ, як Argos і Inmarsat-3.

*Частотний план.* Система Euteltracs працює в Ku-діапазоні частот, виділеному на первинній основі для фіксованої супутникової служби. Передача інформації відбувається в діапазоні 14,0–14,5 ГГц, а прийом – у смузі 10,95–12,75 ГГц, що розділена на три піддіапазони (10,95–11,2, 11,45–11,7 і 12,5–12,75 ГГц). Крок сітки частот дорівнює 1 кГц при точності установки не гірше 100 Гц. Передача сигналів позиціонування (радіомаяка) HUB і їхній прийом після переретрансляції навігаційним КА Euteltracs також здійснюються на зазначених частотах.

Частотний план системи має трохрівневу структуру, що гарантує високу надійність доступу користувачів до системи. Первинний (primary) план складають частоти, на яких встановлюється зв'язок з абонентами, що працюють у штатному режимі. Такі частоти призначаються кожному мобільному терміналові перед початком експлуатації; їх значення разом з персональною адресою абонента зберігаються в енергонезалежній пам'яті.

Вторинний (secondary) план передбачений для резервування первинних частот, які використовуються при виникненні несправностей в одному з робочих стовбурів ретранслятора. Частотний план третього рівня (third plan) задіється при повному відмовленні супутника; у ньому зазначені ресурси, зарезервовані на іншому КА. При тому або іншому відмовленні мобільний термінал автоматично переводиться на резервні частоти прямого і зворотного каналів відповідно до вторинного або третинного частотного плану. Значення цих частот періодично розсилаються на мобільні термінали центром керування.

Процедура переходу на резервні частоти така. Після включення користувача мобільний термінал починає спробу встановити зв'язок на робочих частотах прямого каналу, зазначених у первинному плані. Якщо протягом встановленого контрольного часу це йому не вдається, то пошук продовжується на резервних частотах, визначених у вторинному або третинному планах.

*Визначення місцезнаходження.* Для одержання оперативної інформації про транспортні засоби в системі Euteltracs передбачена процедура автоматичного визначення їх місцезнаходження, що виконується щогодини (додатково – при кожному вимиканні двигуна). Інформація автоматично заноситься в комп'ютер диспетчера (представляється в табличній формі або відображається безпосередньо на електронній карті).

Абонентські термінали використовують один із трьох методів визначення місцезнаходження – незалежне позиціонування від зовнішніх систем (Qualcomm Automatic Satellite Position Reporting, QASPR), застосування систем навігації LORAN-C або GPS.

Базовий метод Euteltracs – QASPR. Він заснований на передачі з HUB (через КА RANGER) немодульованої несучої (виконує роль сигналу радіомаяка)

у діапазоні частот 14,0– 14,5 ГГц. Випромінюваний через допоміжну антену, цей сигнал синхронізований по фазі з інформаційним потоком прямого каналу. У навігаційному КА він трансформується в діапазон прийому (10,95– 12,75 ГГц) і перевипромінюється з використанням лінійної частотної модуляції, займаючи в ефірі смугу частот шириною 2 МГц.

GPS-приймачі застосовуються поза зонами покриття навігаційного КА. Використання навігаційного приймача LORAN-3 (з додатковою навігаційною антеною) можливо лише в районах дії передавачів LORAN, тобто тільки в Північній Америці.

Згідно QASPR, визначення координат об'єкта виробляється триангуляційним методом (за допомогою КА зв'язку і навігації і мобільного терміналу). При цьому інформаційні сигнали передаються центральною станцією через КА зв'язку, а навігаційні – через інший супутник.

До початку сеансу зв'язку мобільний термінал автоматично переорієнтує свою антену на навігаційний супутник. Вбудований у термінал процесор обчислює різницю часу приходу сигналів від двох КА (nrt) і передає її по зворотному каналі на HUB. Визначення місцезнаходження здійснюється по трьох параметрах: nrt, загальному часу проходження сигналу (від HUB до абонента і назад) і координатам земної поверхні (по моделі).

В даний час накопичений великий статистичний матеріал, по якому в Euteltracs можна оцінити точність визначення місцезнаходження для різних рельєфів місцевості, широтних районів (від 25 до 70° с.ш.) і значень кутів рознесення (3, 6 і 9°). Координати контролювалися шляхом зіставлення обчислених навігаційних даних з параметрами, визначеними за допомогою контрольного GPS-приймача і дрібномасштабної карти. Аналіз даних показує, що основним фактором, що впливає на точність, є кутове рознесення між навігаційним і КА зв'язку.

### 3.2 CPC3 Emsat

Система супутникового зв'язку EMSAT (європейська система мобільного супутникового зв'язку) забезпечує голосовий і факсимільний зв'язок, передачу даних і повідомлень (SMS), визначення координат місця розташування об'єкту (GPS) з точністю до 30м на території всієї зони обслуговування. EMSAT (рис. 3.2) введена в експлуатацію в 1999 році, і складається з одного геостационарного супутника Italsat F2 (точка стояння 16,48 с.д.), що забезпечує обслуговування всіх європейських країн, північної частини Африки й Азії. До складу наземного сегмента входить базова станція, розташована в м. Ларіо (Італія, оператор мережі Telespazio), що управляє доступом абонентів до космічного сегменту і забезпечує з'єднання EMSAT з наземними мережами загального користування.

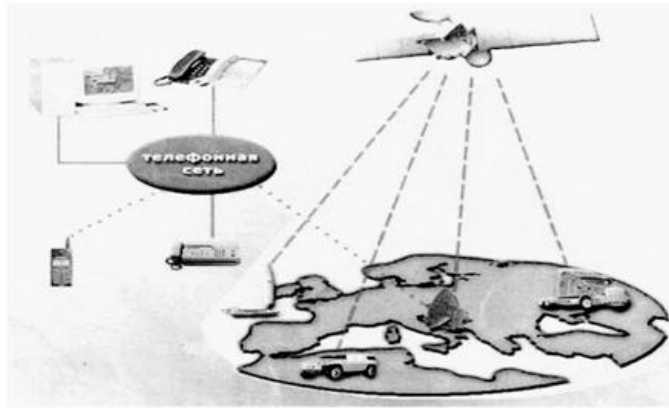


Рисунок 3.2 - Структурна схема системи супутникового зв'язку EMSAT

Система EMSAT призначена для:

- голосового зв'язку, прийому й передачі необхідних документів по факсу, не виходячи з автомобіля;
- диспетчеризації автотранспортних перевезень;
- своєчасного одержання інформації про стан вантажу, транспортного засобу, а також про стан водія і пасажирів;
- обміну повідомленнями (SMS) між диспетчером і водієм транспортного засобу;
- визначення місця розташування транспортного засобу в реальному масштабі часу;
- передачі сигналу про виникнення надзвичайної екстреної ситуації від транспортного засобу на диспетчерський центр, інший транспортний засіб або на найближчий рятувальний центр.

Система ідеально підходить для:

- автотранспортних підприємств, що здійснюють міжнародні перевезення;
- туристичних агентств, що мають у своєму складі автобусний парк або катери для прогулянок;
- компаній, що здійснюють перевезення за допомогою водного транспорту;
- нафтові й нафтопереробні компанії;
- різних міністерств і відомств;
- приватних осіб.

Переваги системи EMSAT:

- цілодобова готовність;
- безпека й таємниця зв'язку;
- якісний голосовий і факсимільний зв'язок;
- універсальність устаткування системи EMSAT;
- великий вибір додаткового устаткування;
- покриття території європейських країн, північної частини Африки й Азії.



Базовий комплект системи EMSAT дозволяє підключатися до міні-АТС або просто встановлюється в офісі (стаціонарний варіант установки), що дає можливість організувати внутрішню мережу зв'язку, при цьому витрати на голосовий і факсимільний зв'язок зменшаться.

*Устаткування (Мобільний супутниковий зв'язок).* Устаткування виробляється відомою фірмою NEC®, і розроблено спеціально для використання на будь-яких рухомих і стаціонарних об'єктах. До складу базового устаткування входять:

- системний блок (приймопередатчик, NEC S2) призначений для обробки даних і з'єднання з персональним комп'ютером (ноутбуком), телефоном (радіотелефоном), факсом-апаратом (Group 3 з FEC), терміналом із сенсорним екраном для передачі повідомлень довільної форми (Message Box), а також підключення GPS-приймача;

- системний блок віброудароміцний і пилевологозахищений;

- різні види антен - стаціонарна (planar) або самоналаштовувана антена купольного типу (у морському (marine) або автомобільному (dome) виконанні. Антену вибирають залежно від передбачуваного місця використання пристрою (автомобіль, офіс, яхта й т.д.);

- багатофункціональна трубка (системна) з невеликим рідкокристалічним

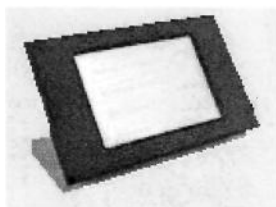


дисплеєм на 30 буквено-цифрових символів, за допомогою якої ініціюються й приймаються телефонні виклики або фіксовані короткі повідомлення (до 40 повідомлень), контролюється поточний стан пристрою (визначається, який рівень сигналу від космічного

апарата (супутника), чи вільний абонент, проводиться тестування несправностей і т.д.). Трубка має певний "інтелект" і здатна зберігати у своєму ОЗП не тільки номери телефонів і повідомлення, але й параметри установки режимів роботи, паролі для захисту від несанкціонованого використання станції й алгоритми процедур автоматичного самотестування. А також має можливість підключення гучномовця й мікрофона (hands free).

Додаткове устаткування.

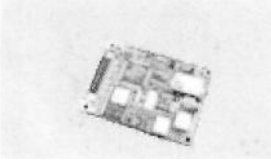
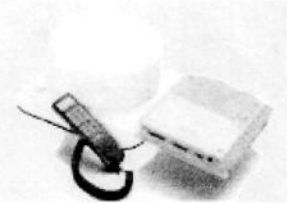
- термінал (Message Box) призначений для передачі-прийому повідомлень довільної форми між диспетчером і водієм. Повідомлення можна створювати на трьох мовах (українській, англійській, російській). Зручне й просте меню, сенсорний екран - все створює простоту роботи з терміналом. Термінал легко монтується в борт панелі невеликих розмірів;



це

- використовуються компактні автомобільні факс-апарати, що дозволяють приймати, відправляти документи на швидкості 4,8 Кбіт/с, (Group 3 з FEC);



-  підключається плата внутрішнього GPS-приймача із зовнішньою антеною для визначення місця розташування об'єкта, і передачею даних на диспетчерський центр;
-  комплект "Голосний зв'язок" - зовнішній гучномовець і мікрофон.



### 3.3 CPC3 Iridium

Система Ірідіум (рис. 3.3.) - це бездротова мережа персонального мобільного зв'язку, що працює на низькоорбітальних супутниках і розроблена для надання набору стандартних телефонних послуг - голосовий зв'язок, передача факсимільних повідомлень, даних і пейджингу з будь-яким абонентом на Землі. Концепцію системи Ірідіум запропонували інженери компанії Моторола - Рэй Леопольд, Кен Петерсон і Бэри Бертайгер. Вони передбачили успіх угруповання з низькоорбітальних супутників. Дослідження й розробки почалися в 1987 році.

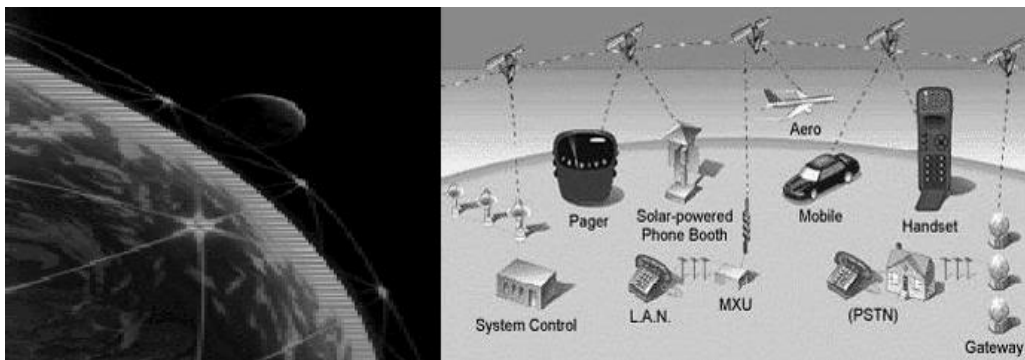


Рисунок 3.3 – Система Iridium

Розпочавши надання послуг з 1-го листопада 1998, компанія Iridium LLC (заснована в 1991 і інвестувала в проект близько 7 мільярдів доларів) оголосила 17 березня 2000 року про припинення обслуговування абонентів. Однак 22 листопада 2000 р., знову утворена компанія Iridium Satellite LLC, підписавши контракт на обслуговування з Пентагоном, приступила до переведення активів і передачі управління угрупованням компанії Boeing. З 12.12.2000 р. обслуговування абонентів Пентагона й Уряду США відновлено. Комерційна експлуатація системи була відновлена 28 березня 2001 року.

Система Ірідіум знайшла підтримку інвесторів в особі 19-ти стратегічних партнерів із усього світу, включаючи: групу компаній "AIG", корпорацію "Iridium Africa", корпорацію "Iridium SudAmerica", корпорацію "Iridium Middle East", ГКНПЦ ім. Хрунічева, корпорацію "Lockheed Martin", "Iridium Canada,

Inc.", "Iridium China (Hong Kong) Ltd.", "Iridium India Telecom Limited", "Iridium Italia S.p.A.", компанію "Raytheon", "SK Telecom", холдинг "South Pacific Iridium", "Sprint Iridium, Inc.", "Thai Satellite Telecommunications Co., Ltd.", "Motorola, Inc.", "Nippon Iridium (Bermuda) Limited", "Vebacom Holdings, Inc.", "Pacific Asia Communications Ltd." Сімнадцять партнерів-інвесторів також взяли участь в експлуатації й обслуговуванні 12-ти наземних станцій зв'язку, що є зв'язною ланкою між супутниковим угрупованням і наземними мережами, включаючи стільникову. Всі 12 операторів станцій зв'язку також виконували роль регіональних дистриб'юторів послуг Ірідіум на виділеній території.

#### *Супутники Ірідіум.*



Ірідіум управляє угрупованням з 66 основних низькоорбітальних супутників, з висотою орбіти 780км (485 миль). 66 основних плюс 6 запасних супутників розташованих в 6-ти орбітальних площинах з кутом нахилу 86.4 градуса. Орбітальний період становить 100 хвилин 28 секунд.

#### *Загальні характеристики:*

Вага супутника – 700 кг (1500 фунтів). Зональні промені - 48 на кожному супутнику. Потужність каналу - 16 ДБ (середня), термін служби - 5-8 років.

Всі супутники були запуснені ракетами "Delta II" компанії Боїнг (5 супутників Ірідіум на запуск), "Протон" ГКНПЦ ім. Хрунічева (сім супутників Ірідіум за запуск) і "Лонг Марк 2с" компанії China Great Wall (два супутники Ірідіум за запуск).

За допомогою такої кількості низькоорбітальних супутників Ірідіум забезпечує 100% покриття Землі. Однак в 4-х країнах система не працює: Пів. Корея, Угорщина, Польща, Пів. Шри Ланка. Карти покриття діляться на 2 категорії: карти для телефонії й пейджингу. Карти пейджингу містять області доставки повідомлень.

Відносно коротка відстань до супутника зменшує затримку сигналу й поліпшує якість зв'язку. Кожний супутник покриває зону шириною в 4000 км. У зв'язку з високою швидкістю прольоту супутників (приблизно 1 оберт навколо Землі на годину), сигнал абонента Ірідіум передається від супутника до супутника не викликаючи переривання. Наземні станції зв'язку зв'язані як мінімум з двома супутниками угруповання.

*Телефони й пейджери Ірідіум.* У системі Ірідіум є всі послуги зв'язку - голос, пейджинг надаються поза залежністю від місцезнаходження абонента і наявності телекомунікаційних мереж. Повний спектр абонентського устаткування для зв'язку в системі Ірідіум включає двомодові телефони, спеціалізовані авіаційні й суднові термінали, цифрові й буквенно-цифрові пейджери.

Портативний телефон Ірідіум нагадує звичайний стільниковий телефон. Розміри, вага й час роботи від акумулятора якого цілком близькі до стільникових трубок. Тому що телефон Ірідіум працюють у двох режимах - стільниковому й супутниковому - при наявності відповідної мережі він може використатися в стільниковому режимі. Телефони Ірідіум забезпечують високоякісне з'єднання для голосового зв'язку й допускають інтерфейсне з'єднання з ноутбуками, "палмтопами", електронними органайзерами й іншим телекомунікаційним устаткуванням. У містах, де доступний стільниковий зв'язок, двомодовий телефон дозволяє використовувати стільникову мережу.

*Використовувані частоти:*

<b>Напрямок</b>	<b>Частота</b>
Телефон Ірідіум-Супутник	1616-1626.5МГц
Супутник-Телефон Ірідіум/Пейджер	1616-1626.5МГц
Супутник-Супутник	23. 18-23.38ГГц
Супутник-Наземна станція сполучення	19. 4-19.6ГГц
Наземна станція сполучення-супутник	29. 1-29.3ГГц

### **3.4 СРСЗ Globalstar**

Глобалстар (рис. 3.4) являє собою консорціум з міжнародних телекомунікаційних компаній, заснований в 1991 році. Система Глобалстар розроблена для надання високоякісних супутникових послуг для широкого кола користувачів, що включають:

- голосовий зв'язок;
- службу коротких повідомлень;
- роумінг;
- позиціонування;
- факсимільний зв'язок;
- передачу даних.

Система Глобалстар призначена для користувачів стільникових мереж, що роумінгують за межами покриття домашньої мережі, людей, що працюють у віддалених районах, де наземний зв'язок повністю відсутній, жителів населених пунктів з обмеженою ємністю телекомунікаційних мереж для задоволення потреби в телефонії, а також тих, кому необхідний зв'язок під час міжнародних відряджень і подорожей.



Рисунок 3.4 – Супутникова система Globalstar

Супутникове угруповання Глобалстар складається з 48 робочих і 4-х запасних супутників, що розташовуються на низькій орбіті, на висоті 1414 км (876 миль) від поверхні Землі. Після повного розгортання всіх наземних станцій з'єднань, угруповання з 48-ми супутників Глобалстар буде здатне приймати сигнали з 80% поверхні Землі, тобто практично з будь-якої точки земної кулі за винятком полярних областей і деяких зон центральної частини океанів.

*Супутники Глобалстар.*



Супутники системи прості й надійні. Кожний складається з антени, трапецієподібного корпусу, двох сонячних панелей і магнітометра.

Загальні характеристики: Повна вага - 450 кг, кількість променів – 16. Випромінювана потужність-1100 Вт. Термін служби становить – 7,5 років.

Супутники розосереджені на восьми похилих ( $52^\circ$ ) орбітах, по 6 на кожній забезпечуючи покриття земної поверхні від  $70^\circ$  півн. ш. до  $70^\circ$  півд.ш.

*Частоти, що використовуються.*

До додаткових переваг використання низькоорбітальних супутників у системі Глобалстар ставиться непомітна затримка сигналу і легкі ризогабаритні телефони-трубки, виготовлені за принципом "усе в одному". Супутники працюють по архітектурі "зігнутої труби" ("bent-pipe). Тобто. приймаючи сигнал абонента, декілька супутників, використовуючи технологію CDMA, одночасно транслюють його на найближчу наземну станцію з'єднання. Наземна станція з'єднання авторизує сигнал і маршрутизує його по наземних мережах до абонента, що викликається.

Напрямок	Частота
Телефон Глобалстар - Супутник	1610-1625,5МГц
Супутник - Телефон Глобалстар	2483,5-2500МГц
Супутник - Наземна станція сполучення	6875-7055МГц
Наземна станція сполучення - Супутник	5091-5250МГц

Стратегічно станції з'єднання в системі Глобалстар відіграють ключову роль, тому що дають можливість мати простий і зручний доступ до устаткування, що при необхідності можна модернізувати й міняти залежно від змін у наземних мережах. Саме тому система Глобалстар і послуги, які вона надає, прості в керуванні, нарощуванні ємності й модернізації.

*Телефони Глобалстар.* Мобільні супутникові телефони Глобалстар забезпечують високоякісний голосовий зв'язок, роумінг і SMS повідомлення, а також, із червня 2000 року, визначення місця розташування й асинхронну передачу факсимільних повідомлень і даних зі швидкістю до 9.6 Кбіт/сек. Вони лише трохи більше існуючих стільникових телефонів і виготовляються трьома провідними виробниками: Еріксон, Квалком і Телітал. Всі телефони є багатомодовими й дають можливість працювати не тільки в супутниковій мережі Глобалстар, але й у стільникових мережах стандартів AMPS, CDMA і GSM. Стаціонарні телефони випускаються на заводах компанії Еріксон-Квалком, а таксофони виготовляються компанією Шлюмберже. Різноманітні асортименти аксесуарів полегшують користування телефонами в польових умовах, в автомобілі й на судні.

### 3.5 CPC3 Inmarsat



Створена в 1979 році з метою задоволення потреб у супутниковому зв'язку на морських суднах і безпеці мореплавання. Інмарсат у цей час управляє глобальним супутниковим угрупованням, що використовується незалежними сервіс-провайдерами для

надання послуг голосового, факсимільного телексного й мультимедійного зв'язку для користувачів, що перебувають у русі й у районах з відсутністю традиційних видів зв'язку.

Продовжуючи розвивати й удосконалювати зв'язок на морі, Інмарсат розширила сферу свого впливу на наземний, автомобільний і авіаційний ринки. Таким чином, на сьогодні користувачами системи є тисячі абонентів, які живуть або працюють у віддалених районах, де відсутній наземний зв'язок, або подорожують по всьому світі. Користувачами системи є журналісти й телеоператори, рятувальні організації й міністерства з надзвичайних ситуацій,

транспортні компанії, що перевозять вантажі, авіалінії, авіапасажири й органи керування повітряним рухом, працівники державних установ, підрозділу цивільної оборони, а також глави держав.

*Супутники (рис. 3.5).*

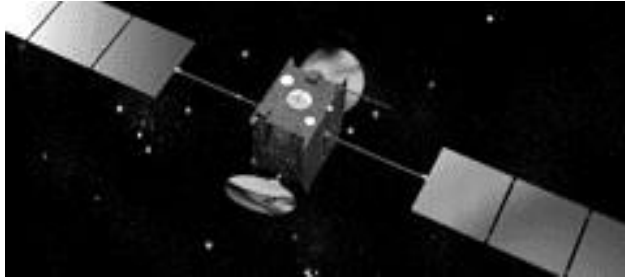


Рисунок 3.5 - Супутники системи Інмарсат

Супутники системи Інмарсат розташовуються на геостаціонарній орбіті на висоті 22 223 милі (35 786 км). Кожний супутник покриває приблизно третю частину Землі й стратегічно розташований над одним із чотирьох океанів для забезпечення "глобальної всесвітньої павутини в небі". Всі разом спутники Інмарсат покривають близько 98% земної поверхні. Гарантоване покриття забезпечується в середньому від 70° півд.ш. до 70° півн. ш.

Існує кілька поколінь супутників Інмарсат.

Супутники 2-го покоління. Чотири супутники Інмарсат-2 розроблені міжнародним консорціумом, очолюваним підрозділом The Space&Communications компанії "British Aerospace" (у даний момент входить до складу англо-французької компанії "Matra Marconi Space"). Підприємствами виступили "Hughes Aircraft" (США), "Fokker" (Нідерланди), "Matra" (Франція), "MBV" (Німеччина), "NEC" (Японія), і "Spar" (Канада). Центри керування супутниковим угрупованням споруджувалися при особистій участі компаній: "CLTC" (Китай), "CNES" (Франція), "SED" (Канада), "Telespazio" (Італія), і "Intelsat".

Інмарсат-2 - це супутники зі стабілізацією в трьох площинах, на основі платформи "Eurostar", розроблені компаніями "British Aerospace" і "Matra Espace" (обидві в цей час входять у групу "Matra Marconi Space"). Супутники розраховані на 10-літній строк експлуатації. Передпускова вага склала 1300 кг, орбітальна вага - 800 кг при 1200 Вт випромінюваній потужності. Телекомунікаційне устаткування включає 2 транспондери, що забезпечують роботу на передачу (із С- на L-діапазон) і на прийом (з L- на С-діапазон) при роботі з наземним устаткуванням на частотах 6.4/1.5 і 1.6/3.6 ГГц. Ефективна ізотропна випромінювана потужність (ЕІВП) L-діапазону становить 39дБВт. Кожний супутник забезпечує покриття приблизно 1/3 частини Землі. Залежно від навантаження, смуга частот і ЕІВП перерозподіляється між судновими, авіаційними й наземними користувачами.

*Супутник 2F1* розташований у Тихоокеанському регіоні на  $179^\circ$  с.д. Запасний супутник для Інмарсат3-F3 запусканий 30 жовтня 1990 р. ракетою "Дельта". В експлуатації (IOR) з 8 грудня 1990 р.

*Супутник 2F2* розташований у Західноатлантичному регіоні на  $98^\circ$  з.д. Обслуговує виділені канали і є запасним для Інмарсат3-F4. Запусканий 5 березня 1991 р. ракетою "Дельта". В експлуатації (AOR-E) з 13 квітня 1991 р.

*Супутник 2F3* розташований в Індійському океанічному регіоні на  $65^\circ$  з.д. з 4 березня 1997 р. Запасний Супутник для Інмарсат3-F1. Запусканий 16 грудня 1991 р. ракетою "Ариан". В експлуатації (POR) з 19 січня 1992 р.

*Супутник 2F4* розташований у Західноатлантичному регіоні на  $109^\circ$  с. д. Забезпечує роботу виділених каналів. Запусканий 15 квітня 1992 р. ракетою "Ариан". В експлуатації з 31 травня 1992 р.

Супутники 3-го покоління. Самі супутники виготовлені американською компанією "Lockheed Martin Astro Space", системи забезпечення й керування розроблені на основі платформи "Series 4000" компанії "Astro Space Series". Англійський підрозділ "Matra Marconi Space" підготувало телекомунікаційну частину, що включає антени, повторювачі й інше комунікаційне устаткування. Все устаткування зв'язку функціонує в С- і L-діапазонах. Антени й електронне устаткування кожного супутника налаштоване на покриття певної частини Землі, іменоване "footprint". Безсумнівна перевага супутників Інмарсат- 3 полягає в здатності концентрувати потужність у певній зоні. Кожний супутник має до 7 зональних променів і один глобальний. Кількість задіяних променів прямо залежить від інтенсивності використання зв'язку. Крім перерахованого вище, супутники здатні використати частину L-діапазону недотичних променів, подвоюючи, таким чином, пропускну здатність супутника. Передстартова вага кожного супутника склала 2066 кг. ЕІВП кожного супутника становить 48дБВт, де ЕІВП (ефективна ізотропна випромінювана потужність) означає, яку енергію може сконцентрувати супутник в області, що обслуговує.

*Супутник 3F1* запусканий 3 квітня 1996 р. ракетою "Atlas Centaur ІІА". Запуск зроблений з мису Канаверал. Орбітальна точка стояння -  $64.0^\circ$  с.д. (IOR). В експлуатації з 11 травня 1996 р.

*Супутник 3F2* запусканий 6 вересня 1996 р. ракетою "Протон". Запуск зроблений з космодрому Байконур. Орбітальна точка стояння  $15.5^\circ$  з.д. (AOR-E). Початок експлуатації - 06:00 13-го жовтня 1996 р.

*Супутник 3F3* запусканий 18 грудня 1996 ракетою "Atlas Centaur ІІА". Запуск зроблений з мису Канаверал. Орбітальна крапка стояння -  $178^\circ$  в. д. (POR). Початок експлуатації - 17:50 25 січня 1997 р.

*Супутник 3F4* запусканий 3 червня 1997 р. ракетою "Ariane 4". Запуск зроблений з острова Куру, Французька Гвіана. Орбітальна точка стояння -  $54^\circ$  з.д. (AOR-W). В експлуатації з 26 липня 1997 р.

*Супутник 3F5* запусканий 3 лютого 1998 р. ракетою "Ariane 4". Запуск зроблений з острова Куру, Французька Гвіана. Орбітальна точка стояння -  $25^\circ$  с. д. Обслуговує виділені канали і є запасним для Інмарсат3-F2.

Супутники 4-го покоління. 3 супутника Інмарсат І-4 розроблені компанією "Astrium" (попередня назва - Matra Marconi Space) і запусканий в 2004



році. Потужність нових супутників в 100 разів вище, ніж у попередніх, що дозволяє передавати дані зі швидкістю до 432 Кбіт/с. Удосконалена технологія дозволила знизити тарифи до 75% від існуючих у стандарті Інмарсат-М4. Нова послуга називається В-GAN - Broadband Global Area Network (широкопasmутова глобальна мережа).

Відповідно до призначення й використання, система Інмарсат підрозділяється на стандарти:

*Inmarsat-phone mini-M (Інмарсат мiни-М)*. Найбільш популярний стандарт, розроблений для роботи з технології зонального променя супутників Інмарсат-3. Термінали даного стандарту є малогабаритними й легкими. Маючи розміри менш комп'ютера "ноутбук", їхня вага становить біля 2-х кг. Розроблено версії для установки на автомобіль, ж/д вагон, напівстаціонарні установки, а також для встановлення на судна і яхти.

*Inmarsat-GAN (Інмарсат-ГЭН)*. Введений в експлуатацію наприкінці 1999 року, даний стандарт забезпечує роботу в Глобальній мережі (Global Area Network (GAN)), включаючи голосовий зв'язок 4.8 Кбіт/с, факс і високошвидкісні дані (до 64 Кбіт/с), ISDN, IPDS (пакетна передача даних), доступ в Інтернет, електронну пошту, відеоконференцію.

*Inmarsat R-BGAN (Інмарсат aP-БуГЭН)*. Введений 18 листопада 2002р., забезпечує супершвидкісний доступ до Інтернет, корпоративним мережам Інтранет і такі ключові бізнеси-додатки: електронна пошта, передача файлів, доступ до віртуальних приватних мереж і електронної комерції.

*Inmarsat-A (Інмарсат-А)*. Родоначальник, введений в експлуатацію в 1982 році. Надає послуги телефонії, факсимільного й телексного зв'язку в аналоговому режимі.

*Inmarsat-B (Інмарсат-Бу)*. Введений в експлуатацію в 1993 році, даний стандарт є цифровим аналогом стандарту Інмарсат-А. Забезпечує весь спектр послуг стандарту Інмарсат-А, але по більше низьких тарифах у зв'язку з більше раціональним використанням частотного ресурсу.

*Inmarsat-C (Інмарсат-Су)*. Стандарт двосторонньої низькошвидкісної передачі даних за допомогою легких, переносних терміналів, які також легко встановлюються на будь-яке судно, автомобіль або літак. Даний стандарт схвалений для використання в системі ГМСЗБ (глобальна морська система зв'язку при нещасті й для забезпечення безпеки мореплавання), а також зручний для збору інформації з віддалених об'єктів і керування вантажоперевезеннями. Має вбудований GPS.

*Inmarsat-D/D+ (Інмарсат-Ди/Ди+)*. Забезпечує низькошвидкісну передачу даних за допомогою терміналів, розміром з CD-плеєр. Обладнаний приймачем GPS, термінал Ди+ є ідеальним засобом керування транспортними перевезеннями, передачі коротких повідомлень водієві, дистанційного керування й автономного зняття інформації.

*Inmarsat-E (Інмарсат-И)*. Послуга передачі сигналів порятунку за допомогою радіобуїв, що відправляють сигнал небезпеки, із вказівкою координат, через наземні станції супутникового зв'язку системи Інмарсат.

Покриває практично всю акваторію світових океанів і повністю відповідає вимогам ГМСЗБ.

*Inmarsat-M (Інмарсат-ем)*. Попередник стандарту Інмарсат міні-М - перший у світі персональний портативний супутниковий телефон, що забезпечує з 1993 року голосовий зв'язок, передачу факсимільних повідомлень із факсу групи 3 і дані з терміналу розміром з "дипломат". Існує автомобільний і морський варіант із самонаведеною антеною.

*Aero-C*. Послуга з передачі низькошвидкісних даних і повідомлень про місце розташування в авіації. Відносно дешева послуга з передачі інформації з/на борт літака з одночасним позиціюванням. Ідеальний засіб зв'язку для літаків, що виконують рейси в районах з відсутністю зв'язку. Крім звітів про місце розташування, *Aero-C* може бути використаний для повідомлень про зміну погоди й польотного завдання, запитів на технічне обслуговування й дозаявлення, а також як засіб зв'язку для екіпажа й пасажирів.

*Aero-H*. Експлуатується з 1990 року, надаючи послуги голосового, факсимільного зв'язку й передачі даних на повітряних судах. Забезпечує зв'язок членів екіпажа й пасажирів з будь-яким абонентом. Також використовується органами керування повітряним рухом.

*Aero-I (Аэро-Ай)*. Стандарт, що забезпечує голосовий, факсимільний зв'язок і передачу даних за допомогою супутників 3-го покоління для середньої авіації. Використання технології зонального променя супутників Інмарсат-3 дозволило значно зменшити розміри, вагу й вартість устаткування.

*Aero-L (Аэро-эл)*. Авіаційний стандарт, що забезпечує обмін даними в реальному масштабі часу зі швидкістю 600 біт/с. Відповідає вимогам по безпеці ІКАО (Міжнародна організація Цивільної Авіації) і органів керування повітряним рухом.

*Aero mini-M (Аэро мини-эм)*. Розроблений для невеликих корпоративних літаків і авіації загального призначення для забезпечення голосового й факсимільного зв'язку, а також передачі даних на швидкості 2,4 Кбіт/с. Зовнішня антена підключається до терміналу, що важить близько 4,5 кг. Найбільше часто використовується в районах, що перебувають поза досяжністю УКВ зв'язку.

### 3.6 CPC3 Orbcomm

Система мобільного зв'язку ORBCOMM призначена для роботи в режимі пошукового виклику, передачі двосторонніх даних у реальному масштабі часу й визначенні місця розташування рухомих об'єктів на території США, Канади, Аргентини, Венесуели, а також інших країн і в глобальному масштабі. Однак її не можна використати для голосового радіотелефонного зв'язку. Система передачі даних (повідомлень) може використатися для екстреного виклику машин швидкої медичної допомоги, для проведення пошукових і рятувальних операцій, у системі оповіщення про викрадення автомобілів.

Проект був ініційований і управляється компанією TELEGLOBE і корпорацією ORBITAL SCIENCES CORP (OSC), а також дочірньою фірмою

ORBITAL COMMUNICATIONS (ORBCOMM). Створено американо-канадський консорціум ORBCOMM GLOBAL LP.

У жовтні 1994 року Федеральна комісія по зв'язку США видала компанії ORBITAL COMMUNICATIONS ліцензію на розробку, запуск і експлуатацію системи ORBCOMM. Це перша в США ліцензія на створення глобальної супутникової системи для транспортних засобів.

В 1991 р. був запущений перший експериментальний ШСЗ ORBCOMM. Запуск був проведений, як попутне навантаження. У період дослідницького етапу було запущено ще 2 ШСЗ. Третього квітня 1995 року були запущені перші два комерційних ШСЗ ORBCOMM FM-1 і FM-2. Висота орбіти становила 770 км, а нахилення дорівнювало  $7^{\circ}$ .

Розробку й запуск забезпечувала фірма Orbital Sciens Corporation. Після технічного тестування на орбіті в лютому 1996 р. вони були введені в комерційну експлуатацію. Подальше розгортання космічного сегмента забезпечувалося в основному за допомогою ракетноносіїв PEGASUS. Космічний сегмент системи складається з:

- 16 КА на круговій полярній орбіті висотою 825 км, нахиленням  $70^{\circ}$  і  $108^{\circ}$  град.

- 32 КА на круговій орбіті висотою 825 км, нахиленням  $45^{\circ}$  град.

Миттєвий розподіл підсупутникових точок ШСЗ і зон радіовидимості по куту місця  $10^{\circ}$  показано на рис. 3.6.

Залежність імовірності виявлення не менш чим 1 (синя крива), 2 (фіолетова крива), 3 (жовта крива) ШСЗ під кутом місця не менш  $10^{\circ}$  від широти місця спостереження показана на рис. 3.7. По осі Y відкладена ймовірність, по осі X дана широта місця спостереження.

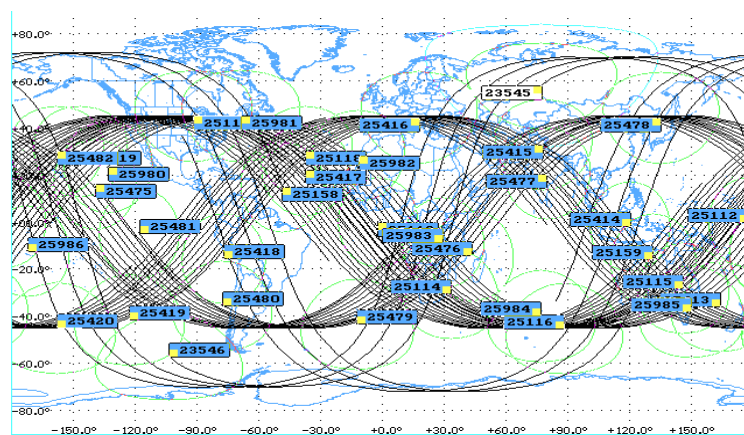


Рисунок 3.6 - Миттєвий розподіл підсупутникових точок ШСЗ і зон радіовидимості по куту місця

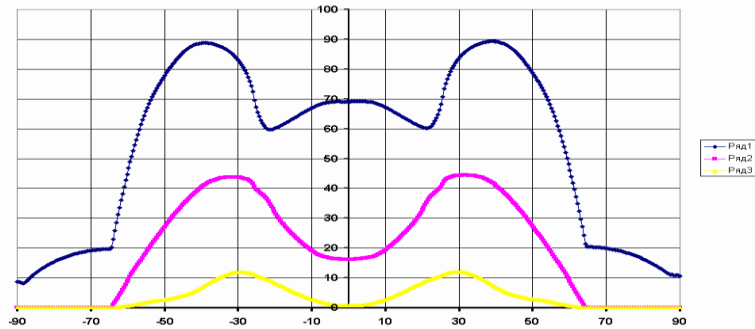


Рисунок 3.7 - Залежність імовірності виявлення ШСЗ під кутом місця від широти місця спостереження

Кожний супутник ORBCOMM має дискову конструкцію діаметром 1,41м. і висотою 0,16м. Антенна система конструктивно з'єднана з магнетометром і штангою градієнтно-гравітаційної стабілізації. На супутнику встановлені два датчики обр'ю. Балістичне забезпечення руху ШСЗ засновано на використанні бортового GPS датчика. При цьому ніякого іншого відстеження координат ШСЗ не використовується. Маса супутника 43 кг. Така конструкція супутників дозволяє встановити на третьому щаблі ракети-носія "Пегас-XL" своєрідні касети з 8 супутників. Конструкція ШСЗ у розгорнутому вигляді показана на рис. 3.8.

Кожний супутник оснащений 7 антенами й 17 процесорами, що забезпечують ретрансляцію 50000 повідомлень у годину. Пропускна здатність всіх 26 супутників складе 5 млн. повідомлень на добу.

Абонентська апаратура буде працювати на частотах:

-лінія вгору (Uplink): 148.00-150.05 МГц

-лінія вниз: 137.00-138.00 МГц

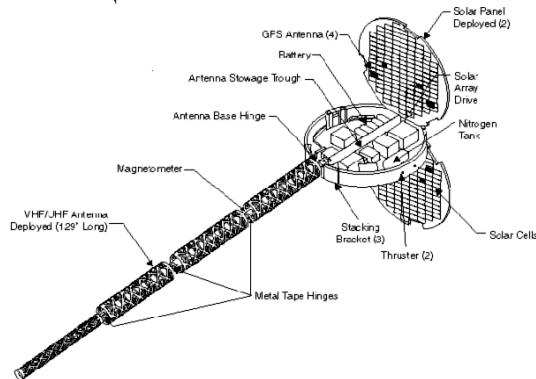
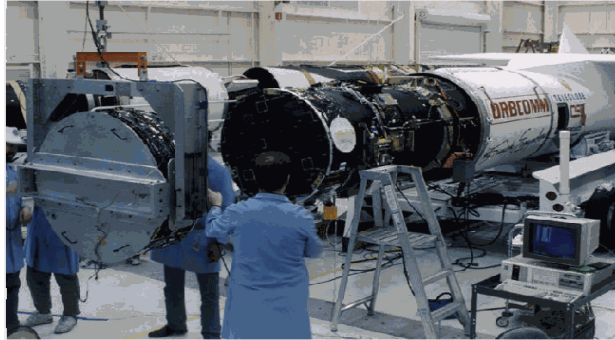


Рисунок 3.8 - Конструкція ШСЗ у розгорнутому вигляді

На супутниках встановлена апаратура передачі даних з попереднім записом. Прийняті з однієї наземної станції дані накопичуються, запам'ятовуються в запам'ятовуючому пристрої (ЗП) і при його переміщенні над іншою станцією інформація передається на Земні шлюзові станції, що забезпечують у тому числі передачу повідомлень у мережу Internet.

Для передачі телеметричної й командної інформації в системі використовуються ті ж канали зв'язку, що й для передачі абонентських повідомлень.

Земний сегмент складається із чотирьох земних шлюзових станцій супутникового зв'язку. Дві вже побудовані в Аркейде (штат Нью-Йорк) і в Сент-Джонсі (штат Аризона). Планувалося ввести ще дві станції в штатах Джорджія й Вашингтон. До складу кожної станції входять дві антени діаметром 5,5 м (основна й резервна). Між двома спорудженнями антен розміститься центр обробки даних. Головний центр керування мережею розміститься на території штаб-квартири корпорації OSC у Далласі (штат Вірджинія).



На рисунку 3.9 показана схема розведення пакета ШСЗ "Орбкомм" при виводі на орбіту.

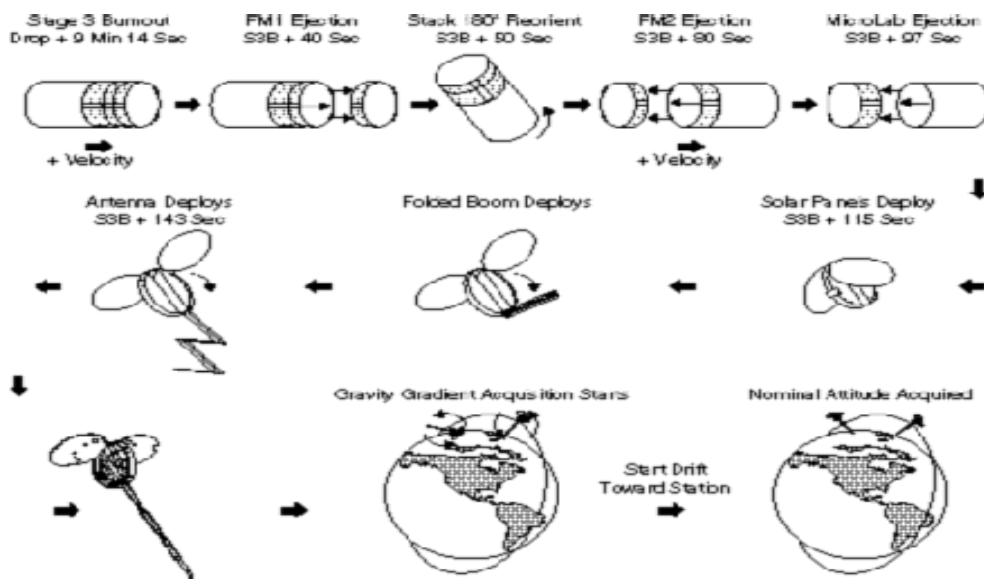


Рисунок 3.9 - Схема розведення пакета ШСЗ "Орбкомм" при виводі на орбіту

Абонентську апаратуру (термінальні пристрої) виготовляють фірми PANASONIC (Японія), SAMSUNG (Південна Корея) і ECISRA (Ізраїль). По розміру вони не перевищують кишеньковий радіоприймач, обладнаний телескопічною антеною. Додатково до складу абонентської апаратури буде входити приймач сигналів навігаційної системи GPS (Global Positioning System).

Використовуючи його в поєднанні з комплектом системи ORBCOMM, користувачі зможуть визначити з точністю до декількох десятків метрів місце розташування рухомого об'єкта й передати короткі буквено-цифрові повідомлення.

Планується, що американо-канадська супутникова система передачі даних і визначення місця розташування "ОРБКОММ" буде використовуватись для:

- визначення координат небезпеки рухомих об'єктів;
- передачі аварійних повідомлень, що включають координати місця небезпеки й іншу аварійну інформацію в диспетчерські центри;
- спостереження за місцем розташування й станом рухомих і стаціонарних об'єктів;
- обміну інформацією в режимі передачі даних між абонентами системи;
- обміну інформацією в режимі передачі даних між абонентами системи й абонентами інших мереж зв'язку (електронна пошта, X.25, X.400 і ін.);
- передачі коротких повідомлень абонентам системи через диспетчерський центр по телефону, телефаксу й т.д. (режим пейджинг).

Дана система розроблена для надання недорогого зв'язку в різних країнах світу. Система придатна як для обслуговування окремих користувачів, так і для побудови спеціалізованих диспетчерських пунктів, що вирішують завдання інформаційного обслуговування в масштабах великої організації, підприємства або галузі.

Можливості системи "ОРБКОММ" повинні відповідати різним потребам як комерційних, так і державних структур:

- спостереження за вагонами, контейнерами, автомобілями й іншими рухливими об'єктами;
- спостереження за станом навколишнього середовища, промислових об'єктів, віддалених об'єктів і т.ін.;
- зв'язок з персональними користувачами системи й комерційних організацій (з водіями вантажівок, з перевізниками небезпечних вантажів і т.д.);
- зв'язок в аварійних ситуаціях (зі службами техдопомоги, швидкої допомоги й т.д.).

### **3.7 СРСЗ Turaya**

Заснована у квітні 1997 в Об'єднаних Арабських Еміратах як приватна акціонерна компанія. Турайя має 18 засновників із числа 18-ти відомих телекомунікаційних операторів і інвестиційних фірм. На сьогоднішній день Турайя має більше 150 000 абонентів.

Перелік послуг, які надає система Турайя:

- Голос
- Факсимільний зв'язок зі швидкістю 9,6 Кбіт/с
- Передача даних зі швидкістю 9,6 Кбіт/с
- Голосова пошта



- конференц-зв'язок;
- режим очікування дзвінка;
- послуга SMS.

- передача SMS
- Визначення місця розташування (вбудований приймач GPS).

#### *Додаткові послуги в стандарті GSM:*

- переадресація виклику, блокування дзвінків;
- визначення номера абонента, що дзвонить;
- закрита група користувачів;

#### *Особливості системи Турайя:*

- оптимізована маршрутизація дзвінків, що дозволяє знизити вартість дзвінка (внутрімережний дзвінок здійснюється без залучення станції з'єднання в будь-якій точці зони покриття);
- єдиний міжнародний код системи Турайя: + 88216 XXXXXXXX;
- очне визначення країни й границь зони дії сервісів-провайдерів;
- доступ у мережу й вартість дзвінка заснована на поточному місцеположенні абонента, вимірюваному за допомогою GPS.

#### *Карта покриття.*

Турайя забезпечує покриття в 99 країнах світу: Афганістан, Албанія, Алжир, Андорра, Вірменія, Австрія, Азербайджан, Бахрейн, Бангладеш, Білорусь, Бельгія, Бенін, Бутан, Боснія-Герцеговина, Болгарія, Буркіна Фасо, Камерун, Центральна Африканська республіка, Чад, Хорватія, Кіпр, Республіка Чехія, Данія, Джибути, Єгипет, Естонія, Ефіопія, Югославія, Франція, Гамбія, Грузія, Німеччина, Гана, Гибралтар, Греція, Гернси, Гвінея, Гвінея Биссау, Угорщина, Індія, Іран, Ірик, Ірландія, о. Ман, Італія, Беріг Слонової Кістки, Джерсі, Йорданія, Казахстан, Кувейт, Киргизстан, Латвія, Ліван, Ліберія, Лівія, Ліхтенштейн, Литва, Люксембург, Македонія, Рісі, Рисьта, Мавретанія, Молдова, Монако, Марокко, Непал, Нідерланди, Нігер, Нігерія, Оман, Пакистан, Палестина, Польща, Португалія, Отар, Румунія, Росія, Саудівська Аравія, Сенегал, Сієра Леоне, Словаччина, Словенія, Сорісі, Іспанія, Шрі-Ланка, Судан, Швейцарія, Сирія, Таджикистан, Того, Туніс, Туреччина, Туркменістан, Україна, Об'єднані Арабські Емірати, Великобританія, Узбекистан, Ємен.

#### *Склад системи.*

Мобільна супутникова система Турайя складається з 3-х основних компонентів:

- Супутниковий сегмент.
- Наземний сегмент.

- Абонентський сегмент.

*Компоненти системи:*

- Геостаціонарні супутники.
- Первинна станція з'єднання.
- База з'єднання основної системи.
- Система керування мережею.
- Центр керування супутниками.
- Система оперативної підтримки;
- Служба підтримки абонентів і білінгова система.
- Розрахункова палата.
- Централізоване обслуговування й ремонт.
- Регіональні станції з'єднання.

**Супутники "Турайя"**

Перший і другий супутники Турайя розташовані на геостаціонарній орбіті на висоті (36000 km). Обидва запущені супутники зроблені компанією Boeing Satellite Systems, що зробить і третій супутник системи. Термін служби супутників розрахований на 12-15 років.

Кожний супутник оснащений інноваційною антеною з діаметром рефлектора в 12,25 метра, зробленого компанією TRW Astro Aerospace. Величезний рефлектор L-діапазону, з'єднаний із процесором цифрової обробки сигналу компанії Boeing, утворить активні фазовані ґрати, створить більше 200 локальних променів і одночасно зможе обробити 13 750 телефонних розмов. Процесор цифрової обробки в п'ять разів перевищує потужність обробки будь-якого процесора, коли-небудь випущеного компанією Boeing, і має обчислювальну потужність, яка перевищує потужність 3 000 комп'ютерів на базі Pentium III.

*Підсистема корисного навантаження.*

Бортовий процесор для здійснення перерозподілу сигналу по променях для ефективності використання й організації зв'язку "трубка-трубка".

Система утворення променями дозволяє міняти конфігурацію променів у зоні покриття шляхом розширення або збільшення кількості останніх. Вона також дозволяє концентрувати промені в районах максимальної активності, збільшуючи пропускну ємність.

Можливість напрямку до 20% загальної потужності на кожній із променів. Можливість використання спектра до 30 разів, збільшуючи ефективність спектра.

*Підсистема енергоживлення.*

*Сонячні батареї:*

- На початку строку експлуатації - 13КВт.
- Наприкінці строку експлуатації - 11КВт.
- Складаються з 2-х крил по 4 панелі галій-арсенідних осередків у кожному.

*Акумулятори.*

- 250 Ампер-годин



*Розміри.**На орбіті:*

- Довжина сонячних панелей – 34,5 метра.
- Ширина сонячних панелей - 17 метрів.

*У складеному стані:*

- Довжина – 7,6 метра.
- Ширина: 3.75 x 3.75 метра.

*Вага.*

- 5250 кг – передпусковий.
- 3200 кг - орбітальний (початок експлуатації).

*Використовувані частоти:*

Напрямок	Частота
Телефон - Супутник	1626.5-1660.5МГц
Супутник-Телефон	1525.0-1559.0МГц
Станція з'єднання-супутник	6425.0-6725.0МГц
Satellite-Gateway	3400.0-3625.0МГц

*Місце розташування супутника:*

- Thuraya -1

Орбітальна точка стояння - 44.0° в. д. Запущений 21 жовтня 2000 ракетою Zenit-3SL

- Thuraya-2

Орбітальна точка стояння - 28.5° в. д. Запущений 10 липня 2003

- Thuray-3

Орбітальна точка стояння - 87.0° в. д. У стадії виробництва. Дата запуску не визначена.

**3.8 СРСЗ Гонець**

Передбачається, що система “ГОНЕЦЬ” буде містити в собі космічний сегмент, що складається з 36 КА й земний сегмент, що включає в себе абонентські термінали трьох типів. Зв'язок між абонентами може здійснюватись без використання наземних мереж зв'язку.

Перший тип терміналів - носять термінали, вагою 3-5 кг, які будуть забезпечувати передачу інформації зі швидкістю 4,8 кбіт/с. Термінал буде містити клавіатуру з повним набором російських, латинських і службових символів. Крім того, термінал буде забезпечувати з'єднання з персональним комп'ютером.

Другий тип терміналів - стаціонарний, буде забезпечувати передачу інформації зі швидкістю 9,6 Кбіт/с і буде відрізнятися від першого типу

терміналів трохи більшими розмірами антен і наявністю в складі терміналу персонального комп'ютера.

Термінали першого й другого типів можуть також забезпечуватися мовноперетворюючими пристроями для цифрової передачі мови. З'єднання цих типів терміналів з апаратурами телефонного, телеграфного, телексного й факсимільного зв'язку буде здійснюватися через стандартні плати з'єднання, які встановлюються в персональний комп'ютер.

Третій тип терміналів - регіональні станції будуть призначені для передачі великих масивів інформації при роботі в складі регіональних вузлів зв'язку й будуть забезпечувати передачу інформації зі швидкістю 64 Кбіт/с.

Планується, що система "ГОНЕЦЬ" буде характеризуватися наступними характеристиками:

- для роботи переносних абонентських терміналів з діапазоном частот 312-315 МГц у напрямку Земля-Космос і 387-390 МГц у напрямку Космос-Земля;
- для роботи швидкісних каналів регіональних станцій буде використовуватися L-діапазон, де обрані ділянки 1642,5 - 1643,4 МГц і 1541 - 1541,9 МГц на трасах Земля-Космос і Космос-Земля відповідно;
- час очікування зв'язку не більше 10 хвилин;
- час доставки повідомлення до 4 годин (при знаходженні абонентів у зоні видимості того самого супутника діаметром 5000 км час доставки скорочується до однієї хвилини);
- середня тривалість сеансу зв'язку становить 10 хвилин.

### **ПИТАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ**

1. Супутникова система рухомого зв'язку Euteltracs: ідея створення, технічні можливості.
2. Супутникова система рухомого зв'язку Emsat: призначення, переваги, устаткування.
3. Супутникова система рухомого зв'язку Iridium: призначення, супутники Iridium.
4. Супутникова система рухомого зв'язку Globalstar: призначення, супутники Globalstar.
5. Супутникова система рухомого зв'язку Inmarsat: призначення, супутники та стандарти Inmarsat.
6. Супутникова система рухомого зв'язку Orbcomm: призначення, склад,
7. Супутникова система рухомого зв'язку Turaya: послуги, особливості, супутники.
8. Супутникова система рухомого зв'язку Гонець: склад, призначення.

**РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. М.: Горячая линия-Телеком, 2005. - 272 с.
2. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии. Под ред. Б.С. Алёшина, К.К. Веремеенко, А.И. Черноморского. М.: Физматлит, 2006. - 424 с.
3. Соловьёв Ю. А. Системы спутниковой навигации. М.: Эко-Трендз, 2000. - 268 с.
4. Кас'янов О.В., "Детально про GPS"  
<http://www.geoguide.com.ua/survey/survey.php?part=gps&art=gpsnav05>
5. <http://znaimo.com.ua> Супутникова система навігації.
6. Сомов А.М., Корнев С.Ф. Спутниковые системы связи Учебное пособие для вузов. Под ред. А.М. Сомова 2014 - 244 стр.