

Міністерство транспорту та зв'язку України
ДЕРЖАВНА АДМІНІСТРАЦІЯ ЗВ'ЯЗКУ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ЗВ'ЯЗКУ ім. О.С. ПОПОВА
ІНСТИТУТ ЕКОНОМІКИ ТА МЕНЕДЖМЕНТУ

Кафедра менеджменту та маркетингу

Горелкіна С. Б., Заборська Н. К., Стрельчук Є. М.

ОРГАНІЗАЦІЯ ОПЕРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ГАЛУЗІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Навчальний посібник

**Модуль 1. Організація операційних процесів у галузі радіозв'язку,
радіомовлення та телебачення**

Частина 2

Для студентів з напрямів підготовки зі спеціальностей:

6 050 107 – Економіка підприємства

6 050 201 – Менеджмент організацій

ОДЕСА - 2009

Укладачі:

Горелкіна С.Б., Заборська Н.К., Стрельчук Є.М.

У другій частині навчального посібника наведена теоретична інформація про основні характеристики та принципи організації систем супутникового зв'язку. Розглянуті питання сучасних технологій рухомого радіозв'язку. Надається характеристика та класифікація систем стільникового мобільного радіозв'язку та висвітлені принципи їхнього функціонування.

Навчальний посібник призначений для студентів, які навчаються за спеціальностями «Економіка підприємства» та «Менеджмент організацій», і може бути корисним для студентів усіх форм навчання.

Схвалено
на засіданні кафедри М та М.

Протокол № 2 від 17.09. 2008р.

Затверджено
методичною радою ІЕМ

Протокол № 2 від 28.10.2008р.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	4
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ ДИСЦИПЛІНИ “ОРГАНІЗАЦІЯ ОПЕРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ГАЛУЗІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ”	6
6 СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ’ЯЗКУ	9
6.1 Загальні відомості про системи персонального супутникового зв'язку	9
6.2 Стратегія розвитку супутникових систем зв'язку	15
6.3 Структура супутникових систем персонального зв'язку	19
6.3.1 Космічний сегмент	20
6.3.2 Наземний сегмент	22
6.3.3 Персональний користувачський сегмент	23
6.4 Низькоорбітальні системи супутникового зв'язку	25
6.4.1 Система супутникового зв'язку Iridium	27
6.4.2 Система супутникового зв'язку Globalstar	29
6.5 Середньоорбітальні системи супутникового зв'язку	34
6.6 Системи зв'язку з використанням геостаціонарних супутників	38
7 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА І КЛАСИФІКАЦІЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РУХОМОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ	40
7.1 Системи з вільним доступом	40
7.2 Професійні системи рухомого радіозв'язку. Транкінговий зв'язок	42
7.3 Системи персонального радіовиклику. Пейджинговий зв'язок	43
7.4 Стільникові системи рухомого радіозв'язку	46
7.5 Системи безпроводових телефонів загального користування. Телефонія DECT	49
7.6 Основні характеристики наземних стільникових систем	50
7.7 Принципи функціонування систем стільникового радіозв'язку	53
7.8 Побудова мережі мобільного радіозв'язку	59
7.9 Методи розподілу радіоканалів	64
7.10 Організація системи стільникового мобільного радіозв'язку стандарту NMT-450	66
7.11 Загальна характеристика стандарту GSM	67
7.12 Інтеграція елементів інтелектуальної мережі в мережі стандарту GSM	71
7.13 Роумінг у стандарті GSM	74
7.14 Система стільникового рухомого радіозв'язку CDMA	76
7.15 Загальна характеристика і принципи функціонування системи стільникового зв'язку стандарту CDMA	77
7.16 Стандарт CDMA в Україні	79
Основні терміни та визначення	82
Список скорочень	84
Література	87

ПЕРЕДМОВА

Основною метою навчальної дисципліни “Організація операційних процесів у галузі зв’язку” є формування комплексу знань про операційні процеси при вивченні особливостей процесів в електрозв’язку, поштовому зв’язку, радіозв’язку та у сфері телерадіомовлення. Відповідно до навчальних планів з підготовки бакалаврів професійного спрямування 6.050201– “Менеджмент організацій” та професійного спрямування 6.050 107– “Економіка підприємства” обсяг навчання складає 324 години, в тому числі 81 година для вивчення організації операційних процесів у поштовому зв’язку, 135 годин – в електрозв’язку, 108 годин – у галузі телекомунікацій.

Вивчення операційних процесів у галузі зв’язку здійснюється відповідно до навчальних планів, програм та робочих навчальних планів з кожної навчальної дисципліни при підготовці менеджерів та економістів. Так, у навчальному плані менеджерів вивчення операційних процесів здійснюється відповідно до варіативної компоненти “Менеджмент підприємств і організацій зв’язку”, дисципліна ВПП 14 “Організація операційних процесів у галузі зв’язку”. Ця дисципліна складається з трьох розділів: ВПП 14.1 “Організація операційних процесів в галузі зв’язку: поштовий зв’язок”, ВПП 14.2 “Організація операційних процесів у галузі зв’язку: електрозв’язок”, ВПП 14.3 “Організація операційних процесів у галузі телекомунікацій”. В кожному розділі дисципліни ВПП 14 можуть бути модулі, які є основою для вивчення відповідного розділу. Дисципліна ВПП 14 винесена в перелік дисциплін з державної атестації студента на бакалавра професійного спрямування “Менеджмент організацій”.

Навчальні плани підготовки економістів містять аналогічні дисципліни та розділи, що пов’язано з необхідністю підготовки спеціалістів з поглибленими знаннями в галузі телекомунікацій та поштового зв’язку.

Навчальний посібник “Організація операційних процесів у галузі телекомунікацій”, частина 1. Модуль 1 “Організація операційних процесів у галузі радіозв’язку, радіомовлення та телебачення” з напрямів підготовки зі спеціальностей “Економіка підприємства” (6 050 107), “Менеджмент організацій” (6 050 201) розкриває головні напрями використання нових технологій в телекомунікаціях для надання послуг радіозв’язку та телерадіомовлення.

Для засвоєння даного модуля студент повинен набути знання та вміння з дисциплін СВПП 28.1“Системи телекомунікацій”, СВПП 28.2“Мережі телекомунікацій”.

Відповідно до вимог ОНАЗ ім. О.С.Попова до навчального посібника “Організація операційних процесів у галузі телекомунікацій” видано методичні вказівки до плану практичних занять з модуля 1 – “Організація виробництва у галузі зв’язку: радіозв’язок та телерадіомовлення”. В табл.1 надається перелік тем практичних занять, знань та вмінь, які повинен набути студент в процесі навчання даного модуля.

Таблиця 1 – Перелік тем семінарсько-практичних занять з дисципліни

№ п/п.	Теми занять	Знання та вміння, які закріплюються	№ занят.	Кіл-сть годин
МОДУЛЬ № 1				
1	Розрахунок потужності телевізійного передавача	Знання технічних характеристик обладнання, вміння розрахувати потужність телевізійного передавача	1	2
2	Розрахунок захисного співвідношення сигнал/завада для телевізійного передавача	Знання складових і норм МККР на величину захисного співвідношення для телевізійної трансляції, вміння його розрахувати	2	2
3	Розрахунок чисельності виробничого персоналу ОРТПЦ	Знання функцій виробничого персоналу, пара-метрів від яких він залежить, вміння розрахувати його чисельність	3	2
4	Розрахунок чисельності змінного персоналу	Знання функцій змінного персоналу та параметри від яких він залежить, вміння розрахувати його чисельність	4	2
5	Розрахунок чисельності поза - змінного персоналу	Знання функцій позазмінного персоналу, параметрів від яких він залежить, вміння розрахувати його чисельність	5	2
6	Розрахунок чисельності штату лабораторії та АУП	Знання функцій штату лабораторії та АУП, параметрів від яких вони залежать, вміння розрахувати їх чисельність	6	2
7	Складання штатного розпису ОРТПЦ	Знання основ організаційних структур, вміння побудувати організаційну структуру ОРТПЦ та скласти штатний розпис підприємства	7	2
8	Розрахунок річного фонду оплати праці	Знання основ планування річного фонду оплати праці на основі коефіцієнтів співвідношення та вміння його	8	2

Основним джерелом при підготовці навчального посібника та вказівок з вивчення даного модуля є підручники: Стеклов В. К., Беркман Л. Н. “Нові інформаційні технології: Транспортні мережі телекомунікацій”. – К.: Техніка, 2004. – 488 с. та “Системи електрозв’язку”: Підруч. для вузів і фак. зв’язку: У 2-х т. / За ред. М. В. Захарченка. – К.: Техніка, 1998.- Рос. Т.2: Системи радіо-, телевізійного мовлення та документального електрозв’язку / М. В. Захарченко, В. К. Стеклов, С. М. Складенко та ін. – 240 с. Тематичний план лекцій з даного модуля з зазначенням сторінок з наведених підручників для самостійної роботи, включаючи вивчення лекційного матеріалу, наведено нижче.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ ДИСЦИПЛІНИ

“Організація операційних процесів у галузі телекомунікацій”

Модуль 1. Організація операційних процесів у галузі радіозв'язку, радіомовлення та телебачення.

Лекція № 1. Роль, задачі і основні принципи організації радіозв'язку, радіомовлення та телебачення.

План

1.1. Задачі і напрями розвитку радіозв'язку і радіомовлення.

1.2. Роль радіозасобів в оформленні ЄНСЗ та їх взаємодія із засобами електрозв'язку.

1.3. Місце Концерну РРТ у структурі Державного комітету зв'язку України.

1.4. Організаційна структура Концерну радіозв'язку, радіомовлення та телебачення.

1.5. Види підприємств, що організовують радіозв'язок, телевізійне звукове мовлення.

Рекомендації студентам для самостійного вивчення: питання за пунктами 1.3, 1.4, 1.5, [Навчальний посібник, розд. 1].

Лекція № 2. Організація та планування частотних каналів радіозв'язку і радіомовлення [7, с. 321-332; 12, с. 8-26].

План

2.1. Принципи дії радіосистем зв'язку.

2.2. Класифікація, особливості розповсюдження та застосування радіохвиль.

2.3. Організація радіочастотного спектра.

2.4. Поняття частотного каналу.

2.5. Основи побудови і розміщення частотних каналів.

2.6. Способи використання частотних каналів.

2.7. Економічні методи управління використанням радіочастотного спектра.

2.8. Показники якості роботи радіосистем.

Рекомендації студентам для самостійного вивчення: питання за пунктами 2.1, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8 [7, с. 326-332; 12, с. 14- 26].

Лекція № 3. Організація систем зв'язку з рухомими об'єктами [15, с. 22-57; с. 340-346; с. 358-360].

План

3.1. Роль стільникової структури у підвищенні ефективного використання частотного ресурсу.

3.2. Поняття кластера.

3.3. Принципи організації стільникової мережі рухомого радіозв'язку.

3.4. Умови розповсюдження радіохвиль під час зв'язку з рухомими об'єктами.

3.5. Організація багатостанційного доступу в системах мобільного радіозв'язку.

3.6. Техніко-економічні показники систем рухомого радіозв'язку, основні етапи розвитку.

Рекомендації студентам для самостійного вивчення: питання за пунктами 3.3, 3.5, 3.6 [15, с. 45-57, с. 340-346].

Лекція № 4. Організація радіорелейних ліній зв'язку [12, с. 70-84].

План

4.1. Принципи організації та класифікація радіорелейних систем.

4.2. Техніко-економічна характеристика основного обладнання та споруд радіорелейних ліній зв'язку.

4.3. Методи резервування РРЛ.

4.4. Організація експлуатації радіорелейних ліній зв'язку.

4.5. Аналіз техніко-економічних показників РРЛ.

4.6. Основні напрями удосконалення РРЛ.

Рекомендації студентам для самостійного вивчення: питання за пунктами 4.5, 4.6, [12, с. 80 -84].

Лекція № 5. Організація супутникових систем зв'язку та мовлення [15, с. 401-440].

План

5.1. Задачі та принципи організації зв'язку з використанням ШСЗ.

5.2. Структура систем супутникового зв'язку та мовлення.

5.3. Характеристика основного обладнання і споруд.

5.4. Економічна ефективність та надійність систем супутникового зв'язку.

5.5. Міжнародне співробітництво в організації систем супутникового зв'язку та мовлення.

5.6. Перспективи розвитку супутникового зв'язку в Україні.

Рекомендації студентам для самостійного вивчення: питання за пунктами 5.3, 5.5, 5.6 [15, с. 408-420].

Лекція № 6. Організація систем мовлення [13, с. 220-236].

План

6.1. Загальна характеристика систем мовлення.

6.2. Принципи організації систем мовлення.

6.3. Розрахунок зони обслуговування і необхідної потужності передавача мовної станції.

6.4. Розміщення передавальних мовних станцій на території.

6.5. Техніко-економічна характеристика типового обладнання і споруд передавальних станцій.

Рекомендації студентам для самостійного вивчення: питання за пунктами 6.2, 6.4, 6.5, [13, с. 227 -236].

Лекція № 7. Організація мережі подачі програм мовлення [13, с. 236-248].

План

7.1. Задачі і принципи організації мережі подачі програм мовлення. Телерадіокомпанії.

7.2. Особливості побудови мережі подачі програм звукового і телевізійного мовлення.

7.3. Організація мережі кабельного телебачення.

Рекомендації студентам для самостійного вивчення: питання за пунктами 7.2, 7.3 [13, с. 236-248].

Лекція № 8. Основи організації операційних процесів на підприємствах радіозв'язку і радіо-, телемовлення [12, с. 48 -70].

План

8.1. Особливості операційного процесу на підприємствах радіозв'язку, радіомовлення та телебачення. Радіотелевізійний передавальний центр.

8.2. Організаційно-виробнича структура РТПЦ.

8.3. Техніко-економічна характеристика цехів РТПЦ.

8.4. Організація виробництва, виробничі функції.

8.5. Технічна експлуатація як специфічна сфера операційного процесу на підприємствах радіозв'язку і мовлення.

8.6. Задачі технічної експлуатації.

8.7. Організація поточного технічного обслуговування.

8.8. Розрахунок чисельності виробничого та адміністративно-управлінського персоналу радіотелевізійного передавального центру.

8.9. Оцінювання економічної ефективності діяльності РТПЦ.

Рекомендації студентам для самостійного вивчення: питання за пунктами 8.3, 8.4, 8.7 [12, с. 48 -70].

6 СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

6.1 Загальні відомості про системи персонального супутникового зв'язку

Супутникові системи зв'язку виконують різноманітні задачі: передають дані, обмінюються інформацією, забезпечують персональний супутниковий зв'язок. Надамо основну увагу персональному супутниковому зв'язку. За даними досліджень, кількість абонентів персонального супутникового зв'язку в ХХІ ст. зросте приблизно на порядок. Але, якщо, наприклад, стільниковий радіотелефон є достатньо звичним, то апарат персонального супутникового зв'язку (супутниковий термінал) поки ще рідкість. Аналіз розвитку подібних засобів зв'язку показує, що вже в близькому майбутньому ми будемо свідками повсякденного використання систем персонального супутникового зв'язку (СПСЗ). Наближається час об'єднання наземних та супутникових систем у глобальну систему зв'язку. Персональний зв'язок стане можливим у глобальному масштабі, тобто буде забезпечена досяжність абонента в будь-якій точці світу завдяки набору його телефонного номера, який не залежить від місцезнаходження абонента. Але перш ніж це стане реальністю, системи супутникового зв'язку мають успішно витримати випробування та підтвердити заявлені технічні характеристики й економічні показники в процесі комерційної експлуатації. Що ж стосується користувачів, то, щоб зробити правильний вибір, їм доведеться навчитись добре орієнтуватись у множині пропозицій.

Наведемо основні етапи бурхливого розвитку космічних систем зв'язку, які показують, що використання їх у глобальному масштабі реальне в найближчому майбутньому:

- середина 60-х років: запуск перших супутників зв'язку, початок комерційного використання супутників-ретрансляторів для багатоканального зв'язку, передавання телепрограм тощо;
- -70-ті роки: створення систем рухомого супутникового зв'язку, супутникового телемовлення колективного користування;
- 80-ті роки: зародження технології VSAT - технології малих супутникових терміналів, що встановлюються прямо у користувачів, і безпосереднього супутникового телевізійного мовлення;
- кінець 90-х років: світ на порозі якісних змін, пов'язаних із майбутнім початком експлуатації глобальних супутникових систем зв'язку.

У близькому майбутньому супутниковий зв'язок може якісно змінити всю індустрію телекомунікацій та вплинути на звичний устрій життя. Він, раніше малодосяжний, стане звичайним і відкриє нові можливості для освіти, науки та підприємництва.

Системи персонального супутникового зв'язку мають переваги порівняно з розглянутими раніше системами рухомого зв'язку. Наприклад, якщо споживач знаходиться за межами зони обслуговування місцевих стільникових систем, супутниковий зв'язок відіграє ключову роль, оскільки він не має обмежень у прив'язці до конкретної місцевості Землі. Очікується, що у ХХІ ст. площа зон

обслуговування стільникових систем досягне майже 15% площі земної поверхні. Але в багатьох регіонах світу попит на послуги рухомого зв'язку може бути задоволений тільки за допомогою супутникових систем.

Послуги, які надають системи супутникового зв'язку. Залежно від виду послуг, що надаються, супутникові системи зв'язку можна поділити на три основних класи:

- системи пакетного передавання даних (доставлення циркулярних повідомлень, автоматизованого збирання даних про стан різноманітних об'єктів, у тому числі транспортних засобів і т. п.);
- системи мовного (радіотелефонного) зв'язку;
- системи для визначення місцезнаходження (координат) користувачів.

Системи пакетного передавання даних призначені для передавання в цифровому вигляді будь-яких даних (телекських, факсимільних повідомлень, комп'ютерних даних та ін.). Швидкість пакетного передавання даних у космічних системах зв'язку становить від одиниць до сотень кілобайт за секунду. В цих системах, як правило, відмовляються від неперервності обслуговування і не висувають жорстких вимог до оперативності доставляння повідомлень. У такому режимі працює "електронна пошта" (інформація, що надійшла, запам'ятовується бортовим комп'ютером і доставляється кореспонденту в заздалегідь визначений час доби).

Під час радіотелефонного зв'язку в супутникових системах використовують цифрове передавання повідомлень, при цьому обов'язково виконуються загальноприйняті міжнародні стандарти. В таких системах затримка сигналу на трасі розповсюдження не повинна перевищувати 0,3 с і розмови абонентів не повинні перериватись під час сеансу зв'язку. Обслуговування абонентів має бути безперервним і відбуватися в реальному масштабі часу. Будуючи радіотелефонну супутникову мережу враховують наступне:

- супутники мають оснащуватись високоточною системою орієнтації для утримання променя їх антени в заданому напрямі;
- кількість супутників у системі має бути достатньою для забезпечення суцільного та неперервного покриття зони обслуговування;
- для забезпечення достатньої кількості каналів зв'язку мають використовуватись багатопроменеві антенні системи, які працюють на високих частотах (понад 1,5 ГГц), що значно ускладнює конструкцію антен і космічних апаратів (КА);
- для забезпечення безперервності радіотелефонного зв'язку через супутник, оснащений багатопроменевими антенними системами, потрібна значна кількість вузлових (шлюзових) станцій з дорогим комунікаційним обладнанням.

У багатьох випадках абоненту необхідно знати своє місцезнаходження (координати) на Землі. З цією метою використовують апаратуру двох типів:

- стандартну навігаційну апаратуру GPS систем ГЛОНАСС/НАВСТАР, яка забезпечує надто високу точність визначення координат користувача;

– спеціальну навігаційну апаратуру, яка за сигналами супутників персонального зв'язку та (або) шлюзових станцій дає змогу визначати координати користувача, але з меншою точністю.

– Використовуючи апаратуру другого типу, можна визначати координати абонента одним із наступних способів:

- за сигналами чотирьох супутників персонального зв'язку;
- за сигналами шлюзових наземних станцій;
- за сигналами супутників і шлюзових станцій.

Значний прогрес у розвитку супутникових систем персонального зв'язку досягнутий завдяки впровадженню нових технічних рішень, ключовими з яких можна вважати оброблення сигналу на борту супутника-ретранслятора, створення перспективних мережних протоколів обміну інформацією та використання недорогих портативних терміналів користувачів із малим енерговикористанням.

Розвитку систем персонального супутникового зв'язку сприяють значні успіхи, досягнуті в мікромініатюризації функціональних вузлів комунікаційного обладнання. Використання арсеніду галію та фосфіду індію дало можливість створити потужні сонячні батареї невеликих розмірів, а впровадження різних композиційних матеріалів - зменшити масу супутників. Значний прогрес очікується і в галузі розроблення бортових ЕОМ на спеціалізованих великих інтегральних мікросхемах (ВІМ), що забезпечують високошвидкісну комутацію при ретрансляції інформаційних потоків. Використання методів багатостанційного доступу з кодовим розподілом каналів (CDMA), який заснований на широкосмугових складних сигналах, без сумніву, сприяє успішному розвитку супутникових систем зв'язку.

У космічних системах, що вирішують задачі персонального зв'язку, використовуються супутники, які можуть бути на різних орбітах.

Класифікація орбіт КА зв'язку. Орбіти КА класифікуються за формою, періодичністю проходження над точками земної поверхні та за нахилом.

За формою розрізняють такі орбіти:

– **кругові**, їх важко реалізувати на практиці, вони потребують частоті корекції за допомогою бортових коригуючих двигунів КА;

– **-близькі до кругових**, це найпоширеніший тип орбіт у системах супутникового зв'язку. На таких орбітах висоти апогею і перигею відрізняються на декілька десятків кілометрів;

– **еліптичні**, висоти Y_a (апогею) і H_p (перигею) можуть значно відрізнитись (наприклад, $Y_a = 38000 \dots 40000$ км, $H_p = 400 \dots 500$ км). Дані орбіти також широко використовуються в системах супутникового зв'язку (рис. 6.1, а);

– **геостаціонарні**, це кругові екваторіальні орбіти з періодом обертання супутника, що дорівнює періоду обертання Землі ($T \approx 23$ год. 56 хв). На такій орбіті КА розташовується на висоті $Y_a = H_a \sim 36000$ км і міститься постійно над певною точкою екватора Землі. Космічні апарати, які перебувають на геостаціонарній орбіті, мають більшу площу огляду Землі, що дає змогу з успіхом використовувати їх у системах супутникового зв'язку (рис.6.1, б);

– *параболічні* та *гіперболічні*, використовуються, як правило, при вивченні планет Сонячної системи.

За періодичністю проходження КА над точками земної поверхні розрізняють такі орбіти:

– *синхронні*, вони, у свою чергу, поділяються на синхронні ізомаршрутні та синхронні квазіізомаршрутні. Ізомаршрутні орбіти характеризуються тим, що проекції орбіти КА на земну поверхню (траси) збігаються кожної доби. Квазіізомаршрутні орбіти характеризуються тим, що проекції орбіти КА на земну поверхню збігаються тільки один раз за декілька діб;

– *несинхронні*, характеризуються тим, що траси, які відповідають будь-яким двом обертам КА навколо Землі, не збігаються.

Нахил орбіти - це кут нахилу між площинами екватора Землі та орбіти КА (див. рис. 6.1, *а*). Нахил відраховується від площини екватора до площини орбіти проти годинникової стрілки. Він може змінюватись від 0° до 180° . За нахилом розрізняють такі орбіти:

– *прямі* (нахил орбіти $i < 90^\circ$);

– *зворотні* (нахил орбіти $i > 90^\circ$);

– *полярні* (нахил орбіти $i = 90^\circ$);

– *екваторіальні* (нахил орбіти $i = 0^\circ$ чи 180°). При $i = 0^\circ$ КА рухається за напрямом обертання Землі із заходу на схід, при $i = 180^\circ$ КА рухається проти напрямку обертання Землі зі сходу на захід. Куту нахилу $i = 0^\circ$ відповідають геостационарні (кругові орбітальні) орбіти (див. рис. 6.1, *б*).

Прецесія орбіти. Несферичність Землі та нерівномірність розподілу її маси спричиняють зміну (прецесію) площини орбіти КА, що тягне за собою прецесію лінії апсид (тобто лінії, що з'єднує апогей і перигей) орбіти. При цьому швидкість названих прецесій залежить від форми орбіти, висоти апогею і перигею, а також від нахилу. Прецесія площини орбіти зумовлює зміщення зростаючого та спадаючого вузлів відносно початкового положення (у момент виводу КА на орбіту).

Величина прецесії площини орбіти КА залежить від напруженості гравітаційного поля Землі. Збільшення напруженості "випрямляє" орбіту поблизу екватора завдяки збільшенню швидкості руху КА в напрямі екватора. При цьому КА, що рухається по прямій орбіті, починає відхилятися вліво за ходом руху.

Таким чином, у першому випадку площина орбіти прецесією в західному напрямі, а в другому – у східному. Площини полярних орбіт (що мають нахил $i = 90^\circ$) не прецесіюють.

Висота орбіт КА зв'язку обирається на підставі аналізу багатьох факторів, включаючи енергетичні характеристики радіоліній, затримку при поширенні радіохвиль, близькість до орбіти радіаційних поясів Ван Аллена, розміри та розташування територій, які обслуговуються. Крім цього, на висоту орбіти впливають спосіб організації зв'язку та вимоги до забезпечення необхідного значення кута місця КА.

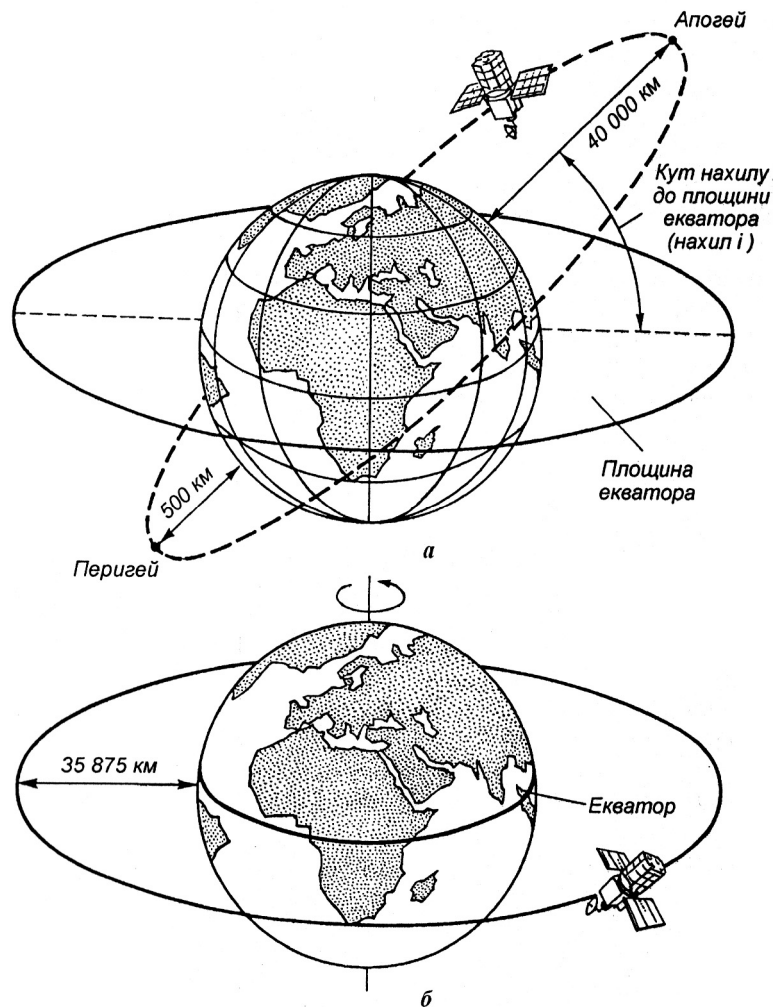


Рисунок 6.1 Орбіти супутників зв'язку:
a - еліптична; *б* - геостаціонарна супутника-ретранслятора

Аналізуючи низькоорбітальні групування різних космічних систем, можна помітити, що висоти кругових орбіт КА більшості з цих групувань лежать у діапазоні 700 ... 1500 км. Це зумовлено такими факторами:

- на орбітах, розташованих нижче 700 км, щільність атмосфери достатньо висока, що спричиняє зменшення ексцентриситету та поступове зниження висоти апогею. Подальше зменшення висоти орбіти призводить до підвищених витрат пального, збільшення частоти маневрів для підтримки заданої орбіти;

- на висотах, вищих за 1500 км, розташовується перший радіаційний пояс Ван Аллена, в якому неможлива робота електронної бортової апаратури.

Середньовисотні орбіти (5000 ... 15000 км над поверхнею Землі) містяться між першим і другим радіаційними поясами Ван Аллена. У системах, які використовують КА, розташованих на таких орбітах, затримка поширення сигналів через супутник-ретранслятор становить приблизно 130 мс, що практично невідчутно для людського слуху і, відповідно, дає можливість використовувати такі супутники для радіотелефонного зв'язку.

Геостационарні космічні системи з висотою орбіт супутників приблизно 36000 км мають дві важливі переваги:

- супутники завжди розташовуються над певною точкою Землі;
- система, що складається з трьох геостационарних супутників, практично забезпечує глобальний огляд земної поверхні.

Однак орбітальним групуванням, які складаються із геостационарних супутників, властивий один великий недолік - більший час поширення радіосигналів, що спричинює затримку передавання сигналів при радіотелефонному зв'язку. Очікування приходу сигналу-відповіді може призвести до невдоволення нетерпеливих абонентів.

Системи, які використовують супутники із висотою орбіти 700 ... 1500 км, мають кращі енергетичні характеристики радіоліній, ніж системи із висотою орбіт супутників, що приблизно дорівнює 10000 км, але поступаються їм у тривалості активного існування КА. При періоді обертання КА близько 100 хв. (для низьких орбіт) у середньому 30 хв. із них припадає на затінений бік Землі. Тому бортові акумуляторні батареї живляться від сонячних батарей приблизно 5000 циклів заряду/розряду на рік. Для кругових орбіт із висотою 10000 км період обертання становить близько 6 год., із яких лише декілька хвилин КА проводить у тіні Землі.

Слід також зазначити, що КА, який знаходиться на низькій орбіті, попадає у зону прямої видимості абонента лише на 8 ... 12 хв. Отже, для забезпечення безперервного зв'язку будь-якого абонента треба багато КА, які послідовно (за допомогою шлюзових станцій або міжсупутникового зв'язку) мають забезпечувати безперервний зв'язок. Зі збільшенням висоти орбіти КА зона прямої видимості супутника-ретранслятора й абонента збільшується, що спричинює зменшення кількості супутників, потрібної для забезпечення безперервного зв'язку. Таким чином, з збільшенням висоти орбіти збільшуються час і розміри зони обслуговування і, отже, буде потрібна менша кількість супутників для охоплення однієї і тієї самої території.

Вже на ранніх етапах створення супутникових систем стала очевидною складність майбутньої роботи. Треба було відшукати матеріальні засоби, прикласти інтелектуальні зусилля багатьох колективів вчених, організувати роботу на етапі практичної реалізації. Проте, незважаючи на це, активно вирішувати задачу почали транснаціональні компанії, які мають вільний капітал.

На сьогодні здійснюється не один, а декілька паралельних проектів. Фірми-розробники ведуть завзяту боротьбу за майбутніх користувачів, за світове лідерство в галузі телекомунікацій.

У наш час у космічних системах для вирішення задач персонального радіозв'язку використовують супутники, які можуть бути розташовані на низьких (кругових або близьких до кругових), середньовисотних (кругових або еліптичних) і геостационарних орбітах.

6.2 Стратегія розвитку супутникових систем зв'язку

На думку спеціалістів, експлуатація лише існуючих КА в найближчі роки може негативно позначитися на російському ринку телекомунікаційних послуг. Це призведе до того, що найбільш платоспроможні користувачі нададуть перевагу іноземним системам супутникового зв'язку.

Різка зміна економічної та політичної ситуації в Україні спричинила збільшення кількості користувачів послуг супутникового зв'язку. Одночасно з цим зменшився обсяг бюджетних коштів держави на підтримку та розвиток цих систем, з'явилися позабюджетні джерела фінансування перспективних космічних об'єктів.

В Україні супутникові системи не знайшли належного розвитку. Це зумовлено такими причинами: невеликою територією і вартістю супутникових систем. Тому космічний супутниковий зв'язок в Україні базується здебільшого на російських КА.

Діючі системи персонального супутникового зв'язку забезпечують зв'язок, телевізійне та звукове мовлення, передавання зображень, газет, даних і т. п. у багатьох регіонах Росії, а також у ряді зарубіжних країн. Системи базуються на зв'язних КА типу "Горизонт" і "Експрес".

"Горизонт". З 1979 р. і досьогодні основною складовою частиною супутникового зв'язку Росії є система "Горизонт". Універсальні супутники "Горизонт" призначені для телемовлення, телефонного зв'язку, передавання потоків даних, радіомовлення та ін. На даний момент на орбіті перебувають вісім КА "Горизонт". Основні параметри КА "Горизонт" наведено в табл.б.1.

Таблиця 6.1. - Основні характеристики КА "Горизонт"

Характеристика	Значення параметра
Задачі, що вирішуються	Забезпечення зв'язку, телевізійної трансляції, зв'язку морських кораблів з береговими станціями
Діапазон частот (С і Ku)	1,5/1,6; 4/6 і 11/14 ГГц
Кількість стволів БРТК-8	1 ствол 0,5 МГц, 7 стволів по 34 МГц
Орбіта	Геостационарна
Точність утримання на орбіті	+ 0,5' за довготою, ± 2,0' за широтою
Кількість КА в системі	8
Маса КА	2300 кг
Термін активного існування	3 роки
Засоби виведення	РН "Протон"
Початок експлуатації	3 1979 р.
Головний виконавець	НВО ПМ

Наземний сегмент системи супутникового зв'язку "Горизонт" складається із наземних станцій різної пропускну здатності та складності. Основа сегмента – центральні станції, які мають антени "Орбіта" (діаметр 12 м) або "Азимут" (діаметр 25 м). Ці станції виконують функції регіональних центрів

супутникового зв'язку. Периферійні станції мають антени розміром 4 ... 12 м, які використовують для підтримання зв'язку в різних стволах (сукупностях каналів зв'язку). Для передавання даних та телефонних повідомлень використовують малі наземні станції з антенами діаметром 2,5 ... 4 м.

Багатостанційний доступ до супутникового ретранслятора забезпечується методами часового і частотного розподілу каналів. На базі КА "Горизонт" створено такі незалежні мережі: "Інтерсупутник", "Орбіта", "Москва", "Москва-глобальна", "Жарик" та ін.

"Експрес". На сьогоднішній день на геостационарній орбіті перебувають два КА "Експрес", які виконують ті самі задачі, що і КА "Горизонт". "Експрес" - геостанційні КА удосконаленої серії, що мають ряд істотних переваг перед супутниками попередніх серій (типу "Радуга" чи "Горизонт"). У них передбачено високоточну систему орієнтації в двох площинах, що забезпечує стійку роботу наземних станцій без пристроїв наведення антен. КА "Експрес" зберегли основні характеристики своїх попередників, які працюють у національних та міжнародних системах зв'язку. Для цього на КА "Експрес" збережено всі стволи в діапазонах 4/6 та 11/14 ГГц. Основні параметри КА "Експрес" наведено у табл. 6.2.

Парк наземних станцій, що працюють з КА "Експрес", розширений і доповнений сучасними малими станціями з розмірами антен С-діапазону близько 2,0 м і Ku- діапазону - 1,5 м.

Аналіз діючих КА показав, що можна значно підвищити ефективність використання КА "Експрес". За наявними оцінками енергомасовий ресурс КА "Експрес" дає змогу збільшити кількість стволів бортового ретрансляційного комплексу (БРТК) до 20 ... 24. Можливі напрями модернізації КА "Експрес":

- відмова від антен з глобальними зонами обслуговування (зберігається тільки одна передавальна антена в 6-му стволі для системи "Москва-глобальна");
- уведення багатопроменевих передавальних і приймальних антен (БПА) з поляризаційним ущільненням сигналів, що допускають повторне використання частот;
- збільшення кількості стволів завдяки наявним ресурсам і раціональній побудові БРТК;
- збільшення терміну активного існування КА до 10 ... 12 років;
- розроблення модифікацій КА "Експрес", які використовують тільки Ku - або С-діапазони.

Зараз розробляються нові модифікації КА "Експрес" на основі впровадження сучасних космічних технологій. У них передбачається використовувати тільки один із діапазонів (С або Ku). На КА "Експрес-М" використовуватиметься діапазон Ku, а на КА "Експрес - Д" - діапазон С. Термін служби КА передбачається довести до 12 років.

На КА "Експрес-М" передбачається установити БРТК, що забезпечує до 30 стволів Ku – діапазону зі смугою пропускання 36 ... 72 МГц для передавання сигналів, які різняться лінійною поляризацією. Антенна система міститиме чотири приймально-передавальні перенацілювальні бортові антени, за

допомогою яких можна буде обслуговувати різні регіони нашої країни та зарубіжні країни.

Таблиця 6.2 – Основні характеристики КА "Експрес"

Характеристика	Значення параметра
Задачі, що вирішуються	Забезпечення зв'язку та мовлення, передавання
Діапазон частот (С і Ku)	4/6 і 11/Н ГГц
Кількість стволів БРТК-12	1 ствол 40 МГц, 11 стволів по 34 МГц
Орбіта	Геостаціонарна
Точність утримання на орбіті	± 0,2' за довготою і за широтою
Кількість КА в системі	10
Маса КА	2500 кг
Термін активного існування	5 років
Засоби виведення	РН "Протон"
Початок експлуатації	3 1995 р.
Головний виконавець	НВО ПМ

На КА "Експрес - Д" передбачається установити БРТК, які забезпечать не менше 24 стволів С-діапазону зі смугою пропускання завширшки 36 МГц для передавання сигналів, які розрізняються круговою поляризацією. Антенна система міститиме три приймальні і три передавальні антени, за допомогою яких буде можливим обслуговування різних регіонів різних країн.

Наведені дані свідчать про те, що стан групувань потребує заміни більше 60% діючих супутників, які вичерпали гарантійний термін експлуатації, і мають стволи, які відмовили, та нестабільне положення на геостаціонарних орбітах.

Перспективні проекти СПСЗ. У наш час потрібно швидко реалізовувати проекти перспективних космічних групувань на основі супутників нового покоління.

Для задоволення зростаючих потреб у послугах супутникового зв'язку лише в Російській Федерації підприємства космічної галузі та різноманітні комерційні структури розробили понад 20 проектів. У них прогнозується використання нових КА з покращеними характеристиками, які представлять практично весь спектр послуг супутникового зв'язку. В нових КА передбачається використання передових технологій, які уможливають підвищення пропускну здатності БРТК і використання перенацілювальних антен. Це дозволить використовувати КА безгермоконтейнерної конструкції, забезпечить орієнтацію і стабілізацію супутників на орбіті на рівні світових вимог, а також продовжить термін їх активного існування до 10 ... 12 років.

Системи персонального супутникового зв'язку за сферою послуг, що надаються, мають багато чого спільного, в тому числі і з наземними стільниковими системами.

Передавання всіх видів інформації ведеться в цифровій формі зі швидкостями 1200 ... 9600 біт/с. Телефонний режим організовується за допомогою вбудованих в абонентський термінал (АТ) вокодерів, які забезпечують змінну швидкість передавання мовного сигналу. Крім дуплексного телефонного зв'язку, персональні АТ дають змогу підключати ПК і підтримують різноманітний набір послуг, таких як передавання факсимільних повідомлень, електронна та голосова пошта, персональний радіовиклик, шифрування даних, а також визначення місцезнаходження мобільного абонента. Деякі АТ працюють спільно з універсальним ПК.

Сьогодні СПСЗ здатні доповнити системи стільникового зв'язку там, де він неможливий або недостатньо ефективний під час передавання інформації, наприклад: у морських акваторіях; у районах з малою густотою населення; у місцях розривів наземної інфраструктури телекомунікацій і т. ін.

Разом з тим, між зазначеними системами не виключена конкуренція. Під час проектування і впровадження СПСЗ, як і в стільникових системах, особливу увагу приділяють їх інтегруванню в різні наземні мережі, використанню міжнародних стандартів для мережних інтерфейсів і протоколів обміну.

Кількість абонентів у мережах СПСЗ визначається пропускну здатністю радіоліній КА - АТ та трафіком для тих чи інших регіонів. Пропускна здатність залежить від системно-технічних рішень, енергетичних та орбітальних параметрів космічного групування, типу радіоінтерфейсу, які й відрізняють СПСЗ один від одного. Так, в середньоорбітальних і особливо в геостаціонарних системах, на відміну від низькоорбітальних, для досягнення необхідної пропускну здатності застосовують більш ефективні багатопробієві антени (з більш вузькими променями і більшою їхньою кількістю).

У супутникових системах зв'язку Iridium, ICO і в багатьох інших геостаціонарних системах застосовують метод багатостанційного радіодоступу з часовим розподілом каналів (TDMA), подібний до використовуваного наземного стільникового європейського стандарту GSM.

В основу супутникових систем Globalstar та Odyssey був покладений кодовий розподіл сигналів (CDMA), що відповідає американському стандарту IS-95.

У системі Iridium для забезпечення глобального охоплення земної поверхні передбачений міжсупутниковий зв'язок і комутація в КА з маршрутизацією каналів, що ускладнює систему, але зумовлює її більш широкі можливості щодо забезпечення мобільних абонентів зв'язком. У той самий час ця та інші СПСЗ (за виключенням Globalstar) мають достатньо нечасту мережу наземних шлюзових станцій (по одній-дві на континенті), що ускладнює організацію взаємодії з телефонною мережею загального призначення та з іншими системами комерційного зв'язку. В таких системах для забезпечення глобального зв'язку необхідні додаткові наземні канали (наприклад, транкінгового, волоконно-оптичного зв'язку тощо).

Зазначені особливості впливають, з однієї сторони, на рівень витрат виробників систем, операторів і постачальників послуг, а, з іншої – на формування ринку і попит на послуги персонального зв'язку.

Для російського ринку телекомунікаційних послуг важливим фактором є активне впровадження глобальних супутникових систем зв'язку, особливо в районах з нерозвиненою інфраструктурою телекомунікацій.

У 2005 р. завершено будівництво двох станцій з'єднання з супутниковою системою Iridium (на 300 тис. абонентів) і дев'яти станцій з'єднання з системою Globalstar (на 260 тис. абонентів). Призначення цих систем і набір послуг, що ними надаються, однакові: телефонний і факсимільний зв'язок, передавання даних, персональний радіовиклик, визначення місцезнаходження абонента, міжнародний роумінг (у межах зон дії систем). Якість послуг відповідає якості послуг, які надаються системами персонального стільникового зв'язку стандарту GSM.

Наземні станції системи Iridium з'єднуються з телефонними мережами споживання на міжнародному рівні виділенням для цих станцій власного коду доступу. Станції забезпечують більшу швидкість передавання цифрової інформації в телефонну лінію (155 Мбайт/с). Розроблений робочий проект станції з'єднання з системою Iridium. Вона забезпечить послугами зв'язку до 30 тис. рухомих користувачів системи.

Система Globalstar з'єднується з телефонними лініями загального користування на міжміському рівні (через АМТС) за допомогою виділеного для цієї мережі національного коду доступу. Інтерфейс мережі відповідає вимогам рекомендацій Міжнародної спілки електрозв'язку. Обмін повідомленнями здійснюється зі швидкістю 2,48 Мбайт/с. На сьогодні на території Російської Федерації вже розпочато будівництво декількох наземних станцій з'єднання з системою Globalstar.

6.3 Структура супутникових систем персонального зв'язку

До будь-якої супутникової системи зв'язку входять:

- *космічний сегмент*, який складається із декількох супутників-ретрансляторів;
- *наземний сегмент*, який складається із центру управління системою, центру запуску КА, командно-вимірювальних станцій, центру управління зв'язком і шлюзових станцій;
- *користувацький (абонентський) сегмент*, який здійснює зв'язок за допомогою персональних супутникових терміналів;
- *наземні мережі зв'язку*, з якими через інтерфейс зв'язку з'єднують шлюзові станції космічного зв'язку.

До наземних мереж зв'язку належать телефонна мережа загального призначення, канали стільникових мереж, окремі канали зв'язку.

Швидкий розвиток супутникових систем зв'язку вимагав розроблення і прийняття ряду міжнародних конвенцій, угод та норм. Технічні питання, пов'язані з використанням частот і розташуванням супутників-ретрансляторів

на орбітах, які забезпечують відсутність взаємних перешкод один одному, вирішуються в рамках Міжнародного консультативного комітету по радіо (МККР) і Міжнародного комітету по реєстрації частот (МКРЧ). Для супутникових систем виділені смуги частот, подані в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Діапазони частот супутникових систем зв'язку

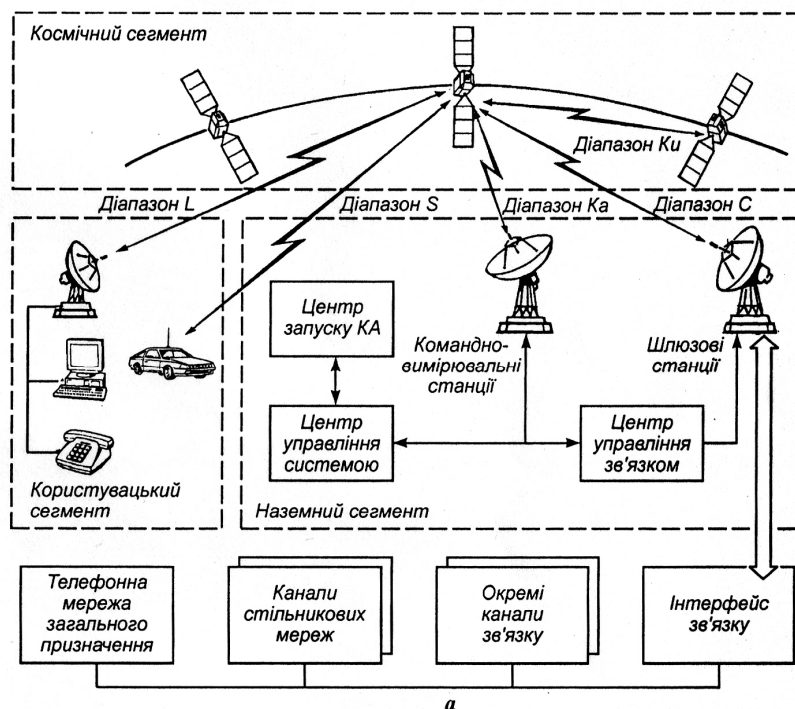
Назва діапазону	Смуга частот, ГГц
L	1,452 ... 1,500 і 1,61 ... 1,71
S	1,93 ... 2,70
C	3,40 ... 5,25 і 5,725 ... 7,075
Ku	10,70 ... 12,75 і 12,75 ... 14,80
Ka	14,40 ... 26,50 і 27,00 ... 50,20
K	84,00 ... 86,00

На рис. 6.2, а показано приклад практичного використання деяких із перелічених діапазонів. Але в окремих супутникових системах зв'язку, як буде показано далі, практичне використання діапазонів частот не завжди відповідає розглянутій структурній схемі.

6.3.1 Космічний сегмент

Космічний сегмент включає в себе декілька супутників-ретрансляторів, які утворюють космічне групування. Супутники-ретранслятори, як правило, розміщуються рівномірно на визначених орбітах.

До складу будь-якого КА зв'язку входять такі основні елементи (рис. 6.2, б): центральний процесор; радіоелектронне обладнання БРТК; антенні системи; система орієнтації та стабілізації; рушійна установка; система електроживлення (акумулятори і сонячні батареї).



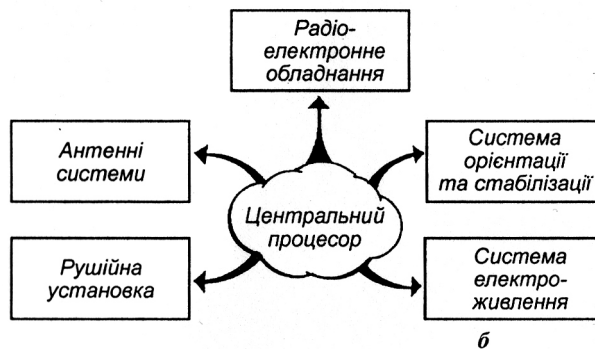


Рисунок 6.2 – Структура супутникових систем зв'язку (а) та загальна структурна схема КА (б)

До кожного КА (рис. 6.3) висуваються цілком визначені вимоги до жорсткості конструкції, витрат електроенергії, орієнтації, стабілізації і т. ін. Низькоорбітальний супутник знаходиться на висоті близько 1000 км і рухається по орбіті зі швидкістю приблизно 7 км/с. Час, протягом якого його можна спостерігати з деякої точки поверхні Землі (час видимості), не перевищує 14 хв. Після цього супутник "відходить" за лінію горизонту. Для підтримання безперервного зв'язку (наприклад, при телефонній розмові) необхідно, щоб у той момент, коли перший супутник покине зону обслуговування, на зміну йому приходив другий, за ним - третій і т. д.

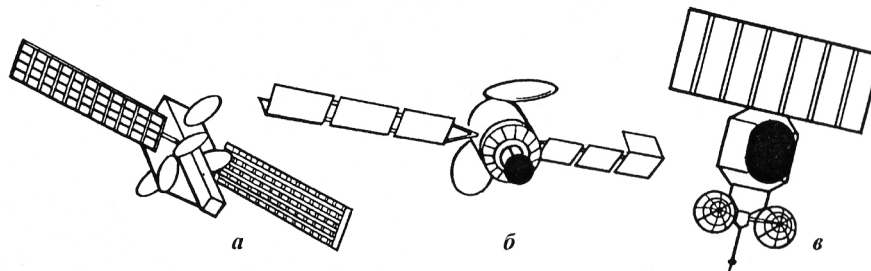


Рисунок 6.3 – Супутники-ретранслятори: а – низькоорбітальні; б – середньоорбітальні; в – геостационарні

Глобальні супутникові системи мають постійно тримати в полі зору своїх антен всю поверхню планети. Це нагадує принцип стільникового телефонного зв'язку, тільки роль базових станцій тут відіграють супутники.

Щоб забезпечити зв'язком абонентів не тільки в зоні видимості одного КА, але і на всій території Землі, сусідні супутники зв'язуються між собою і передають інформацію по ланцюжку, поки вона не дійде до адресата. Цю задачу в деяких системах виконують наземні шлюзові станції, які транслюють інформацію з одного КА на інший.

Для надійного охоплення всієї території Землі треба мати більшу кількість супутників (зазвичай декілька десятків, хоча відомий проект Teledesic, в якому їх кількість наближається до тисячі).

Зі збільшенням висоти орбіти зменшується необхідна кількість супутників, оскільки збільшується час і зона видимості, що зумовлює зниження вартості орбітального групування і, відповідно, послуг. Але при цьому

неминуче ускладнюються і дорожчають персональні супутникові термінали (через збільшення дальності зв'язку Земля - Космос - Земля).

Таким чином, кількість супутників в орбітальному групуванні є результатом компромісу між вартістю і бажаним обсягом послуг зв'язку з одного боку, і простотою та вартістю персонального супутникового терміналу - з іншого. Ці відомості потрібно враховувати при орієнтації на ту чи іншу систему зв'язку.

6.3.2 Наземний сегмент

Центр управління системою здійснює спостереження за КА, розрахунок їх координат, перевірку і корекцію часу, діагностику працездатності бортової апаратури, передавання службової (командної) інформації тощо. Вказані функції управління виконуються на основі телеметричної інформації, яка надходить від кожного КА орбітального групування. Для управління космічним групуванням у різних режимах роботи КА використовують як штатні канали зв'язку (з урахуванням перехресного супутникового зв'язку), так і окремі, територіально рознесені командно-вимірювальні станції. Завдяки цьому центр управління системою дає змогу забезпечити з достатньо високою оперативністю:

- контролювання запуску та точність виведення КА на задану орбіту;
- контролювання стану кожного КА;
- контролювання й управління орбітою окремого КА;
- контролювання й управління КА в незвичних режимах роботи;
- виведення КА зі складу орбітального групування.

Управління космічним групуванням здійснюється спеціалістами групи управління й аналізу. Передавання службової інформації на КА здійснюють через територіально-рознесені основні та резервні станції командно-вимірювальної системи.

Центр запуску КА визначає програму запуску, здійснює збирання ракети-носія, її перевірку, а також установку корисного навантаження КА і проведення передстартових перевірок і випробувань. Після запуску ракети-носія роблять траєкторні виміри на активній ділянці польоту, що транслюються в центр управління системою, де для формування проміжної орбіти коригуються розрахункові траєкторні дані. Наступне управління КА здійснюється центром управління системою за допомогою командно-вимірювальних станцій за такою програмою:

- розгортаються сонячні батареї КА;
- короткочасно включаються коригувальні двигуни для виведення КА на основну орбіту;
- знімається телеметрична інформація для контролю стану бортового устаткування КА.

Центр управління зв'язком планує використання ресурсу супутника, координуючи цю операцію з центром управління системою. Центр управління

зв'язком здійснює через національні шлюзові станції аналіз і контроль зв'язку, а також його управління.

У штатних умовах роботи орбітального супутникового групування зв'язок зі шлюзовими станціями і користувачькими терміналами здійснюється автономно. У незвичних ситуаціях (під час виведення окремого КА або групування при виході з ладу елементів шлюзової станції) центр управління зв'язком переходить у режим підтримки зв'язку з підвищеним навантаженням, а в особливих випадках передбачається також можливість реконфігурування мережі.

Шлюзові станції складаються з декількох приймально-передавальних комплексів (звичайно не менше трьох), у кожному з яких є параболічна слідкуюча антена.

Застосування декількох приймально-передавальних комплексів дає змогу практично без порушення зв'язку переходити послідовно від одного КА до іншого. Приймально-передавальні комплекси функціонують так:

- 1-й комплекс вступає в зв'язок з i -м КА;
- 2-й комплекс вступає в зв'язок з $i + 1$ -м КА;
- - потім 1-й комплекс, після відходу з зони видимості i -го КА, вступає в зв'язок з $i + 2$ -м КА;
- 2-й комплекс, після відходу з зони $i + 1$ -го КА, вступає в зв'язок з $i + 3$ -м КА і т. д.

Для управління великим потоком інформації до складу шлюзової станції включені швидкодіючі ЕОМ, в яких є банк даних персональних терміналів. Шлюзові станції у своєму складі мають комутаційне обладнання (інтерфейси зв'язку) для з'єднання з різними наземними системами зв'язку. Основним завданням будь-якої шлюзової станції є організація дуплексного телефонного зв'язку, передавання факсимільних повідомлень, а також даних великих обсягів.

6.3.3 Персональний користувачький сегмент

Системи персонального супутникового зв'язку призначені для надання таких видів послуг (рис. 6.4):

- зв'язок абонентів, які мають персональні супутникові термінали, між собою;
- дуплексний зв'язок абонентів, що мають персональні супутникові термінали, з абонентами телефонної мережі загального призначення, пейджингових і стільникових мереж, а також окремих каналів зв'язку, якщо зазначені мережі підключені до інтерфейсів зв'язку і шлюзових станцій;
- визначення місцезнаходження (координат) абонентів СПСЗ.

Для організації супутникового зв'язку застосовують переносні персональні супутникові термінали (масою близько 700 г) і мобільні термінали (масою близько 2,5 кг). Ці термінали здатні установлювати зв'язок між абонентами за 2 с, як і в системі стільникового зв'язку. В даний час багато фірм пропонують користувачам такі типи супутникових терміналів: портативні (супутниковий телефон); переносні персональні; мобільні для

автотранспортних, авіа- і морських засобів; малогабаритні пейджингові; для колективного користування.

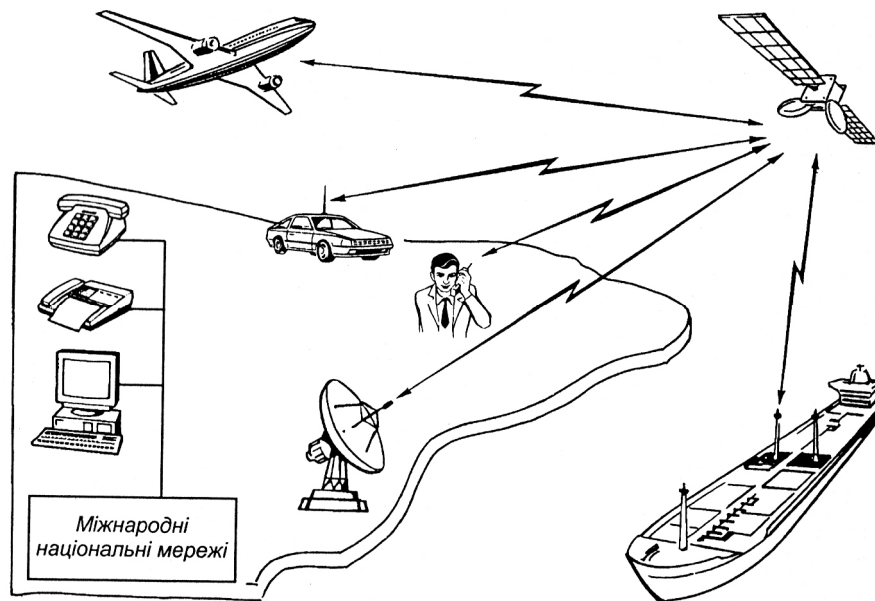


Рисунок 6.4 - Користувачі супутникової системи персонального зв'язку

Персональні супутникові термінали рухомого зв'язку працюють у діапазонах частот 137 ... 900 і 1970 ... 2520 МГц, що практично не відрізняються від діапазону частот стільникового зв'язку (450 ... 1800 МГц). Середня потужність передавача невелика і складає, наприклад, для супутникового терміналу системи Indium 15 ... 400 мВт. Це означає, що власнику терміналу не слід хвилюватися за здоров'я: супутниковий термінал не більш небезпечний, ніж звичайний стільниковий радіотелефон. Найбільш цікаві для користувачів портативні та персональні супутникові термінали.

Слід зазначити, що на сьогоднішній день промислові зразки персональних терміналів не до кінця відпрацьовані. Йде робота щодо їх удосконалювання з метою розширення спектра наданих послуг. Проте основні характеристики таких терміналів уже визначені.

Останнім часом усе більше уваги приділяється створенню супутникових систем зв'язку на основі технології VSAT – системи зв'язку з малими супутниковими терміналами. Дана технологія дає змогу виготовляти супутникові термінали з діаметром антен до 2,5 м.

У світі нараховується близько 150 тис. супутникових терміналів. Наприклад, фірма Hughes Network Systems (США) продала понад 85 тис. VSAT-терміналів. Практично всі великі банки, виробничі компанії і відомства зараз мають власні корпоративні мережі, в яких супутниковий зв'язок забезпечується за допомогою VSAT-терміналів.

Швидкість передавання інформації - поняття дуже умовне. Навіть за малої швидкості (64 кбіт/с) VSAT-термінал забезпечує одночасне передавання декількох телефонних розмов, підтримує обмін даними і факсимільними повідомленнями. За необхідності цю швидкість можна збільшити до 512 кбіт/с,

а в деяких терміналах і до 2048 кбіт/с, але найголовніше те, що супутниковий термінал, як правило, встановлюється в безпосередній близькості від робочого місця користувача і є персональним засобом зв'язку. Більшості користувачів супутникових систем зв'язку потрібна зовсім невисока швидкість передавання інформації, а можливість підключення терміналу до різної периферійної апаратури.

Усі системи глобального супутникового зв'язку пропонують приблизно однаковий набір послуг:

- передавання мови (телефонний зв'язок);
- передавання факсимільних повідомлень;
- передавання даних;
- персональний радіовиклик (пейджинг);
- визначення місцезнаходження абонента;
- глобальний роумінг.

Ці послуги реалізуються в режимі надання каналу по запиту, причому час його надання в найбільш зроблених супутникових системах не перевищує 2 с. У деяких системах існують певні розходження щодо швидкості передавання інформації. Так, у системах Iridium і Inmarsat-D швидкість становить 2,4 кбіт/с, а в системі Globalstar - 1,2 ... 9,6 кбіт/с.

При таких характеристиках користувач може розраховувати на більш-менш якісний телефонний зв'язок, передавання факсимільних повідомлень і низько-швидкісне передавання даних. При підключенні ПК до супутникового терміналу можна обмінюватися файлами в реальному масштабі часу зі швидкістю приблизно 0,5 ... 1 сторінка тексту за секунду.

Супутникові системи зв'язку забезпечують досить високу точність визначення місцезнаходження (координат) абонента, що становить близько 300 м (незалежно від часу доби, погодних умов тощо). В найближчі роки супутникові системи зв'язку стануть доступні всім, а їхня якість відповідатиме якості послуг стільникових мереж рухомого зв'язку.

6.4 Низькоорбітальні системи супутникового зв'язку

На початку 90-х років ХХ ст. розвиваються нові напрями розвитку супутникового зв'язку – системи зв'язку на базі низькоорбітальних КА. До низькоорбітальних супутників LEO належать КА, висота орбіт яких лежить в межах 700 ... 1500 км.

Низькоорбітальне групування може містити від одного до декількох десятків малих супутників масою до 500 кг. Для охоплення зв'язком значної території Землі застосовують орбіти (на яких можуть знаходитися декілька КА), що лежать у різних площинах.

Підвищена зацікавленість у низькоорбітальних системах супутникового зв'язку пов'язана з можливістю надання послуг персонального зв'язку, включаючи радіотелефонний обмін, при використанні порівняно дешевих малогабаритних супутникових терміналів. Низькоорбітальні системи дають змогу забезпечити безперебійний зв'язок з терміналами, розміщеними в будь-

якій точці Землі, і практично не мають альтернативи при організації зв'язку в регіонах зі слаборозвиненою інфраструктурою зв'язку і малою густиною населення.

Однією із головних переваг, що сприяють розвитку низькоорбітальних систем супутникового зв'язку, є біологічний фактор. Так, для забезпечення вимог біологічного захисту людини від рекомендованого випромінювання надвисокої частоти (НВЧ) рівень потужності безперервного випромінювання радіотелефону має становити не більше 50 мВт. Ефективне приймання сигналу такої потужності, наприклад, геостаціонарним супутником пов'язане зі значним ускладненням КА, розгортанням великих антен і точним їх позиціонуванням. Для низькоорбітальних супутникових систем довжина радіоліній у багато разів менша, і проблема створення багатопроменевих антен менш гостра. До цих систем належать насамперед системи Iridium і Globalstar, створювані зарубіжними консорціумами при провідній ролі таких великих компаній-виробників, як Motorola/Lockheed і Qualcomm/Loral відповідно.

Низькоорбітальні системи розглядалися фахівцями на початку становлення супутникового зв'язку, але не мали широкого попиту. На це була низка причин, серед яких не останнє місце займає визначена інерція поглядів і суджень, відповідно до якої супутник має знаходитися в зоні видимості безперервно, а ще краще - бути нерухомим для спостерігача, тобто міститися на геостаціонарній орбіті.

За останнє десятиліття було створено декілька низькоорбітальних систем, але для обмеженого застосування, пов'язаного, головним чином, з передаванням коротких і відносно рідких повідомлень. Цікава ідея глобального персонального зв'язку, заснованого на сучасній технології, відродила інтерес до низькоорбітальних супутникових систем.

У проєкті системи Iridium космічний сегмент має складатися з 66 супутників-ретрансляторів, розміщених на орбітах висотою 780 км. У системі Globalstar передбачається 48 супутників-ретрансляторів, що знаходяться на орбітах висотою близько 1400 км. Така кількість супутників необхідна для підтримки безперервного зв'язку, наданого будь-якому абоненту в будь-якій частині земної кулі, оскільки кожний з низькоорбітальних супутників-ретрансляторів знаходиться в зоні видимості абонента кілька хвилин. Завдяки проходженню супутників одного за одним і розташуванню їхніх орбіт у різних площинах забезпечується повне покриття земної поверхні зонами огляду і безперервна видимість супутників з наземних станцій. При цьому переключення з одного супутника на інший є справою техніки, а збільшення кількості супутників компенсується зниженням витрат на їхнє виведення (декілька супутників за один раз) на задану орбіту.

Ситуація на ринку телекомунікацій у даний час така, що навіть у країнах з розвиненою інфраструктурою зв'язку близько 35% послуг надається низькоорбітальними супутниковими системами. Останнім часом вітчизняними і зарубіжними фірмами заявлено близько 40 різних проєктів зі створення низькоорбітальних систем, що оцінюються як цілком реалізовані. Далі

розглядатимемо ті проекти низькоорбітальних систем зв'язку, що знаходяться в стадії застосування або розгортання.

6.4.1 Система супутникового зв'язку Iridium

У 1987 р. компанія Motorola Inc почала розробляти проект низькоорбітальної супутникової системи зв'язку Iridium. Проект Iridium заснований на широкому міжнародному співробітництві. Партнерами компанії Motorola Inc у міжнародному консорціумі Iridium Inc, організованому в 1993 р., є такі провідні фірми, як DDI (Японія), Sprint, Lockheed і Raytheon (США), Державний космічний науково-виробничий центр ім. М. В. Хруничева (Росія) та ін. У розроблювальному проекті спочатку передбачалося використовувати 77 супутників. Проект має таку назву, оскільки у таблиці Менделєєва 77-й елемент -іридій. Пізніше кількість супутників в орбітальному групуванні була знижена до 66, але назва проекту залишилася.

В орбітальному групуванні для забезпечення мінімальної відстані між сусідніми КА обрана оптимальна різниця кутів (27°) між площинами орбіт (рис. 6.5).

Основні параметри орбітального групування: орбіти – квазіполярні з нахилом $i = 86,4^\circ$; кількість площин – 6; кількість КА в одній площині – 11; кутова відстань між КА, що знаходяться в одній площині, – $32,7^\circ$; висота орбіт – 780 км; період обертання КА навколо Землі – 100 хв.

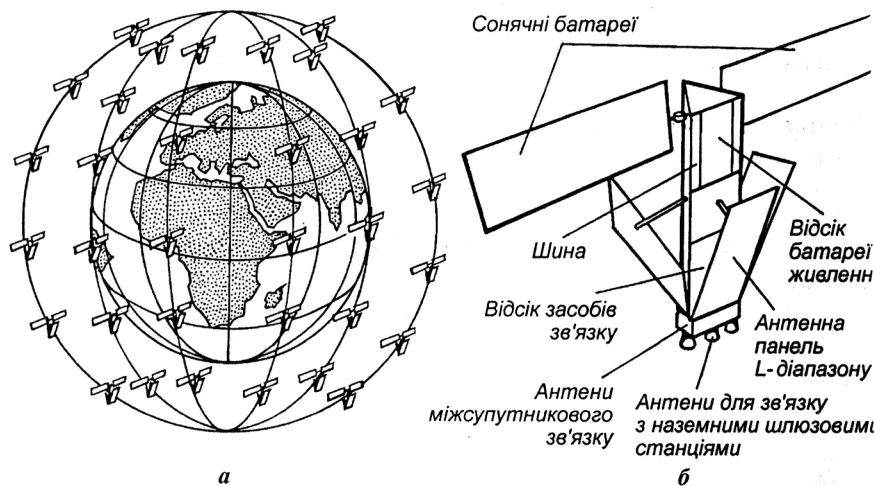


Рисунок 6.5 – Система Iridium:

a – 66 супутників на 6 квазіполярних орбітах;
б – низькоорбітальний супутник – ретранслятор

Система Iridium призначена для глобального рухомого персонального зв'язку за принципом "кожний - кожному" на основі міжсупутникового зв'язку, а також для забезпечення таких видів зв'язку і послуг.

Види зв'язку: дуплексний радіотелефонний зв'язок; факсимільний зв'язок передавання даних.

Види послуг: зв'язок між абонентами, що мають персональні термінали; зв'язок абонентів загальної телефонної мережі з користувачами персональних супутникових терміналів; передавання сигналів оповіщення на пейджер; визначення місцезнаходження (координат) абонентів.

Для надання перелічених видів послуг компанія Motorola Inc пропонує різні переносні малогабаритні (масою до 700 г) і мобільні (масою до 2,5 кг) персональні термінали. Кожен користувацький термінал реєструється в національній шлюзовій станції, де йому надається кодовий номер і зазначається первісне територіальне розміщення.

Діапазони і смуги частот радіоліній. Будь-який КА (рис. 6.5,б) орбітального групування формує 48 променів випромінювання й утворює кожним променем на Землі стільник діаметром 640 км.

У сукупності 48 променів створюють підсупутникову зону діаметром приблизно 4500 км. Все орбітальне групування формує квазісуцільну підсупутникову зону, що покриває всю поверхню Землі. Формування підсупутникової зони здійснюються за допомогою розташованих на кожному КА шести антенних фазових ґрат (АФАГ). Кожна АФАГ формує вісім променів. Завдяки застосуванню багатопробеневи антен і стільникової структури зони, що обслуговується, робочі частоти в системі Iridium використовуються багаторазово.

При цьому в суміжних стільниках застосовуються різні частоти, а в кожному восьмому стільнику, створюваному орбітальним групуванням, можливе повторення частот. У результаті частоти діапазону 1616,0 ... 1626,5 МГц використовуються в системі більше 150 разів.

У табл. 6.4 наведено діапазони частот радіоліній системи Iridium і використовувані смуги частот.

Таблиця 6.4 – Діапазони частот радіоліній системи Iridium

Найменування діапазону	Радіолінія	Діапазон частот	Ширина смуги частот каналу
L	«Абонент - КА»	1616,0 ... 1625,5 МГц	126 КГц
L	«КА - абонент»	1616,0 ... 1626,5 МГц	280 КГц
КА	«КА - шлюзова станція»	19,6 ГГц	100 МГц
КА	«Шлюзова станція - КА»	29,1 ... 29,3 ГГц	100 МГц
КА	Міжсупутниковий зв'язок «КА - КА»	23,18 ... 23,38 ГГц	200 МГц
<i>Командна і ТЛМ-інформація</i>			
КА	«Земля - КА» (РЛ)	29,1 ... 29,3 ГГц	-
КА	«КА - Земля» (ТЛМ)	19,6 ГГц	-

Частотний діапазон комерційної радіолінії:

- «Абонент – КА» містить 64 частотних каналів з рознесенням між ними 160 КГц (ширина смуги частот кожного каналу 126 КГц);
- «КА – абонент» містить 29 каналів з рознесенням між ними 350 КГц (ширина смуги частот кожного каналу 280 КГц).

Методи доступу. У радіолініях «абонент – КА» і «КА – абонент» застосовується часовий розподіл каналів. Формат багатостанційного доступу з'єднає часовий розподіл каналів для кожного стільника і частотний розподіл для суміжних стільників (FDMA). За допомогою фазової маніпуляції ФМ-4 здійснюється кодування інформації, що забезпечує стискання мовної інформації в цифровому вигляді. Інформація про це, а також сигнали циклової і тактової синхронізації передаються вздовж каналу управління, для чого в радіолінії «КА – абонент» задіяно 4 радіоканали. Коефіцієнт стискання інформації (2,2/1) дає змогу забезпечити передавання в радіолінії «КА – абонент» 55 мовних каналів на 25 несучих частотах. При передаванні радіотелефонної інформації ймовірність помилки на біт не вище 10^{-3} , при передаванні цифрових даних – 10^{-6} .

Орбітальне групування КА формує на поверхні Землі приблизно 2150 стільників при використанні 48 променів АФАГ кожного КА. Отже, при використанні смуги частот 1616,0 ... 1626,5 МГц пропускна здатність системи становить 3835 дуплексних телефонних каналів зв'язку.

Радіолінія міжсупутникового зв'язку. Кожен КА орбітального групування має радіолінії зв'язку з двома сусідніми КА, що містяться в одній орбітальній площині з ним, і двома КА в сусідніх (ліворуч і праворуч) орбітальних площинах.

Для підтримки міжсупутникового зв'язку на кожному КА є чотири щільні антенні фати з коефіцієнтом підсилення 36 дБ. Точність управління діаграмою направленості кожної антени становить ± 5 . Використовується смуга частот шириною 200 МГц у діапазоні 23,18 ... 23,38 ГГц. Для виключення взаємних перешкод у міжсупутникових каналах зв'язку смуга частот шириною 200 МГц розбита на 8 окремих частотних смуг, що утворюють окремі канали зв'язку. Швидкість передавання інформації в кожному каналі 25 Мбіт/с. Метод модуляції і кодування інформації такі самі, як у радіолінії «КА – абонент». Ймовірність помилки не вище 10 на 1 біт інформації. Кожен канал міжсупутникової лінії зв'язку підтримує 600 телефонних каналів без стискання (1300 каналів при коефіцієнті стискання інформації 2,2/1).

Шлюзові станції складаються з трьох приймально-передавальних комплексів. Кожен комплекс має швидкодіючу ЕОМ, в якій зберігається банк даних про персональні термінали, і комутаційне устаткування для зв'язку з телефонною мережею загального користування. У роботі постійно знаходяться два приймально-передавальних комплекси, які по черзі підтримують зв'язок з КА в прямій видимості. Третій приймально-передавальний комплекс – резервний. За необхідності він може замінити 1 або 2-й комплекс.

6.4.2 Система супутникового зв'язку Globalstar

Низькоорбітальна глобальна супутникова система персонального зв'язку Globalstar розроблена корпораціями Qualcomm і Loral, а також іншими відомими представниками індустрії телекомунікаційного обладнання.

Космічний сегмент. До складу орбітального групування системи Globalstar входять 48 низькоорбітальних супутників-ретрансляторів, розміщених на 8-ми кругових орбітах (по 6 супутників на кожній). Висота орбіт над поверхнею Землі становить 1414 км. Параметри орбіти (їхній нахил $i = 52^\circ$) обрані так, щоб забезпечити максимальну частоту обслуговування абонентів у середніх широтах. Полярні області (вище 70° північної широти і 70° південної широти) космічним сегментом не обслуговуються (рис. 6.6, а).

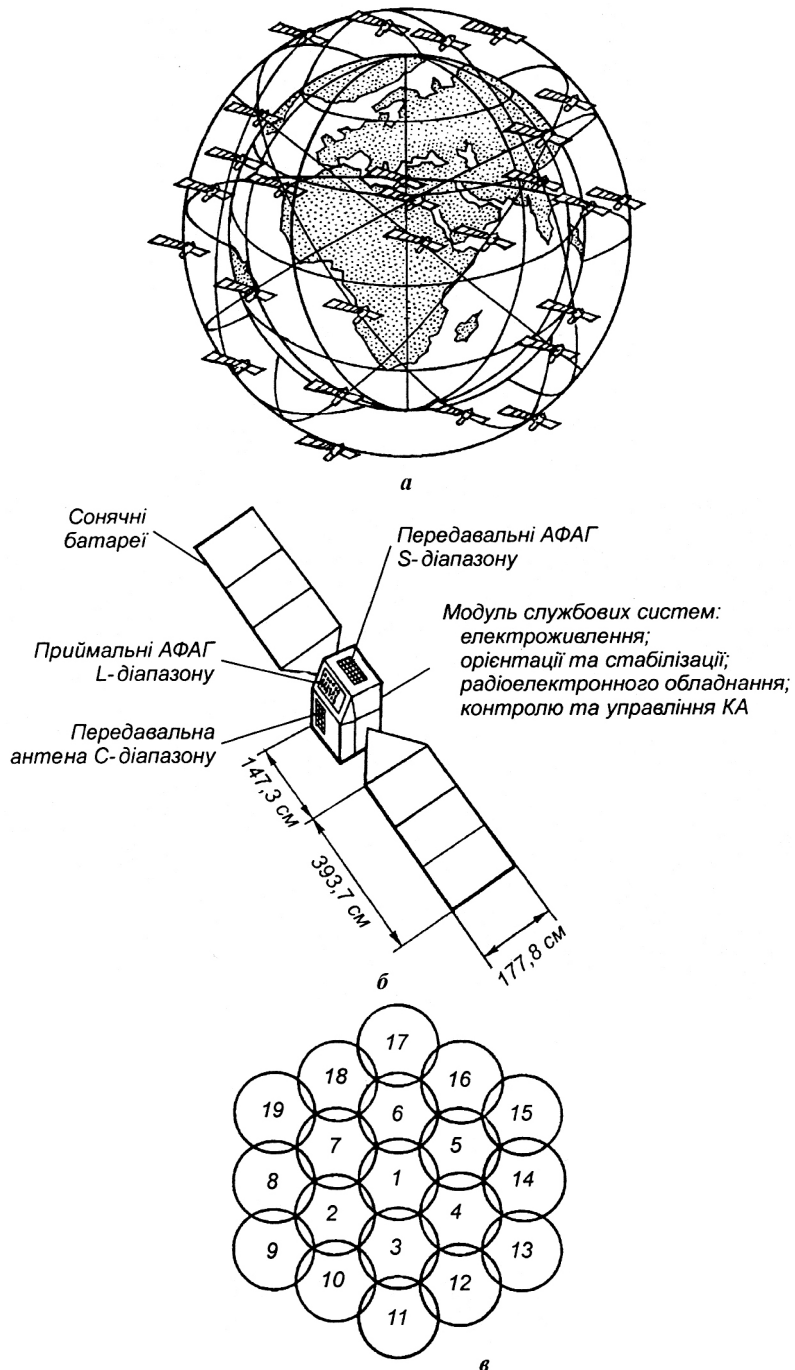


Рисунок 6.6 – Система Globalstar:
 а – 48 супутників на 8-ми орбітах; б – зовнішній вигляд КА;
 в – структура покриття земної поверхні багатопроменевого антенного КА

У системі Globalstar не передбачені міжсупутникові зв'язки, однак вона розрахована на постійне двократне покриття земної поверхні (у широтному поясі від 70° північної широти до 70° південної широти), що дасть можливість:

- забезпечити безперервний зв'язок при переході абонента з зони дії одного променя в зону дії іншого променя того самого супутника і з зони дії одного супутника в зону дії іншого;

- значно підвищити надійність зв'язку з рухомими абонентами завдяки усуненню ефекту затемнення приймальної антени терміналу абонента складками рельєфу місцевості внаслідок когерентного додавання сигналів декількох супутників, а також сигналів, відбитих від різних перешкод на земній поверхні.

Система зможе забезпечити, крім передавання сигналів службової (командної) інформації, два типи послуг:

- телефонний, факсимільний і пейджинговий зв'язок;
- визначення місцезнаходження (координат) абонентів.

Якість телефонного зв'язку досягається завдяки застосуванню шумоподібних сигналів (ШПС) з кодовим розподілом каналів. Це дає змогу використовувати той самий діапазон частот у кожному із 16 променів, що формуються за допомогою багатопроменевих бортових антен.

Для формування ШПС використовуються послідовності Уолша. Усі сигнали формуються одним джерелом, але кожний має своє визначене часове зрушення відповідно до пілот-сигналу. Пілот-сигнал передається нульовою послідовністю функції Уолша (усі знаки - нулі).

При застосуванні ШПС відбиті від сторонніх об'єктів сигнали підсумовуються з основним сигналом за допомогою багатоканальних приймачів, що значно підвищує заводо захищеність системи. Це також дає змогу здійснювати м'який перехід абонента із зони дії одного променя в зону дії іншого без втрати зв'язку (рис. 6.6, в).

На відміну від систем з часовим чи частотним розподілом каналів, при переходах зв'язок абонента підтримується двома променями доти, поки рівень сигналу одного із них не буде нижчий за визначене значення. Такий алгоритм дає змогу виключити клацання в абонентських терміналах, що можуть бути відчутні при таких переходах в інших системах, а також зменшити ймовірність втрати зв'язку.

Пропускна здатність кожного каналу дуже висока завдяки кодовому розподілу сигналів і змінній швидкості передавання цифрового потоку (1200 ... 9699 біт/с). Змінна швидкість цифрового потоку дає змогу забезпечити передавання сигналів службової (командної) інформації в паузах мови.

Точність визначення координат абонентів без участі шлюзових станцій становить 10 км, а при визначенні місцезнаходження за участю шлюзових станцій і супутників-ретрансляторів вона може досягати 300 м.

Шлюзові станції складаються з чотирьох ідентичних приймально-передавальних комплексів, кожний з яких оснащений параболічною антеною, що стежить, діаметром 3,4 м.

Відсутність міжсупутникових зв'язків у системі Globalstar спричинює значне зростання кількості шлюзових станцій (до декількох сотень).

Основними задачами шлюзових станцій є організація і підтримка телефонних і пейджингових каналів, каналів передавання даних, а також забезпечення служби визначення координат рухомих об'єктів.

Серед інших функцій шлюзових станцій слід виділити регулювання рівнів потужності абонентських терміналів. Приймачі шлюзових станцій вимірюють рівень сигналу, прийнятого від кожного абонентського терміналу, і порівнюють його з граничним, а потім передають на абонентський термінал команду на збільшення чи зменшення його потужності. Ця процедура дає змогу вирівняти рівні сигналів на вході приймача супутника-ретранслятора і продовжити термін роботи батареї абонентського терміналу.

Система управління мережами супутникового зв'язку. Передбачається створення загальної системи управління мережами супутникового зв'язку для держав, що входять до складу Співдружності Незалежних Держав, яка розподілена на сегменти Російської Федерації, України та ін.

Розглянемо сценарій побудови українського сегмента системи управління супутникової системи персонального зв'язку Globalstar. У загальному вигляді Globalstar складатиметься з віртуального космічного групування деякої кількості супутників (від 3 до 5), станцій з'єднання, розташованих на території країн СНД, центрів постачальників послуг і наземної мережі.

Система управління системою Globalstar призначена для вирішення таких комплексів задач, як:

- планування чисельності абонентів, каналних ресурсів, прибутків, створення баз даних, необхідних для функціонування системи Globalstar;
- адміністративне і технологічне управління, технічне обслуговування, управління відновлення зв'язків, управління трафіком, набору статистики, розрахунків з користувачами;
- аналіз якості послуг зв'язку, прогнозування розвитку мережі, формування вимог до експлуатаційних характеристик мережі й системи управління.

Вона складається із центру управління українським сегментом (ЦУУС), територіальних центрів управління (ТЦУ), центрів управління постачальників послуг (ЦУПП), підсистем управління станціями з'єднання (ПУСЗ) та інформаційної мережі.

На рис. 6.7 показано спрощене уявлення системи управління українського сегмента системи супутникового зв'язку Globalstar.

Штрихова лінія на рисунку обмежує зону діяльності відповідної станції з'єднання.

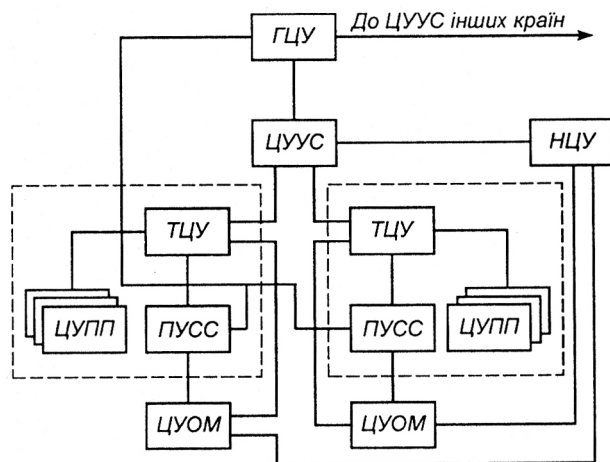


Рисунок 6.7 – Спрощене уявлення системи управління українського сегмента системи супутникового зв'язку Globalstar

ЦУУЗ функціонує в реальному масштабі часу цілодобово і виконує такі функції:

- координацію діяльності ТЦУ;
- планування робіт на мережі та послуг зв'язку;
- розподіл і перерозподіл каналного ресурсу між станціями з'єднання через ТЦУ;
- взаємодію з ТЦУ з питань перерозподілу абонентів між станціями з'єднання в умовах виникнення перевантажень;
- створення й уведення бази даних;
- контроль і облік дієздатності станцій з'єднання та кінцевого обладнання користувачів;
- облік користувачів у цілому;
- контроль за доступом кінцевого обладнання користувачів до каналного ресурсу;
- контроль за веденням розрахунків за надання послуг користувачам;
- контроль виконання задач експлуатації та її елементів;
- контроль розв'язання задач з захисту інформації.

ТЦУ виконує такі функції:

- створення й уведення бази даних по мережі в зоні територіального оператора;
- розподіл каналного ресурсу між користувачами у своїй зоні;
- локалізацію несправностей й управління їхнім усуненням на станціях сполучення;
- управління якістю;
- управління захистом інформації;
- контроль стану й облік різноманітного обладнання користувачів на своїй території;
- ведення розрахунків з користувачами послуг зв'язку на своїй території;
- облік користувачів на своїй території.

ЦУПП забезпечує взаємодію із ТЦУ з питань стягнення плати за послуги й оповіщення про несправності системи Globalstar, інформація про які отримана від користувачів системи.

Станції з'єднання працюють в автоматизованому режимі.

На рис. 6.7 показано головний центр управління системи (ГЦУ), який здійснює розподіл для відповідних сегментів необхідного каналного ресурсу, надає інформацію про функціонування системи в цілому, а також вирішує питання якості обслуговування користувачів.

Інформаційна мережа забезпечує зв'язок усіх елементів системи управління (центрів управління) між собою.

6.5 Середньоорбітальні системи супутникового зв'язку

До середньоорбітальних супутників зв'язку МЕО (*Mean Earth Orbit*) належать КА з висотою орбіти 5 ... 15 тис. км. У середньоорбітальній системі може знаходитися до 12 супутників, маса яких становить до 1000 кг.

При таких орбітах час видимості одного супутника-ретранслятора доходить до декількох годин, що дає змогу зменшити кількість супутників до 10 ... 12 і, крім того, збільшити кути, під якими їх «спостерігають» абонентські термінали. З проектів МЕО- систем найбільш відомі Inmarsat, ОСО і Odyssey, створені різними міжнародними організаціями і концернами.

Крім космічного і користувацького сегментів (орбітального групування супутників і абонентських терміналів), архітектура МЕО-систем включає комплекси радіочастотного, лінійного, комутаційного устаткування шлюзових станцій, призначених для з'єднання мобільних або нерухомих абонентів СПСЗ з абонентами телефонної мережі загального користування й інших наземних мереж і служб, у тому числі стільникових систем радіозв'язку.

До факторів, які сприяють розвитку середньоорбітальної супутникової системи, можуть належати такі, коли групування КА знаходяться між двома різно-висотними радіаційними поясами природного походження, що дає можливість забезпечити великий термін експлуатації (до 10 років).

Це дуже важливо, оскільки виведення супутника на середньовисотну орбіту дорожче, ніж на низьку. Залежно від висоти розташування групування КА затримка поширення сигналу коливається від 40 до 140 м/с, але залишається при цьому непомітною для сприйняття мови на слух. Для забезпечення надійного зв'язку в більшості регіонів Землі досить порівняно малої кількості супутників – 9 (при збільшенні їхньої кількості до 12 забезпечується глобальне обслуговування). Серед середньоорбітальних систем слід зазначити: Odyssey, Inmarsat і Ellipso. Нижче розглянемо систему супутникового зв'язку Inmarsat.

Система супутникового зв'язку Inmarsat. Перша глобальна супутникова система рухомого зв'язку Inmarsat-A була уведена в експлуатацію у 1982 р. організацією Inmarsat (*International Maritime Satellite Telecommunications Organization*) морського супутникового зв'язку. Первісне

призначення системи полягало в забезпеченні надійним зв'язком морських суден, що знаходяться в плаванні. Пізніше її стали використовувати також сухопутні та повітряні служби. Однак уже тоді було очевидно, що внаслідок використання дорогої спеціальної апаратури і високих тарифів кількість комерційних користувачів цієї системи буде обмежено.

Міжнародна організація Inmarsat надає на комерційній основі послуги глобального радіотелефонного, телексного, факсимільного зв'язку, обміну даними і персонального радіовиклику. Наданими системою послугами широко користуються в багатьох країнах (винятково в мирних цілях). Інтереси країн у Міжнародній організації Inmarsat представляють уповноважені урядами провідні державні організації.

У липні 1993 р. Міжнародна організація Inmarsat вирішила будувати систему зв'язку з використанням МЕО і ГЕО орбітальних групувань. Рішення було прийнято за результатами фундаментальних досліджень факторів типу вартість, взаємодія із системою, відносні складність і ризик, пов'язані з виробництвом, впровадженням і управлінням значною кількістю супутників.

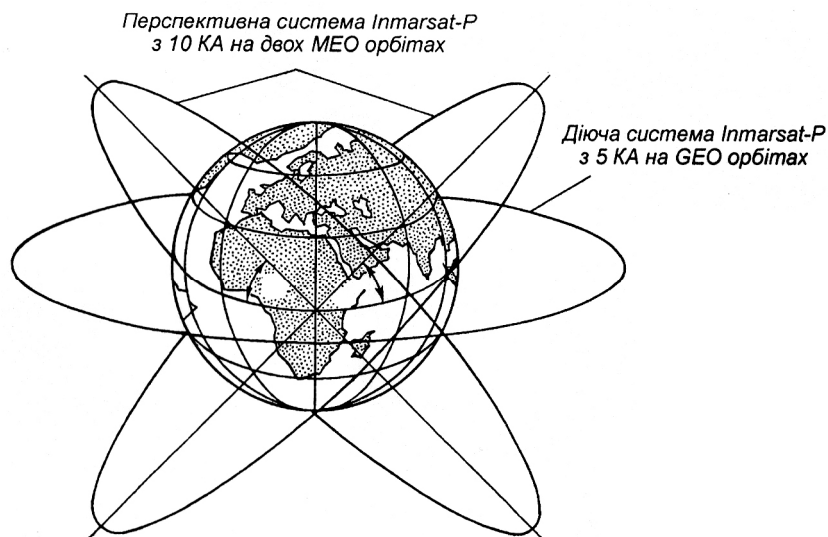


Рисунок 6.8 – Перспективна та діюча системи Inmarsat

У травні 1994 р. після всебічного аналізу було прийнято рішення покласти в основу системи зв'язку концепцію МЕО і провести подальші дослідження з метою розроблення перспективної системи Inmarsat-P.

У даний час система Inmarsat містить у собі п'ять постійно діючих супутників-ретрансляторів, розміщених на геостаціонарній орбіті, що дає змогу цілком обслуговувати акваторії Атлантичного, Тихого й Індійського океанів (рис. 6.8).

Проектоване орбітальне групування системи Inmarsat-P складатиметься з 10 космічних апаратів, розміщених на двох середньовисотних орбітах (10300 км) з нахилом $i = 45^\circ$.

Цей проект має перевагу завдяки наступним своїм якостям:

- глобальна робоча зона системи;

- високі кути узвишся супутників і значна кількість супутників, що одночасно знаходяться в полі зору спостерігача;
- тривалий термін служби супутників (не менше 10 років);
- прийнятна складність управління орбітальним групуванням;
- розумна вартість проекту (2,4 млрд USD).

Послуги, надані системою. В даний час діють п'ять систем зв'язку, що використовують геостаціонарні КА для забезпечення комерційного обслуговування морських і сухопутних рухомих об'єктів: Inmarsat-A, Inmarsat-B, Inmarsat-C, Inmarsat-M та Inmarsat-D. Проектована система Inmarsat-P буде цілком інтегрована в наземні стільникові радіосистеми, що значно підвищить гнучкість використання космічного сегмента.

Таблиця 6.5 – Засоби телекомунікацій у системі Inmarsat

Рік уведення	Засіб телекомунікації	Системний стандарт
1982	Суднові термінали передавання даних	Inmarsat-A
1991	Переносний портативний термінал передавання	Inmarsat-C
1993	Переносний портативний термінал цифрового телефонного зв'язку	Inmarsat-M
1994-1995	Суднові термінали цифрового телефонного зв'язку і передавання потоку даних	Inmarsat-B
1996-1997	Переносний цифровий телефон типу Laptop	Inmarsat-M (mini)
1996	Пейджер	Inmarsat-D
1999-2000	Ручний цифровий телефон «rocket-size» і термінал для визначення місцезнаходження абонента	Inmarsat-P

Ретроспектива розвитку персональних засобів телекомунікацій у системі Inmarsat наведена в табл. 6.5.

Система Inmarsat-A працює як глобальна система з 1982 р. У даний час система забезпечує понад 17 тис. суднових станцій телефонним, телекним і факсимільним зв'язком, а також здійснює високошвидкісне передавання даних. Термінали Inmarsat-A використовуються на малорухомих об'єктах (суднах і комерційних літаках), а також на стаціонарних об'єктах, що знаходяться поза зонами дії наземних служб передавання даних.

Система Inmarsat-C уведена в комерційну експлуатацію в 1991 р. Вона забезпечує передавання даних і телекних повідомлень із проміжним нагромадженням - *SF (Store an Forward)* – за допомогою дуже невеликих і легких терміналів. Сьогодні працює близько 10 тис. терміналів Inmarsat-C, установлених на різних рухомих об'єктах. Система Inmarsat-C вважається важливим засобом для задоволення вимог Глобальної морської системи зв'язку при нещасних випадках і для забезпечення безпеки (ГМСЗБ).

Система Inmarsat-M уведена в комерційну експлуатацію в 1993 р. і, крім двостороннього цифрового телефонного зв'язку, забезпечує передавання даних і телекної інформації за допомогою дешевих і легких терміналів (швидкість

2,4 кбіт/с). Система Inmarsat-M забезпечує також інтерфейс для обміну даними в мережах пакетної комутації й електронної пошти. Сьогодні діє понад 1000 терміналів Inmarsat-M, установлених на різних рухомих об'єктах. У системі використовується сучасна цифрова технологія, що дає змогу підвищити ефективність використання виділеного діапазону частот і бортових передавачів. Термінал Inmarsat-M у портативному виконанні розміщується в кейсі. Цей термінал додатково може включати портативний комп'ютер типу *Notebook* чи малогабаритний принтер. Термінали Inmarsat-M (mini) - цифрові телефони масою не більш 700 г, що нагадують малогабаритну радіостанцію.

Система Inmarsat-B уведена в експлуатацію в 1994 - 1995 рр. і призначена для заміни Inmarsat-A. Вона надає аналогічні послуги (телефон, телекс, факс, передавання даних), але за більш низькими тарифами, що досягається завдяки більш ефективному використанню супутників-ретрансляторів. На початку 1994 р. в експлуатацію було уведено 11 берегових станцій Inmarsat-B, що здійснюють інтерфейс із телефонними мережами загального користування. Їхня кількість швидко збільшується: серійне виробництво освоєно більш ніж 10 фірмами різних країн світу.

Система Inmarsat-D – однобічна служба передавання повідомлень мобільним користувачам від абонентів наземних мереж загального користування - є природним розширенням пейджингових мереж. Пропонується кілька варіантів пейджерів:

- пейджер з документованим уведенням інформації на принтер;
- два пейджера, що розміщуються у кейсі із рознесенням за його довжиною;
- пейджер для підвищення якості приймання під час руху і для захисту від блокування тілом користувача;
- пейджер, об'єднаний з терміналом Inmarsat-M (mini) типу *Laptop*;
- пейджер для автомобіля з підключенням до всеспрямованої антени;
- стаціонарний пейджер для колективного користування.

Система Inmarsat-P є міжнародним проектом XXI ст., що спирається на співробітництво і дослідження всіх учасників організації Inmarsat, а також експертів космічної промисловості і компаній - виготовлювачів обладнання зв'язку. Концепція проекту втілює стратегію організації Inmarsat за прискореним впровадженням цілої сім'ї персональних терміналів для супутникових служб зв'язку. За оцінками експертів, кількість користувачів в усьому світі вже перевищила 100 млн.

Система Inmarsat-P розробляється, насамперед, як служба, найбільше поширення в якій одержать супутникові телефони. Вона буде також здатною інтегрувати в національні стільникові системи цифрового зв'язку: GSM, DAMPS і DAMPS.

6.6 Системи зв'язку з використанням геостаціонарних супутників

Персональний зв'язок може бути реалізований за допомогою супутників-ретрансляторів, які знаходяться на геостаціонарній орбіті GEO (*Geostationary* Earth Orbit*), які «зависають» над заздалегідь обраними точками Землі. Таке «зависання» забезпечується висотою орбіти (35875 км), на якій швидкість переміщення КА збігається зі швидкістю обертання Землі. Системи на основі геостаціонарних супутників, через сталість їхнього розташування над визначеною точкою поверхні Землі, мають переваги при організації глобального зв'язку. До них належать:

- відсутність перерв зв'язку через взаємне переміщення КА і користувачького терміналу під час сеансу зв'язку;
- охоплення зв'язком 95% поверхні Землі системою, що складається тільки з 3-х геостаціонарних супутників;
- відсутність необхідності в організації міжсупутникового зв'язку (на відміну, наприклад, від низькоорбітальних систем).

Відомо, що більшість абонентських супутникових терміналів, які використовують технологію VSAT, обслуговуються супутниками-ретрансляторами, що знаходяться на геостаціонарній орбіті. Висота геостаціонарної орбіти досить велика, тому такі супутникові системи мають значний недолік: тривала затримка між передаванням і прийманням сигналу. Крім того, додаткову затримку вносять атмосфера і приймально-передавальна апаратура VSAT – терміналу і супутника-ретранслятора. На практиці поява затримки спричиняє те, що при телефонній розмові двох абонентів постійно виникають паузи, які дуже дратують їх. Наявність затримок може бути перешкодою до використання телефонного зв'язку, тому що внаслідок цього неможлива взаємодія з іншими мережами передавання даних. Дійсно, оскільки геостаціонарна орбіта знаходиться на відстані близько 36 000 км від поверхні Землі, затримка через скінченність швидкості поширення радіосигналу становить близько 260 мс, якщо сигнал один раз проходить шлях до супутника-ретранслятора і назад ($2 \times 260 = 520$ мс). Інші перелічені джерела затримки не відіграють значної ролі. При передаванні даних затримка зовсім непомітна і може виявлятися тільки в деякому зниженні швидкості обміну. Для усунення цього недоліку застосовують спеціальні протоколи. Що ж стосується телефонного зв'язку, то затримка сигналу відчувається дуже сильно і при високих вимогах до каналу зв'язку може бути неприйнятна.

В останні роки розроблено кілька проектів застосування супутникових GEO-систем для забезпечення персонального зв'язку. Це проекти APMT (*Asia Pacific Mobil Telecommunications*), ASC (*Afro-Asian Satellite Communications*), ACS (*Asia Cellula Satellite*) тощо. Їхня відмінна риса - застосування супутників – ретрансляторів з великими (діаметром 12 м і більше) багатопроменими антенами.

Системи персонального зв'язку на базі геостаціонарних супутників потенційно можуть надавати послуги, порівняні з послугами низькоорбітальних

систем, якщо сформовані на поверхні Землі стільники будуть приблизно однакові. При цьому розміри бортової антени КА, необхідні для формування вузької діаграми спрямованості, мають бути великими, але в межах можливостей сучасних технологій.

Розгортання і геостабілізація такої складної антени в космосі пов'язані з великим технічним ризиком, що є визначальним фактором при оцінюванні економічної ефективності розроблювальних проектів.

7 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА І КЛАСИФІКАЦІЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РУХОМОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

7.1 Системи з вільним доступом

Розвиток мобільного зв'язку відбувався в усьому світі дивовижно і стрімко. Стосується це й України. Найоптимістичніші прогнози, закладені в "Комплексній програмі розвитку Єдиної національної мережі зв'язку України", виявилися неправильними. Розвиток мобільного зв'язку в нашій країні перевершив усі сподівання. Мобільними телефонами користуються всі: діти, домогосподарки, бізнесмени і держслужбовці. Більше того, на відміну від інших послуг зв'язку тип і вид мобільного телефону є дуже престижним. Розглянемо принцип побудови мереж рухомого радіозв'язку.

Для функціонування систем рухомого радіозв'язку необхідний вільний **багатостанційний доступ** у частотний тракт, або, інакше кажучи, у загальний частотний стовбур, що дає можливість абонентам передавати і приймати інформацію за допомогою своїх радіостанцій саме тоді, коли в цьому виникає потреба. Багатостанційний доступ є найбільш доцільним методом побудови супутникових систем радіозв'язку, а також систем повітряного, морського і сухопутного рухомого радіозв'язку. Зазначимо, що багатостанційний доступ називають ще **множинним**.

Поняття "система з багатостанційним доступом" є дуже загальним. Конкретизація системи, тобто її класифікація, ґрунтується на принципах формування групового сигналу, методу розподілу загального каналу зв'язку, а також способу організації спільної роботи абонентів і об'єднання їх у мережу.

Якщо груповий сигнал формується централізовано в центральному (загальному) передавачі, то такі системи передавання інформації називаються **централізованими багатоканальними**, а якщо формування групового сигналу здійснюється в загальному тракті (каналі, стовбурі), то такі системи називаються **незалежними багатостанційними**. Зазначимо, що багатостанційна система може містити в собі кілька одно- і багатоканальних систем, і тому поняття "багато-станційна система" є більш загальним, ніж поняття "багатоканальна система".

Усі канали в даному стовбурі можуть заздалегідь розподілятися між абонентами (виділені канали) або комутуватися на час чергового сеансу зв'язку. Тому і системи з багатостанційним доступом поділяються на **неконтролюючі** (коли жорстко закріплені або канали, або частоти сигналів) і **контролюючі** - з каналами, що комутуються, та обмеженим доступом. З погляду синтезу систем сигналів з кращими характеристиками, які займають менші за обсягом смуги частот, із кращою завадостійкістю й ефективністю, контролюючі багатостанційні системи є здебільшого неконтрольованими. Однак підвищення ефективності досягається уведенням пристроїв контролю за станом завантаження стовбура і розподілом вільних абонентських каналів.

Управління абонентами багатостанційних систем може бути **некоординуваним** – у разі безпосереднього зв'язку абонентів (рис. 7.1,*a*) або

координованим - коли абоненти підтримують зв'язок через центральну станцію ЦС (рис. 7.1,б).

У класичних багатоканальних радіотелефонних системах (РТС) передавання інформації широко використовуються *методи розподілу сигналів* (каналів): частотний розподіл каналів (ЧРК), часовий (ЧсРК) і кодовий (КРК). Ці ж методи розподілу набувають застосування й у багатостанційних системах передавання інформації, проте їх технічна реалізація є складнішою.

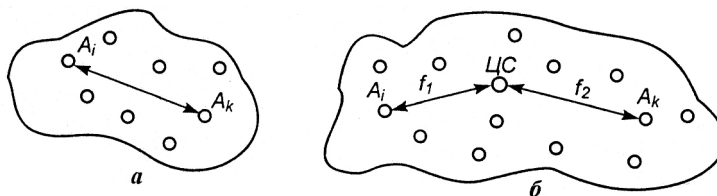


Рисунок 7.1 – Принцип некоординатного (а) і координатного (б) управління роботою абонентів у багатостанційних системах

Однією з основних концепцій будь-якої рухомої РТС є концепція "багатостанційного доступу", яка передбачає підтримку системою роботи в мережі кількох абонентів одночасно. Принцип *багатостанційного доступу з частотним розподілом* (БДЧР, або FDMA) використовується, зокрема, в ретрансляторах "Интелсат-IV". На рис. 7.2 показана спрощена структура спектра сигналів, що ретранслюються в одному зі стовбурів супутника. Ширина смуги стовбура становить 36 МГц, що містить близько 800 каналів (400 дуплексних пар); частотне рознесення каналів - близько 45 кГц.

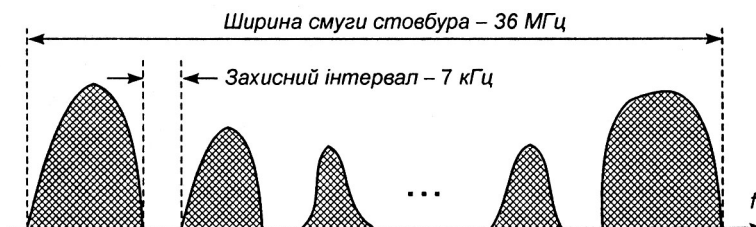


Рисунок 7.2 – Спрощена структура спектра сигналів БДЧР в одному зі стовбурів супутника

Багатостанційний доступ з часовим розподілом сигналів (БДЧсР, або TDMA) є основною альтернативою БДЧР, так само, як ЧРК і ЧсРК.

Ефективність використання потужності супутника досягає 90%, тому що максимально можливе значення сигналу в разі застосування цього $K_{max} = P_{max} / P_{cp} \approx 1$. Загальне уявлення про метод БДЧсР дає схема, зображена на рис. 7.3.

Метод БДЧсР є методом багатостанційного доступу, при якому пакети окремих наземних станцій повинні прийматися на супутнику в виділені інтервали часу. Отже, кожна наземна станція має визначати систему часу на супутнику і передавати свої сигнали в часі так, щоб вони надходили на супутник у відповідні (виділені) інтервали часу. Як і у звичайних системах із ЧсРК, у системах БДЧсР так само використовуються захисні інтервали в часі між пакетами переданих даних. Зазначимо, що в системах БДЧсР пристрій

синхронізації за складністю може бути таким самим або навіть перевищувати канал передавання інформації.

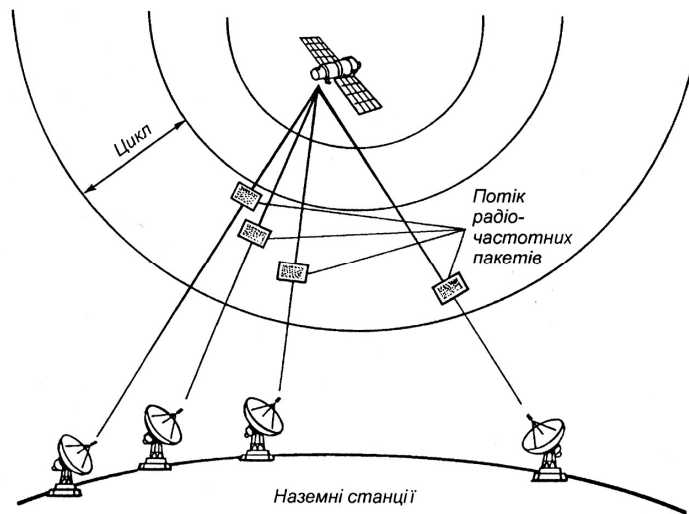


Рисунок 7.3 – Типова конфігурація супутникової мережі зв'язку з БДЧсР

Системи **багатостанційного доступу з кодовим розподілом сигналів** (БДКР, або CDMA), подібно до багатоканальних систем, можуть бути синхронними або асинхронними, проте завжди використовують ансамблі складних шумоподібних сигналів.

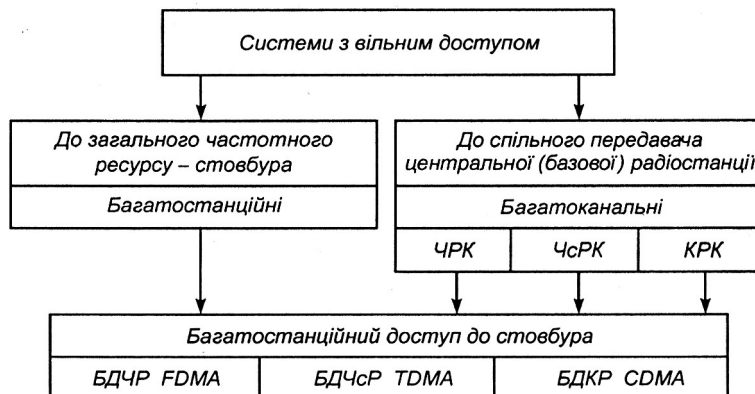


Рисунок 7.4 – Коротка класифікація систем рухомого радіозв'язку з вільним доступом

Структурну схему, що відображає основні принципи побудови і класифікації систем рухомого радіозв'язку, показано на рис. 7.4.

7.2 Професійні системи рухомого радіозв'язку. Транкінговий зв'язок

Професійні системи рухомого радіозв'язку (ПСРР) створювалися і розвивалися спочатку для забезпечення службової діяльності державних структур, правоохоронних органів, поліції, промислових груп і ряду інших структур. Найчастіше ПСРР є багатостанційними системами з вільним доступом абонентів до загального приватного ресурсу. Такі системи називаються **транкінговими** (від англ. trunk - загальний стовбур). Ці системи характеризуються послідовним (скануючим) пошуком вільного каналу або виділеним каналом управління.

Загальною тенденцією розвитку ПСРР є перехід від аналогових корпоративних або національних стандартів до цифрових міжнародних із забезпеченням конфіденційності зв'язку і роумінгу абонентів. Найперспективнішими є транкінгові системи загальноєвропейського стандарту TETRA, розробленого в рамках Європейського інституту стандартів зв'язку (ETSI). Системи зв'язку на його основі забезпечують передавання мовних повідомлень у цифровій формі, передавання даних, шифрування повідомлень і роумінг абонентів. Типовий склад абонентського устаткування рухомого об'єкта транкінгових систем показано на рис. 7.5.

Стандарт TETRA використовує частотно-часовий розподіл каналів зв'язку – TDMA; частотне рознесення радіоканалів становить 25 кГц. Цей стандарт дає змогу організувати прямий зв'язок абонентів без участі базових (центральної) станцій (див. рис. 7.5,а).

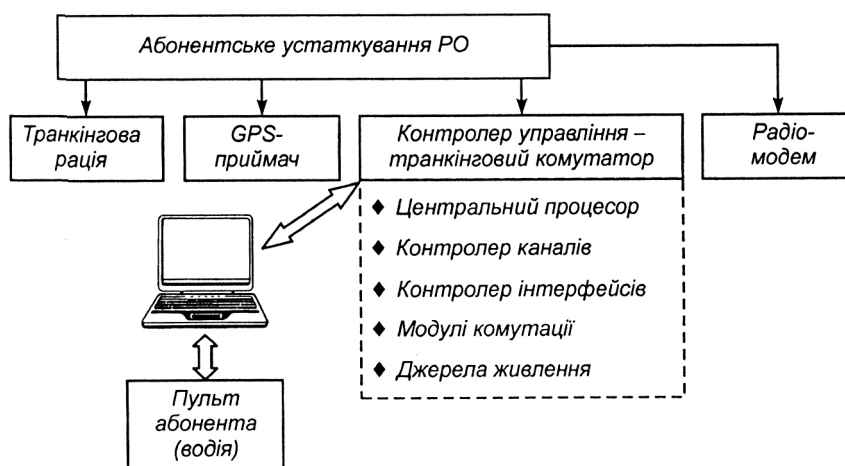


Рисунок 7.5 – Типовий склад абонентського устаткування рухомого об'єкта транкінгових систем

Коли замість мовного сигналу передаються два його основних параметри: індекс кодового слова зі статистичної кодової книги і масштабний коефіцієнт, то здійснюється довгострокове лінійне перетворення основного тону сигналу і короткочасне лінійне перетворення структури (тембру мовного сигналу).

7.3. Системи персонального радіовиклику. Пейджинговий зв'язок

Одним із найпоширеніших видів зв'язку є персональний радіовиклик. Системи персонального радіовиклику (СПРВ) використовують нетрадиційні можливості існуючих мереж і сучасні перспективні пейджингові технології, які реалізують послуги надійним, оперативним і відносно недорогим зв'язком.

Пейджингова система – це **традиційна технологія збирання та передавання повідомлень** (рис. 7.6). Той, хто хоче відправити будь-яку інформацію, телефонує до пейджинг-центру, використовуючи міський телефон, називає оператору номер абонента і диктує текст. Оператор набирає це повідомлення на клавіатурі свого терміналу, з якого оброблена інформація, і через передавач відправляється в ефір. Така побудова пейджингових систем є типовою і цілком виправданою завдяки своїй простоті та рівню надаваного сервісу.

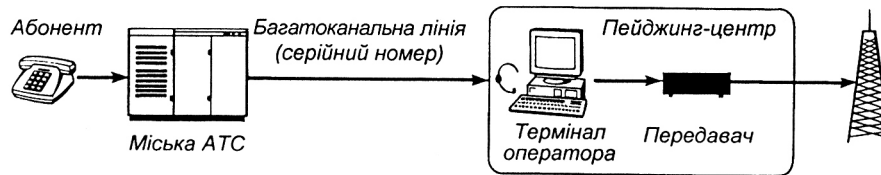


Рисунок 7.6 – Найпростіша схема побудови СПРВ

Наступним кроком у розвитку технології збирання та передавання інформації є організація **служби відправлення повідомлень із віддалених терміналів** (рис. 7.7). Як і за традиційного передавання повідомлень, але вже з віддаленого від пейджинг-центру терміналу, оператор набирає номер абонента, якому адресоване повідомлення, і продиктований текст. У режимі автоматичного дозволу це повідомлення передається модемною лінією зв'язку в пейджинг-центр і далі в ефір – пейджер-адресату. Один автомат-диспетчер, установлений у пейджинг-центрі, може обслуговувати кілька десятків віддалених терміналів, які приєднуються через комутовані лінії міських АТС.

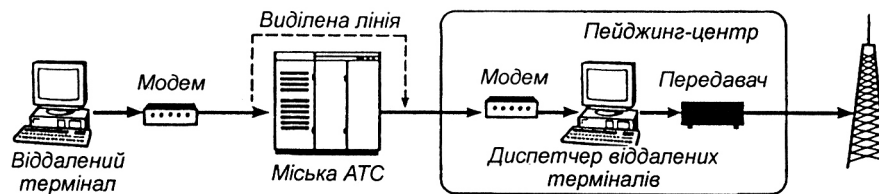


Рисунок 7.7 – схема організації відправлення повідомлень з віддалених терміналів

Реалізація цієї технології передавання повідомлень, за її відносної простоти, дає змогу пейджинговій компанії надавати комплекс якісних послуг. Якщо, наприклад, у якійсь фірмі або на підприємстві значна кількість працівників є абонентами пейджингової системи, то організація там віддалених терміналів може забезпечити суттєве підвищення оперативності передавання інформації. Крім того, використання віддалених терміналів корпоративними користувачами виправдане з погляду економічності. Проте головна перевага використання віддалених терміналів полягає в іншому – в суттєвому заощадженні часу завантаження операторів і скороченні тривалості простою системного устаткування пейджинг-центру порівняно з передаванням мовних повідомлень від абонентів до пейджинг-центру. Отже, з'являється можливість робити послуги більшій кількості клієнтів.

Розглянемо **варіанти організації з'єднання віддаленого терміналу з пейджинг-центром**. Найпростіший і найдешевший спосіб – з'єднання звичайною лінією ТфМЗК, але при цьому неможливо здійснити високошвидкісне передавання повідомлень (максимальна швидкість передавання для такого з'єднання – 9,6 кбіт/с). Через низьку швидкість цей варіант з'єднання прийнятний для нечисленних груп абонентів або для обслуговування груп абонентів з низькою інформаційною активністю.

Інший варіант з'єднання – **використання виділених ліній**. Він уможливорює передавання інформації зі швидкістю 19,2 ... 28,8 кбіт/с. Зауважимо, що ці швидкості є технічними і в реальних умовах залежать від

якості ліній зв'язку. За низької якості лінії відбуваються періодичні перезапиту спотвореної інформації, а це в підсумку знижує інформаційну швидкість.

У ряді випадків доцільно реалізовувати **технологію віддаленого доступу з використанням радіоканалу** (рис. 7.8), коли за канал зв'язку між віддаленим терміналом і пейджинг-центром використовується радіоефір. Віддалений оператор, розташований, наприклад, у районному центрі або в місцевості з локальним телефонним зв'язком, приймає повідомлення від відправників по місцевому телефону. Така схема доставлення повідомлень є досить ефективною, коли корпоративні користувачі перебувають у регіоні зі слабо розвинутою телефонною мережею.

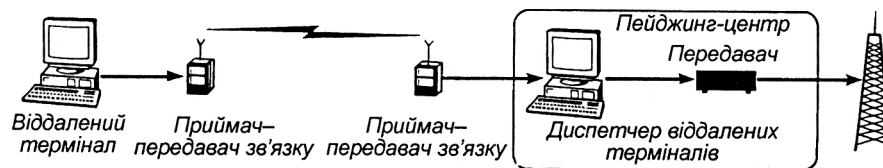


Рисунок 7.8 – Схема технології віддаленого доступу з використанням радіоканалу

Часто віддалений доступ радіоканалом має переваги, як за наявності розвинутої ТфМЗК (наприклад, у разі недостатньої якості телефонних каналів), так і за наявності телефонної мережі високої якості. Це стосується корпоративних користувачів (відомств), які мають власні системи радіозв'язку. При цьому для зв'язку віддаленого терміналу з пейджинг-центром можуть використовуватися власні радіозасоби. Маючи очевидну економічну доцільність, такий варіант зв'язку з пейджинг-центром дає змогу оперативно змінювати місцезнаходження віддаленого терміналу і створювати гнучкі системи організації пейджингового зв'язку.

Часто вимога гнучкості організації пейджингу може мати вирішальне значення для певних корпорацій користувачів. Тоді для організації віддаленого доступу можна скористатися, крім власних засобів, технологіями радіодоступу Radio PAD. На основі цієї технології реалізується радіодоступ зі швидкістю передавання 8 кбіт/с у пакетному режимі, який забезпечує високу надійність перенесення повідомлень радіоканалом. Автономний високошвидкісний радіодоступ забезпечується завдяки комплексному використанню відомчих радіозасобів з контролером пакетного радіозв'язку AX.25, який сприяє передаванню інформації з максимальною швидкістю 19,2 кбіт/с.

Подальший розвиток технологій віддаленого доступу допускає комплексування пейджингових систем із загальнодоступними системами мереж передавання даних (наприклад, з мережею Інтернет). Це дає змогу реалізовувати послуги пейджингових систем незалежно від місця знаходження віддалених терміналів і здійснювати ефективний пейджинговий роумінг.

Найпоширенішими протоколами СПРВ є аналого-цифрові протоколи POCSAD, FLEX та ERMES, тобто вся інформація в ефірі передається нулями й одиницями, поданими за допомогою частотної маніпуляції.

Протокол POCSAD (Post Office Code Standardization Advisory Drou – консультативна група стандартизації кодів поштового зв'язку), розроблений Британським поштовим відомством, є одним з найрозповсюдженіших форматів

з асинхронним режимом пакетного передавання повідомлень зі швидкістю 512, 1200, 2400 біт/с. Цей протокол підтримує унікальну адресацію до 2 млн. адрес, використовуючи (32,21) – код Боуза – Чоудхурі – Хоквінгема (код БЧХ). Необхідна смуга частотного каналу становить 25 кГц, при цьому використовуються будь-які пейджингові частоти.

Протокол FLEX (Flexible Wide-area Protocol – гнучкий протокол з широкою сферою застосування), розроблений фірмою Motorola, має високу швидкість передавання – 1600, 3200 і 6400 біт/с. Частотний ресурс протоколу – 20 ... 80 тис. абонентів. Забезпечує синхронне передавання даних, тобто приймач і передавач синхронізовані по єдиному абсолютному значенню часу.

Для кодування інформації використовуються завадозахищені коди БЧХ. Важливою особливістю синхронного протоколу є те, що повідомлення для кожного конкретного пейджера можна поміщати в кадр із визначеним номером. Завдяки цьому пейджер може вибірково приймати один або кілька кадрів із чотирьохвилинних циклів протоколу FLEX, в яких містяться повідомлення на його адресу.

Протокол ERMES (European Radio Messaging System – Європейська система передавання повідомлень), в якому СПРВ функціонують у єдиному діапазоні частот 169,4 ... 169,8 МГц. У цьому діапазоні організується 16 частотних каналів з рознесенням частот у 25 кГц. Швидкість передавання даних становить 6,25 кбіт/с. Протокол ERMES використовує завадостійке кодування переданої інформації з прямою корекцією помилок (30,18) - циклічним кодом. Можлива інтеграція із системами стандарту POCSAD.

Зазначимо, що фірма Motorola представила рішення, в яких поєднано в одному пейджері всі три протоколи – POCSAD, FLEX і ERMES. Розроблено системи двобічного пейджингового зв'язку – ReFLEX, для цього до стандартного пейджингового приймача додається малопотужний передавач. Розробляються і випробовуються супутникові СПРВ.

7.4 Стільникові системи рухомого радіозв'язку

Технологія безпроводового зв'язку - одна з наймогутніших комутаційних платформ. Розроблення концепції стільникових мереж дає змогу багаторазово використовувати радіоканали способом рознесення однойменних каналів територіально віддалених одна від одної ділянок на чарунки стільникової мережі.

Перші реальні спроби організації радіотелефонного зв'язку з рухомими об'єктами зроблені майже одночасно з відкриттям радіо, проте помітного розвитку мобільний зв'язок набув лише в 50-х рр. ХХ ст.

Подальший розвиток і впровадження нових засобів радіозв'язку тісно пов'язані з вирішенням низки проблем, найголовнішою з яких є природна обмеженість частотного ресурсу. Для її вирішення вчені й інженери різних країн запропонували ідею розбиття всієї території, що обслуговується, на невеликі ділянки - стільники, з метою реалізації принципу повторного використання тих самих частот. Було створено стільникові системи рухомого радіозв'язку (ССРР), в яких кожен стільник має обслуговуватися однією

багатоканальною базовою станцією з обмеженою потужністю - радіусом дії на фіксованій частоті. Тепер цей принцип реалізовано на апаратному рівні, при цьому розрізняють три етапи розвитку ССРР – три покоління систем (рис. 7.9).

Перше покоління систем - аналогові ССРР. У Швеції, Фінляндії, Ісландії, Данії, Норвегії діяла система NMT (Nordik Mobile Telephone), у Великобританії – TACS (Total Access Communications System), у США - AMPS (Advanced Mobile Phone Service), у Франції - Radiocom 2000.

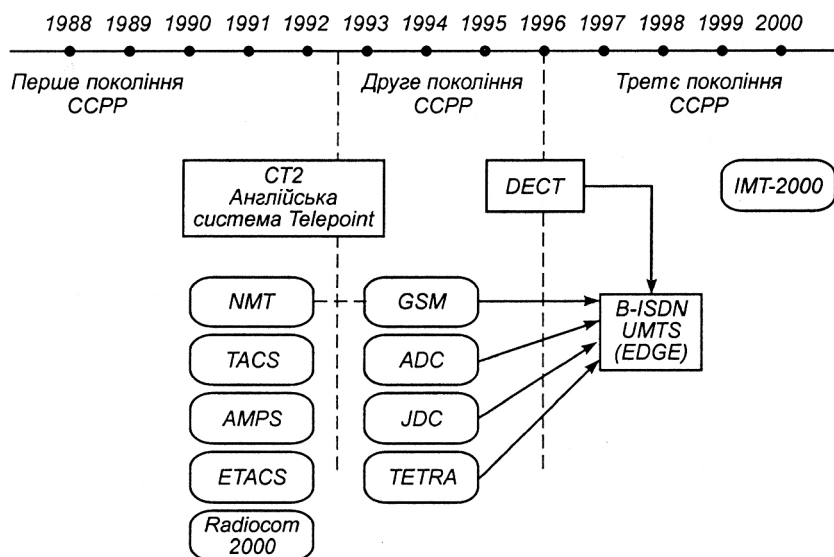


Рисунок 7.9 – Покоління систем стільникового рухомого радіозв'язку та етапи їхнього розвитку:

IMT-2000 (International Mobil Telecommunication 2000)

– міжнародна програма розвитку рухомого радіозв'язку третього покоління;

ETACS – нова версія *TACS*

Існуючі аналогові системи стільникового рухомого радіозв'язку не задовольняють сучасний рівень розвитку інформаційних технологій через численні недоліки, головними з яких є несумісність стандартів, обмеженість зони дії, низька якість зв'язку, відсутність захисту таємності повідомлень, що передаються, та взаємодії з цифровими мережами ISDN і PDN.

Останнім часом через обмежені можливості стандартів NMT-450 і NMT-900 в усьому світі сповільнюється зростання кількості їхніх користувачів.

У 1990-х рр. в Європі, Північній Америці та Японії розпочалося інтенсивне вивчення принципів побудови перспективних цифрових стільникових систем мобільного радіозв'язку (ССМР), поклавши початок другому етапу розвитку ССРР. На сьогодні розроблено три стандарти таких систем з макростільниковою топологією мережі та радіусом чарунки до 35 км: загальноєвропейський стандарт GSM, прийнятий ETSI; американський стандарт ADC (D-AMPS), розроблений Промисловою асоціацією в галузі зв'язку; японський стандарт JDC, прийнятий Міністерством пошти і зв'язку Японії. Ці стандарти побудовані за єдиними принципами й концепціями і відповідають вимогам сучасних інформаційних технологій, але відрізняються між собою своїми характеристиками (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Порівняльні характеристики цифрових стандартів

Характеристика	GSM(DCS)	D-AMPS (ADC)	CJD
Метод доступу	TDMA	TDMA	TDMA
Кількість мовних каналів на	8(16)	3	3
Робочий діапазон частот, МГц	890 ... 915 935 ... 960 1710 ... 1785 1805 ... 1880	824 ... 840 869 ... 894	810 ... 826 940 ... 956 1429 ... 1441 1447 ... 1489
Частотне рознесення каналів,	200	30	25
Еквівалентна смуга частот на один мовний канал, кГц	25(12,5)	10	8,3
Вид модуляції	0,3GMSK	n/4 QPSK	n/4 QPSK
Швидкість передавання	270	48	42
Швидкість перетворення	13(6,5)	8	11,2(5,6)
Спосіб кодування мовного	RPE-LTR	VCELP	VCELP
Радіус стільника, км	0,5...35,0	0,5...20,0	0,5...20,0

Загальноєвропейський стандарт GSM – перший у світі стандарт цифрових ССМР, який передбачає їх створення та функціонування в діапазоні частот 900 МГц і є основою створення стандарту DCS-1800 (діапазон – 1800 МГц) з мікростільниковою структурою, який домінує в Європі. Стандарт GSM реалізується також у Північній Америці в діапазоні частот 1900 МГц (PCS-1900) і широко впроваджується в Україні.

Стандарт GSM – результат фундаментальних досліджень провідних наукових та інженерних центрів Європи. У ньому передбачаються питання: побудови мереж GSM за принципами інтелектуальних мереж; розповсюдження моделі відкритих систем ССМР; впровадження нових, ефективніших моделей повторного використання частот; застосування часового розподілу каналів зв'язку; використання часового розподілу режимів приймання і передавання пакетних повідомлень; застосування ефективних методів боротьби із завмиранням сигналів, що ґрунтуються на частотному рознесенні; тестування каналу зв'язку за допомогою псевдовипадкової послідовності; використання блокового та згорненого кодування разом з прямокутним і діагональним перемешуванням; програмного формування логічних каналів зв'язку й управління ними; використання спектрально-ефективного виду модуляції; розроблення високоякісних низькошвидкісних мовних кодеків; шифрування переданих повідомлень та закриття даних користувачів.

Американський стандарт ADC (D-AMPS) розроблявся для використання в діапазоні частот 800 МГц і в загальній смузі частот існуючих аналогових ССМР. Для цифрової ССМР потрібно було зберегти частотне рознесення 30 кГц, що застосовується в цій системі, і забезпечити одночасну роботу абонентських радіостанцій в аналоговому та цифровому режимах. Використання спеціально розробленого мовного кодеку, сигнал в якому перетворюється зі швидкістю 8 кбіт/с, та цифрової диференціальної квадратурної фазової маніпуляції зі зсувом дало змогу в режимі БДЧР організувати три мовних канали на одну несучу, частотне рознесення каналів при цьому становить 30 кГц.

Японський стандарт JDC нагадує американський. Основні відмінності його полягають у використанні іншого частотного діапазону та дуплексного рознесення смуги частот приймання і передавання – 55 МГц при рознесенні каналів 25 кГц. Стандарт JDC адаптований також до діапазону частот 1500 МГц.

Стандарти цифрових ССМР забезпечують взаємодію з ISDN і PDN, а прийняті технічні рішення гарантують високу якість повідомлень, що передаються в режим відкритого або закритого передавання.

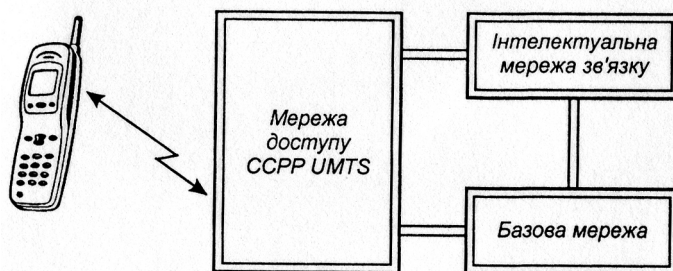


Рисунок 7.10 – Основні компоненти ССРР UMTS

Прикладом розвитку мережі третього покоління є UMTS – Європейська універсальна система рухомого зв'язку, що розглядається як частина проекту забезпечення європейського континенту послугами розвиненого "прозорого" інтегрованого персонального зв'язку. Чотири основних компоненти ССРР UMTS показано на рис. 7.10. Рухомий термінал UMTS надає абоненту можливість з'єднання з мережею доступу ССРР і використання послуг системи UMTS за допомогою радіоканалу. Функціями базової мережі є комутація і транспортування даних. Нарешті, функції, пов'язані з рухомістю терміналу, його місцезнаходженням і аутентифікацією, реалізуються інтелектуальною мережею зв'язку.

7.5 Системи безпроводових телефонів загального користування. Телефонія DECT

Через низьку якість аналогового зв'язку з частотним розподілом і відсутність таємності передачі мовних повідомлень на початку 1990-х рр. значна увага приділяється розробленню систем безпроводових телефонів загального користування (СБТЗК). У 1992 р. ETSI затвердив стандарт на загальноєвропейську систему безпроводових телефонів DECT (цифровий поліпшений безпроводовий зв'язок), призначену для передавання мовних повідомлень і даних у смузі 1880 ... 1900 МГц. Радіоінтерфейс у стандарті DECT базується на методі, назва якого утворена комбінацією трьох аббревіатур MC/TDMA/TDD і послідовно розшифровується як "множинні несучі", "множинний доступ з часовим мультиплексуванням (ущільненням)", "дуплексний зв'язок з розподілом за часом" (рис. 7.11). Як видно з рис. 7.11, стандартом DECT передбачається 10 несучих частот, або 10 смуг шириною $\Delta f = 2$ МГц кожна, у діапазоні 1800 МГц. Шкала часу поділяється на вікна, кожне тривалістю 10 мс. У свою чергу, кожне вікно поділяється на 24 індивідуальних слоти або кванти часу: $\Delta t = 10/24 = 416$ мкс.

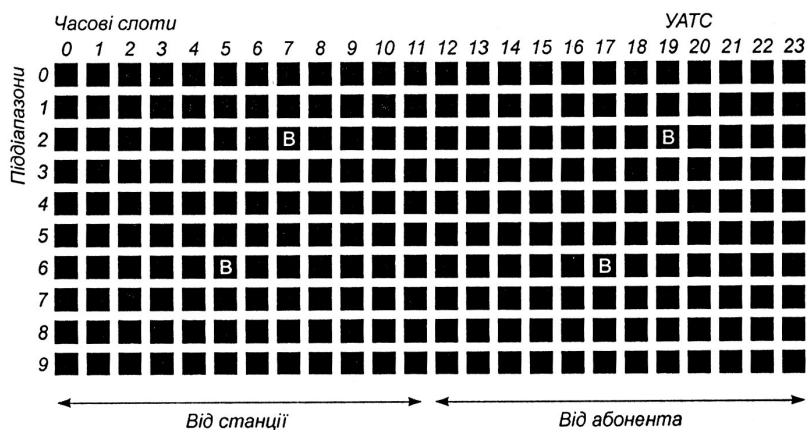


Рисунок 7.11 – Схема використання методу MC/TDMA/TDD у системі DECT

Площа (база) елементарних осередків $B = \Delta t \Delta f = 832$. Для організації базового мовного сервісу в системі DECT потрібно два слоти з інтервалом 5 мс між ними: ці слоти поєднуються в пари для організації повнодуплексного каналу на 32 кбіт/с, при цьому використовується алгоритм кодування мовного сигналу типу адаптивної диференціальної імпульсно-кодової маніпуляції зі швидкістю 16 кбіт/с.

Для зручності кожна група з 24 слотів розбивається на дві половини (по 12 слотів у кожній). Перша половина використовується як пристрій доступу, а друга – як абонентський пристрій. Скануванням локального радіоефіру устаткування DECT (плата) складає список вільних і зайнятих каналів, вказуючи їхні параметри, що дає можливість вибирати найкращий вільний канал. Кожна базова станція виконує також роль маяка: абонентський пристрій підключається до даної станції. Завдяки безупинному аналізу локального ефіру і динамічному розподілу частот абонент може бути переданий (handover) від однієї станції до іншої або переведений з одного каналу на інший без переривання розмови. Система DECT оснащена також засобами запобігання несанкціонованому доступу.

Системи DECT не є самодостатніми, а працюють як модулі установських АТС (УАТС), до яких підключаються базові станції. Як правило, базова станція підключається до модуля DECT мідним кабелем довжиною близько 1 км.

Головне призначення системи DECT - забезпечення телефонним зв'язком співробітників, яким унаслідок їхньої діяльності потрібно часто переміщуватися по території підприємства, і при цьому прокладання кабелю по території об'єкта є неможливим.

Перспективність розвитку мереж DECT значною мірою пов'язується з можливістю об'єднання з мережами GSM і застосуванням двомодових абонентських терміналів, що працюють у двох стандартах.

7.6 Основні характеристики наземних стільникових систем

Класифікація наземних систем мобільного радіозв'язку відповідає їх основним характеристикам, якими є такі: призначення систем; спосіб зв'язку з телефонною мережею загального користування (ТфМЗК); ємність; вид інформації, що передається; діапазон частот; спрямованість зв'язку; тип зони

обслуговування; вид модуляції; метод розподілу каналів; спосіб управління РТС та ін.

За призначенням ССМР бувають загального та індивідуального користування і спеціалізовані. Радіотелефонні системи загального користування (загальнодержавні) надають послуги всім потенційним платоспроможним абонентам. Системи індивідуального користування (приватні) забезпечують мобільним зв'язком окремих абонентів і можуть на комерційній основі створювати фрагменти мережі мобільного зв'язку загального користування. Спеціалізовані (відомчі) РТС належать певним відомствам чи службам (Міністерство оборони, Служба безпеки, міліція, залізничний транспорт тощо) і призначені для обслуговування специфічних потреб, зокрема диспетчерського радіозв'язку.

З'єднання мобільного абонента з ТфМЗК виконуються автоматично або напівавтоматично за участю диспетчера. У відомчих та приватних РТС мобільного зв'язку виходу на ТфМЗК може й не бути.

За ємністю (потенційною кількістю обслуговуваних абонентів) наземні РТС мобільного зв'язку поділяються на системи мінімальної (до 100), малої (до 1 000), середньої (до 10 000) та великої (понад 10 000 мобільних абонентів) ємності.

Видами інформації, яку передають наземні РТС мобільного зв'язку, є мова, кодовані повідомлення та цифрові дані. Мова передається у смузі частот 300 ... 3 400 Гц. У спеціалізованих РТС можливе деяке обмеження смуги, наприклад до 300 ... 3 000 Гц. Кодовані повідомлення передаються для захисту інформації від несанкціонованого прослуховування. Спосіб кодування залежить від вимог до завадостійкості та рівня таємності. Цифрову інформацію може формувати сама РТС, здійснюючи аналого-цифрове перетворення повідомлень. Така інформація може бути й зовнішньою для РТС, тобто призначеною для інших систем.

Діапазонами частот, в яких працюють сучасні РТС мобільного зв'язку, є діапазони 40 (33 ... 48,5), 50 (57 ... 57,5), 80 (68 ... 88), 160 (146 ... 174), 330 (300 ... 350), 450 (420 ... 470) та 900 (806 ... 947) МГц. Оскільки ультракороткі хвилі з частотами понад 300 МГц краще відбиваються від завад, то в містах з висотними будівлями вони є особливо ефективними, тому для стільникових мереж мобільного радіозв'язку (СММР) загального користування рекомендуються, як правило, діапазони 450 і 900 МГц. У перспективі в цифрових СММР використовуватимуться діапазони 1400, 1800 МГц і, можливо, вищі, що дасть змогу суттєво збільшити їхню пропускну здатність.

За спрямованістю зв'язку РТС можуть бути одно- та двосторонніми й забезпечувати зв'язок у симплексному або дуплексному режимі. Односторонніми РТС є системи персонального виклику (пейджингові).

Більшість РТС є двосторонніми. Відомчі системи часто працюють у симплексному режимі – з перемиканням використовуваного каналу під час розмови на приймання або передавання. Для РТС загального користування типовим є дуплексний режим, який передбачає використання рознесених за частотою окремих каналів для напрямів передавання і приймання.

Зони обслуговування бувають радіальними, лінійними й територіальними. Радіальний тип зони передбачає гарантоване приймання радіосигналу між двома рухомими об'єктами лише в межах радіуса дії радіостанції. Лінійні зони призначені для обслуговування автомобільних шляхів, залізниць, нафто- і газопроводів та інших об'єктів значної протяжності. Відповідні РТС забезпечують безперервність зв'язку з об'єктом під час його руху. Територіальний тип зони забезпечує гарантований радіозв'язок на заданій території (в регіоні, області, місті, районі або навіть на окремому підприємстві).

Видами модуляції, що використовуються наземними РТС мобільного зв'язку, є односмугова амплітудна, частотна, фазова та цифрова модуляції. Амплітудна модуляція застосовується на частотах до 30 МГц, зокрема у пейджингових системах РТС залізничного транспорту. Вона забезпечує простоту приймачів, але має малу завадостійкість. РТС, що діють у спектрі частот понад 30 МГц, здебільшого мають різні види частотної і фазової модуляції. Досить поширеною є частотна модуляція з частотним рознесенням каналів 20, 25 і 30 кГц, а також фазова і частотна з однією боковою смугою амплітудної модуляції 10 або 12,5 кГц.

Застосовуються також перспективні види модуляції, що поєднують вузько-та широкосмугові методи і використовують дискретні частотні сигнали: ДЧ-ОБС – дискретно-частотна модуляція з однією боковою смугою амплітудної модуляції; ДЧ-ОФМ – дискретно-частотна модуляція з односмуговою фазовою модуляцією. Для перетворення мовних повідомлень у цифрову форму використовують адаптивну дельта-модуляцію або адаптивну диференціальну імпульсно-кодову модуляцію. Для передавання цифрових сигналів у радіоканал найчастіше застосовується фазова і частотна маніпуляції, а також дискретно-частотна модуляція. В аналогових РТС керуючі сигнали здебільшого передаються у цифровій формі за допомогою частотної дискретної модуляції.

Розподіл радіоканалів РТС здійснюють за частотним, часовим і кодовим методами.

Управління РТС мобільного зв'язку виконується централізованим, ієрархічним і розподіленим способами. Можливе також індивідуальне управління з боку рухомого об'єкта, але воно означає повну відсутність будь-якого контролю за ним, тобто фактичне зведення РТС до примітивної схеми.

Під час розроблення та експлуатації систем мобільного радіозв'язку значну увагу приділяють якості зв'язку, на яку значною мірою впливають різноманітні завади.

Характер завад мобільного радіозв'язку в умовах міста й сільської місцевості дуже різний: якщо за містом діють в основному природні завади, то в міській зоні до них додаються ще й штучні.

До природних завад належать: атмосферні шуми, що домінують у діапазоні нижче 30 МГц і утворюються головним чином грозовими електричними розрядами; космічні та сонячні шуми, які відчуються на частотах понад 20 МГц; статична електрика, яка спричиняє коронні розряди або пробі діелектриків.

Штучними (промисловими) **джерелами завад** є обладнання радіомовлення, радіорелейного зв'язку, радіолокації, навігації та інших видів радіозв'язку, а також внутрішньосистемне устаткування. У діапазоні частот 30 ... 1 000 МГц суттєвими є завади, створювані системами запалювання автомобілів рухомих об'єктів. Їх можна розглядати як одну сумарну хаотичну імпульсну заваду. Значні імпульсні завади в діапазоні частот до 100 МГц виникають від високовольтних ліній електропередач у разі коронних розрядів, причому під час дощу та перед грозою їхній частотний діапазон розширюється до 210 МГц, а інтенсивність зростає. В окрему групу виділяють ідентичні за характером завади від електричного транспорту та дугового електрозварювання (перші є потужнішими та ширшими за діапазоном).

Сукупні завади доцільно вважати випадковим імпульсним потоком, що задається динамічним діапазоном коливань амплітуди завади та ймовірністю появи його на інтервалі спостереження. Плануючи технологію мобільного зв'язку, ці параметри для відповідної території визначають експериментально і враховують при визначенні місць установлення базових станцій, типів їхніх антен та системи розподілу радіочастот.

Крім названих зовнішніх, кожна РТС має внутрішні, так звані інтерференційні, або міжканальні, завади і передбачає певні способи боротьби з ними, реальними з яких є належний розподіл радіочастот, вибір типу антен базових станцій, дотримання захисного інтервалу, а також вибір методу множинного (багатостанційного) доступу.

7.7 Принципи функціонування систем стільникового радіозв'язку

У 1970-ті рр. запропонували новий принцип організації зв'язку, який давав змогу збільшити число абонентів і підвищити якість зв'язку. Суть його полягала в тому, що територію, яка обслуговується, розбили на невеликі ділянки, їх назвали стільниками або чарунками.

Розподіл території, що обслуговується, на стільники можна здійснити двома способами, заснованими або на вимірюванні статистичних характеристик поширення сигналів у системах зв'язку, або на вимірюванні (розрахунку) параметрів поширення сигналу для конкретного району.

При реалізації першого способу вся територія, що обслуговується, поділяється на однакові за формою зони, і за законом статистичної радіофізики визначаються їх допустимі розміри і відстані до інших зон, у межах яких виконуються умови допустимого взаємного впливу.

Для оптимального, тобто без перекриття або пропусків ділянок, розподілу території на стільники можуть бути використані тільки три геометричні фігури: трикутник, квадрат і шестикутник. Найпридатнішою фігурою є шестикутник: якщо антену з круговою діаграмою направленості установлювати в його центрі, то буде забезпечений доступ майже до всіх ділянок стільника.

При використанні першого способу інтервал між зонами, в яких використовуються однакові робочі канали, зазвичай виходить більшим, ніж потрібно для підтримки взаємних перешкод на допустимому рівні. Більш придатний другий спосіб розподілу на зони. При його застосуванні ретельно

вимірюють або розраховують параметри системи для визначення мінімального числа базових станцій, які забезпечують задовільне обслуговування абонентів на всій території, визначають оптимальне місце розташування базової станції з урахуванням рельєфу місцевості, розглядають можливість використання направлених антен, пасивних ретрансляторів і суміжних центральних станцій у момент пікового навантаження і т. д.

Повторне використання частот. Кожна із чарунок обслуговується своїм передавачем із невисокою вихідною потужністю та обмеженим числом каналів зв'язку. Це дає змогу без перешкод повторно використовувати частоти каналів цього передавача у другій чарунці, віддаленій на значну відстань.

Теоретично такі передавачі можна використовувати і в сусідніх чарунках. Але на практиці зони обслуговування стільників можуть перекриватися під дією різних факторів, наприклад, внаслідок зміни умов поширення радіохвиль. Тому

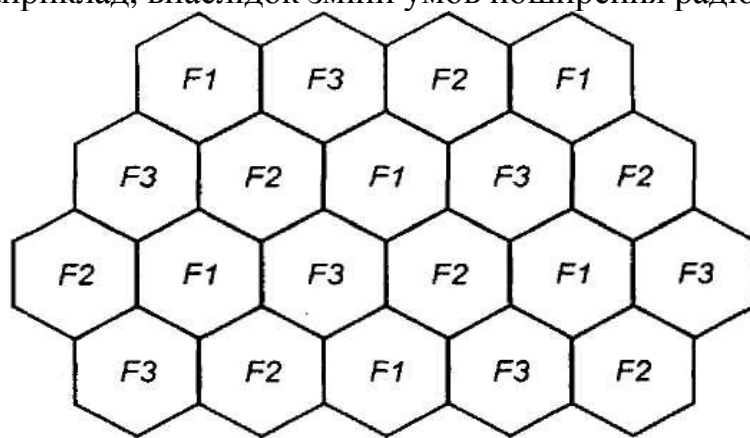


Рисунок 7.12 – Побудова стільників для трьох частот

в сусідніх чарунках використовуються різні частоти. Приклад побудови стільників при використанні трьох частот $F1 - F3$ показано на рис. 7.12. Група стільників з різними наборами частот називається кластером. Визначальним його параметром є кількість частот, що використовуються в сусідніх стільниках. На рис. 7.12, наприклад, розмірність кластера дорівнює трьом. Але на практиці це число може досягати п'ятнадцяти.

Основною ідеєю, на якій базується принцип стільникового зв'язку, є повторне використання частот у несуміжних стільниках. Вперше організація повторного використання частот, яке застосовувалося в аналогових системах стільникового рухомого зв'язку першого покоління, здійснювалося за допомогою антен базових станцій з круговими діаграмами направленості (рис. 7.13). Він передбачає передавання сигналу однакової потужності в усіх напрямках, що для абонентських станцій еквівалентне прийманню перешкод від усіх базових станцій з усіх напрямів.

Базові станції, на яких допускається повторне використання виділеного набору частот, віддалені одна від одної на відстань D . Цю відстань називають "захисним інтервалом" (див. рис. 7.13). Саме можливість повторного використання одних і тих самих частот визначає високу ефективність застосування частотного спектра у стільникових системах зв'язку.

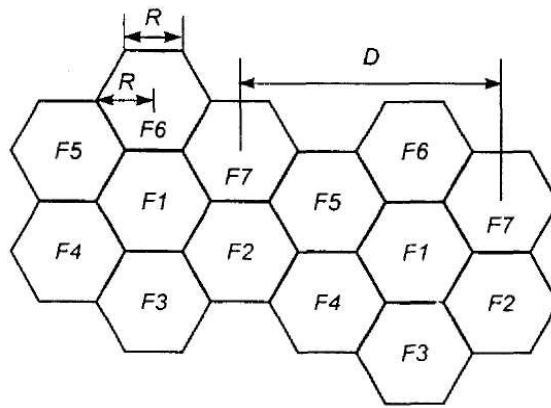


Рис. 7.13 – Повторне використання частот у несумісних стільниках

Суміжні базові станції, які використовують різні набори частотних каналів, створюють групу із C станцій. Якщо кожній базовій станції виділяється набір із m каналів з шириною смуги кожного F_k , то загальна ширина смуги, що займається системою стільникового зв'язку, буде складати $F_c = F_k m C$.

Отже, величина C визначає мінімально можливе число каналів у системі, тому її часто називають **частотним параметром системи** або **коефіцієнтом повторення частот**.

Коефіцієнт C не залежить від числа каналів у наборі та збільшується зі зменшенням радіуса чарунки, тому при використанні чарунок менших радіусів є можливість збільшити повторюваність частот.

Використання шестикутних чарунок дає змогу мінімізувати ширину потрібного частотного діапазону, оскільки така форма забезпечує оптимальне співвідношення між величинами C і D . Крім того, шестикутна форма найкраще вписується в кругову діаграму направленості антени базової станції, яка установлена в центрі чарунки.

Розглянемо більш детально питання вибору розміру чарунки (радіусом R). Ці розміри визначають захисний інтервал D (див. рис. 7.13) між чарунками, в яких одні й ті ж самі частоти можуть бути використані повторно. Зазначимо, що величина захисного інтервалу D , крім уже перерахованих факторів, залежить також від допустимого рівня перешкод і умов поширення радіохвиль. Припускаючи, що інтенсивність викликів у межах усієї зони однакова, чарунки вибираються одного розміру. Розмір зони обслуговування базової станції, що виражається через радіус чарунки R , визначає також число абонентів N , здатних одночасно вести переговори на всій території обслуговування. Отже, зменшення радіуса чарунки дає змогу не тільки підвищити ефективність використання виділеної смуги частот та збільшити абонентську ємність системи, але і зменшити потужність передавачів і чутливість приймачів базових та рухомих станцій. Це, в свою чергу, покращує умови електромагнітної сумісності засобів стільникового зв'язку з іншими радіоелектронними засобами та системами.

Ефективним засобом зниження рівня перешкод може бути використання направлених секторних антен із вузькими діаграмами направленості. У секторі такої направленої антени сигнал випромінюється переважно в один бік, а рівень випромінювання в протилежному напрямі скорочується до мінімуму.

Поділ стільників на сектори дозволяє частіше використовувати частоти в стільниках повторно. Загальновідомий спосіб повторного застосування частот в організованих таким чином стільниках базується на використанні 3-секторних антен для кожної базової станції і трьох сусідніх базових станцій із формуванням ними дев'яти груп частот (рис. 7.14). Для цього застосовуються антени з шириною діаграми направленості 120° .

Найвищу ефективність використання смуги частот і, отже, найбільше число абонентів мережі, що працюють у цій смузі, забезпечує розроблений фірмою Motorola (США) спосіб повторного застосування частот, при якому працюють дві базові станції. При реалізації такого способу (рис. 7.15) кожна частота використовується двічі у межах кластера, який складається з чотирьох чарунок; базова станція кожної з них може працювати на 12 частотах із використанням антени з діаграмою направленості шириною 60° .

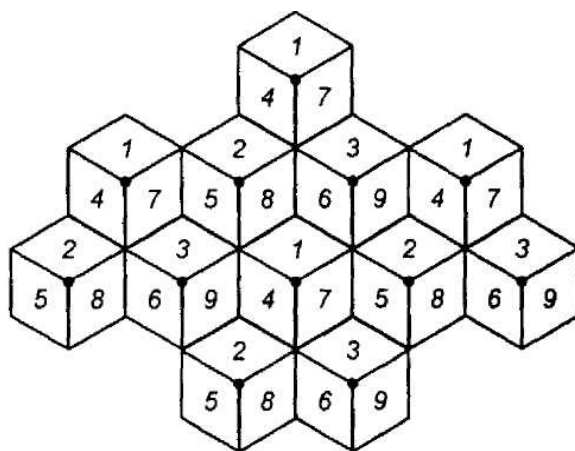


Рисунок. 7.14 – Модель повторного використання частот

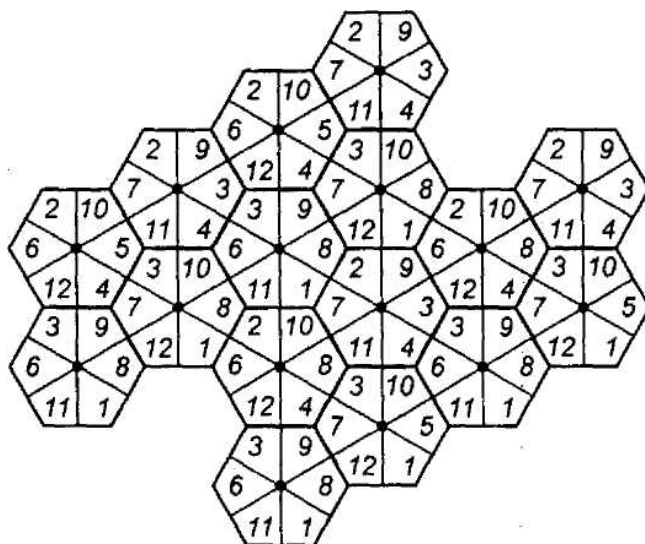


Рисунок 7.15 – Модель використання частот у двох сусідніх стільниках

Склад системи стільникового зв'язку. Кожний із стільників обслуговується багатоканальним приймачем-передавачем, який називається **базовою станцією**. Вона слугує своєрідним інтерфейсом між стільниковим телефоном і центром комутації рухомого зв'язку, де роль проводу звичайної телефонної мережі виконують радіохвилі.

Число каналів базової станції зазвичай кратне 8, наприклад, 8, 16, 24 Один повторного із каналів є *управляючим* (*control channel*). Іноді його називають *каналом виклику* (*calling channel*).

У цьому каналі відбувається безпосереднє установлення з'єднання під час виклику рухомого абонента мережі, а сама розмова починається тільки після того, як буде знайдений вільний у даний момент канал і відбудеться переключення на нього. Всі ці процеси відбуваються дуже швидко і тому непомітні для абонента.

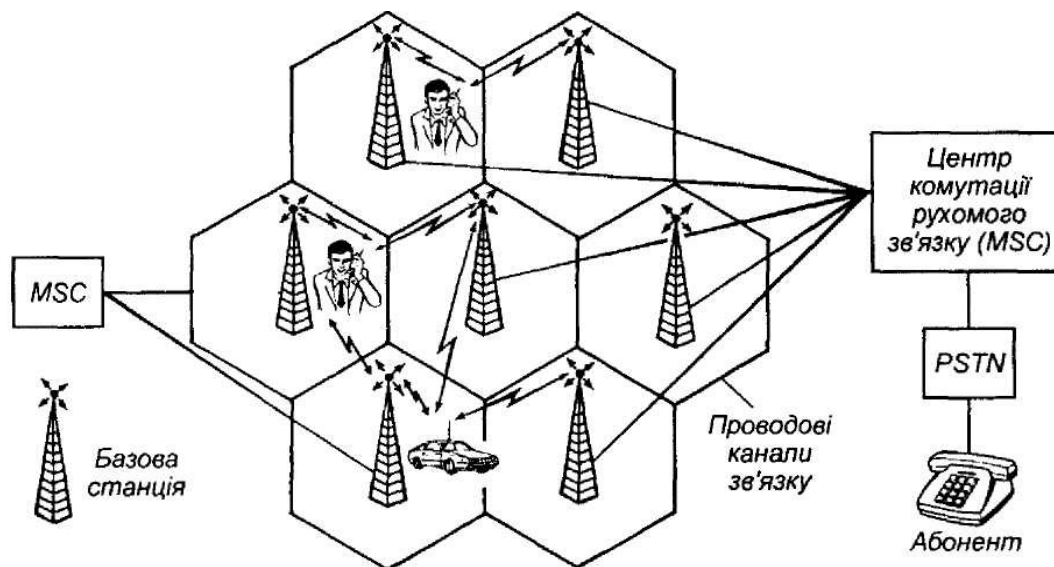


Рисунок 7.16 – Основні складові систем стільникового зв'язку

Він лише набирає потрібний йому телефонний номер і розмовляє, як по звичайному телефону. Будь-який із каналів стільникового зв'язку має дві частоти для дуплексного зв'язку, тобто частоти базової та рухомої станцій рознесені. Це робиться для того, щоб покращити фільтрацію сигналів і виключити взаємний вплив передавача на приймач одного пристрою при їх одночасній роботі. Всі базові станції з'єднані з центром комутації рухомого зв'язку (комутатором) виділеними провідними або радіорелейними каналами зв'язку (рис. 7.16).

Центр комутації MSC – це автоматична телефонна станція системи стільникового зв'язку, яка забезпечує всі функції управління мережею. Вона здійснює постійне спостереження за рухомими станціями, організовує їх естафетну передачу, в процесі якої досягається неперервність зв'язку при переміщенні рухомої станції із стільника в стільник та перемикання робочих каналів у стільнику при появі перешкод або несправностей, виконує з'єднання рухомого абонента з тим, хто йому потрібен у звичайній телефонній мережі тощо.

Алгоритми функціонування систем стільникового зв'язку. Не дивлячись на різноманітність стандартів стільникового зв'язку, алгоритми їх функціонування, незалежно від наявних особливостей, в основному схожі. Для абонента практично немає ніякої різниці, в якому стандарті здійснюється зв'язок. Якщо йому потрібно зателефонувати, то він натискає клавішу свого

радіотелефону (це може бути будь-який стільниковий радіотелефон). Це відповідає зняттю трубки звичайного телефону. Якщо ж радіотелефон перебуває у режимі очікування (стан "трубка покладена" звичайного телефону), його приймальний пристрій постійно сканує (передивляється) або всі канали системи, або тільки управляючі. Для виклику відповідного абонента всіма базовими станціями стільникової системи зв'язку управляючими каналами передається сигнал виклику. Стільниковий телефон абонента, який викликається, при отриманні цього сигналу відповідає по одному із вільних каналів управління. Базові станції, які прийняли відповідний сигнал, передають інформацію про його параметри в центр комутації, він, у свою чергу, переключує розмову на ту базову станцію, де зафіксований максимальний рівень сигналу стільникового радіотелефону абонента, що викликається.

Під час набору номера радіотелефон займає один із вільних каналів, рівень сигналу базової станції в якому у даний момент максимальний. В міру віддалення абонента від базової станції або у зв'язку із погіршенням умов поширення радіохвиль рівень сигналу зменшується, що веде до погіршення якості зв'язку. Покращення якості розмови досягається шляхом автоматичного переключення абонента на другий канал зв'язку. Це відбувається так. Спеціальна процедура, яка називається *передавання управління викликом* або *естафетним передаванням* (в іноземній технічній літературі – *handover* або *handoff*), дає змогу переключати розмову на вільний канал другої базової станції, в зоні дії якої опинився у цей час абонент. Аналогічні дії приймаються при зниженні якості зв'язку через вплив перешкод або виникнення несправностей комутаційного обладнання. Для контролю таких ситуацій базова станція обладнана спеціальним приймачем, який періодично вимірює рівень сигналу стільникового телефону абонента, що розмовляє, і порівнює його з допустимою межею. Якщо рівень сигналу менший цієї межі, то інформація про це автоматично передається в центр комутації службовим каналом зв'язку. Центр комутації видає команду про виміри сигналу стільникового радіотелефону абонента на ближні до нього базові станції. Після отримання інформації від базових станцій про рівень сигналу центр комутації переключує радіотелефон на ту з них, де рівень сигналу виявився найбільшим. Це відбувається так швидко, що абонент не помічає цих переключень.

Іноді виникає ситуація, коли потік заявок на обслуговування, що надходять від абонентів стільникової мережі, перевищує кількість каналів, які є на всіх близько розташованих базових станціях. Це відбувається тоді, коли всі канали станцій зайняті обслуговуванням абонентів і немає ні одного вільного, та одержують чергову заявку на обслуговування від рухомого абонента. В такому разі як тимчасова міра (до звільнення одного із каналів) використовується принцип естафетного передавання всередині стільника. При цьому відбувається почергове переключення каналів у межах однієї і тієї ж базової станції для забезпечення зв'язком усіх абонентів.

Одна із важливих послуг мережі стільникового зв'язку – надання можливості використання одного і того ж радіотелефону при подорожі в інше

місто, область чи навіть країну, причому стільниковий зв'язок дає змогу не тільки самому абоненту дзвонити з іншого міста чи країни, але й отримувати дзвінки від тих, хто не встиг застати його вдома. У стільниковому радіозв'язку така можливість називається *роумінг* (від англ. *roam* – блудити, вештатися). Для організації роумінгу стільникові мережі повинні бути одного стандарту (телефон стандарту GSM не буде працювати у мережі стандарту CDMA і т. п.), а центри комутації рухомого зв'язку цього стандарту мають бути з'єднані спеціальними каналами зв'язку для обміну даними про місцезнаходження абонента. Іншими словами, стосовно стільникових систем роумінг забезпечується за трьох умов: застосування у потрібних регіонах стільникових систем стандарту, сумісного із стандартом компанії, в якій був придбаний радіотелефон; прийняття відповідних організаційних і економічних угод про роумінгове обслуговування абонентів; використання каналів зв'язку між системами, які забезпечують передавання звукової та іншої інформації для роумінгових абонентів.

При переміщенні абонента в іншу мережу її центр комутації запитує інформацію у первинної мережі і, якщо одержує підтвердження повноважень абонента, реєструє його. Дані про місцезнаходження абонента постійно поновлюються у центрі комутації первинної мережі, і всі виклики, які туди надходять, автоматично переадресовуються в ту мережу, де на даний момент знаходиться абонент.

При організації роумінгу недостатньо лише технічних заходів по з'єднанню різних мереж стільникового зв'язку. Дуже важливо ще й вирішити проблему взаєморозрахунків між операторами цих мереж.

Розрізняють такі види роумінгу:

- автоматичний (саме з цією формою за кордоном зазвичай і пов'язують поняття роумінгу), тобто надання абоненту можливості вийти на зв'язок "в будь-який час і в будь-якому місці";
- напівавтоматичний, коли абоненту для користування даною послугою в будь-якому регіоні потрібно попередити про це свого оператора;
- ручний, по суті, простий обмін одного радіотелефону на інший, підключений до стільникової системи іншого оператора.

Існуючий об'єм послуг роумінгу багато в чому визначається активністю діяльності конкретних компаній, оскільки при цьому в усіх виникають приблизно однакові технічні проблеми (хоча і тут можна відмітити стандарт GSM, в який можливість роумінгу була закладена при його створенні). Перспективи розвитку цієї сфери послуг залежать від поширеності стандартів.

7.8 Побудова мережі мобільного радіозв'язку

Найпростіший варіант організації мобільного радіозв'язку вже розглядався (див. рис. 7.1). Для здійснення зв'язку рухомий об'єкт РО повинен мати радіостанцію РС, обладнану пристроєм оброблення інформації ПОІ, який є інтерфейсом між радіостанцією та джерелом і приймачем інформації ДПІ – (рис. 7.17). За ДПІ використовують мікрофон і телефон, але можна використовувати також пристрої передавання даних або факсимільних

зображень. Функції та побудова пристроїв оброблення інформації залежать від типу ДПІ та способу утворення каналу радіозв'язку.

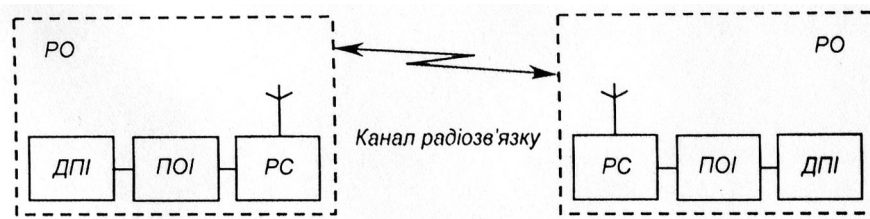


Рисунок 7.17 – Найпростіший варіант побудови мережі мобільного радіозв'язку

Канал радіозв'язку, джерело і приймач інформації, пристрої оброблення інформації та радіостанція разом утворюють **тракт передавання** інформації. Якщо повідомлення користувачів передаються трактом в аналоговій формі, то він називається **аналоговим**, якщо в цифровій, то **цифровим** або **дискретним**. На елементи тракту впливають кліматичні, атмосферні та механічні зміни зовнішнього середовища, різноманітні внутрішні завади від кіл енергоживлення та управління, а також акустичні шуми. Цифрові тракти порівняно з аналоговими мають набагато вищу завадостійкість.

Радіотелефонні системи мобільного зв'язку загального користування забезпечують інформаційний обмін між багатьма рухомими об'єктами, але оскільки одночасно активних рухомих об'єктів завжди значно менше від їх загальної кількості, то слід застосовувати спільні радіоканали, до кожного з яких має доступ певна їх група. Така РТС називається **системою з множинним доступом** (рис. 7.18).

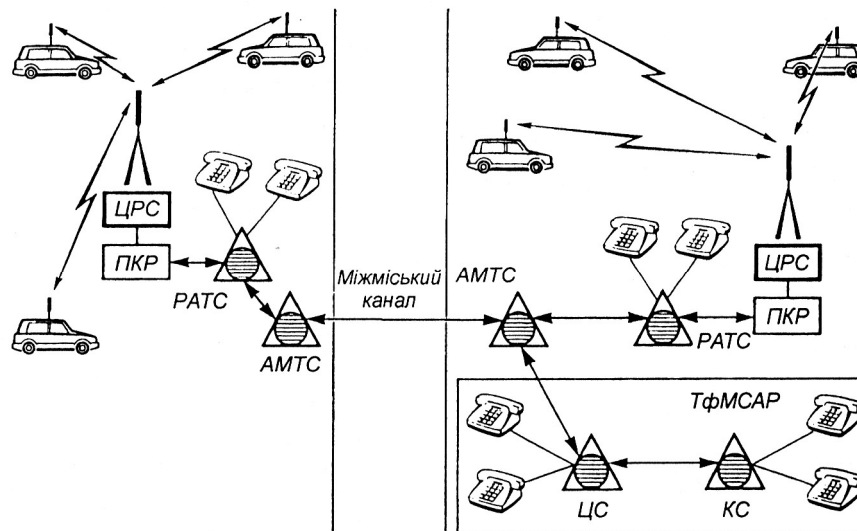


Рисунок 7.18 – Схема РТС із множинним доступом до радіоканалів (зонова мережа):

РАТС – районна автоматична телефонна станція;

АМТС – автоматична міжміська телефонна станція;

ТфМСАР – телефонна мережа сільського адміністративного району;

ЦС і КС – центральна і комутаційна станції

У **радіотелефонній системі з множинним доступом** кожен рухомий об'єкт може з'єднуватися з центральною радіостанцією ЦРС, яка забезпечує їх взаємні з'єднання та, використовуючи пристрій комутації радіоканалів ПКР, з'єднує з ТфМЗК. Особливості функціонування РТС з множинним доступом

зумовлюються принципами формування групового сигналу, методом розподілу спільного радіоканалу та способом утворення мережі й організації взаємодії абонентів у її межах.

Формування групового сигналу буває незалежним і централізованим. У разі незалежного формування кожен індивідуальний абонентський сигнал має фіксовану позицію у груповому сигналі, який складається з незалежно сформованих і підсумованих у спільному каналі сигналів. Передавачі абонентів при цьому працюють самостійно. Груповий сигнал спільного радіоканалу надходить до абонентських приймачів, і кожен приймач виділяє призначений йому індивідуальний сигнал. Якщо груповий сигнал формується централізовано передавачем ІДРС, то абонентські повідомлення не мають фіксованих позицій і надходять до передавача без попереднього формування. Абонентські приймачі мають забезпечувати селекцію призначених їм сигналів.

Груповий сигнал складається з окремих індивідуальних абонентських сигналів, що займають у ньому певні позиції, тому спільний радіоканал є багатоканальним. Ці позиції можуть розрізнятися за частотою і часом або мати кодовий розподіл. Відповідно до цього існують множинні доступи до каналів з частотним (МДЧР), часовим (МДЧсР) та кодовим (МДКР) розподілами.

Індивідуальні канали можуть жорстко закріплюватися за певними абонентами. У цьому разі стан абонентів не контролюється і РТС називається *неконтролюючою*. Ступінь використання каналів у такій системі дуже низький і в середньому не перевищує 0,15 Ерл за годину найбільшого навантаження.

Якщо індивідуальні канали надаються мобільним абонентам лише на період сеансу зв'язку, то РТС має постійно контролювати їхній стан. Така РТС називається *контролюючою*. Корисне завантаження каналів у ній підвищується в кілька разів і залежно від обставин може досягати 0,4...0,8 Ерл. Кількість каналів у цій системі менша від кількості мобільних абонентів, тому можливі випадки їх одночасної зайнятості та необхідності очікування абонентом звільнення каналу.

З'єднання між мобільними абонентами багатостанційних РТС можуть бути безпосередніми або через ЦРС. Відповідно до цього РТС називають *некоординуючими і координуючими*.

У *зональній мережі мобільного радіозв'язку* (рис. 7.18) кожна ЦРС функціонує самостійно й утворює окрему, значну за площею, зону обслуговування мобільних абонентів. Усі виділені для РТС радіочастоти використовуються лише одноразово, що суттєво обмежує можливу ємність системи.

На відміну від зональних стільникові мережі (рис. 7.19) уможливають багаторазове використання радіоканалів на територіально віддалених одна від одної ділянках мережі. Уся обслуговувана територія поділяється на малі робочі зони умовно шестикутної форми, які називаються *чарунками мережі*. Радіус r залежить від очікуваної в ній щільності мобільних абонентів. Здебільшого він дорівнює 10 ... 20 км за містом і в приміській зоні, 2 ... 5 км – на більшій території міста та 0,5 ... 2 км – у його центрі.

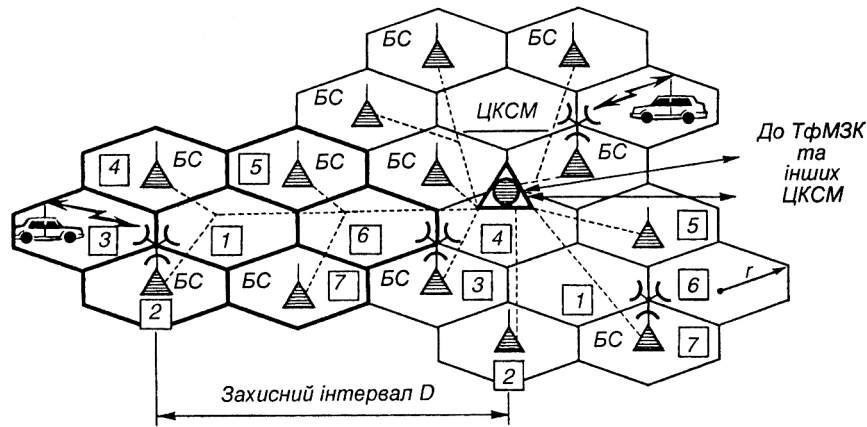


Рисунок 7.19 – Схема побудови стільникової мережі мобільного радіозв'язку:
 БС – базова станція; ЦКСМ – центр комутації стільникової мережі

У чарунках установлюються індивідуальні або спільні для кількох чарунок базові приймально-передавальні радіостанції, які називаються **базовими станціями**. Така станція може розміщуватись у центрі чарунки і мати антену з коловою діаграмою випромінювання або на стику кількох чарунок і для кожної з них мати секторні антени (на 120° , як зображено на рис. 7.19, або, інколи, на 60°). У певній чарунці абоненти за допомогою базової станції мають повний доступ до певної кількості ν радіоканалів, призначених цій чарунці. Базові станції, якими використовується однаковий набір каналів, розділяються **захисним інтервалом D** .

Щоб перекрити якусь територію, достатньо $C = 7$ багаторазово використовуваних наборів радіоканалів, але деякі стільникові РТС передбачають 4, 9, 12 або 21 набір каналів. Група з C суміжних чарунок, у яких набори каналів не повторюються, називається **кластером** (на рис.7.19 він виділений жирнішими лініями). Значення C є розміром кластера, тобто частотним параметром системи, оскільки визначає максимально можливу кількість каналів N (без урахування їх повторного використання). Загальна ширина частотної смуги $F_c = F_K C \nu$. За умови $C = 7$, $\nu = 30$ і ширина смуги окремого каналу в напрямку передавання $F_K = 20$ кГц матимемо $N = C \nu = 7 \cdot 30 = 210$ радіоканалів, які займатимуть смугу завширшки

$$F_c = F_K N = 4,2 \text{ МГц.}$$

З погляду ефективності використання частотного спектра доцільно вибрати малі радіуси чарунок і розміри кластерів, зважаючи на те що захисний інтервал D в разі застосування базової станції із неспрямованими антенами має бути не меншим за $\sqrt{3Cr^2}$. Зменшення параметра C обмежене вимогами до захисного інтервалу, а зменшення радіуса r призводить до збільшення частоти перетинання чарунок рухомими абонентами під час розмови, що може спричинити лавиноподібне зростання завантаженості керуючої системи мережі даними щодо переключення абонентів з чарунки в чарунку. Тому в межах однієї системи використовують чарунки та кластери різних розмірів, їх вибирають з урахуванням реального електромагнітного впливу та рельєфу місцевості.

У деяких системах застосовують накладені чарунки. При цьому мікро- і навіть пікочарунки з радіусом дії 10 ... 70 м обслуговують закриті приміщення (аеропорти, вокзали, гаражі, магазини тощо). Такі структури стільникової мережі інколи називають **зонтовими**. За цим алгоритмом рекомендується будувати глобальну систему мобільного радіозв'язку.

Стільникові мережі часто проектують з **фіксованим розподілом радіоканалів між базовими станціями**, тобто для кожної чарунки виділяють однакову їх кількість. У цьому разі важливо вибрати розподіл каналів, за якого можна було б зменшити міжканальну інтерференцію.

Найчастіше застосовують такий принцип розподілу каналів: j -й чарунці кластера надають канали з номерами $j, j + C, j + 2C, \dots, j + \nu C$. Фіксований розподіл каналів має деякі недоліки, зумовлені нестаціонарністю розподілу активних мобільних абонентів у чарунках мережі. Ймовірність втрат викликів зростає в тих чарунках, де з різних причин стає більше мобільних абонентів. Тому інколи для кожної чарунки, крім фіксованих, виділяють ще певну кількість каналів, які динамічно розподіляються між базовими станціями залежно від реальної потреби.

Усі базові станції з'єднуються радіорелейними або кабельними лініями зв'язку з центром комутації стільникової мережі (ЦКСМ), який управляє встановленням і підтриманням з'єднань абонентів між собою та з абонентами ТфМЗК, зокрема забезпечує переключення на іншу базову станцію під час руху абонента.

Комутація та управління мережею можуть бути:

- **централізованими**, тобто зосередженими на ЦКСМ (рис. 7.19);
- **децентралізованими** (ієрархічними) з установленням, наприклад, у кожному кластері спрощеної комутаційної станції (контролера базових станцій), яка обслуговує взаємні з'єднання мобільних абонентів кластера та забезпечує вихід на ЦКСМ для інших зв'язків;
- **розподіленими**, коли комутаційне й керуюче обладнання установлюється безпосередньо на кожній базовій станції.

Кожна СММР будується за певним стандартом, зокрема, в Україні за стандартами NMT-450 і GSM-900.

Сусідні СММР одного стандарту, що належать одному оператору мережі (тобто мають спільну адміністрацію), разом утворюють зону СММР відповідного стандарту. Сукупність одностандартних СММР сусідніх операторів (різних країн) називається **зоною відповідного стандарту**. Територію, що обслуговується одним ЦКСМ (рис. 7.19), називають **зоною обслуговування ЦКСМ**. Сукупність чарунок мережі, яка має спільну базову станцію, є **зоною цієї станції**. Частина СММР, на якій діють однакові тарифи, називається **тарифною зоною**.

Кожен з розглянутих варіантів РТС має певні переваги та недоліки і свою сферу застосування.

7.9 Методи розподілу радіоканалів

Як уже зазначалося, множинний доступ до радіоканалів може бути з частотним, часовим і кодовим розподілами.

Принцип **частотного розподілу**, який є найпоширенішим, розглянемо для діапазону 900 МГц.

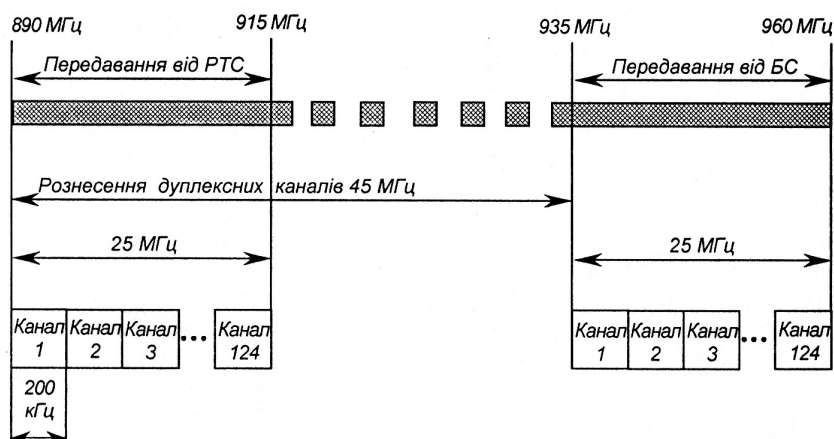


Рисунок 7.20 – Частотний розподіл радіоканалів діапазону 900 МГц

Розподіл частот здійснюється за напрямом передавання: вгору - від РТС до базової станції стільникової мережі та вниз - від СММР до РТС (рис. 7.20). Ці напрями рознесені за частотою на 45 МГц, а кожен з них займає смугу 25 МГц, розділену на 124 групові канали по 200 кГц. На кожній з 124 несучих частот утворюються вісім або десять індивідуальних радіоканалів, рознесених за частотою відповідно на 20 або 25 кГц (рис. 7.21). Допустиме також менше рознесення (наприклад, 12,5 кГц у стандарті NMT-900), яке забезпечує більше каналів. Кожен індивідуальний радіоканал повинен мати власні приймач і передавач; випромінювання в каналі здійснюється безперервно.



Рисунок 7.21 – Принцип множинного доступу до радіоканалів з частотним розподілом

У разі **часового розподілу каналів** на кожній з 124 несучих частот теж утворюється вісім (або більше) мовних радіоканалів (рис. 7.22), кожен з яких повністю використовує всю доступну смугу частот 200 кГц. На базовій станції при цьому досить мати один приймач-передавач на всі вісім каналів; випромінювання в каналах здійснюється періодично.

Зазначимо, що МДЧсР фактично є комбінацією часового розподілу з частотним, оскільки групові канали розподілені за частотою.

Кодовий розподіл каналів застосовується в деяких перспективних цифрових РТС мобільного зв'язку і базується на використанні шумоподібних сигналів з розширеним частотним спектром.

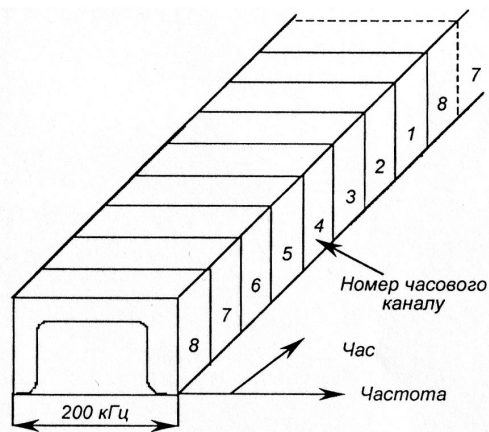


Рисунок 7.22 – Принцип множинного доступу до радіоканалів з часовим розподілом

Розширення спектра сигналів здійснюється одним із трьох способів:

- прямим розширенням, коли один або група інформаційних бітів замінюються псевдовипадковою послідовністю зі значно більшою кількістю елементарних посилок;
- псевдовипадковим перестроюванням несучої частоти у часовому інтервалі інформаційного біта чи групи бітів;
- псевдовипадковою зміною моментів початку передавання груп інформаційних бітів.

У кожному випадку індивідуальний сигнал потребує значно ширшої смуги частот, ніж при частотному розподілі каналів. Зокрема, у разі розподілу спектра відповідно до рис. 7.22 окремий сигнал займає всю смугу частот 200 кГц, як при МДЧР, але випромінюється безперервно, як при МДЧР. У приймачі індивідуальні сигнали розподіляються кореляційним методом, який базується на слабкій кореляції корисних та перешкоджаючих сигналів.

Основними перевагами кодового розподілу каналів є такі фактори:

- безпороговість множинного доступу і можливість суттєвого збільшення кількості індивідуальних сигналів у груповому каналі внаслідок плавного зменшення відношення сигнал-завада, причому завадостійкість системи буде тим вищою, чим ширшою є смуга сигналів;
- висока завадостійкість в умовах надходження завад від сторонніх РТС та інтерференційних завмирань при багатопроменовому поширенні сигналів, спричинена розподіленням прийманням і додаванням сигналів окремих променів;
- можливість "м'якого" естафетного передавання мобільних абонентів іншій базовій станції без перемикання каналів;
- значний захист таємності індивідуальних каналів, тобто практична неможливість їх виявлення та вимірювання параметрів сигналів;
- гарантована конфіденційність передаваної інформації завдяки використанню кодованих псевдовипадкових шумоподібних сигналів, змінюваних заздалегідь програмою (їх можлива кількість перевищує $4 \cdot 10^{12}$);
- висока точність радіолокалізування рухомих об'єктів, що дає змогу створювати надійні навігаційні системи.

7.10 Організація системи стільникового мобільного радіозв'язку стандарту NMT-450

Стандарт на аналогові стільникові системи мобільного радіозв'язку NMT-450 розроблений спільно Адміністраціями зв'язку Данії, Фінляндії, Норвегії та Швеції для організації автоматичної системи мобільного радіотелефонного зв'язку загального користування у Скандинавських країнах. Цей стандарт був одним із перших стандартів, запроваджених в Україні.

У стандарті NMT-450 рухомі станції повністю сумісні з усіма базовими станціями системи незалежно від країни, в якій вони розміщені. Всі мобільні абоненти мають можливість працювати в будь-якій з країн, що входять до системи.

Система має чотири типи абонентських рухомих станцій: звичайні, з пріоритетом, портативні та станції-таксофони. Призначена для обслуговування наземних мобільних абонентів, система в деяких випадках може обслуговувати також абонентів морських рухомих служб на невеликій відстані від берега.

Система стандарту NMT-450 забезпечує: входження у зв'язок і реєстрацію вартості розмови як з рухомою станцією, так і в автоматичному режимі; можливість організації зв'язку між рухомою станцією та будь-яким абонентом стаціонарної телефонної мережі або з іншою рухомою станцією, яка приєднана до системи, незалежно від країни; можливість автоматичного пошуку абонента в межах об'єднаних мереж.

Приклад побудови СММР стандарту NMT-450 зображено на рис. 7.19, де показано зону обслуговування лише одного ЦКСМ, а також напрями його зв'язку з ТфМЗК та іншими ЦКСМ. З'єднання між ЦКСМ можуть бути безпосередніми, але для СММР, створеної в національному масштабі (наприклад, в Україні), їх доцільно організовувати в більшості випадків за допомогою ТфМЗК. Тому в Україні всі ЦКСМ, що установлені в обласних центрах і в деяких інших великих містах, мають лінії зв'язку до зонової АМТС, через яку отримують вихід до місцевих мереж зони, міжміської та міжнародної телефонних мереж і до інших ЦКСМ. Кожному ЦКСМ призначається власний код DEF, який визначає десятитисячну групу мобільних абонентів. У разі більшої ємності регіональної СММР її ЦКСМ отримує два коди DEF. Структура номера мобільного абонента повинна мати такий вигляд: ABC DEF xxxx, де ABC – номер телефонної зони, в якій РТС постійно перебуває; DEF xxxx – номер мобільного абонента в межах системи. При цьому фактично створюється єдиний план нумерації фіксованих і мобільних абонентів, у якому має також резервуватися певна ділянка для блукаючих номерів абонентів.

На перехідному етапі в процесі створення СММР використовують номери дещо іншої структури: 5 Y₁Y₂ CDE xxxx, де цифра 5 – індекс виходу в стільникову мережу; Y₁Y₂ – код регіональної СММР, який збігається з кодом ЦКСМ; CDE xxxx - номер мобільного абонента в межах системи. Отже, зв'язок з абонентом установлюється набором 8-5 Y₁Y₂ CDE xxxx або CDE xxxx, якщо його викликає абонент тієї самої зони реєстрації.

Для СММР стандарту NMT-450 допустимі розміри кластерів 7 і 21 та радіуси чарунок 0,5 ... 20 км. Базові станції мережі можуть використовувати секторні та неспрямовані антени. Конкретний вибір провадиться на етапі частотного планування мережі, за якого визначають: розміри кластерів; кількість чарунок та їхні радіуси; потрібну кількість базових станцій, місця їх установлення та кількість секторів для кожної станції; потужність передавача та висоту антени кожної базової станції; залучену кількість радіоканалів та їхні номери на кожній станції.

Для частотного планування потрібні такі дані: загальна ширина радіочастотної смуги та смуги окремого каналу; площа, характер рельєфу та забудови території, охопленої мережею; прогнозована кількість мобільних абонентів та їх можливий статистичний розподіл на території СММР; очікувана середня питома інтенсивність мобільних абонентів у години найбільшого навантаження; допустима ймовірність втрат через зайнятість радіоканалів; діапазон випадкових флуктуацій рівня сигналів у місцях приймання; розподіл зовнішніх завад на території мережі.

Частотний план мережі потребує експериментальної перевірки, після чого він стає основою для проектування ліній зв'язку між базовими станціями і ЦКСМ та для визначення потрібної кількості устаткування ЦКСМ.

7.11 Загальна характеристика стандарту GSM

Загальноєвропейська система GSM є системою радіотелефонного зв'язку, створеною завдяки зусиллям урядів, промислових фірм і науково-дослідних інститутів багатьох країн, насамперед європейських, щодо розроблення цифрової системи стільникового зв'язку другого покоління і схваленою ETSI.

Традицією побудови мереж стільникового зв'язку в Європі тривалий час було розроблення кожною державою своєї незалежної системи. Абонент стільникового зв'язку міг користуватися радіотелефоном лише в межах своєї країни.

Поступово, з розгортанням у кожній країні кількох стільникових мереж різних стандартів, з'явилася принципова **можливість міжнародного роумінгу** – переведення користувача на обслуговування у разі переміщення його в зону функціонування іншої однотипної системи мобільного зв'язку.

Створення загальної для всієї Європи системи стільникового зв'язку – ключова вимога програми розроблення стандарту GSM. Щоб забезпечити загальноєвропейський роумінг, потрібні високий ступінь сумісності та можливість оперативного передавання інформації про абонентів між базами даних систем стільникового зв'язку різних держав.

У фіксованому устаткуванні стільникового зв'язку і в абонентській апаратурі системи GSM використовуються стандартні інтерфейси та протоколи обміну інформацією. Уведення відкритої архітектури мережі зі стандартними інтерфейсами забезпечує сумісність устаткування безлічі різних виробників і надає операторам стільникового зв'язку можливість вибирати постачальника устаткування на підсистемному рівні замість рівня цілої системи.

Система GSM підтримує протоколи системи сигналізації ЗКС-7, що робить її досконалішою з погляду взаємодії з проводовими телефонними мережами і надає можливість організації автоматичного міжнародного роумінгу.

Стандарт GSM базується на *цифрових методах подання, оброблення й передавання мовного сигналу* та на комбінації часового і частотного методів розподілу каналів зв'язку. Система GSM працює в діапазоні частот 900 МГц (890 ... 915 МГц – для передавачів абонентських телефонів і 935 ... 960 МГц – для передавачів базових станцій), який містить 124 фізичні радіоканали. Кожен фізичний радіоканал займає смугу частот 200 кГц і містить вісім каналів зв'язку.

У повністю цифровій системі GSM усі сигнали (а отже, і мова) передаються у цифровому вигляді. Мовні кодеки, використовувані в системах цифрового радіозв'язку, ґрунтуються на методах машинного розпізнавання та синтезу мови. Це дає змогу значно звузити смугу частот, зайняту інформаційним сигналом.

Мовний кодек стандарту GSM забезпечує збалансований компроміс між якістю мови, апаратними витратами та затримкою передавання в каналах зв'язку, які використовуються між абонентом і цифровою системою стільникового зв'язку. У районах з високим рівнем завад і зовнішніх шумів (а це типова ситуація для місць функціонування стільникових систем) якість зв'язку значно краща порівняно з аналоговими системами.

Основні вимоги до стандарту GSM покладені в основу вибору повністю цифрової стільникової системи, яка забезпечує функціонування системи зв'язку високої продуктивності, а також перехід проводових телефонних мереж на цифрову технологію та їхню еволюцію в ISDN. Надання користувачам більш досконалих послуг зв'язку потребує використання цифрових технологій в усій телефонній мережі, у тому числі й у стільниковій.

У перспективі передбачається подвоєння продуктивності системи GSM з переходом на мовний кодек, який працює на зменшеній удвічі швидкості передавання інформації. Отже, на кожному фізичному радіоканалі стандарту GSM можна буде передавати 16 мовних каналів зв'язку.

Стандарт GSM забезпечує різні види зв'язку, а саме: мовний, передавання коротких повідомлень, факсимільний, відеотекс і телетекс. Стандарт передбачає інтерфейси для взаємоприєднання до мереж інших типів – телефонних і передавання даних. Передавання цифрової інформації можливе з використанням у різних протоколах міжмережного обміну, у тому числі традиційних аналогових моделей для зв'язку з проводовою телефонною мережею. Використання стандартних протоколів обміну забезпечує синхронне та асинхронне передавання інформації зі швидкістю від 75 до 9 600 біт/с.

Мовний зв'язок і передавання цифрової інформації доповнюються широким набором сервісних послуг, поміж яких можна виділити: ідентифікацію номера абонента, якого викликають; переадресацію викликів; заборону на вхідні та вихідні виклики; конференц-зв'язок; терміновий зв'язок; передавання коротких текстових повідомлень; входження в закриту групу користувачів; оповіщення про тарифні витрати.

Для захисту від помилок у радіоканалах під час передавання інформаційних повідомлень застосовується блокове та згорнене кодування з перемешуванням. Підвищення ефективності кодування та перемешування з малою швидкістю переміщення рухомих станцій досягається повільним перемиканням робочих частот під час сеансу зв'язку зі швидкістю 217 переходів за секунду.

Стандарт GSM передбачає низку заходів, спрямованих на підвищення цілісності наданого користувачу каналу зв'язку. Особлива увага в ньому приділяється якості процесу управління зв'язком.

Процедура естафетного передавання у стандарті GSM значно відрізняється від використовуваних в аналогових системах стільникового зв'язку і характеризується вищою якістю. Якісні показники використовуваного радіоканалу вимірюються базовою станцією стільникової мережі та апаратурою користувача. Кількість вимірюваних параметрів досить велика, до них належать: рівень сигналу в прямому і зворотному каналах, рівень прийнятого телефоном сигналу сусідніх чарунок, відстань між базовою станцією і телефоном тощо. Використовується також унікальна для цифрового зв'язку методика визначення такого параметра, як частість появи помилкових бітів у каналі зв'язку. Це дає змогу вимірювати рівень завад, що надходять під суміщеного й сусіднього каналів, навіть коли рівень корисного сигналу відносно високий.

У стандарті GSM досягається **високий ступінь безпеки передавання повідомлень**, які шифруються за алгоритмом шифрування з відкритим ключем.

Під терміном "інформаційна безпека" розуміємо запобігання несанкціонованому використанню системи та забезпечення таємності переговорів мобільних абонентів. У стандарті визначено такі механізми гарантування безпеки, як аутентифікація (перевірка відповідності) абонента, конфіденційність передаваної інформації та таємність абонента.

Кожен абонент GSM на час користування системою отримує стандартний модуль відповідності SIM, виконаний у вигляді пластикової картки, яка уставляється в стільниковий телефон. За допомогою інформації, вміщеної в SIM-картці, внаслідок взаємного обміну даними між абонентським телефоном і мережею перевіряється відповідність абонента і дається дозвіл на доступ його в мережу.

Інформація, що передається радіоканалами стільникової мережі GSM, шифрується. Для підвищення конфіденційності інформації ключі шифрування зберігаються в SIM-картці абонента.

У мережі GSM передбачена низка заходів для запобігання ідентифікації абонента перехопленням повідомлень, переданих радіоканалами. Ідентифікаційний номер абонента під час обміну даними між стільниковим телефоном і мережею передається лише в зашифрованому вигляді. Цей номер не постійний і змінюється у разі переміщення користувача в зоні обслуговування стільникової мережі.

Підвищена стійкість мережі, поєднана з досконалою технікою естафетного передавання інформації, сприяє впровадженню мікростільникової структури, що уможливорює підвищення продуктивності системи стільникового зв'язку.

Один із ключових аспектів, прийнятих до уваги при розробленні архітектури системи GSM, полягає в **мінімізації витрат оператора на побудову стільникової мережі**. Це досягається такими факторами:

- вибором швидкості передавання інформації і структури часового розподілу каналів з кратністю 8, оснований на компромісі між складністю апаратури, структурою стільникової мережі та якістю зв'язку;
- об'єднанням кількох каналів зв'язку в один фізичний радіоканал (це суттєво знижує витрати на організацію каналу зв'язку);
- переходом у перспективі на зменшену вдвічі швидкість передавання інформації, що дасть змогу на одному радіоканалі передавати 16 каналів зв'язку (це ще більшою мірою знизить витрати на організацію каналів зв'язку);
- використанням методу переривчастого передавання, який забезпечує споживання передавачем телефонного сигналу енергії джерела живлення лише тоді, коли абонент передає мовну або цифрову інформацію;
- використанням методу переривчастого приймання як функції стільникової мережі, який дає змогу приймачу телефонного сигналу перебувати в режимі малого споживання потужності джерела живлення впродовж 98% усієї тривалості приймання;
- постійним контролем потужності випромінюваного телефоном сигналу і підтриманням її на мінімально необхідному для забезпечення якісного зв'язку рівні.

Ці заходи забезпечують суттєве зменшення джерела живлення, яке значною мірою визначає розміри і масу сучасного стільникового телефону.

Архітектуру стільникової мережі GSM показано на рис. 7.23. До її складу, власне, до складу операційної системи, яка забезпечує управління мережею, входить устаткування базової станції та мережне і комутаційне устаткування.

Устаткування базової станції забезпечує радіоінтерфейс в одній чи кількох чарунках з стільниковими телефонами, що розміщені в зоні їхнього функціонування.

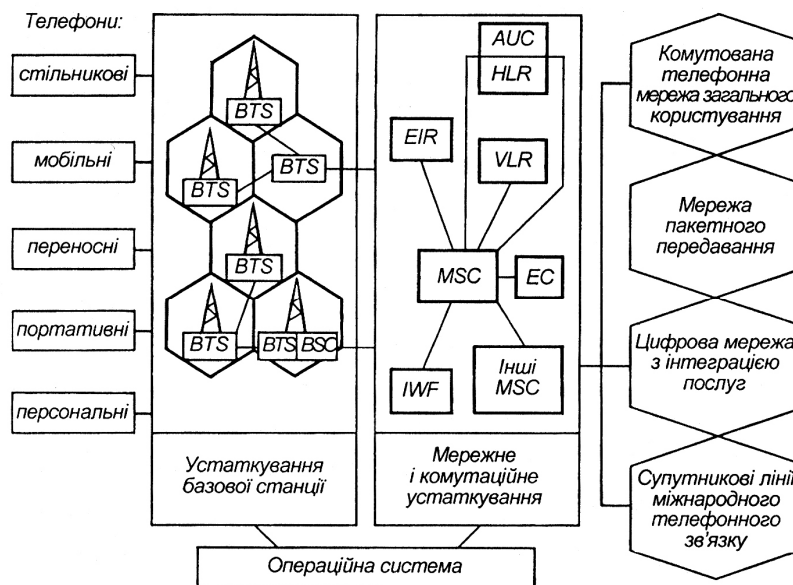


Рисунок 7.23 – Архітектура стільникової мережі GSM

Багатоканальний *приймач-передавач базової станції BTS* працює на радіоканалах, що відрізняються від використовуваних у сусідніх чарунках. Його легко розширювана конфігурація забезпечує задоволення вимог щодо ємності зв'язку та економічності.

Контролер базової станції BSC управляє процедурою "естафетного передавання" між різними BTS стільникової мережі та безпосередньо однією чи кількома BTS, а також контролює якість зв'язку в кожній чарунці.

Конфігурації базової станції можуть бути різними: розміщені поряд BSC та одна або кілька BTS; конструктивно об'єднані BTS і BSC; рознесені BTS і BSC.

До складу *мережного і комутаційного устаткування* належать:

– *центр комутації мобільного зв'язку MSC*, який управляє процедурами установаження виклику й маршрутизації та процедурою "естафетного передавання" між чарунками стільникової мережі, що належать до різних MSC, а також здійснює сервісні послуги стільникової мережі (переадресація виклику, заборона на вхідні та вихідні виклики, конференц-зв'язок), формує дані для виписування рахунків за надані мережею послуги зв'язку та забезпечує інтерфейс між стільниковою мережею і фіксованими мережами;

– *центр аутентифікації AUC*, який забезпечує процедуру аутентифікації абонентів стільникової мережі;

– *регістр положень (регістр власних абонентів) HLR*, який являє собою довідкову базу даних про постійно прописаних у мережі абонентів і містить пізнавальні номери, поточні адреси, параметри дійсності, склад наданих абонентам послуг зв'язку та спеціальну інформацію щодо маршрутизації;

– *регістр переміщень (гостьовий) VLR*, який є довідковою базою даних про абонентів, постійно прописаних у зоні дії інших MSC (інформація зберігається лише під час перебування "чужого" абонента в зоні дії даного MSC);

– *регістр ідентифікації устаткування EIR*, який містить базу даних для підтвердження відповідності міжнародного ідентифікаційного номера устаткування абонентів (стільникових телефонів) і здійснення доступу абонентів до мережі;

– *контролер міжмережного обміну IWF*, який формує інформацію для адаптації процесу взаємодії стільникової мережі з фіксованими мережами;

– *ехозагороджувач EC*, який потрібний для всіх мовних каналів зв'язку з ТфМЗК через властиві стільниковій мережі GSM затримки сигналу в тракці поширення, у тому числі й радіоканалі.

7.12 Інтеграція елементів інтелектуальної мережі в мережі стандарту GSM

Розглянемо найбільш відомі й популярні у світі додаткові послуги, що надаються мережами мобільного зв'язку: мовної пошти VMS, коротких повідомлень SMS та всесвітньої мережі Інтернет.

Служба мовної пошти VMS – це особистий телефонний секретар абонента, який приймає всі повідомлення, адресовані йому в той момент, коли він не може відповісти на виклик. Цю послугу можна використовувати разом з переадресацією і для збереження факсів.

У структурі послуги мовної пошти (рис. 7.24) насамперед можна виділити **високошвидкісну магістральну мережу HSBN** та **шлюзовий центр комутації GMSC**. Крім того, у службі VMS функціонують інші блоки, які забезпечують якісне обслуговування абонента.

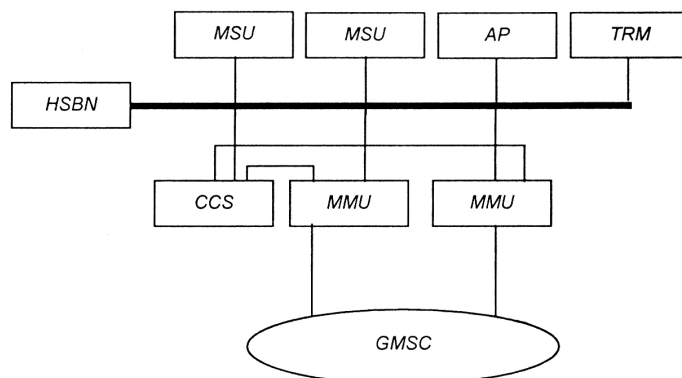


Рисунок 7.24 – Логічна структура послуги VMS

Блок управління системою TRM, реалізований на основі двох серверів з операційною системою UNIX, дає змогу здійснювати адміністрування та управління всіма елементами системи. Блок містить **процесор сигналізації AP**, який уможливує оперативне спостереження за станом системи та швидку локалізацію й усунення несправностей.

Блок обслуговування викликів CCS виконує функції оброблення сигналів загального каналу сигналізації № 7 (ЗКС-7), що надходять від комутатора, та управління цими сигналами. Сигналізація ЗКС-7 є найбільш поширеною й передовою у сфері систем передавання. Це надає системі гнучкості й сумісності з проводовими телефонними системами.

Блок збереження повідомлень MSU призначений для збереження оцифрованих мовних і факсимільних повідомлень. Ці повідомлення зберігаються на твердих дисках, для надійності роботи яких застосовуються спеціальні методи, що дає практично 100% гарантію збереження.

Блок мультимедіа MMLJ є інтерфейсним. Він забезпечує приєднання мовних трактів (2 Мбіт/с), а також управляє установленням з'єднань із блоками MSU і CCS.

У своїй максимальній конфігурації система мовної пошти підтримує до 6 тис. телефонних портів і забезпечує 50 тис. год. мовних повідомлень, 9 млн. факсимільних сторінок і 3 млн. мовних поштових скриньок. Вона надає послуги автовідповідача, віртуального телефону й віртуального факсу, мовної скриньки тощо і служить центром оброблення повідомлень.

Служба коротких повідомлень SMS – це послуга, що забезпечує передавання на мобільні телефони та приймання з них коротких текстів (літерно-цифрових повідомлень). Якщо абонент не має можливості вести розмову, проте його потрібно про щось терміново повідомити, то особа, що

телефонує, може набрати на своєму телефоні коротке текстове повідомлення й направити його на екран мобільного телефону абонента. Службу коротких повідомлень можна розглядати як удосконалену форму пейджингового зв'язку з передаванням літерно-цифрових повідомлень.

Для приєднання системи SMS до центру мобільного зв'язку використовуються два сигнальні канали по 64 кбіт. Застосування сигналізації ЗКС-7 робить систему інтегрованою.

Послуги передавання коротких повідомлень забезпечує система обладнання SMS-2000, до якої може бути приєднане різне зовнішнє (периферійне) устаткування (рис. 7.25), а саме: *GPI*, яке забезпечує доступ інтелектуальних терміналів за протоколом X.25; *TAP gateway* – для приймання коротких повідомлень на мобільний телефон із зовнішнього устаткування (наприклад, персонального комп'ютера) з використанням протоколу TAP; *TNPP gateway*, яке дає змогу устаткуванню SMS-2000 взаємодіяти з пейджинговими мережами, використовуючи протокол TNPP; *web gateway* - для передавання коротких повідомлень з WWW-оператора мобільного зв'язку; *fax gateway* - для передавання коротких повідомлень на факсимільний апарат; *SMPP gateway*, яке являє собою інтерфейс для устаткування, що працює за протоколами SMPP (система мовної пошти VMS); *e-mail gateway* - для передавання та приймання на мобільний телефон електронної пошти (протокол SMTP) у вигляді коротких повідомлень.

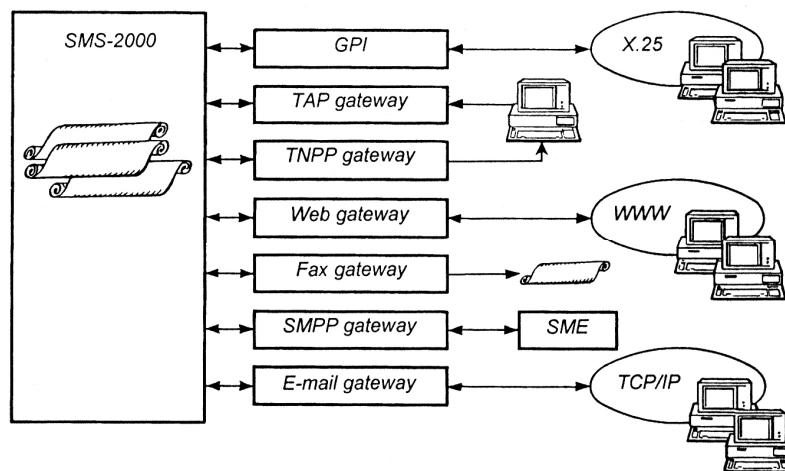


Рисунок 7.25 – Схема взаємодії SMS-2000 з периферійним устаткуванням та іншими мережами

Отже, абонент, який має послугу коротких повідомлень, автоматично одержує поштову скриньку в мережі Інтернет. Абонентові зовсім не обов'язково мати комп'ютер, щоб користуватися електронною поштою; для цього досить мобільного телефону мережі Інтернет.

Мобільний зв'язок поступово втрачає свій класичний зміст. Сьогодні це могутній комплекс, який забезпечує передавання інформації та надає можливість багатofункціонального оброблення й управління нею.

7.13 Роумінг у стандарті GSM

Автоматичний роумінг є помітною особливістю та важливою перевагою стандарту GSM. Тут слово "роумінг" означає можливість абонента мережі *A*, який перебуває в зоні обслуговування мережі *B*, користуватися послугами цієї мережі. Слово "автоматичний" у даному разі вказує, що абонент мережі *A* може користуватися послугами мережі *B* без будь-яких попередніх дій (наприклад, без зміни номера телефону, одержання спеціального номера тощо). При цьому вхідні виклики абонента *A* надходять за тим самим номером незалежно від його місцеперебування. Роумінг може бути національним (угоди між операторами однієї держави) та міжнародним (угоди між операторами різних держав). Національний роумінг має сенс лише в тому разі, якщо договірні компанії не є конкурентами (тобто коли їхні зони покриття не перетинаються). Загалом же реалізація обох видів роумінгу майже аналогічна, і те, що буде сказано про міжнародний роумінг, можна застосувати й до національного. Одним із завдань, поставлених перед стандартом GSM, є реалізація автоматичного роумінгу, тому вся інфраструктура мережі GSM на це й орієнтується.

Зв'язок між вузлами мережі GSM здійснюється з використанням сигналізації ЗКС-7.

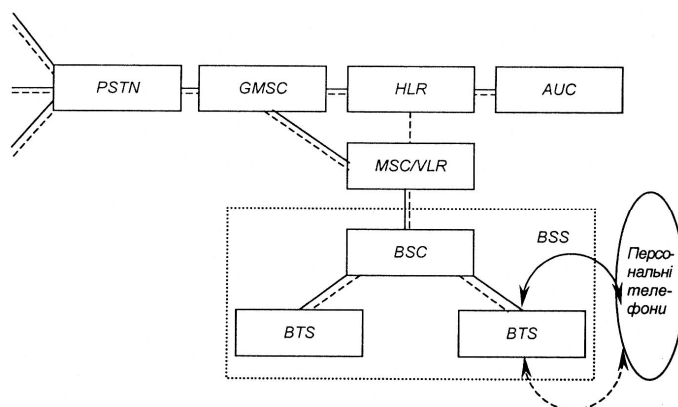


Рисунок 7.26 – Спрощена структура мережі GSM (суцільні лінії – мова та дані, штрихові – сигналізація)

Розглянемо коротко **функції вузлів мережі GSM** (рис. 7.26), які впливають на забезпечення роумінгу.

Шлюзовий центр комутації GMSC забезпечує якісну комутацію абонентів.

Регістр власних абонентів HLR є базою даних про абонентів компанії, яка містить такі відомості: номер мобільного абонента ISDN - унікальний міжнародний номер, за яким абонент ідентифікується в глобальній мережі **PSTN** – ТфМЗК (він складається з коду країни, національного коду і номера абонента); міжнародний мобільний номер абонента – унікальний міжнародний номер, який ідентифікує абонента в глобальній мережі GSM і містить інформацію про мобільний код країни, національний мобільний код і номер мобільного абонента; основні надавані сервіси – мова, факс, дані тощо; додаткові надавані сервіси – конференц-зв'язок, заборона викликів, переадресація тощо; адреса **VLR**, у зоні дії якої перебуває мобільний абонент, та ін. дані.

Центр аутентифікації AUC, не впливаючи на маршрутизацію, забезпечує у взаємодії з іншими вузлами функції аутентифікації і шифрування.

Центр комутації мобільного зв'язку MSC виконує функції, багато в чому подібні до функцій звичайного комутатора мережі PSTN, але з додатковими специфічними можливостями.

Регістр гостей абонентів VLR є базою даних про таких абонентів. Ці дані дублюють інформацію про певного абонента з його власного реєстра HLR, крім місцезнаходження.

Підсистема базових станцій BSS, до якої входять контролер базових станцій BSC та самі базові станції BTS, поєднує функції, що стосуються радіо-інтерфейсу, і дає змогу установити радіоконтакт з мобільним телефоном, проте не відіграє суттєвої ролі в маршрутизації викликів.

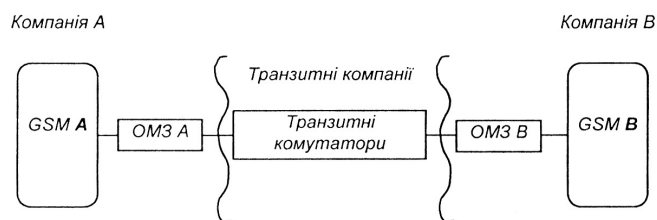


Рисунок 7.27 – Схема взаємодії між компаніями А і В при роумінгу

Стандартний процес роумінгу відбувається так (рис. 7.27). Компанії А і В укладають міжнародну роумінгову угоду, після чого звертаються із запитом до операторів міжнародного зв'язку (ОМЗ) своїх країн про установлення сигнального з'єднання між ними. Під сигнальним з'єднанням мається на увазі з'єднання між сигнальними точками компаній А і В через сигнальні точки відповідних ОМЗ мережі ЗКС-7. При цьому ОМЗ повинні підтримувати певні розширення ЗКС-7 (протокол SCCP). Отримавши підтвердження установлення з'єднання, компанії А і В налагоджують внутрішні параметри своїх мереж та виконують взаємне тестування роумінгу (абонент компанії А в мережі В, і навпаки) щодо якості надаваних послуг та з питань тарифікації. Після успішних тестів роумінг здається в експлуатацію.

Переадресація абонентів активізується вхідним викликом мобільного абонента за дотримання умови цього сервісу. Існують чотири види переадресації: коли абонент зайнятий; коли абонент не відповідає; коли немає зв'язку; безумовна переадресація.

Ці види переадресації поділяються на ранню і пізню. При ранній переадресації дзвінок може бути переадресований у власному центрі комутації, при пізній – лише в гостьовому центрі. Отже, рання переадресація є безумовною, а також такою, що здійснюється, коли немає зв'язку (телефон відключений у зоні покриття). До пізньої належить переадресація, коли абонент зайнятий, коли він не відповідає та коли немає зв'язку (телефон включений поза зоною покриття або в зоні покриття, проте зі знятим або незарядженим елементом живлення).

Якість зв'язку та деякі послуги (насамперед пізня переадресація) чутливі до якості з'єднувальних ліній на шляху виклику.

Сьогодні можна говорити про глобальну мережу GSM, яка охоплює десятки країн світу завдяки автоматичному роумінгу. Ця мережа розширюється унаслідок так званого SIM-роумінгу, коли основним джерелом інформації про абонента є SIM-картка, а не сам телефон. Стандарт GSM вважає термінальне устаткування лише засобом радіодоступу до мережі, а SIM-картку - джерелом даних. Подальший розвиток глобальної мережі буде пов'язаний з інтеграцією операторів незалежно від типу радіодоступу на основі загальної стандартизації SIM-інтерфейсу.

7.14 Система стільникового рухомого радіозв'язку CDMA

В останні роки завдяки переходу на цифрові види зв'язку, що, у свою чергу, базуються на стрімкому розвитку мікропроцесорів, у телекомунікаційних технологіях досягнуто значного прогресу. Один із яскравих прикладів цього - поява і швидке впровадження технології зв'язку з цифровими шумоподібними сигналами і застосуванням методів багатостанційного доступу з кодовим розподілом каналів, теорія якого була запропонована в Росії Л. Варакіним. Багато фахівців у сфері телекомунікацій вважають, що технологія стільникового зв'язку з кодовим розподілом каналів CDMA у найближчі роки нового століття затьмарить собою всі інші, витісняючи відомі аналогові, складаючи серйозну конкуренцію цифровим технологіям, зокрема GSM.

Основна властивість цифрового зв'язку із шумоподібними сигналами - захищеність каналу зв'язку від перехоплення (intercepting), перешкод (jamming) і підслуховування (covertness). Саме тому ця технологія була спочатку розроблена для збройних сил США, де й використовувалася, і лише зовсім недавно американська компанія Qualcomm на основі цієї технології створила стандарт IS-95 (cdmaOne) і передала його для комерційного використання.

Основні напрями впровадження і використання CDMA – це наземні фіксовані безпроводові телефонні мережі (стандарт cdmaOne WLL), стільникові мобільні системи радіозв'язку і супутникові системи зв'язку. Найбільшого ринкового успіху домоглися розроблювачі саме цих мереж. У стільникових мережах впровадження CDMA пов'язано з певними технічними труднощами. У разі швидкісного переміщення рухомого абонента (швидкість автомобіля понад 100 км/год) відбувається втрата сигналу через появу помилок у мережі внаслідок недостатньої швидкодії процесорів, що обробляють сигнал.

Обладнання для цього стандарту вже випускають шість компаній: Hughes Network Systems, Lucent, Motorola, Nortel, Qualcomm і Samsung. За даними консорціуму CDMA Development Group (CDG), вибір обладнання значно розшириться, оскільки робити його почнуть багато нових фірм.

На сьогодні метод багатостанційного доступу з кодовим розподілом каналів реалізований у кількох стандартах: стандарт CDMA запропонований і впроваджується компанією Qualcomm, стандарт В-CDMA – компанією Inter Digital, FH/CDMA – компанією Tadiran Telecommunications. Ці стандарти значно відрізняються один від одного, насамперед за способом управління в каналах і методом розширення спектра. Побудовані на їх основі системи

розрізняються між собою як функціональними можливостями, так і областю застосування. Розглянемо стандарт CDMA (cdmaOne) як найчастіше використовуваний.

7.15 Загальна характеристика і принципи функціонування системи стільникового зв'язку стандарту CDMA

Принцип роботи системи стільникового зв'язку з кодовим розподілом каналів можна пояснити на такому простому прикладі. Припустимо, що ви знаходитесь у великому ресторані чи магазині, де безупинно розмовляють різними мовами. Незважаючи на навколишній шум (багатоголосся), ви розумієте свого партнера, якщо він говорить однією з вами мовою. Насправді, на відміну від інших цифрових систем, що поділяють відведений діапазон на вузькі канали за частотною (FDMA) або часовою (TDMA) ознакою, у стандарті CDMA передану інформацію кодують і код перетворюють у шумоподібний ширококутний сигнал так, що його можна виділити знову, тільки маючи код на приймальній стороні. При цьому одночасно в широкій смузі частот можна передавати і приймати безліч сигналів, що не заважають один одному. Центральними поняттями методу багатостанційного доступу з кодовим розподілом каналів у реалізації компанії Qualcomm є "розширення спектра методом прямої послідовності" (Direct Sequence Spread Spectrum), "кодування за Уолшем" (Walsh Coding) і "управління потужністю".

Ширококутний називається передавальна система, що займає дуже широку смугу частот, яка значно переважає ту мінімальну ширину смуги частот, що фактично потрібна для передавання інформації.

Метод ширококутної передачі був відкритий ще Е. Шенноном, який першим увів поняття "пропускна здатність каналу" й установив зв'язок між можливістю здійснення безпомилкового передавання інформації по каналу із заданим співвідношенням сигнал-шум і смугою частот, відведеною для передавання інформації. Для будь-якого заданого співвідношення сигнал-шум мала частота помилок під час передавання досягається збільшенням смуги частот, що відводиться для передавання інформації.

Сутність ширококутного зв'язку полягає в розширенні смуги частот сигналу, передачі ширококутного сигналу і виділенні з нього корисного сигналу перетворенням спектра прийнятого ширококутного сигналу в первинний спектр інформаційного сигналу.

Розглянемо спрощену структурну схему, що пояснює принцип роботи системи стандарту CDMA (рис. 7.28). Інформаційний сигнал кодується за Уолшем, потім зміщується з несучою, спектр якої попередньо розширюється перемноженням із сигналом джерела псевдовипадкового шуму ПВШ. Кожному інформаційному сигналу призначається свій код Уолша, потім вони поєднуються в передавачі, пропускаються через фільтр, і загальний шумоподібний сигнал випромінюється передавальною антеною.

На вхід приймача надходять корисний сигнал, фоновий шум, завади від базових станцій сусідніх осередків і від рухомих станцій інших абонентів. Після ВЧ-фільтрації сигнал надходить на корелятор, де відбувається стиск

спектра і виділення корисного сигналу в цифровому фільтрі за допомогою заданого коду Уолша. Спектр завад розширюється, і спотворення з'являються на виході корелятора у вигляді шуму. На практиці в рухомій станції використовується кілька кореляторів для прийому сигналів з різним часом розповсюдження в радіотракті або сигналів, переданих різними базовими станціями.

У системах, заснованих на інших методах доступу, потрібно планувати розподіл частотного ресурсу між сусідніми стільниками, для того щоб запобігти взаємному впливу сигналів сусідніх стільників. У системах, що використовують метод CDMA, змінюючи синхронізацію джерела ПВШ, можна використовувати ту саму ділянку смуги частот для роботи в усіх стільниках мережі. Таке стовідсоткове використання доступного частотного ресурсу - один із основних факторів, що визначають високу абонентську ємність мережі стандарту CDMA і спрощують її організацію.

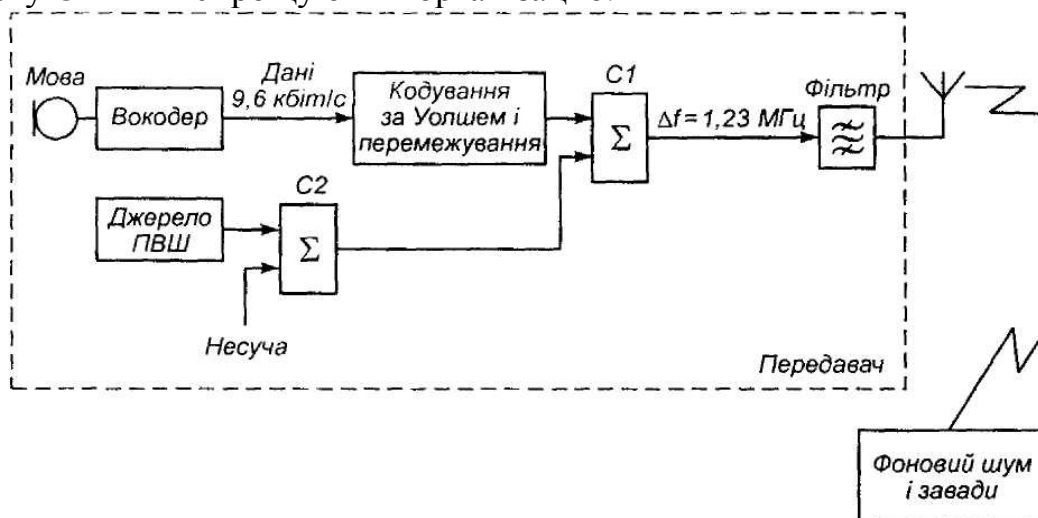


Рисунок 7.28 – Принцип роботи системи стільникового зв'язку стандарту CDMA

У системах, які використовують методи доступу з часовим або частотним розподілом каналів, абонентська ємність стільника жорстко обмежена і визначається кількістю доступних каналів зв'язку або часових інтервалів. На протилежність цьому системи на базі CDMA мають динамічну абонентську ємність. І хоч є 64 коди Уолша, ця теоретична межа не досягається в реальних умовах; абонентська ємність системи обмежується внутрішньосистемною інтерференцією, зумовленою одночасною роботою рухомих і базових станцій сусідніх стільників. Вплив один на одного основних показників системи (кількості абонентів, площі радіопокриття базової станції, якості мови в каналі) показано на рис. 7.29.

Ці показники взаємозалежні, і не можна одночасно досягти максимальних значень кожного з них. Доводиться шукати компроміс. Такий взаємозв'язок є достоїнством системи, оскільки дає можливість її гнучкого проектування. Наприклад, у густонаселених районах можна пожертвувати площею покриття, збільшивши кількість абонентів, а на окраїнах, знизивши їх кількість, збільшити площу зони обслуговування (якість мови в обох випадках можна зберегти однаковою).

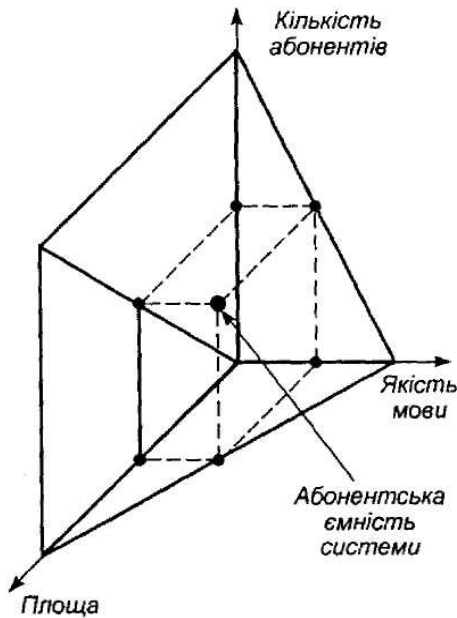
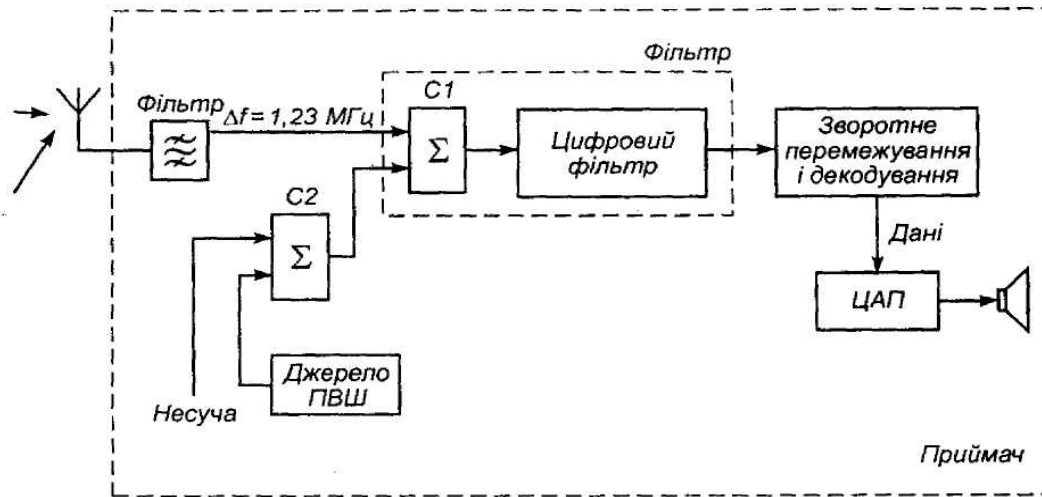


Рисунок 7.29 – Динамічна ємність системи стандарту CDMA

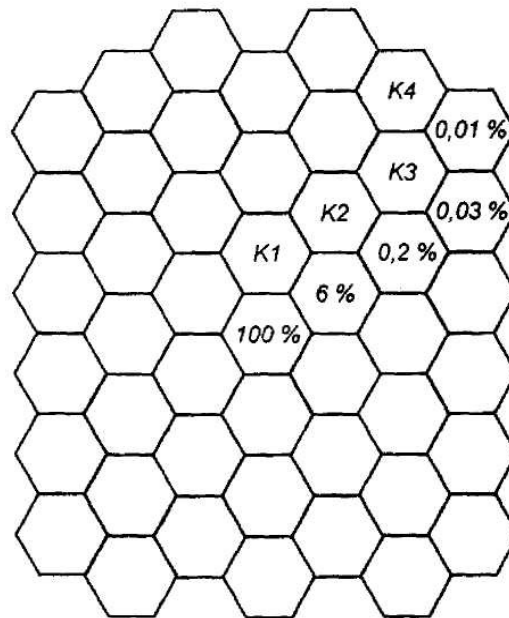


Рисунок 7.30 – Розподіл навантаження в мережі стандарту CDMA

У реальних системах рухомого стільникового зв'язку йдеться про 25 ... 35 абонентів на одну базову станцію або сектор. У системах фіксованого абонентського радіодоступу їх більше (близько 45 абонентів). Наочний розподіл навантаження на базову станцію залежно від кількості викликів і місця розташування станції в мережі зображено на рис. 7.30.

7.16 Стандарт CDMA в Україні

Через очевидні вигоди як для операторів мереж CDMA, так і для їх користувачів (табл. 7.2), ця технологія, підтримувана 30 операторами і 50 виробниками обладнання в усьому світі, все активніше завойовує ринки зарубіжних країн. За даними Групи розвитку CDMA у квітні 1997 р.

нараховувалося близько 2,5 млн. користувачів CDMA. За статистикою сьогодні цій технології належить близько 2 ... 3% світового ринку стільникового зв'язку, і ця частка постійно зростає.

Першість в освоєнні нової технології, як і раніше, належить Південній Кореї. Тут два найбільших оператори KMT і Shinsegi обслуговують уже близько 3 млн. абонентів; компанія Hutchison, оператор самої складної мережі в колишньому Гонконгу, а також два нових оператори планують розгортання нової мережі в Китаї, Індонезії (три оператори), Японії (два оператори), Сінгапурі, Таїланді, на Філіппінах (два оператори). У самій Південній Кореї незабаром з'являться ще чотири нових оператори; у Канаді розвертаються мережі двох національних операторів - YcTel і Bell Mobility. У США наданням послуг на всій території займаються компанії AirTouch, US West, Bell Atlantic, GTE, Ameritech, Sprint PCS, PnmeCo, Centennial Cellular Cof., NextWave, GWI PCS, Carolina PCS, Americall International, Meretel Communications, PoKa Lambo PCS. Випробування систем WLL на базі CDMA проходять у Бразилії, Індії, Російській Федерації (уже діє), КНР, Польщі; підвищений інтерес виявляють також Чилі, Перу, Венесуела, Болівія, Нігерія, Замбія, Домініканська Республіка, нарешті, в Україні стандарт IS-95 (CDMA) оголошений національним.

Таблиця 7.2 – Основні переваги технологій CDMA для користувачів і операторів зв'язку

Для користувача	Для оператора
Якість зв'язку	Немає потреби радіочастотного планування
Ефективність	Масштабування інфраструктури
Екологічна безпека	Висока ефективність використання діапазону частот
Конфіденційність	Вища ємність мережі (у 4 ... 7 разів порівняно з TDMA – мережами і до 20 разів – з FDMA – мережами
Надійність зв'язку	На 30 ... 40 % менше витрат на обладнання
Економічна вигода (залежить від оператора)	Невисока вартість підключення абонента
Непомітний перехід із стільника в стільник	Низький рівень шуму в радіомовному тракті завдяки використанню вокодерів зі змінною швидкістю

Розвиток технології в нашій країні пов'язаний з появою, крім чотирьох існуючих операторів, стільникових мереж СП "Телесистеми України" (ТСУ). Насправді п'ятою мала бути інша компанія - "Українські радіосистеми" (УРС)», що виграла разом з американською компанією Motorola, яка виступила в ролі інвестора, ліцензію на надання послуг стільникового зв'язку в стандарті GSM-900. Згодом Motorola відмовилася від інвестування, і партнером УРС стала південнокорейська компанія Daewoo (30.09.98 р. компанія УРС почала експлуатацію мережі стільникового зв'язку WellCOM). Але, як би там не було, у 1996 р. ТСУ за 8,5 млн. дол. була придбана ліцензія в Держкомзв'язку України на радіомовлення в діапазоні 12 МГц (частоти 824 ... 32,32 МГц і 869 ... 5,32 МГц) терміном на 15 років з правом продовження для обладнання стільникової мобільної мережі в стандарті IS-95 (CDMA).

За умови надання клієнтам усіх оголошених переваг своєї мережі ТСУ складає серйозну конкуренцію іншим провайдерам аналогічних послуг (УМС, Банком-зв'язок, Київстар GSM, DCC і UPC). Спочатку передбачається радіопокриття Києва й області (30-кілометрова зона), на наступному етапі - розгортання мережі в обласних центрах, а також покриття доріг між ними. Поява на українському ринку нового оператора з найсучаснішою технологією обіцяє абонентам стільникового зв'язку й нові можливості. Це не тільки висока якість зв'язку за доступними цінами і конфіденційність. У боротьбі за клієнтів діючі оператори будуть змушені знижувати ціни і підвищувати якість обслуговування – словом, іти на поступки користувачам, що в розвинених країнах прийнято називати *цивілізованою конкуренцією*.

ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

<i>Архітектура</i>	– характер будови мережі
<i>Байт</i> (англ. byte)	– одиниця кількості інформації, якою цифрова обчислювальна машина може оперувати як одним цілим. Байт дорівнює 8 бітам
<i>Біт</i> (від англ. binary – двійковий + digit – знак, цифра)	– одиниця кількості інформації у двійковій системі; відповідає інформації, яку одержують під час здійснення однієї з двох рівноймовірних подій
<i>Віртуальний</i> (від лат. virtualis – сильний, здібний)	– можливий; той, що може проявитися за певних умов
<i>Дисперсія</i> (від лат. dispersio – розсіювання)	– міра розсіювання випадкової величини навколо її середнього значення
<i>Додаток</i>	– спеціалізоване програмне забезпечення, орієнтоване на виконання будь-якої послуги
<i>Ентропія</i> (від грец. εν – в, всередині + τροπή)	– зміна, перетворення – в теорії інформації – міра невизначеності ситуації; у математиці - міра невизначеності випадкової функції
<i>Ієрархія</i>	– у широкому розумінні розташування частин або елементів цілого в порядку від вищого до нижчого
<i>Інтелектуальна мережа</i>	– мережа, що здатна надавати і формувати будь-які послуги на базі різноманітних транспортних мереж
<i>Інтерактивні служби</i>	– служби, які виконуються за запитом
<i>Інтерфейс</i> (від англ. interface – з'єднання)	– точка з'єднання двох елементів або загальна межа між двома взаємозв'язаними системами (чи рівнями однієї системи), яка забезпечує сумісність пристроїв незалежно від їх типу та виробника
<i>Канал</i>	– сукупність технічних засобів і середовища передавання, за допомогою яких інформація передається від джерела (передавача) до отримувача (приймача) або навпаки
<i>Кластер</i>	– група суміжних чарунок, в яких набори каналів не повторюються
<i>Комутаційний вузол мережі</i>	– сукупність технічних засобів, призначених для комутації каналів відповідно до отриманої адресної інформації з метою передавання повідомлень
<i>Контролер</i> (від англ. controller – регулятор, перемикач)	– погоджувальний пристрій, який управляє роботою пакета, каналу тощо та контролює її
<i>Контейнер</i>	– пристрій для зберігання (вміщення) інформації
<i>Мультиплекс</i>	– пристрій, який виконує функцію об'єднання
<i>Мультиплексування</i>	– процес об'єднання
<i>Октет</i> (від лат. okto - вісім)	– 8 бітів
<i>Операційні процеси в організаціях телекомунікацій</i>	– процеси надання послуг, організаційні процеси та соціальні процеси

<i>Організація телекомунікацій</i>	– сукупність людей і засобів, які функціонують відповідно до цілей діяльності
<i>Операційна функція</i>	– головна функція організації спрямована на підвищення її ефективності та раціональності
<i>Пакет</i>	– частина повідомлення, яка використовується на мережному рівні
<i>Підрівень</i>	– частина рівня
<i>Порт (уведення-виведення)</i>	– одна або більше адрес пам'яті, що використовуються для приймання і передавання інформації
<i>Провайдери Інтернету</i>	– організації, які надають користувачам послуги з доступу в Інтернет
<i>Протокол</i>	– набір правил і форматів (стандартів), які регламентують процедуру взаємодії однойменних рівнів двох різних рівноправних об'єктів на основі обміну інформацією і дають змогу спростити складний процес між об'єктами різних моделей і типів
<i>Процес</i>	– сукупність взаємозв'язаних та взаємодіючих видів діяльності, що перетворюють входи у виходи
<i>Процес діяльності організації</i>	– включає технологічні процеси, виробничі процеси, організаційні та соціальні процеси, процеси прийняття рішень
<i>Рівень</i>	– набір угод або протоколів, яких відправник і одержувач суворо дотримуються
<i>Роумінг (від англ. roaming - мандрування, блукання)</i>	– переведення користувача на обслуговування у разі переміщення його в зону функціонування іншої однотипної системи рухомого (мобільного) зв'язку
<i>Семирівнева модель</i>	– еталонна модель взаємодії відкритих систем (ВВС). <i>Сервер</i> (від англ. server – подавати) – пристрій, за допомогою якого абонент може отримати послуги будь-якої мережі
<i>Сервіс (від англ. service – служити, обслуговувати)</i>	– надання послуг
<i>Сесія (сеанс)</i>	– період взаємодії абонентів, який складається з трьох фаз: установлення з'єднання, передавання інформації та завершення з'єднання
<i>Сигналізація</i>	– процес повідомлення про всі керовані процеси, які відбуваються в мережі (нормальне функціонування, помилки або переривання)
<i>Синхронізація</i>	– приведення двох або кількох періодично змінюваних явищ до точної взаємної відповідності періодів їх перебігу
<i>Термінал</i>	– пристрій або робоче місце оператора, користувача мережею
<i>Транзакція</i>	– набір операцій, які виконуються одночасно як одна операція
<i>Трафік</i>	– навантаження (суцільність потоку даних) лінії зв'язку або каналу
<i>Чарунка (рос. ячейка)</i>	– мала робоча зона; частина інформації

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

АМТС	–	автоматична міжміська телефонна станція
АТ	–	абонентський термінал
АФАГ	–	антенні фазові ґрати
БДКР	–	багатостанційний доступ з кодовим розподілом
БДЧР	–	багатостанційний доступ з частотним розподілом
БДЧсР	–	багатостанційний доступ з часовим розподілом
БПА	–	багатопроменева антена
ВІМ	–	велика інтегральна мікросхема БРТК - бортовий ретрансляційний комплекс
ГМСЗБ	–	глобальна морська система зв'язку при нещасних випадках і для забезпечення безпеки
ГІДУ	–	головний центр управління
ЕОМ	–	електронна обчислювальна машина
КА	–	космічний апарат
МККР	–	Міжнародний консультативний комітет по радіо
МКРЧ	–	Міжнародний комітет з реєстрації частот
НВЧ	–	надвисока частота
ПК	–	персональний комп'ютер
ПСРР	–	професійні системи рухомого радіозв'язку
РТС	–	радіотелефонна система
СММР	–	стільникова мережа мобільного радіозв'язку
СНД	–	співдружність незалежних держав
СПРВ	–	системи персонального радіовиклику
СПСЗ	–	системи персонального супутникового зв'язку
ССРР	–	стільникова система рухомого радіо виклику
ТЛМ	–	інформація - телеметрична інформація
ТфМЗК	–	телефонна мережа загального користування
ТЦУ	–	територіальний центр управління
ФМ	–	фазова маніпуляція
ЦКСМ	–	центр комутації стільникової мережі
ЦУОМ	–	центр управління оператора наземної мережі зв'язку
ЦУПП	–	центр управління постачальників послуг

ЦУУС	– центр управління українським сегментом
ЧРК	– частотний розподіл каналів
ЧсРК	– часовий розподіл каналів
ШПС	– шумоподібний сигнал
ШСК	– широкосмуговий канал
ACELP (Algebraic Code Excited Linear Prediction)	– кодування з векторним зсувом і лінійним перетворенням
BTS (Basis Station)	– базова станція
CDMA (Code Division Multiple Access)	– доступ з кодовим розподілом
DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunication)	– цифровий поліпшений безпроводовий зв'язок
QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)	– квадратурна відносна фазова маніпуляція
ETSI (European Telecommunications Standards Institute)	– Європейський інститут стандартів зв'язку
FDMA	– частотний розподіл для суміжних стільників
GEO (Geostationary Earth Orbit)	– геостаціонарна супутникова мережа
GPS	– стандартна навігаційна апаратура системи ГЛОНАСС/НАВСТАР
GSM (Global System for Mobile Communications)	– глобальна система рухомого зв'язку
ISDN (Integrated Services Digital Network)	– цифрова мережа інтегрального обслуговування
H_a	– висота апогею
H_p	– висота перигею LEO (Low Earth Orbit) - низька орбіта
MEO (Mean Earth Orbit)	– середня супутникова орбіта

MS (Mobil Station)	– рухома станція
MSC	– автоматична телефонна станція системи стільникового зв'язку (центр комутації рухомого зв'язку)
PDN (Packet Data Network)	– цифрова мережа з пакетним передаванням даних
TDMA (Time Division Multiple Access)	– часовий розподіл каналів
TETRA (Trans European Trunked Radio)	– загальноєвропейський стандарт транкінгового зв'язку
VSAT (Very Small Aperture Terminal)	– технологія малих супутникових терміналів, що встановлюються прямо у користувачів, і без посереднього супутникового телевізійного мовлення

ЛІТЕРАТУРА

1. Горелкина С.Б., Молдованова О.А., Богатырёва Л.Д. Менеджмент предприятий связи: Учеб. пособ. – Одеса: ОНАС им. А.С. Попова, 2002. – 74 с. – Часть 1.
2. Горелкина С.Б., Молдованова О.А., Богатырёва Л.Д. Менеджмент предприятий связи: Учеб. пособ. – Одеса: ОНАС им. А.С. Попова, 2002. – 74 с. – Часть 2.
3. Гэлловэй Лес. Операционный менеджмент. – С.Пб: Питер, 2001. – 320 с. – (Серия «Теория и практика менеджмента»).
4. Зайченко О.Г., Захаренко С.Є. Головні положення Концепції розвитку зв'язку до 2010 року // Зв'язок.-2000.-№1.-С.4-7.
5. Закон України “Про телекомунікації”, 18 листопаду 2003 року, № 1280-IV.
6. Кравченко В. Ф., Кравченко Е. Ф., Забелин П. В. Организационный инжиниринг. – М.: Изд-во «ПРИОР», 1999. – С. 32.
7. Менеджмент предприятий электросвязи: Учебник для вузов / Е.В. Демина и др. – М.: Радио и связь, 1997. – 464 с.
8. Менеджмент в телекоммуникациях / Под ред. Н. П. Резниковой, Е.В. Деминой. – М.: Эко-Трендз, 2005. – 392 с.: ил.
9. Никитюк Л.А. Архитектура информационных сетей: Учеб. пособ. / Под ред. Н.В. Захарченко. – Одесса: УГАС им. А.С. Попова, 2000. – 62 с.
10. Никитюк Л.А. Телекоммуникационные технологии цифровых сетей: Учеб. пособ.; под ред. Н.В. Захарченко. – Одесса: УГАС им. А.С. Попова, 2000. – 64 с.
11. Петров В.І, Дяченко І.А. Загальнодоступні телекомунікаційні послуги: концептуальні положення // Зв'язок. – 2004. - № 8.
12. Системы электрозв'язку: Підруч. для вузів і фак. зв'язку: У 2-х т. / За ред. М.В. Захарченка. – К.: Техніка, 1998. – Рос. Т.2: Системы радіо-, телевізійного мовлення та документального электрозв'язку / М.В. Захарченко, В.К. Стеклов, С.М. Склярєнко та ін. – 240 с.
13. Современные телекоммуникации. Технологии и экономика: / под ред С.А. Довгого. ЭКО-Трендз, – М.: 2003
14. Стеклов В.К., Кільчицький Є.В. Основи управління мережами та послугами телекомунікацій: Підруч. [для студ. вищ. навч. закл за напрямом “Телекомунікації”]; За ред. Стеклова В.К. – К.: Техніка 2002. – 438 с.
15. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Нові інформаційні технології: Транспортні мережі телекомунікацій. – К.: Техніка, 2004. – 488 с.
16. Заборська Н.К., Жуковська Л.Е. План практичних занять з курсу “Організація виробничих процесів в галузі зв'язку: радіозв'язок та телерадіомовлення”: Метод. посіб. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. – 36 с.
17. Бескровна Л.О., Заборська Н.К., Стрельчук Є.М. Ефективність розвитку ОРТПЦ: Метод. посіб. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2003. – 48 с.
18. Колосков А.С., Добронравов А.С., Стрельчук Е.Н. Организация и планирование радиосвязи и вещания: Учебник [для вузов связи]. – М.: Радио и связь, 1985. – 184 с.

Навчальний посібник

**ОРГАНІЗАЦІЯ ОПЕРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ
У ГАЛУЗІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ**

**Модуль 1. Організація операційних процесів у галузі радіозв'язку,
радіомовлення та телебачення**

Частина 2

**Світлана Борисівна ГОРЕЛКІНА,
Наталія Костянтинівна ЗАБОРСЬКА,
Євгеній Миколайович СТРЕЛЬЧУК**

Редактор

Л. А. Кодрул

Комп'ютерне верстання

Є. С. Корнійчук