

## **Лабораторна робота № 1**

### **Загальні принципи організації систем рухомого зв'язку**

#### **1. Мета роботи**

Вивчення загальних принципів побудови та організації систем рухомого радіозв'язку.

#### **2. Завдання**

1. Ознайомитись із загальними принципами побудови систем рухомого радіозв'язку.
2. Вивчити основні стандарти стільникових систем зв'язку.
3. Вивчити принцип повторного використання виділеного ресурсу частот.
4. Скласти звіт.

#### **3. Теоретичні відомості**

У різних джерелах використовують різну назву систем мобільного зв'язку, в даному випадку будемо використовувати дві назви: стільникові системи мобільного зв'язку (ССМЗ) і стільникові сухопутні рухомі системи електрозв'язку (ССРСЕ).

Розвиток в 70-х роках стільникових систем мобільного зв'язку та їх впровадження вирішили проблему економії спектра радіочастот шляхом багаторазового використання виділеного частотного ресурсу при просторовому рознесенні прийомопередавачів із співпадаючими робочими частотами. Відомо дев'ять основних стандартів аналогових ССМЗ. Однак, вони вже не задовольняють сучасний рівень розвитку інформаційних технологій через численні недоліки, основні з яких: низька якість зв'язку; відсутність засекречування повідомлень, що передаються, і взаємодія з цифровими мережами з інтеграцією служб (ISDN) та пакетної передачі даних (PDN). Через обмежені можливості стандартів NMT-450 та NMT-900 у світі спостерігається зниження росту кількості їх користувачів.

У 80-х роках в Європі, Північній Америці та Японії розпочали інтенсивне вивчення принципів побудови перспективних цифрових ССМЗ і сьогодні вже розроблено три стандарти таких систем з макростільниковою топологією мереж і радіусом стільників до 35 км: загальноєвропейський стандарт GSM, прийнятий Європейським інститутом стандартів в галузі зв'язку (ETSI); американський стандарт ADC (D-AMPS), розроблений Промисловою асоціацією в галузі зв'язку (TIA); японський стандарт JDC, прийнятий Міністерством пошт і зв'язку Японії.

Загальноєвропейський стандарт GSM – перший у світі стандарт на цифрові ССМЗ, який передбачає їх створення в діапазоні 900 МГц і є основою стандарту ССМЗ DCS 1800 з мікростільниковою структурою, прийнятого в даний час в Європі. Зазначені стандарти на цифрові ССМЗ побудовані на єдиних принципах

пах і концепціях та відповідають вимогам сучасних інформаційних технологій (табл. 1.1). Розроблені в GSM системні і технічні рішення можуть використовуватися для всіх перспективних цифрових ССМЗ. До таких рішень належать: побудова мереж GSM на принципах інтелектуальних мереж; поширення моделі відкритих систем на ССМЗ тощо.

Таблиця 1.1

№ п/п	Характеристики стандарту	GSM DCS18000, PCS1900	ADC	JDC
1	Метод доступу	TDMA	TDMA	TDMA
2	Рознесення частот	200 кГц	30 кГц	25 кГц
3	Кількість мовних каналів на несучу	8(16)	3	3(6)
4	Швидкість перетворення мови	13 кбіт/с (6,5 кбіт/с)	8 кбіт/с	11,2 кбіт/с (5,6 кбіт/с)
5	Алгоритм перетворення мови	RPE-LTP	VSELP	VSELP
6	Загальна швидкість передачі	270 кбіт/с	48 кбіт/с	42 кбіт/с
7	Метод рознесення	Перемеження, стрибки по частоті	Перемеження	Перемеження
8	Еквівалентна смуга частот на мовний канал	25 кГц (12,5 кГц)	10 кГц	8,3 кГц (4, 15 кГц)
9	Вид модуляції	0,3 GMSK	$\pi/4$ DQPSK	$\pi/4$ DQPSK
10	Потрібне відношення несуча/інтерференція (C/I)	9 дБ	16 дБ	13 дБ
11	Робочий діапазон частот	93 5-960 МГц	824-840 МГц	8 10-826 МГц
		890-9 15 МГц	869-894 МГц	940-956 МГц
				1429-1441 МГц
				1447- 1489 МГц
				1453-1465 МГц
				1501-1513 МГц
12	Радіус стільника	0,5-35 км	0,5-20 км	0,5-20 км

Американський стандарт ADC (D-AMPS) розроблявся для відмінних від Європи умов; діапазон частот 800 МГц і робота в спільній з існуючою аналоговою ССМЗ AMPS смузі частот. Тому, для цифрової ССМЗ потрібно було зберегти частотне рознесення каналів 30 кГц, що використовувалися в AMPS, і забезпечити одночасну роботу абонентських радіостанцій в аналоговому і в цифровому режимах. Застосування спеціально розробленого мовного кодека (VSELP), і цифрової диференціальної квадратурної фазової маніпуляції із зсу-

вом  $\pi/4$  дозволило в режимі TDMA організувати три мовних канали на одну несучу з рознесенням каналних частот 30 кГц (табл. 1.1).

Японський стандарт JDC багато в чому збігається з американським. Основні відмінності полягають у використанні іншого частотного діапазону, дуплексного рознесення смуг частот прийому і передачі 55 МГц при рознесенні каналів 25 кГц. Стандарт JDC адаптований до діапазону 1500 МГц (табл. 1.1).

Всі стандарти цифрових ССРЗ забезпечують взаємодію з ISDN і PDN.

### Загальні принципи побудови ССРСЕ

Головні елементи ССРСЕ – це центр комутації рухомої служби (ЦКРС), а також базова станція (БС) і абонентська станція (АС). Всі БС з'єднані зі своїм ЦКРС стаціонарними лініями зв'язку (кабельні, радіорелейні та ін.), а всі ЦКРС - мережі – стаціонарними лініями з транзитними комутаторами ТФЗК та обмінюються інформацією по загальному каналу сигналізації ЗКС 7.

ССРСЕ будують на основі *частотно-територіальних планів* (ЧТП). При складанні ЧТП, обслуговуючу територію розділяють між БС. Якщо на БС використовується всенаправлена антена, то межа території, яку обслуговує одна БС, – коло, в центрі якого розташовується БС (рис. 1.1, а). Кордони трьох сусідніх кіл перетинаються в одній точці. Поєднавши точки перетину кіл, уточнимо межі території, яку обслуговує кожна БС. Виходить шестикутник - стільник. Отже, *стільник* – це територія, що обслуговується однією БС при всеспрямованих антенах. Кожна БС підтримує радіозв'язок з АС, що знаходяться у своєму стільнику. Щоб уникнути взаємних перешкод сусідні БС працюють на різних частотах. Кожному стільнику присвоюється частотна група і для всієї ССРСЕ складається ЧТП. Основою ЧТП є кластер. Кластер утворений сукупністю сусідніх стільників, в яких використовуються різні частотні групи. Частотні групи всередині кластера не повторюються. Число таких стільників в кластері називається його розмірністю. Всі частотні канали системи ділять між БС, що входять в один кластер.

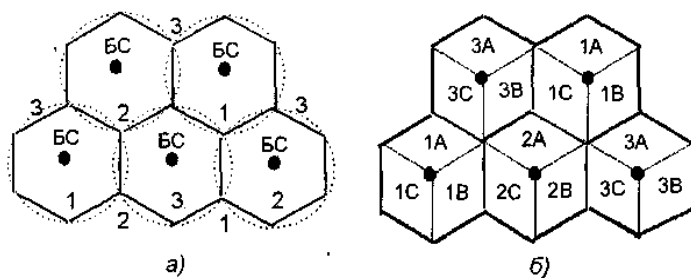


Рис. 1.1. Стільникові структури: а - регулярна; б – секторна

Стільникова структура може бути двох типів:

- регулярна, що використовує всеспрямовані антени (рис. 1.1, а);
- секторна, на основі направлених антен (рис. 1.1, б).

Як направлені антени на БС використовуються секторні антени. Набули поширення секторні антени з шириною головного пелюстка ДНА ( $\alpha$ ), що дорівнює 60, 90 або 120°. На рис. 1.1, б зображені стільники з секторними антенами при  $\alpha=120^\circ$ . У цьому випадку стільник ділиться на три сектори А, В, С. У кож-

ному секторі встановлюється своя БС, причому в центрі стільника кожна БС працює на своїй частоті. Частотні групи позначені 1А, 1В,...

### **Особливості побудови цифрових ССМЗ з макростільниковою структурою**

Принципи побудови цифрових ССМЗ дозволили застосувати при організації стільникових мереж нові, більш ефективні моделі повторного використання частот. У результаті, без збільшення загальної смуги частот системи зв'язку значно зросла кількість каналів на стільник. Вид модуляції, способи кодування і формування сигналів у каналах зв'язку, прийняті в GSM, забезпечують прийом сигналів з відношенням сигнал/перешкода  $C/I=9$  дБ (в аналогових системах 17-18 дБ). Тому передавачі БС (BTS), що працюють на співпадаючих частотах, можуть розміщуватися в близько розташованих стільниках без втрати високої якості прийому повідомлень. Першими моделями повторного використання частот, які застосовувалися в аналогових ССМЗ, були моделі з круговими діаграмами спрямованості (ДС) антен базових станцій. У мережах цифрових ССМЗ для стільників з круговою ДС антен застосовують модель повторного використання частот, що включає 7 або 9 стільників (рис. 1.2). Модель з круговою ДС антен припускає передачу сигналу БС однакової потужності по всіх напрямках, що для АС еквівалентно прийому перешкод з усіх напрямків.

Ефективним способом зниження рівня канальних перешкод, тобто перешкод по співпадаючих частотних каналах, може бути використання секторних антен. У секторі спрямованої антени сигнал випромінюється в один бік, а рівень випромінювання в протилежному напрямку скорочується до мінімуму. Секторизація стільників дозволяє повторно застосовувати частоти в стільниках при одночасному зниженні рівня перешкод. Відома модель повторного використання частот в секторизованих стільниках включає три стільники і три БС. Найвищу ефективність використання смуги частот, тобто найбільшу кількість абонентів мережі у виділеній смузі частот, забезпечує розроблена фірмою Motorola модель повторного використання частот, що містить дві БС. Як впливає зі схеми, зображеної на рис. 1.3, кожна частота використовується двічі в межах моделі, що складається з чотирьох БС. Завдяки цьому кожна з 4-х БС в межах дії шести 60-градусних антен може працювати на 12-ти групах частот.

У будь-якій ССМЗ ємність мереж залежить від кількості каналів зв'язку в стільнику  $N$ , що, наприклад, для стандартів з тимчасовим розділенням каналів визначається виразом:

$$N = \frac{1}{k} \times \frac{F}{f} \quad (1.1)$$

де  $F$  – смуга частот ССМЗ;  $f = \frac{F_k}{n}$  еквівалентна смуга частот, що припадає на один мовний канал;  $F_k$  – смуга частот одного радіоканалу;  $n$  – число тимчасових позицій в TDMA кадрі;  $\frac{F}{f}$  – число мовних каналів зв'язку;  $k$  – коефіцієнт повторного використання частот.

У таблиці 1.2 наведено значення кількості каналів  $N$  на стільник для ССМЗ різних стандартів при різних коефіцієнтах повторного використання частот. Як

впливає з цієї таблиці, при однаковій смузі частот ССМЗ найбільше число каналів на стільник і найбільша ємність мереж може бути реалізована в стандартах GSM і JDC в напівшвидкісному каналі зв'язку.

Таблиця 1.2

Характеристики ССМЗ	Аналогові ССМЗ		Цифрові ССМЗ			
			GSM		ADC	JDC
	NMT-450	AMPS	повношвидкісний канал	напівшвидкісний канал		
Загальна смуга частот $F$ , МГц	4,5	25	25	25	25	25
Еквівалентна смуга частот на один канал зв'язку $f$ , кГц	25	30	25	12,5	10	8,3
Число мовних каналів зв'язку $F/f$	180	833	1000	2000	2500	3000
Коефіцієнт повторного використання частот $k$	7 (3)	7	3 (2)	3 (2)	7	4
Число каналів на стільник $N$	26 (60)	119	333 (500)	666 (1000)	357	750

Структура стільників і схеми повторного використання частот розроблялися за умови, що місце розташування рухомого абонента заздалегідь невідоме та непередбачуване. В даний час розвивається новий напрямок в рухомому зв'язку, заснований на використанні інтелектуальних антенних систем, що автоматично перебудовують свої ДС на джерело випромінювання сигналу.

Інтелектуальні антенні системи розробляються і застосовуються вже багато років, однак їх реалізація до останнього часу в комерційних системах була не вигідна до появи дешевих сигнальних процесорів, зручних для реалізації алгоритмів управління діаграмою спрямованості антен, розроблених відповідно до цифрових стільникових систем зв'язку зі своєю структурою логічних каналів керування. В даний час розвиваються два способи побудови інтелектуальних антенних систем, основаних на комутуванні променів і адаптації ДС. Обидва способи основані на збільшенні коефіцієнта підсилення антени в напрямі на АС, причому тільки адаптивні антени забезпечують максимальний коефіцієнт підсилення і мінімальний рівень каналних перешкод. Інтелектуальна антенна система складається з декількох антен, об'єднаних електронною схемою з фазовими і амплітудними аналізаторами. У результаті аналізу прийнятих сигналів, що надходять на різні елементи антени, обчислюється напрямок оптимального прийому. Сигнальний процесор в реальному масштабі часу формує сумарну ДС антен на джерело випромінювання з урахуванням частоти приймального сигнала.

лу і деяких інших параметрів. Практична реалізація інтелектуальних антенних систем є досить перспективною для стільникового зв'язку незалежно від стандарту GSM, DECT тощо.

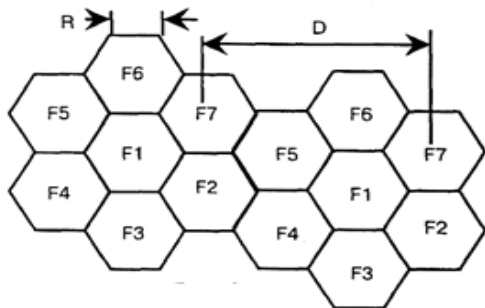


Рис.1.2. Модель повторного використання частот для семи стільників

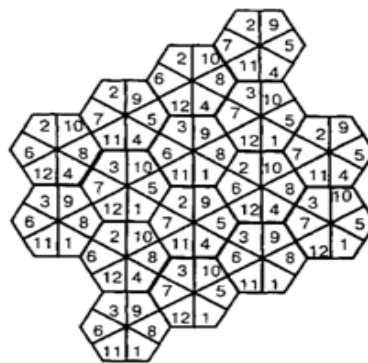


Рис.1.3. Модель повторного використання частот, що включає дві БС

При включенні АС виконується визначення її місця розташування і виділення для неї робочих частот. При перетині станцією кордону стільника мережа передає абонента іншій БС, при цьому на АС здійснюється автоматична зміна робочих частот. Ведення абонента містить кілька функцій. Одна з них – естафетна передача АС від однієї БС до іншої при русі абонента з включеною АС. Інша функція – перемикання частотних каналів всередині одного стільника, наприклад, при ураженні сигналу робочого каналу перешкодою. При перевантаженні стільники ЦКРС можуть передавати АС іншій БС, що має вільні частотні канали. Процедура «ведення абонента» часто називається процедурою естафетної передачі (ПЕП). Її називають також хенд-вер або хенд-офф. Рішення про виконання ПЕП зазвичай приймає ЦКРС на підставі результатів вимірювань, зроблених на АС і БС. На станціях вимірюються рівні прийнятих сигналів, відношення сигнал/шум у каналі та інші параметри. Ці результати передаються на ЦКРС по каналах керування. Виміряні параметри використовуються також для регулювання потужності АС. Якщо АС перебуває поза областю обслуговування свого ЦКРС, то при її включенні виконується процедура роумінгу. Ця процедура передбачає визначення місця розташування АС поза «власною» зоною обслуговування та надання абонентській станції каналів зв'язку при переміщенні абонентів в межах мережі. Роумінг можливий між ЦКРС мережі і між країнами. Роумінг буває автоматичний та замовний.

### Канали трафіку і управління

У ССРСЕ передбачено дві основні категорії каналів:

- канали трафіку, призначені для передачі мови та даних (ТСН);
- канали управління, які використовуються для сигналізації і управління, включаючи ведення абонента (ССН).

Наявність каналів для ведення абонента відрізняє ССРСЕ від нерухомих систем радіозв'язку з стільниковою структурою, наприклад, від цифрових радіорелейних ліній зі структурою «точка – багато точок».

Наступний крок розвитку ССМЗ після введення цифрової технології – перехід до мікростільникової структури мереж. При радіусі стільників кілька сотень метрів їх ємність може бути збільшена в 5-10 разів у порівнянні з макростільниками. Мікростільникова структура ССМЗ органічно поєднується з макростільниками. Мікростільники будуються на основі БС невеликої потужності, що обслуговують ділянки вулиць, приміщення у будівлях. Мікростільникова структура може розглядатися, як розвиток обладнання макростільникової БС з управлінням, єдиним контролером і з взаємним з'єднанням за допомогою ліній зі швидкістю передачі 64 кбіт/с.

Принципи побудови створюваних мікростільникових мереж рухомого зв'язку відрізняються від існуючих для макростільникових мереж. До таких відмінностей належать відсутність частотного планування і «естафетна передача». Перша відмінність пов'язана з тим, що в умовах мікростільників важко спрогнозувати умови поширення радіохвиль і дати оцінку рівня співканальних перешкод. У цьому випадку неможливо застосовувати принципи частотного планування в мікростільниках. А фіксований розподіл каналів призводить до низької ефективності використання спектра частот. За даними причинами в мікростільникових мережах зв'язку діє процедура автоматичного адаптивного розподілу каналів зв'язку, реалізована, наприклад, в європейському стандарті DECT на цифрові системи бездротових телефонів загального користування. Щодо другої відмінності, то в мікростільникових мережах в процесі звичайного телефонного з'єднання кількість перемикачів між БС зростає, і для забезпечення безперервності зв'язку необхідні нові швидкодіючі алгоритми перемикачів. В існуючих цифрових ССМЗ застосовують алгоритми примусового перемикачів, що належать до класу розподілених алгоритмів, які працюють швидше, ніж централізовані алгоритми аналогових ССМЗ. У мікростільниковій структурі немає необхідності навантажувати мережу вимірюванням рівня радіосигналу для прийняття рішення про переключення. Функції вимірювання передані мобільній станції, яка передає його результати на БС. У процесі перемикачів не потрібно синхронізувати БС. Центр комутації рухомого зв'язку не задіюється доти, доки не буде виконане фактичне перемикачів.

Мікростільникова структура використовується при реалізації мереж в рамках концепції персонального зв'язку, які в Європі створюються на основі стандарту DCS-1800, що передбачає відповідність радіоінтерфейсу стандарту GSM. В рамках реалізації концепції персонального зв'язку в структуру мереж вводяться пікостільники з радіусом 10-60 м, призначені для обслуговування абонентів в міських районах з великою щільністю населення і в закритих зонах.

*Центр комутації* – це автоматична телефонна станція ССС, що забезпечує всі функції управління мережею. ЦК здійснює постійне стеження за мобільною станцією (МС), організовує їх естафетну передачу, в процесі якої

досягається безперервність зв'язку при переміщенні МС із стільника в стільник і перемикання робочих каналів в стільнику при появі перешкод або несправностей. На ЦК замикаються потоки інформації з усіх БС, і через нього здійснюється вихід на інші мережі зв'язку – стаціонарну телефонну мережу, мережі міжміського зв'язку, супутникового зв'язку, інші стільникові мережі. До складу ЦК входить декілька процесорів (контролерів). Комутатор підключається до ліній зв'язку через відповідні контролери зв'язку, що здійснюють проміжну обробку потоків інформації. Управління роботою ЦК і системи в цілому проводиться від центрального контролера. Робота ЦК передбачає участь операторів, тому до складу центру входять відповідні термінали, а також засоби відображення і реєстрації інформації.

У кожному стандарті стільникового зв'язку використовується декілька інтерфейсів, в загальному випадку різних в різних стандартах. Передбачені свої інтерфейси для зв'язку МС з БС, БС – з ЦК, ЦК з домашнім регістром, з гостьовим регістром, з регістром апаратури, зі стаціонарною телефонною мережею та інші. Всі інтерфейси підлягають стандартизації для забезпечення сумісності апаратури різних фірм-виробників, що не виключає можливості використання різних інтерфейсів, які визначаються різними стандартами, для одного і того ж інформаційного стику. Інтерфейс обміну між МС і БС носить назву ефірного інтерфейсу або радіоінтерфейсу і для двох основних стандартів цифрового стільникового зв'язку (D-AMPS і GSM) позначається однаково – Dm, хоча організований по-різному.

### **5. Контрольні запитання**

1. Дайте характеристику поняттю частотно-територіальний план.
2. Що називається кластером?
3. Як впливає коефіцієнт повторного використання частот на ємність мережі?
4. Поясніть поняття інтелектуальна антенна система.
5. У чому відмінність мікростільникових мереж рухомого зв'язку від макростільникових мереж?
6. Поясніть процедуру «ведення абонента», «роумінг».
7. Призначення каналів трафіку та управління.
8. Поясніть призначення центру комутації.
9. Призначення інтерфейсів в мережах стільникового зв'язку.

### **6. Зміст звіту**

1. Призначення та мета роботи.
2. Навести характеристики основних стандартів.
3. Контрольні запитання та відповіді на них.
4. Висновок.