

Лекція 6

Основні режими роботи системи стільникового зв'язку

6.1. Ініціалізація і встановлення зв'язку

ЦК і базові станції за рахунок резервування працюють цілодобово і безперервно, а рухомі станції працюють з перервами і відключеннями. У найпростішому випадку, коли РС працює в межах однієї комірки своєї (домашньої) системи передача обслуговування відсутня, в роботі РС можна виділити чотири етапи, якими відповідають чотири режими роботи:

- 1) включення РС і ініціалізація;
- 2) режим очікування;
- 3) режим встановлення зв'язку (виклику);
- 4) режим ведення зв'язку (телефонної розмови).

Розглянемо докладніше ці етапи.

1. Включення РС і ініціалізація. Після включення РС (замикання ланцюга живлення) проводиться **ініціалізація**, тобто початковий запуск РС, протягом якого відбувається настройка РС на роботу у складі системи за сигналами, які регулярно передаються базовими станціями по відповідних каналах управління, після чого РС переходить в режим очікування.

Конкретний зміст етапу ініціалізації залежить від використовуваного стандарту стільникового зв'язку. Так, в стандарті D-AMPS версії IS-54 РС починає сканувати виділені канали управління і вибирати з них канал з найсильнішим сигналом; потім за передаваною в цьому каналі інформацією РС визначає номери каналів виклику, знаходить серед них канал з найсильнішим сигналом, настраюється на його частоту і залишається в режимі очікування.

У версії IS-136 алгоритм настройки РС на цифровий канал управління більш складений і гнучкий – з метою найшвидшої настройки максимально використовується інформація про положення каналу управління, а саме: де він знаходився в минулому сеансі роботи, показник положення каналу управління, якщо він є, тощо.

В стандарті GSM РС сканує всі наявні частотні канали, настраюється на канал з найсильнішим сигналом і за наявності пачки корекції частоти визначає, чи передається в цьому частотному каналі інформація каналу **ВССН**. Якщо ні, то РС перебудовується на наступний по рівню сигналу частотний канал, і так продовжується доти, поки не буде знайдений канал ВССН. Потім РС знаходить пачку синхронізації, синхронізується з вибраним частотним каналом, розшифровує додаткову інформацію про БС і ухвалює остаточне рішення про продовження пошуку або про роботу в даній комірці.

2. Режим очікування. Перебуваючи в режимі очікування, РС відстежує:

- змінювання інформації системи, яке може бути пов'язане як із змінюванням її режиму роботи, так і з переміщеннями самої РС, наприклад, з переходом її в іншу комірку;
- команди системи, наприклад, команду підтвердити свою працездатність (реєстрація в конкретній комірці);
- отримання виклику з боку системи;
- ініціалізацію виклику з боку власного абонента.

Дві останні ситуації – отримання або ініціалізацію виклику – будуть далі розглянуті докладніше.

Крім того, РС може періодично (раз на 10... 15 хв) підтверджувати свою працездатність, передаючи відповідні сигнали на БС (підтвердження реєстрації або уточнення місцеположення). В ЦК для кожної з рухомих станцій фіксується комірка, в якій вона зареєстрована, що значно полегшує організацію процедури виклику РС. Якщо РС не підтверджує свою працездатність протягом певного проміжку часу (пропускає 2 або 3 підтвердження реєстрації підряд) ЦК вважає її вимкненою, і на її номер виклик не передається.

В стандарті GSM РС вимірює і періодично передає на БС такі параметри:

- рівень сигналу БС робочої (своєї) комірки і до 16 суміжних комірок, який вимірюється за сигналом мовного каналу управління;
- код якості сигналу, що приймається, в робочій комірці – функцію оцінки частоти бітової помилки по прийнятому сигналу перед канальним декодуванням.

В стандарті D-AMPS вимірювання рівня сигналу і частоти бітової помилки виконуються за командою з БС для забезпечення процедури передачі обслуговування.

3. Режим встановлення зв'язку (виклику). Якщо з боку системи поступає виклик номера РС, ЦК направляє цей виклик на комірку тієї БС, в якій зареєстрована РС, або на декілька БС в околиці цієї комірки – з урахуванням можливого переміщення РС за час, що пройшов з моменту останньої реєстрації, а БС передають цей виклик по відповідних каналах виклику. РС, що перебуває в режимі очікування, отримує виклик і відповідає на нього через свою БС, передаючи одночасно дані, необхідні для проведення процедури аутентифікації. При позитивному результаті аутентифікації призначається канал трафіку, і РС повідомляється номер відповідного частотного каналу. РС настроюється на виділений канал і спільно з БС здійснює підготовку сеансу зв'язку. На цьому етапі РС настроюється на заданий номер слота в кадрі, уточнює затримку в часі, підстроює рівень випромінюваної потужності тощо.

В стандарті D-AMPS при виборі часової затримки робота здійснюється укороченими пачками. Початкове значення затримки складає 88 біт; воно може зменшуватися на величину до 30 біт з кроком 1 біт (20,55 мкс).

В стандарті GSM при виборі затримки використовуються пачки доступу. Затримка регулюється в межах від 0 до 63 біт з дискретом 1 біт (3,69 мкс). Надалі БС відстежує змінювання відстані до РС і регулює величину затримки відповідними командами на РС. В цьому стандарті проводяться також прив'язка РС до БС за частотою з використанням пачки корекції частоти і часова синхронізація РС з БС з точністю до 1/4 біта.

4. Режим ведення зв'язку (телефонної розмови). На цьому етапі БС повідомляє про подачу сигналу виклику (дзвінка), яка підтверджується РС, і РС, яка викликає іншого абонента, отримує сигнал виклику, відповідає на виклик натиском на відповідну кнопку на панелі управління мобільного телефону. Коли РС видає запит на завершення з'єднання, то після цього починається сеанс зв'язку – абоненти ведуть розмову.

В процесі розмови РС проводить обробку мовних сигналів, які передаються і приймаються, а також сигналів управління, які передаються одночасно з мовою. Після закінчення розмови відбувається обмін службовими повідомленнями між РС і БС (запит або команда на відключення з підтвердженням), після чого передавач РС вимикається і станція переходить в режим очікування.

Якщо виклик ініціюється з боку РС, тобто абонент набирає номер абонента, що викликається, переконується в правильності набору по відображенню на дисплеї і

натискує відповідну кнопку ("виклик") на панелі управління, то РС передає через свою БС повідомлення з вказівкою номера, що викликається, і даними для аутентифікації РС абонента. Після аутентифікації БС призначає канал трафіку, і виконуються ті ж подальші кроки щодо підготовки сеансу зв'язку, як і під час вступу виклику з боку системи.

Потім БС повідомляє ЦК про готовність РС, ЦК передає виклик в мережу, а абонент РС дістає можливість стежити за ходом виконання цієї команди (чує сигнали – виклик або зайнято). З'єднання завершується на боці мережі.

Описана процедура схематично ілюструється **рис. 6.1**, де цифри позначають таку послідовність дій:

1 – РС через канал випадкового доступу запрошує виділений закріплений канал управління для встановлення зв'язку.

2 – Контроллер БС через канал дозволу доступу призначає виділений закріплений канал управління.

3 – РС через призначений виділений закріплений канал управління проводить аутентифікацію і видає запит на виклик (з номером абонента, що викликається).

4 – ЦК видає команду на призначення каналу трафіку.

5 – ЦК видає номер, що викликається, на стаціонарну телефонну мережу, і після відповіді абонента, що викликається, завершує з'єднання.

Процес розмови і завершення сеансу зв'язку не відрізняються від попереднього випадку.

Якщо рухомий абонент розмовляє з іншим рухомим абонентом, то процедура встановлення зв'язку і проведення сеансу зв'язку залишаються практично такими ж самими.

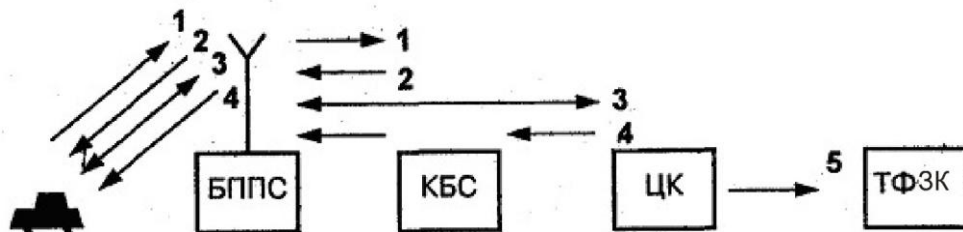


Рис.6.1. Спрощена схема встановлення зв'язку (первинний виклик; стандарт GSM):

БПРС – базова приймально-передавальна станція; КБС – контроллер базової станції; ЦК – центр комутації; ТФЗК – стаціонарна телефонна мережа загального користування

6.2. Аутентифікація і ідентифікація

Розглянемо процедури **аутентифікації і ідентифікації**, які виконуються при кожному встановленні зв'язку.

Аутентифікація – це процедура підтвердження автентичності абонента РС. Слово **аутентифікація** (англ. *authentication*) походить від грецького *authentikos* – справжній, витікаючий з першоджерела (для порівняння: *автентичні тексти* – це тексти договору на декількох мовах, що мають однакову силу).

Ідентифікація – це процедура ототожнення РС (абонентного радіотелефонного апарату), яка використовується для виявлення загублених, вкрадених або несправних апаратів. Слово *ідентифікація* (англ. *identification*) походить від лат. *identificare* – ототожнювати. Ідея процедури аутентифікації в цифровій системі стільникового зв'язку полягає в шифруванні деяких паролів-ідентифікаторів з використанням квазівипадкових чисел, що періодично передаються на РС з центру комутації, і індивідуального для кожної РС алгоритму шифрування.

В стандарті GSM процедура аутентифікації пов'язана з використанням модуля ідентифікації абонента (**Subscriber Identity Module – SIM**), який називають також **SIM-картою (SIM-card) або смарт-картою (smart-card)**. Модуль SIM – це знімний модуль, вигляд якого нагадує пластикову кредитну картку, що вставляється у відповідне гніздо абонентного апарату. Він містить персональний ідентифікаційний номер абонента (**Personal Identification Number – PIN**), міжнародний ідентифікатор абонента РС (**International Mobile Subscriber Identity – IMSI**), індивідуальний ключ аутентифікації абонента **Ki**, індивідуальний алгоритм аутентифікації абонента **A3**, алгоритм обчислення ключа шифрування **A8**.

Для аутентифікації використовується зашифрований відгук (**signed response**) **S**, який є результатом застосування алгоритму **A3** до ключа **Ki** і квазівипадкового числа **R**, який РС отримує від центру аутентифікації через ЦК. Алгоритм **A8** використовується для обчислення ключа шифрування повідомлень. Унікальний ідентифікатор **IMSI** для поточної роботи замінюється тимчасовим ідентифікатором **TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity – тимчасовий ідентифікатор абонента рухомого зв'язку)**, який присвоюється апарату при його першій реєстрації в конкретному регіоні, що визначається ідентифікатором **LAI (Location Area Identity – ідентифікатор області місцеположення)**, і скидається при виході апарату за межі цього регіону. Ідентифікатор **PIN** – код, відомий тільки абоненту, який повинен служити захистом від несанкціонованого використання SIM-карти, наприклад, у разі її втрати. Після трьох невдалих спроб набору **PIN**-коду SIM-карта блокується, і блокування може бути знято або набором додаткового коду – персонального коду розблокування (**Personal unblocking key – PUK**), або за командою з ЦК.

Процедура аутентифікації стандарту GSM схематично показана на рис. 8.2, де пунктиром позначені елементи, що не відносяться безпосередньо до процедури аутентифікації, проте використовуються для обчислення ключа шифрування **Kc**. Обчислення проводиться кожного разу при проведенні аутентифікації.

Процедура ідентифікації полягає в порівнянні ідентифікатора абонентного апарату з номерами, що містяться у відповідних "чорних списках" реєстра апаратури, з метою вилучення вкрадених і зіпсованих апаратів.

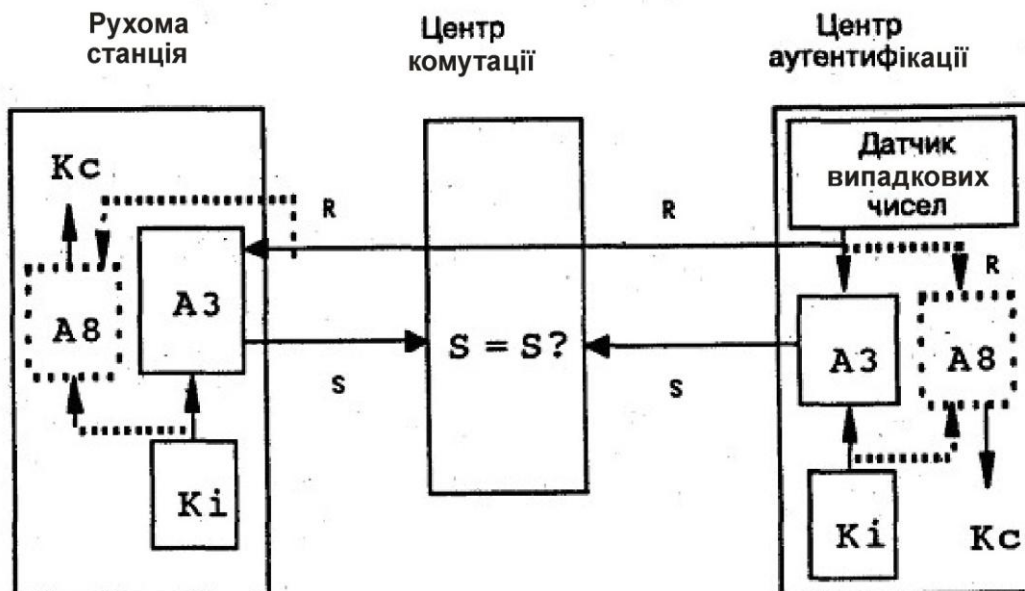


Рис.6.2. Схема процедури аутентифікації (стандарт GSM): R – випадкове число; A3 – алгоритм аутентифікації; A8 – алгоритм обчислення ключа шифрування; Ki – ключ аутентифікації; Kc – ключ шифрування; S – зашифрований відгук (Signed Response – SRES)

6.3. Передача обслуговування

Передача обслуговування (амер. термін **handoff**, англ. – **handover**) при переміщенні РС здійснюється від БС першої комірки до БС другої комірки (**рис. 8.3**).

Передача обслуговування має місце тільки тоді, коли РС перетинає межу комірок під час сеансу зв'язку, і зв'язок (телефонна розмова) при цьому не переривається. Якщо ж РС переміщується з однієї комірки до іншої, знаходячись в режимі очікування, вона просто відстежує ці переміщення за інформацією системи, передаваної по каналах управління, і в потрібний момент перебудовується на більш сильний сигнал іншої БС.

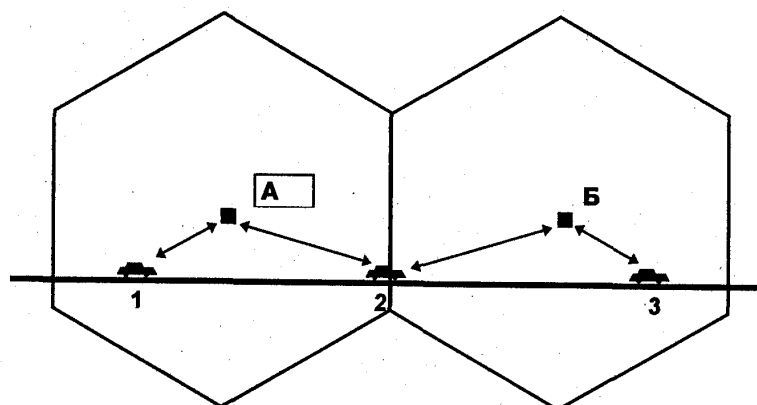


Рис.6.3. Передача обслуговування з комірки А в комірку Б при перетині РС межі комірок

Необхідність в передачі обслуговування виникає тоді, коли якість каналу зв'язку, яка оцінюється за рівнем сигналу, падає нижче за допустиму межу.

В стандарті GSM вказані параметри постійно вимірюються РС як для своєї комірки, так і для суміжних (до 16 комірок), і результати вимірювань передаються на БС.

В стандарті D-AMPS ці характеристики РС вимірює лише для робочої комірки, проте у разі погіршення якості зв'язку РС про це повідомляє ЦК через БС, і по команді ЦК аналогічні вимірювання здійснюють рухомі станції сусідніх комірок і за їх результатами ЦК вибирає комірку з більш високою якістю каналу зв'язку, в яку має бути передано обслуговування.

ЦК, прийнявши рішення про передачу обслуговування і вибравши нову комірку, повідомляє про це БС нової комірки, а РС старої комірки через БС видає необхідні команди, в яких вказуються: новий частотний канал, номери робочого слота тощо. РС за частки секунди, які залишаються непомітними для абонента, перебудовується на новий канал і настраюється на спільну роботу з новою БС.

6.4. Роумінг

Роумінг (від англ. *roam* – бродити, мандрувати; абонент, що використовує послуги роумінга, – *ромер* (англ. *roamer*)) – це функція, або процедура надання послуг стільникового зв'язку абоненту одного оператора в системі іншого оператора.

Роумінг з'являвся у міру розвитку стільникових систем і використовував різні технічні і організаційні рішення в різних стандартах, країнах і регіонах.

Для реалізації роумінга необхідно мати в обох системах однаковий стандарт стільникового зв'язку. З розвитком мобільного зв'язку поняття роумінга помітно розширюється: з'явилась можливість роумінга між системами стільникового і мобільного супутникового зв'язку.

Схема організації роумінга така. Абонент стільникового зв'язку, що потрапив на територію "чужої системи", яка допускає реалізацію роумінга, ініціює виклик звичайним способом (ніби він перебуває на території "своєї системи"). ЦК, переконавшись, що в його домашньому реєстрі цей абонент не значиться, сприймає його як ромера і заносить його в **гостьовий реєстр. Це занесення здійснюється на основі** запрошених в домашньому реєстрі "рідної системи" ромера і отриманих від цієї системи відомостей, необхідних для організації обслуговування ромера (види послуг, паролі, шифри тощо). При цьому ЦК нової системи повідомляє "рідну систему" ромера про те, в якій саме системі ромер перебуває в даний час; остання інформація фіксується в домашньому реєстрі "рідної системи" ромера.

Після цього ромер користується стільниковим зв'язком, як вдома: виклики від нього обслуговуються звичайним способом (з тією лише різницею, що це фіксується не в домашньому, а в гостьовому реєстрі); якщо вікликається ромер, то виклики переадресовуються "домашньою системою" на ту систему, де в даний час перебуває ромер. Після повернення ромера додому в домашньому реєстрі "рідної системи" стирається адреса тієї системи, де перебував ромер, а в гостьовому реєстрі тієї системи, у свою чергу, стираються відомості про ромера. Послуги роумінга оплачуються абонентом через "домашню систему", яка, в свою чергу, відшкодовує згідно з умовами роумінгової угоди витрати за послуги роумінга компанії-оператору, за надані послуги роумінга.

В стандарті GSM процедура роумінга закладена як обов'язковий елемент.

6.5. Функції стільникового зв'язку

Функції (послуги) стільникового зв'язку досить різноманітні, а саме: звичайний двосторонній радіотелефонний зв'язок (передача мови) з рухомими та нерухомими абонентами; передача факсимільних повідомлень і комп'ютерних даних; переадресація виклику і автодозвон; автоматична реєстрація тривалості телефонних розмов; голосова пошта тощо.

В стандарті GSM існують такі функції стільникового зв'язку: функції передачі і телефункції.

Функції передачі включають чотири категорії:

1. Асинхронний обмін даними з комутованими телефонними мережами загального користування з швидкостями 300...9600 бит/с.
2. Синхронний обмін даними з комутованими телефонними мережами загального користування, комутованими мережами передачі даних загального користування і цифровими мережами з інтеграцією функцій з швидкостями 300...9600 бит/с
3. Асинхронний пакетний обмін даними з мережею передачі даних загального користування з пакетною комутацією (доступ через асемблер/дисасемблер) з швидкостями 300...9600 бит/с.
4. Синхронний пакетний обмін даними з мережею передачі даних загального користування з пакетною комутацією з швидкостями 2400...9600 бит/с.

Функції передачі можуть бути прозорими, коли захист від помилок забезпечується лише за рахунок поточної корекції помилок, та **непрозорими**, коли **передбачається додатковий** захист у вигляді автоматичного перезапитування.

Телефункції включають в себе такі категорії:

1. Передача інформації мови і тональної сигналізації в смузі мови.
2. Передача коротких повідомлень (буквено-цифрових – до 180 символів – у бік рухомого абонента).
3. Доступ до системи обробки повідомлень (наприклад, передача повідомлення від системи персонального радіовиклику на РС стільниковому зв'язку).
4. Передача факсимільних повідомлень.

Додаткові функції включають такі категорії:

1. Ідентифікація і відображення номера, що викликається чи підключається, і обмеження ідентифікації і відображення номера, що викликається чи підключається (стороні, яка викликає, надається право обмежити можливість ідентифікації її номера).
2. Переадресування виклику на інший номер (коли абонент зайнятий або не відповідає) і передача виклику (перемикання встановленої лінії зв'язку на іншого абонента).
3. Очікування виклику (при зайнятому терміналі абонент отримує звістку про виклик, що поступив, і може відповісти на нього, відмовитися від прийому виклику або проігнорувати його надходження) і збереження виклику (абонент може перервати сеанс зв'язку, що проводиться, відповівши на інший виклик або зробивши інший виклик, а потім повернутися до продовження перерваної розмови).
4. Конференц-зв'язок – одночасна розмова трьох або більшої кількості абонентів.
5. Закрита група користувачів – ця функція дозволяє групі користувачів спілкуватися лише між собою; у разі необхідності один або декілька членів групи можуть мати доступ по входу/виходу до абонентів, що не входять до групи.
6. Оперативна інформація про вартість послуг, що надаються або наданих.

7. Заборона певних функцій (наприклад, заборона на вхідні виклики, на міжнародні виклики тощо).

8. Надання відкритої лінії зв'язку мережа /користувач для реалізації функцій, які визначає оператор.