

## Лекція 2

### Організація роботи системи стільникового зв'язку

#### 1. Частотні, фізичні і логічні канали

Розглянемо спочатку питання організації інформаційного обміну по ефірному інтерфейсу.

Очевидно, що по каналу зв'язку, крім власне інформації мови, має передаватися також так звана **сигнальна інформація, або інформація сигналізації (англ. термін *signaling*)**, яка включає в себе **інформацію управління і інформацію контролю стану апаратури** (її називають також управляючою інформацією чи просто управлінням).

В зв'язку з цим розглянемо, як саме здійснюється організація використання каналів зв'язку.

Почнемо з визначення таких понять, як **частотний, фізичний і логічний канали**.

**Частотний канал** – це смуга частот, що відводиться для передачі інформації одного каналу зв'язку. (Хоча при використанні методу TDMA в одному частотному каналі передається інформація декількох каналів зв'язку, тобто в одному частотному каналі розміщується декілька фізичних каналів, проте це не суперечить наведеному вище визначенню частотного каналу).

Пояснимо, що таке частотний каналу на конкретних прикладах.

В стандарті D-AMPS в США для передачі інформації прямого каналу (від БС до РС) відводиться смуга частот 869...894 МГц, а для передачі інформації зворотного каналу – смуга 824...849 МГц, тобто **прямий і зворотний канали рознесли по частоті на 45 МГц** (дуплексне рознесення по частоті).

Один частотний канал займає смугу  $\Delta f = 30$  кГц, так що в межах виділеного діапазону, з урахуванням захисних смуг по краях, розміщується 832 частотні канали. Частотні канали мають номери від 1 до 799 (включно) і від 991 до 1023; іноді фігурує і канал з номером 990 (проте фактично він не використовується і не входить в 832 канали).

Центральна частота каналу (в МГц) пов'язана з його номером  $N$  співвідношеннями:

– зворотний канал:

$$f_o = 825,000 + 0,030 N, \quad 1 \leq N \leq 799$$

$$f_o = 825,000 + 0,030 (N - 1023), \quad 991 \leq N \leq 1023;$$

– прямий канал:

$$f_n = 870,000 + 0,030 N, \quad 1 \leq N \leq 799$$

$$f_n = 870,000 + 0,030 (N - 1023), \quad 991 \leq N \leq 1023.$$

Прийнятий в США розподіл частотних каналів пояснюється **табл. 2.1**.

Таблиця 2.1. Розподіл частотних каналів стандарту D-AMPS в США

Номери каналів	Число каналів	Смуги частот, МГц		Оператор
		Зворотний канал	Прямий канал	
991 -1023	33	824,025...825,0015	869,025...870,015	А
1 -312	312	825,015...834,375	870,015...879,375	А

313-3331	21	834,375...835,005	879,375...880,005	A
334-3541	21	835,005...835,635	880,005...880,635	B
355-666	312	835,635...844,995	880,635...889,995	B
667-695	29	844,995...845 <sup>65</sup>	889,995...890,865	A
696-7162	21	845,865...846,495	8903865...891,495	A
717 -7372	21	846,495...847,125	891,495...892,125	B
738-799	62	847,125...848,985	892,125...893,985	B
<sup>1</sup> Первинні виділені канали управління;				
<sup>2</sup> Вторинні виділені канали управління				

Поняття «оператор А» і «оператор В» – специфічно американські. Введення таких понять пов'язано з тим, що відповідно до законодавства США ліцензії на операторську діяльність в будь-якому регіоні видаються відразу двом компаніям, між якими і ділиться навпіл відведений під стільниковий зв'язок частотний діапазон. Оператор А – це компанія, що спеціалізується на безпроводному зв'язку (non-wireline provider, або non-wireline carrier); оператор В – це інша компанія, що надає одночасно послуги проводового телефонного зв'язку (wireline provider, або wireline carrier).

В стандарті **GSM 900** для передачі інформації прямого каналу відводиться смуга 935...960 МГц, а зворотного – 890...915 МГц, тобто дуплексне рознесення за частотою також складає 45 МГц. Один частотний канал займає смугу  $f = 200$  кГц, так що всього в повному діапазоні, з урахуванням захисних смуг, розміщується 124 частотні канали.

Центральна частота каналу (в МГц) пов'язана з його номером  $N$  співвідношеннями:

– зворотний канал:

$$f_o = 890,200 + 0,200 N, \quad 1 \leq N \leq 124;$$

– прямий канал:

$$f_n = 935,200 + 0,200 N, \quad 1 \leq N \leq 124.$$

Значимо, що один частотний канал займає дві смуги  $\Delta f$  (по 30 або 200 кГц – для стандартів **D-AMPS** і **GSM** відповідно) – одну під прямий, а іншу – під зворотний канал зв'язку. При використанні режиму роботи з так званими стрибками по частоті для передачі інформації однієї і тієї ж самої групи фізичних каналів послідовно в часі використовуються різні частотні канали.

Перейдемо до пояснення поняття «**фізичний канал**».

**Фізичний канал** (в системі з множинним доступом на основі часового розділа (ТОМА)) – це часовий слот з певним номером (або пара слотів з номерами, що відрізняються на 3 при повношвидкісному кодуванні в стандарті **D-AMPS**) в послідовності кадрів ефірного інтерфейсу (рис.2.1 – 2.3).

Таким чином, в одному частотному каналі в стандарті **D-AMPS**:

– при повношвидкісному кодуванні передається інформація трьох фізичних каналів;

– при напівшвидкісному кодуванні – інформація шести фізичних каналів;

– в стандарті GSM завжди передається інформація восьми фізичних каналів.

Проте при напівшвидкісному кодуванні один фізичний канал містить два канали трафіку, інформація яких передається по черзі, через кадр. Іншими словами, при цьому реалізується часове ущільнення каналів в 3 або 8 разів відповідно – при

повношвидкісному кодуванні і в 6 або 16 разів – при напівшвидкісному. В цьому і полягає одна з основних переваг цифрового покоління стільникового зв'язку в порівнянні з аналоговим.

**Логічні канали розрізняються по виду (складу) інформації, передаваної у фізичному каналі.** В такому каналі може бути реалізований один з двох видів логічних каналів – канал трафіку або канал управління; кожний з них, у свою чергу, може в загальному випадку існувати в одному з декількох варіантів (типів).

З поняттям **каналу управління** ми вже познайомилися на початку даного розділу. **Логічний канал трафіку** – це канал передачі мови або даних (комп'ютерних даних, повідомлень факсиміле тощо), тобто тієї інформації, заради якої створюється стільниковий зв'язок.

**Термін трафік** походить від англійського *traffic* (інформаційний потік, потік транспорту) і в застосуванні до зв'язку визначається як сукупність повідомлень, передаваних по лінії зв'язку, або як сукупність вимог абонентів, які обслуговуються мережею зв'язку.

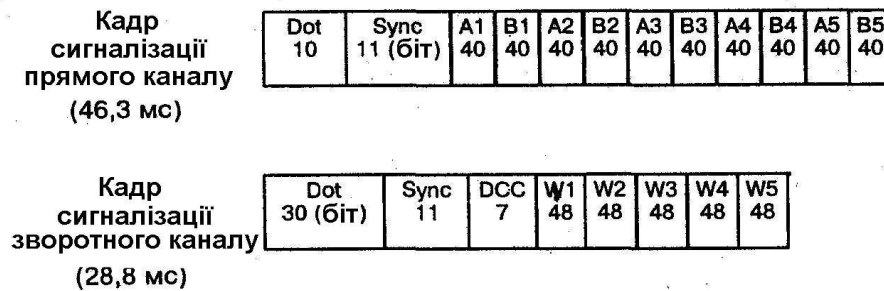
Якщо обмежуватися розглядом передачі мови, то **канал трафіку** – це канал, тотожний каналу передачі мови.

В стандарті D-AMPS версії IS-54 поняття «логічні канали» звичайно не використовується. Фактично на **рис. 2.1** представлена структура слота для логічного каналу трафіку, в якому частково передається і інформація управління (поля **SACCH, CDVCC, Sync**). Логічний канал управління тут по суті представлений укороченою пачкою, що використовується на етапі встановлення зв'язку, і швидким суміщенням каналом управління **FACCH (Fast Associated Control Channel)**.

**Інформація каналу FACCH** передається замість інформації мови, тобто структура слота логічного каналу управління відрізняється від структури слота логічного каналу трафіку заміною поля Data на поле **FACCH**. Сегмент мови тривалістю 40 мс при цьому просто пропускається (втрачається). Допустима частота заміни каналу трафіку каналом управління не регламентована, але із загальних міркувань очевидно, що чим частіше це відбуватиметься, тим сильніше буде знижуватись якість передачі мови. Заміна інформації мови інформацією каналу **FACCH** ніяк не позначається усередині слота, і характер інформації з'ясовується лише при її декодуванні.

Крім того, в стандарті **IS-54** використовуються так звані виділені канали управління, що дісталися цифровій (або цифро-аналоговій) системі в спадок від аналогової **AMPS** з невеликими доповненнями в частині складу передаваної інформації. Ці частотні канали завжди використовуються тільки як канали управління, тобто вони ніколи не бувають каналами трафіку. Первинні виділені канали управління використовуються як в аналоговому, так і в цифровому стандарті. Вторинні виділені канали управління використовуються лише в цифровому стандарті; в аналоговому стандарті відповідні частотні канали використовувалися як канали трафіку. Звичайно для кожної базової станції призначається один виділений канал управління.

Інформація у виділених каналах управління передається в цифровій формі з використанням частотної маніпуляції (**Frequency Shift Keying – FSK**) із швидкістю 10 кбит/с. Передача інформації організовується у вигляді кадрів, тривалість і структура яких різні в прямому і зворотному каналах (**рис. 2.1**).



**Рис. 2.1.** Структура кадрів сигналізації виділених каналів управління системи D-AMPS:

Dot – пунктир (Dotting) – послідовність чергуючих одиниць і нулів (дає частотну складову, що дорівнює 5 кГц); Sync – синхронізуюча послідовність; DCC – цифровий код кольору (Digital Color Code); A1...A5 – інформаційні слова для рухомих станцій з парними номерами; B1...B5 – інформаційні слова для рухомих станцій з непарними номерами; W1...W5 – інформаційні слова.

В обох випадках кадр починається з пунктирної послідовності, яка означає початок кадру, і синхронізуючої послідовності відомої структури. Потім слідує інформаційні слова, які повторюються п'ятикратно з метою виключення слів із спотвореннями за мажоритарним принципом («3 з 5»). Для захисту від помилок інформаційні слова додатково кодуються (**код BCH**):

- з 40 біт слова прямого каналу – 28 біт інформаційних і 12 контрольних;
- з 48 біт слова зворотного каналу – 36 інформаційних і 12 контрольних.

В прямому каналі інформація передається синхронно (з жорсткою прив'язкою до часу), в зворотному – асинхронно. Інформаційні поля кадру прямого каналу містять також так звані біти «занято/вільно» – **Busy/Idle (B/I) bits**, поодиночі – в полях пунктиру і синхронізації і по чотири – в кожному інформаційному слові; цими бітами визначається часова прив'язка кадрів сигналізації зворотного каналу (тобто дана РС видає свою інформацію тоді, коли по стану, біта «занято/вільно», канал не зайнятий інформацією, що передається інший РС). Повідомлення, що передається, може займати більше одного кадру.

В стандарті IS-136 виділених каналів управління немає, тобто всі частотні канали рівноправні відносно складу інформації, що передається, проте в явному вигляді виникає необхідність у використанні поняття логічних каналів – каналів трафіку і каналів управління. Канали трафіку в стандарті IS-136 не зазнали змін порівняно зі стандартом IS-54. Структура цифрових каналів управління розглядатиметься далі.

Логічні канали управління стандарту IS-136 перераховані в **табл. 2.2.**

**Таблиця 2.2.** Логічні канали управління стандарту IS-136

Зворотні канали управління	RACH
Прямі канали управління	BCCH: F-BCCH, E-BCCH, S-BCCH SPACH: PCH, ARCH, SMSCH SCF

Для передачі інформації логічних каналів управління виділяється один фізичний канал, тобто два слоти в межах одного кадру ефірного інтерфейсу при повношвидкісному кодуванні, по одному слоту в межах кожного з двох блоків (рис. 2.1).

У зворотному напрямі (від РС до БС) передається інформація лише одного логічного каналу управління – каналу випадкового доступу **RACH (Random Access Channel)**, яка використовується для організації доступу в систему стільникового зв'язку з боку РС і передається у всіх слотах відповідного фізичного каналу.

В прямому напрямі (від БС до РС) передається інформація декількох логічних каналів управління:

- мовного каналу управління **BCCH (Broadcast Control Channel)** з підканалами швидкого мовного управління **F-BCCH (Fast BCCH)**, розширеного мовного управління **E-BCCH (Extended BCCH)** і мовної передачі повідомлень **S-BCCH (Broadcast messaging)**;

- каналу **SPACH** з підканалами виклику **POH (Paging Channel)**, відповіді на виклик **ARCH (Access Response Channel)** і передачі коротких повідомлень за певною адресою **SMSCH («від точки до точки» – point-to-point Short Message Service Channel)**;

- загального каналу зворотного зв'язку **SCF (Shared Channel Feedback)**.

Канал **RACH** (канал випадкового доступу) використовується при встановленні зв'язку за ініціативою РС або, іншими словами, для організації доступу в мережу з боку РС. Канал **SCF** використовується для передачі у відповідь інформації в процесі організації цього доступу.

В каналі **BCCH** передається інформація, призначена для всіх РС (**мовний режим передачі інформації**): це інформація про стан мережі (**підканали F-BCCH і E-BCCH**), а також мовні короткі повідомлення (**підканал S-BCCH**). Інформація про стан мережі, що швидко змінюється і вимагає частого оновлення (параметри каналів управління і інформація, істотна для організації доступу в мережу), передається в підканалі **F-BCCH**, вся інформація якого оновлюється з частотою суперкадрів. Менш термінова інформація передається в підканалі **E-BCCH**, передача одного повідомлення в якому може розтягуватися на декілька суперкадрів.

Канал **SPACH** використовується для передачі адресних повідомлень, тобто повідомлень, адресованих конкретним РС. В підканалі **PCN** передається інформація виклику, а також команди для РС. Підканал **ARCH** використовується на завершальному етапі встановлення з'єднання РС з мережею. Підканал **SMSCH** призначений для адресної передачі коротких повідомлень.

**Передача інформації в прямих цифрових каналах управління організовується таким чином.** Інформація каналу **SCF** передається у відповідному полі кожного слота каналу управління (рис. 2.2). Інформація решти каналів розміщується в полях **Data** і має певну послідовність в межах слотів суперкадра і гіперкадра. Всього в суперкадрі при повношвидкісному кодуванні 32 слоти каналу управління. Перші слоти відводяться для підканалу **F-BCCH** (від 3 до 10 слотів), наступні слоти – для **E-BCCH** (від 1 до 8 слотів), потім – для **S-BCCH** (від 0 до 16 слотів) і в кінці – для інформації каналу **SPACH** (від 2 до 28 слотів). Інформація підканалів **F-BCCH** і **PCN** однакова в обох суперкадрах одного гіперкадра

(дублювання інформації з метою підвищення достовірності її прийому); інформація інших підканалів в суперкадрах одного гіперкадра різна.

Прийнята структура каналів управління передбачає таку організацію виклику РС, яка підтримує режим засипання (sleep mode) останній. Для цього виклик повторюється з періодичністю кадру виклику, а тривалість кадру виклику залежно від його класу складає від 1,28 секунди до 123 секунд. Якщо говорити конкретніше, то тривалість кадру виклику для класів 1...8 складає відповідно 1, 2, 3, 6, 12, 24, 48 і 96 гіперкадрів, і в обох суперкадрах першого гіперкадра в межах кадру виклику передається інформація виклику. РС приймає (декодує) інформацію в першому (первинному) з двох вказаних суперкадрів, і якщо виклику на її адресу немає, то «засинає», тобто відключається навіть на прийом до кінця кадру виклику. Якщо декодувати інформацію в первинному суперкадрі не вдається, наприклад через спотворення сигналів, викликаних перешкодами, то робиться спроба декодувати вторинний суперкадр, що несе ту ж саму інформацію підканалів **F-BCCH** і **PCN**, після чого РС також дістає можливість «заснути» до кінця кадру виклику. За умовчанням, тобто до першої реєстрації в системі, РС використовує кадр виклику класу 1, тобто кадр виклику мінімальної тривалості (один гіперкадр). Надалі тривалість кадру виклику призначається мережею.

Структура логічних каналів стандарту GSM в спрощеному виді наведено в **табл. 2.3**.

**Таблиця 2.3.** Спрощена структура логічних каналів стандарту GSM

Види логічних каналів	Типи каналів в межах видів
Канали трафіку TCH	TCH/FS, TCH/HS
Канали управління CCH	BCCH: FCCH, SCH CCCH: PCN, RACH, AGCH SDCCH ACCH: FACCH, SACCH

Логічні канали стандарту GSM поділяються на:

- Канали трафіку **TCH (Traffic Channels)**. Вони підрозділяються на:
  - повношвидкісні **TCH/FS** (з повношвидкісним кодуванням; **F** – скорочення від **Full** – повний; **S** – **Speech** – мова);
  - напівшвидкісні **TCH/HS** (**H** – скорочення від **Half** – половина); в обох випадках мається на увазі передача мови. Типи каналів трафіку для передачі даних в **табл. 2.3** не включені (TCH/F9.6, TCH/F4.8, TCH/H4.8 і т.п.).

- Канали управління **CCH (Control Channels)** поділяються на 4 типи:
  - мовні канали управління **BCCH (Broadcast Control Channels)**
  - спільні канали управління **CCCH (Common Control Channels)**
  - виділені закріплені канали управління **SDCCH (Standalone Dedicated Control Channels)**
  - суміщені канали управління **ACCH (Associated Control Channels)**.

Мовні канали управління **BCCH** призначені для передачі інформації від БС до РС в мовному режимі, тобто без адресації до якої-небудь конкретної РС. До їх числа входять:

- канал корекції частоти **FCCH (Frequency Correction Channel)** – для підстроювання частоти РС під частоту БС;
- канал синхронізації **SCH (Synchronization Channel)** – для кадрової синхронізації РС;
- канал загальної інформації, що не має окремого найменування.

Загальні канали управління **CCCH** включають:

- канал виклику **PCH** (Paging Channel), що використовується для виклику РС базовою станцією;

- канал дозволу доступу **AGCH** (Access Grant Channel) – для призначення закріпленого каналу управління, яке також передається від БС на РС;

- канал випадкового доступу **RACH** (Random Access Channel) – для виходу з РС на БС із запитом про призначення виділеного каналу управління. При передачі інформації по загальних каналах управління прийом інформації не супроводиться підтвердженням.

Виділені закріплені канали управління **SDCCH** (використовуються в двох варіантах, не відображених в **табл. 2.3**) – автономні канали управління для передачі інформації з БС на РС і у зворотному напрямі.



**Рис. 2.2.** Структура мультикадра каналу управління ефірного інтерфейсу системи GSM:

R – канал RACH; F – канал FCCH; S – канал SCH; B – канал BCCH; 3 – канал AGCH/канал PCH; I – вільний кадр (Idle)

Суміщені канали управління **ACCH**, також такі, що використовуються для передачі інформації в обох напрямках (від БС до РС і від РС до БС) і декілька таких, що мають, варіанти, не відображені в **табл. 2.3**, включають:

- повільний суміщений канал управління **SACCH** (Slow Associated Control Channel) – об'єднується з каналом трафіку (кадр 13 мультикадра каналу трафіку) або з каналом SDCCH;

- швидкий суміщений канал управління **FACCH** (Fast Associated Control Channel) – поєднується з каналом трафіку, замінюючи у відповідному слоті інформацію мови, причому ця заміна позначається прихованим прапорцем (поле S на **рис. 3.3**):

На відміну від дуплексних каналів – трафіку і суміщених каналів управління, розмішуваних в каналі трафіку ефірного інтерфейсу, – сімплексні канали управління **BCCH** і **CCCH** розміщуються в нульовому слоті кадрів каналу управління ефірного інтерфейсу на так званих несучих BCCH, що є в комірці.

Повідомлення каналу **RACH** можуть бути передані в нульовому слоті будь-якого кадру в межах 51-кадрового мультикадра каналу управління (**рис. 2.2**). Повідомлення **RACH** передається рухомою станцією раз в 235 мс, тобто лише в

одному з кадрів мультикадра, при цьому використовується структура слота, що відповідає пачці доступу.

Повідомлення каналів **ВССН** і **СССН**, що передаються від БС до рухомих станцій (прямий канал), розміщуються в нульових слотах 50 кадрів мультикадра каналу управління ефірного інтерфейсу; останній, 51-й, кадр мультикадра залишається вільним. Перші 50 кадрів діляться на 5 блоків по 10 кадрів: на початку кожного блоку передається повідомлення каналу **FCCH** (структура слота – пачка корекції частоти), далі – повідомлення каналу **SCH** (структура слота – пачка синхронізації), потім в першому блоці передається чотири повідомлення каналу **ВССН** і чотири повідомлення каналу **AGCH** або каналу **РСН**, а в решті чотирьох блоків всі вісім повідомлень відводяться під канал **AGCH** або **РСН**. Повідомлення логічних каналів управління в більшості випадків кодуються із значною надмірністю з метою захисту від помилок при передачі інформації.

Зазначимо, що наведені вище відомості про структуру і організацію роботи логічних каналів управління досить схемні і не претендують на вичерпну повноту.