

Лекція 9

Перспективи розвитку систем стільникового мобільного зв'язку

9.1. Системи мобільного зв'язку 2-го покоління

Цифрові системи мобільного зв'язку 2-го покоління з'явилися на початку 90-х років, при цьому вони відрізнялися від аналогових систем двома принциповими особливостями:

- можливістю використання спектрально-ефективних методів модуляції в поєднанні з часовим (TDMA) і кодовим (CDMA) розділенням каналів замість частотного розділення (FDMA), що використовується в аналогових системах;
- наданням користувачам широкого спектру послуг за рахунок інтеграції передачі мови і даних з можливістю шифрування даних.

На рис. 11.1 показані системи мобільного зв'язку 2-го покоління, які можна розділити на 4 основні класи:

- 1) системи стільникового мобільного зв'язку з радіусом дії в межах стільника від 0,5 до 35 км (TDMA - FDD - [GSM, D-AMPS (IS-136), PDC]);
- 2) транкингові системи радіозв'язку з радіусом зони обслуговування від 2 до 50 км залежно від висоти підняття антен (FDMA – FDD - [APCO, Tetrapol, Digistar], TDMA -FDD-[TETRA, IDEN]);
- 3) системи безпроводового доступу з типовими розмірами стільника до 0,3 км (FDMA - TDD -CT2, TDMA - TDD - [DECT, PHS]);
- 4) супутникові системи зв'язку із зоною обслуговування в одному промені 400...800 км і глобальною зоною обслуговування для одного супутника 3000...8000 км залежно від висоти орбіти (FDMA - FDD - INMARSAT-M, TDMA - FDD - [ICO, AceS, Thuraya], TDMA -TDD - IRIDIUM, CDMA - FDD - [GLOBALSTAR, ELIPSO]).

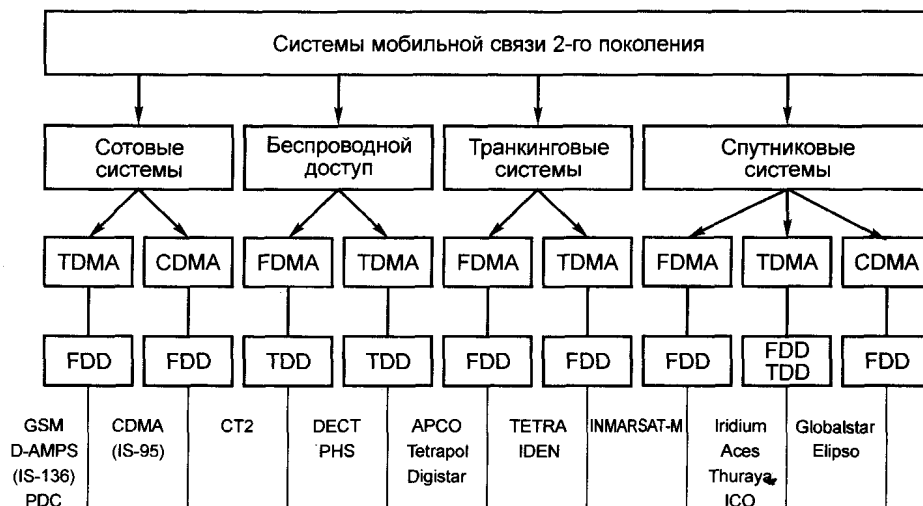


Рис.9.1. Системи мобільного зв'язку 2-го покоління:

TDMA – множинний доступ з часовим розділенням каналів (Time Division Multiple Access); FDMA – багатостанційний доступ з частотним розділенням каналів (Frequency Division Multiple Access); FDD – дуплексна передача з частотним розділенням (Frequency Division Duplex); TDD – дуплексна передача з часовим розділенням (Time Division Duplex); D-AMPS – стандарт стільникового зв'язку на основі технології TDMA (Digital Advanced Mobile Phone Service)

Відмінності між системами різних класів 2-го покоління полягають в наступному:

– **по організації зв'язку:** в стільникових системах і системах безпроводового доступу здійснюються індивідуальні виклики між абонентами, середня тривалість розмови може досягати декількох хвилин; в транкінгових системах передаються короткі повідомлення (не більше 1 хвилини), при цьому зв'язки можуть організовуватися індивідуально і через диспетчера (час встановлення зв'язку не перевищує 0,3 с);

– **за способом використання частотного ресурсу:** системи мобільного зв'язку можна розділити на два класи: 1) системи з жорстко закріпленими за абонентами каналами, 2) системи з наданням каналу на вимогу при знаходженні абонентів в загальній зоні обслуговування; при цьому перший клас отримав широке розповсюдження в системах конвенціонального радіозв'язку і у ряді транкінгових систем, а другий – в стільникових системах зв'язку;

– **по об'ємах трафіку:** в стільникових системах і системах безпроводового доступу можливо обслуговування з густиною трафіку до 10000 Эрл/км², для транкінгових систем – об'єм не перевищує 1...2 Эрланг/км²;

– **за розмірами стільників:** для стільникових систем розміри стільників залежать від густини абонентів, що приходяться на одиницю зони радіопокриття, і від характеру розподілу абонентів в зоні обслуговування; при цьому в місцях з підвищеною густиною абонентів створюються **нікосоти з радіусом до 100 м**; в районах найінтенсивнішої забудови і з високою густиною населення організовуються **мікростільники з радіусами від 100 до 500 м**; радіус дії макростільникових зон, які охоплюють місто і приміські зони, не перевищує 30...35 км; при обслуговуванні абонентів в сільській місцевості, у віддалених і труднодоступних районах можуть використовуватися **наземні макростільники і мегасоти (з радіусом до 400...800 км)** космічних систем мобільного зв'язку;

– **по складу і якості послуг, що надаються:** найвищу якість забезпечують стільникові системи і системи безпроводового доступу, які надають дуплексний зв'язок як для мобільних абонентів, так і для зв'язку з мережами PSTN і ISDN, аналогічні послуги, але з меншими можливостями, реалізовані в космічних системах, а в транкінгових використовуються в основному напівдуплексний зв'язок і груповий виклик абонентів.

В **табл. 9.1** наведені порівняльні характеристики основних систем земного мобільного зв'язку 2-го покоління.

Таблиця 9.1. Порівняльні характеристики основних систем земного мобільного зв'язку 2-го покоління

Характеристика	Стільникові системи				Беспроводний доступ		Транкінгові системи		
	GSM	TDMA (IS-136)	CDMA (IS-95)	PDC	CT2	DECT	TETRA	APCO	Tetrapol
Діапазон частот, МГц	890...915/ 1710...1785 935...960/ 1805...1880	824...849 869...894	824...849 869...894	810...826 940...956 1429...1453 1477...1501	864...868	1880...1900	380...400 * 410...430 450...470	138...174 406...512 746...869	70...520
Ширина смуги частот, МГц	25	25	25	25	24	20	20	н/о	5
Дуплексне розділення, МГц	45/95	45	45	48(130)	Ні	Ні	10	н/о	10
Канальне розділення, кГц	200	30	1250	25(50)	100	1728	25	12,5/6,25	12,5/10
Число дуплексних каналів	124	832	20	640	40	10	н/д	н/д	400

Метод доступу	ТОМИ	ТОМИ	CDMA	ТОМИ	FDMA	ТОМИ	ТОМИ	ЮМА	FDMA
Метод дуплексує каналів	FDD	FDD	FDD	FDD	TOD	TOD	FDD	FDD	FDD
Число каналів на несучу	8 або 16	3(6)	55	3(6)	1	12	4	1	1
Метод модуляції	GMSK	$\pi/4$ DQPSK	QPSK(ЄС) OQPSK(МС)	$\pi/4$ DQPSK	GFSK	GFSK	$\pi/4$ DQPSK	C4FM CQPSK	GMSK
Швидкість передачі, кбіт/с	270,8	48,6	1288	42	72	1152	36	9,6	8
Тип мовного кодека	RPE-LTR	VSELP	QCELP	VSELP	ADPCM	ADPCM	ACELP	IMBE	RPCELP
Швидкість мовного кодека, кбіт/с	13 або 6,5	7,95	13 або 8,5	6,7	32	32	4,5	4,4	6
Канальне кодування для мови	$R = 1/2$ $K = 5$	$R = 1/2$	$R = 1/3$ $R = 1/2$	$R = 1/2$	н/д	CRC	$R = 2/3$	$R = 1/2$, Goley	н/д
Довжина кадру, мс	4,6	40	20	20	2	10	57	180	20
Потужність мобільної станції, Вт середня (пікова)	GSM-900 2,5(20), 8(1), (0,6), 2(0,25), 0,1(0,8) GSM-1800 1800(0,125), 0,25(0,03)	3,0(9), 1,6(4,8), 1,6(1,8)	0,6(6,3)2,51, 0	0,66(2)	0,005 (0,01)	0,01(0,25)	2,5(10)0,7 5(3) 1(0,25)	н/о	10 (автом)
Відношення E_b/N_0	9	16	6-7	17	20	12	19	н/о	н/о
Хендовер	Так	Так	Так (м'який)	Так	Ні	Ні	Так	н/о	н/о

Примітка: н/д – немає даних; н/о – конкретне значення параметра в стандарті не визначено

З табл. 9.1 випливає наступне:

– перераховані стандарти трьох основних систем наземного мобільного зв'язку мають певні відмінності по основних параметрах і перш за все по методах доступу, методах дуплексування каналів, числі каналів на несучу, швидкості передачі, типах мовних кодеків, відношенням сигнал/шум і др.;

– дані відмінності привели до того, що стандарти, що використовуються, виявилися у принципі несумісними, що у свою чергу викликало бажання міжнародного співтовариства створити єдиний стандарт мобільного зв'язку глобального характеру;

– для сумісності європейських стандартів GSM 900, DCS 1800 і американських D-AMPS/1900 був створений стандарт GSM 900/1800/1900, що дозволив певною мірою об'єднати три стандарти і зробити його єдиним стандартом 2-го покоління цифрових наземних мобільних систем.

Аналіз ринку систем мобільного зв'язку показує, що розподіл абонентів в світі за технологіями і стандартами систем мобільного зв'язку за станом на 1998/1999 роки наступний (табл. 11.2):

– домінував стандарт GSM (44%) (при цьому GSM 900 – використовувався у всьому світі, GSM 1800 – в Європі і Африці, а GSM 1900 – в США і Канаді), друге місце займали аналогові стандарти (30%).

Таблиця 9.2. Ринок систем 2-го покоління

Стандарт	Число абонентів, млн	Щомісячний приріст, млн	Число країн	Число розгорнутих мереж
GSM	183,3	7,6	120	284
TDMA	24,3	1,4	36	104
PDC	41,3	0,6	1 (Японія)	30
CDMA	31,5	1,5	12	31

Таким чином існування великого числа роз'єднаних сітей мобільного зв'язку 2-го покоління на фоні загальної тенденції країн світу до економічної інтеграції зажадало створення єдиного стандарту, здатного забезпечити абонентам свободу переміщення і збереження обслуговування в будь-якій мережі незалежно від місця її розгортання. Це послужило приводом для розробки концепції єдиного стандарту під назвою "Перспективна сухопутна мобільна телекомунікаційна система загального користування" – відомого раніше як **FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications System)**.

9.2. Еволюція мереж GSM до 3-го покоління систем мобільного зв'язку

В даний час базові можливості стандарту GSM ще до кінця не реалізовані, при цьому розробниками закладені основи для подальшого розвитку і модернізації стандарту GSM.

Вдосконалення мереж GSM йде у напрямі UMTS/AMT-2000 по наступних взаємозв'язаних напрямках:

- інтеграція з іншими мережами радіозв'язку: DECT, DCS1800, PSC1900, а також з мережами доступу до Інтернет/інтранет;
- створення інтегрованих мереж GSM 900/GSM 1800 і в перспективі GSM 400;
- упровадження нових цифрових технологій, включаючи:
 - узагальнені послуги пакетної радіопередачі – *GPRS (General Packet Radio Service)*, забезпечуючі побудову сітей з комутацією пакетів типу X.25, IP і ATM, а також взаємодія з фіксованими мережами PSTN, ISDN;
 - високошвидкісну передачу даних з комутацією каналів – *HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)*;
 - поліпшену передачу даних для глобальної еволюції систем зв'язку – *EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)*, призначену для переходу систем GSM до третього покоління 3G;
- упровадження системи GSM 400 для мобільного зв'язку в сільських і малонаселених районах;
- розвиток різних сервісних функцій (підключення факс-терміналів, модемів, процедури захисту зв'язку тощо);
- включення в архітектуру GSM нових протоколів і прикладних служб, що відповідають вимогам систем 3-го покоління.

Очевидно, що модернізація GSM і розвиток UMTS відбуватимуться протягом довгого часу. При цьому обидві технології розвиватимуться паралельно.

Перша фаза – це етап упровадження технології *HSCSD*, орієнтованої на передачу даних з комутацією каналів, що почався.

Наступна фаза – реалізація нових версій стандарту GSM, а саме *GPRS* і *EDGE*, є платформою, зручною для упровадження послуг UMTS. Цю фазу звичайно позначають або "2G +", або "2,5G" (рис. 11.2).

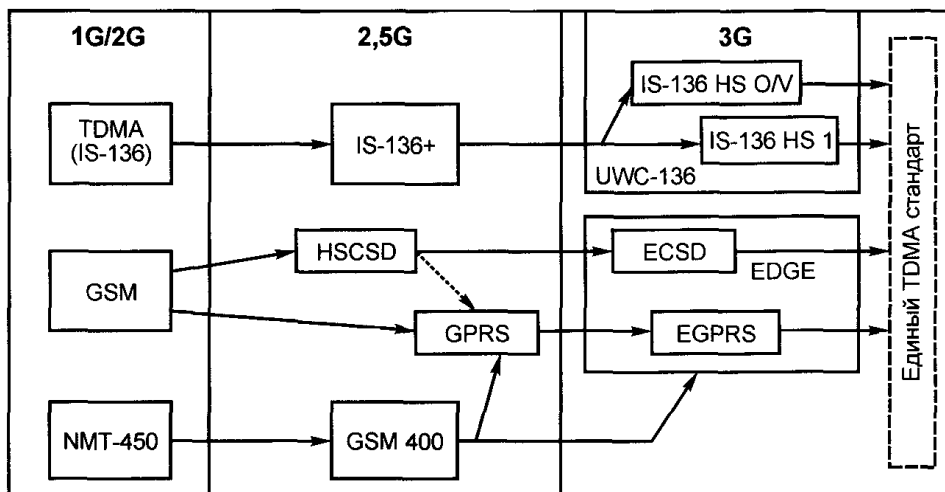


Рис. 9.2. Специфікації ETSI для поетапної еволюції стандартів GSM до 3-му покоління

На **рис. 9.2** показаний перелік специфікацій, що розробляються в ETSI в цілях поетапної еволюції стандартів GSM до 3-го покоління. Як впливає з **рис. 9.2**, еволюція GSM у напрямі UMTS забезпечується новою мультिकанальною технологією TDMA (специфікація EDGE), на базі якої планується реалізувати високошвидкісні транспортні протоколи типу TCP/IP і технологію ATM. Нові радіопротоколи GPRS і EDGE надбудовуються над стандартною схемою радіодоступу TDMA, при цьому фізичний рівень TDMA значно удосконалився:

- в радіоканалі смуга несучої розширюється до 200 кГц;
- вводиться новий метод модуляції, що забезпечує передачу в одному слоті із швидкістю 62 кбіт/с;
- загальна продуктивність мережі на базі EDGE-технології в умовах локальної мережі радіодоступу досягає 520 кбіт/с;
- служба пакетної передачі GPRS реалізує в радіомережі GSM логічні канали, механізми встановлення/роз'єднання віртуальних каналів і протокольних послуг для підтримки транспортних протоколів мереж комутації пакетів типу X.25 і IP;
- абонент мобільного зв'язку, використовуючи GPRS, може через мережу X.25 або IP підключитися до віддаленого web-серверу для вирішення різноманітних прикладних задач. Інфраструктура діючої сіті GSM залишається при цьому незмінною, але додатково вводяться вузли пакетної комутації.

Проте існують певні обмеження на можливості систем 2-го покоління мобільного зв'язку, наприклад, неможливість надання послуг мультимедіа асиметричної передачі з швидкістю до 2,048 Мбіт/с з гнучким перерозподілом трафіку в прямому і зворотному каналах.

9.3. Третє покоління систем мобільного зв'язку

У міру розробки вимог до систем нового покоління ідеологам створення FPLMTS стало ясно, що, не дивлячись на повсюдний розвиток стільникового зв'язку і безпроводового доступу і перші успіхи міжнародного роумінга, величезна частина території, включаючи світові океани, виявляється не охопленою зв'язком. Навіть в перспективі наземні мережі мобільного зв'язку зможуть обслужити не більше 20% земної поверхні.

Отже, повне покриття світового простору і забезпечення глобального мобільного доступу до послуг 21-го століття може бути реалізовано тільки за допомогою супутникових систем.

Зміна поглядів Міжнародного союзу електрозв'язку на концепцію розвитку мобільного зв'язку знайшла віддзеркалення і в назві, яка була змінена з 1996 р. на **ІМТ-2000 (International Mobile Telecommunications-2000)**.

Нова назва відрізняється від колишньої аббревіатури FPLMTS не тільки тим, що з нього був виключений термін "land" (сухопутні), але і тому що введено число дві тисячі, символічно вказуюче на орієнтовний термін ухвалення стандарту (після 2000 року) і частотний діапазон, розташований в районі 2000 МГц, що використовується.

Всесвітня система мобільного зв'язку, відома всім сьогодні під назвою ІМТ-2000 – це довгострокова програма розробки, стандартизації і сприяння впровадженню національних, регіональних і міжнародних систем, що реалізують повний набір послуг на користь наземного і супутникового зв'язку.

З організаційної точки зору *ІМТ-2000* об'єднує дві попередні програми ІТУ-Т, тобто раніше згадану Перспективну сухопутну мобільну телекомунікаційну систему загального користування FPLMTS і Глобальну персональну систему супутникового зв'язку **GMPCS (Global Mobile Personal Communications Satellite)**. Об'єднання в рамках однієї системи ІМТ-2000 декількох магістральних базових сітей дозволить створити *глобальну телекомунікаційну інфраструктуру*, що охоплює всі без виключення регіони світу, у тому числі країни, що розвиваються.

За рахунок гнучкого поєднання сітей наземного і супутникового радіодоступу і глобального роумінга буде забезпечений безперебійний зв'язок між будь-якими кутами миру.

Виходячи з цього в рамках програми ІМТ-2000 найпріоритетнішими задачами є: освоєння нових смуг частот для супутникового і наземного зв'язку в діапазоні частот 2 ГГц, збільшення швидкості передачі до 2,048 Мбіт/с, розробка нових технологій радіодоступу, розширення асортименту послуг з одночасним зниженням тарифів.

Основний рушійний мотив створення єдиного міжнародного стандарту на мобільну систему, що охоплює безпроводовий доступ, наземний стільниковий і супутниковий зв'язок, полягає в забезпеченні глобального покриття земної кулі з наданням послуг масовому споживачу незалежно від його місцезнаходження, типу сіті і терміналу, що використовується (наземного або супутникового).

Не дивлячись на невдачі останніх років, пов'язані з припиненням експлуатації системи персонального супутникового зв'язку IRIDIUM і уповільненням темпів розгортання систем Globalstar і ICO, ідея глобального зв'язку не втратила свого значення. Сьогодні іншої альтернативи забезпеченню справді глобального зв'язку на суші, на морі і в повітрі, крім супутникового зв'язку, практично ні.

Поєднання каналів супутникового і наземного зв'язку дозволить створити гнучку систему з високою оперативністю встановлення зв'язку і малим часом розгортання нової мережної інфраструктури, особливо в труднодоступних районах.

Основна ідея створення єдиного міжнародного стандарту – надання послуг за допомогою недорогого портативного терміналу з високими експлуатаційними характеристиками (енергоспоживанням, якістю зв'язку, рівнем безпеки).

З системних позицій єдиний стандарт означає гнучкий радіоінтерфейс з однотипною сигналізацією і розширеним набором послуг, що варіюються

залежно від вимог користувача і сценаріїв організації зв'язку. До ключових вимог, пред'являється ІТУ до єдиного стандарту ІМТ-2000, відносяться: високий ступінь спадкоємності устаткування наземних і супутникових систем в межах всієї земної кулі, можливість конвергенції послуг типу "мобільний-мобільний (для різних мобільних мереж) і "мобільний-стаціонарний (при зв'язку з абонентами PSTN), а також забезпечення послуг мультимедіа в рамках глобальної інформаційної інфраструктури. Термінали 3-го покоління G3 повинні забезпечувати високу якість передачі мови, невеликі розміри і можливість передачі асиметричних потоків даних в лініях "вгору" і "вниз". Спочатку для вирішення цих задач були всі передумови. ІТУ створив концепцію єдиного стандарту ІМТ-2000 у вигляді серії рекомендацій, які визначали структуру радіоінтерфейсу і його основних мережних елементів. Одночасно цей міжнародний орган звернувся до всіх країн-учасникам з проханням підготувати власні проекти систем 3-го покоління. Було представлено 16 проектів, але жоден з них не міг претендувати на роль єдиного стандарту, що охоплює супутниковий і наземний зв'язок. Роботи відразу розділилися на два напрями – по наземному (10 проектів) і супутниковому (6 проектів) зв'язку. Розгляд представлених проектів наземних і супутникових систем 3-го покоління показав, що не дивлячись на практично однакові види послуг, що надаються, що використовуються в них технології доступу TDMA і CDMA принципово відрізняються, тобто ясних шляхів для їх гармонізації або конвергенції на цьому етапі проведення робіт не було видно.

Проте, ще залишалися два підходи до рішення цієї проблеми: недискримінаційний і дискримінаційний.

В першому випадку – виділений частотний ресурс для систем 3-го покоління розподіляється на рівноправній основі між всіма учасниками робіт. Йдеться про дві смуги частот 1980...2100 МГц і 2170...2200 МГц.

Під дискримінаційним підходом розуміється вибір однієї-двох найперспективніших технологій і відкидання решти пропозицій.

Не можна не відзначити, що ситуація з виробленням глобального стандарту супутникового зв'язку складається ще складніша, ніж в наземних сітках. До двох несумісних концепцій систем на базі технологій TDMA і CDMA додається ще 5–6 різних варіантів побудови орбітальних угруповань. Використовування різних орбіт і, відповідно, різних ретрансляторів (прозорих або з обробкою на борту), бортових антен з різним числом проміння неминуче приведе до тому, що радіоінтерфейс, розроблений для однієї технології, виявиться неоптимальним для іншої. В процесі переходу від етапу розробки концепції до конкретних проектів стало очевидним, що інтереси різних міжнародних і регіональних організацій неможливо об'єднати в рамках єдиного стандарту.

У зв'язку з цим була висунута ідея створення сімейства систем 3-го покоління.

Таким чином, проблема створення єдиного стандарту 3-го покоління в рамках програми ІМТ-2000, видно, не буде вирішена. Проте надії на те, що мобільний телефон все-таки буде універсальним, зберігаються. Виходячи з 10-річного циклу зміни поколінь, найімовірніше, до проблеми створення глобального стандарту повернуться в 2010-2012 рр.

А донині абонентам доведеться користуватися послугами двух- або трьохрежимних терміналів, аналогічних тим, які використовуються в системах стільникового зв'язку.

9.4. Концептуальні основи ІМТ-2000

Концепція ІМТ-2000 базується на наступних принципах побудови систем 3-го покоління:

1. Зв'язок завжди і скрізь – в будь-якому місці на поверхні Землі і у будь-який час.
2. Єдиний інформаційний і єдиний частотний простір.
3. Мобільний термінал. Ключова вимога концепції – використання портативних, дешевих і гнучких абонентних терміналів.
4. Об'єднання мереж мобільного і фіксованого зв'язку.
5. Універсальна мобільна телекомунікаційна система *UMTS (Universal Mobile Telecommunication Unit)*.