

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

**О.О. Зеленський, В.Ф. Солодовнік, Є.О. Мількевич**

## **СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ**

Навчальний посібник

Харків «ХАІ» 2009

УДК 621. 391. 1. 233 (075)

Зеленський О.О. Системи мобільного радіозв'язку: навч. посіб.  
/ О.О Зеленський, В.Ф. Солодовнік, Є.О. Мількевич. – Х.: Нац. аеро-  
косм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2009. – 93 с.

Наведено описи функціонуючих і перспективних стільникових і професійних систем мобільного радіозв'язку. Розглянуто можливості, технічні показники, структури, принципи дії й стандарти таких систем.

Для студентів і фахівців, що вивчають, експлуатують і розробляють стільникові й професійні системи мобільного радіозв'язку.

Іл. 41. Табл. 6. Бібліогр.: 12 назв

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. О.В. Полярус,  
канд. фіз.-мат. наук, доц. О.М. Роєнко

© Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут», 2009

## Список скорочень

AMPS – Advanced Mobile Phone Service – мобільна телефонна служба

BSC – Base Station Controller – контролер базової станції

BSS – Base Station System – підсистема базової станції

BTS – Base Station Transmitter – приймач-передавач базової станції

CDMA – Code Division Multiple Access – кодове розділення каналів

CHC – Channel Card – модуль керування каналом

CCH – Control Channel – канал керування

DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum – метод прямої послідовності

EIR – Equipment Identification Register – реєстр ідентифікації устаткування

EDGE – Enhanced Data rates for Global Evolution – розширений формат передачі даних

FDMA – Frequency Division Multiple Access – частотне розділення для суміжних стільників

FPLMTS – Future Public Land Mobile Telephone System – наземна телефонна система майбутнього загального користування для мобільних абонентів

GSM – Group Special Mobile – група експертів мобільного зв'язку

GSM – Global System of Mobile Communication – глобальна система мобільного зв'язку

GPRS – General Packet Radio Service – служба пакетного радіозв'язку

HSCSD – High-Speed Circuit-Switched Data – високошвидкісний канал пакетної передачі даних

HS – HandSet – ручний телефон

iDEN – integrated Digital Enhanced Network – інтегрована цифрова вдосконалена мережа.

IWF – Interworking Function – функціональний міжмережний стик

LTR – Logic Trunked Radio – логічний транкінговий радіозв'язок

MAP – Mobile Application Part – підсистема мобільного зв'язку

MCC – Mobile Communications Control Station – станція керування мобільним зв'язком

MPT – Ministry of Post and Telegraph – департамент пошт і телеграфів Великобританії

MS – Mobile Station – мобільна станція

MSC – Mobile Switching Centre – центр комутації мобільного зв'язку

MT – Mobile Terminal – мобільний (рухомий) термінал  
NMT – Nordic Mobile Telephone – скандинавська мобільна телефонна мережа  
NMC – National Maintenance Centre – центр керування мережею  
OMC – Operations and Maintenance Centre – центр керування й технічного обслуговування  
PIN – Personal Identification Number – персональний ідентифікаційний номер абонента  
PDC – Personal Digital Cellular – персональний цифровий зв'язок  
PLMN – Public Land Mobile Network – наземний мобільний зв'язок загального користування  
PMR – Professional Mobile Radio – професійні системи радіозв'язку  
PCS – Personal Communication Services – служба персонального зв'язку  
PUK – Personal Unblocking Key – персональний код розблокування  
RACH – Random Access Channel – канал довільного доступу  
RCP – Regional Control Processor – контролер регіонального вузла  
SCI – System Control Interface – блок керування сайтом  
SIS(M) – Subscriber Identification Security (Module) – модуль ідентифікації абонента  
TACS – Total Access Communications System – система зв'язку загального доступу  
TE – Terminal Equipment – термінальне устаткування  
TETRA – TERrestrial Trunked Radio – наземна транкінгова радіосистема  
TCH – Traffic Channel – канал передачі мови і даних (канал трафіку)  
JDC – Japanese Digital Cellular – японська цифрова мережа  
CCMP – стільникові системи мобільного радіозв'язку  
PCMP – професійні системи мобільного радіозв'язку

## ВСТУП

Засоби мобільного зв'язку стрімко розвиваються. Не встигли ми звикнути до можливості знайти за допомогою стільникових телефонів першого покоління (1G) необхідного абонента (і в автомобілі, і на морі, і на рибалці та в інших місцях перебування), як засоби другого покоління (2G) мобільного радіозв'язку дозволили нам і в автомобілі підключитися до Інтернету, а устаткування третього покоління (3G) – здійснювати відеозв'язок з абонентом або дивитися мобільне телебачення зі швидкістю його передачі до 3,6 Мбіт/с. Але вже зараз в експлуатацію вводять засоби мобільного радіозв'язку четвертого покоління (4G) зі швидкістю передачі даних до 1 Гбіт/с.

Таким чином, сучасні системи мобільного радіозв'язку – це *високоінтелектуальні* засоби, створені на базі електроніки високих технологій і могутнього програмного забезпечення, а абонентські мобільні телефони – це вже не просто трубки з навушником, мікрофоном і номеронабирачем, а фактично контролери мобільного зв'язку або мобільні абонентські термінали.

Отже, мобільний радіозв'язок стрімко і неперервно розширює обсяг та якість послуг, що надаються користувачам. Реалізація нових можливостей забезпечується як за рахунок удосконалення існуючих мереж, так і шляхом впровадження нових технічних рішень, які базуються на ідеї створення глобальної мережної інфраструктури, що впроваджується в реальне життя шляхом розроблення нових поколінь систем безпроводового доступу, стільникового та супутникового зв'язку.

Прогнози показують, що домінуючою тенденцією майбутнього є поступове злиття мобільного зв'язку з іншими технологіями. У першу чергу це стосується послуг систем фіксованого та мобільного зв'язку. Уже зараз широко впроваджуються системи, які дозволяють за допомогою мобільного радіотелефона визначати точне місцеположення абонента, отримувати платні інформаційно-довідкові послуги, здійснювати різні види електронних платежів тощо.

# 1. ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

## 1.1. Доплерівське розширення спектра сигналів засобів мобільного радіозв'язку

Засоби мобільного радіозв'язку часто застосовуються для встановлення контактів з об'єктами автомобільного і залізничного транспорту, що мають швидкість до 250...500 км/год. При цьому устаткування систем зв'язку має враховувати доплерівський ефект, при якому з'являються зсуви робочих частот приймачів і передавачів, що взаємно переміщуються.

Доплерівський зсув частот визначається таким чином

$$\Delta f_d = v/\lambda = v/(c/f) = v \cdot f/c,$$

де  $\lambda$  і  $f$  – довжина хвилі та частота передавача;  $v$  – швидкість переміщення приймача відносно передавача;  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – швидкість поширення світла.

Наприклад, за частоти 2 ГГц і швидкості 500 км/год доплерівський зсув частоти становить близько 1000 Гц.

Доплерівські зсуви частот виявляються у вигляді таких недоліків:

- частоти несучих коливань можуть виходити за межі смуг пропускання приймачів засобів зв'язку;

- нерівномірність швидкості руху об'єктів призводить до несталості доплерівського зсуву частот і, отже, до появи шуму через випадкову частотну модуляцію. При цьому ширина спектра шуму приблизно дорівнює подвоєному доплерівському зсуву, тобто досягає 2000 Гц і спектр доплерівського шуму, потрапляючи в смугу модулюючих звукових частот, є перешкодою для радіоканалів мобільного зв'язку;

- доплерівські зсуви частот призводять до часової декореляції сигналів, при цьому доплерівська часова затримка, у межах якої коефіцієнт кореляції значень обвідної сигналу не менше 0,9, обернено пропорційна доплерівському зсуву частоти, тобто

$$\Delta t = 1/\Delta f_d,$$

і для наведеного прикладу становить 1 мс.

Застосовують такі способи боротьби з проявами доплерівського ефекту в системах мобільного радіозв'язку:

- синхронізація несучих частот усіх засобів системного радіозв'язку, яка в системах з TDMA є основним принципом забезпечення

правильного функціонування систем;

– розширення смуги частот каналу відносно смуг вузькосмугових аналогових систем, що є одним з основних принципів функціонування систем з TDMA і CDMA.

У стільникових системах мобільного радіозв'язку (ССМР) і професійних системах мобільного радіозв'язку (ПСМР) ці способи боротьби з доплерівськими ефектами повинні застосовуватися обов'язково, оскільки такі системи призначені для обслуговування рухомих абонентів.

## 1.2. Багатопроменеве поширення радіохвиль

### 1.2.1. Завмирання сигналів засобів мобільного радіозв'язку

Використовувані в системах стільникового зв'язку з рухомими об'єктами (РО) дециметрові радіохвилі *слабко огинають* перешкоди, поширюються в основному прямолінійно і зазнають численних відбиттів від навколишніх об'єктів та підстилаючої поверхні (рис. 1.1). Тому визначальними ефектами при поширенні таких радіохвиль є дифракція й інтерференція. Наслідками багатопроменевого поширення є більш швидке, ніж у вільному просторі, згасання інтенсивності сигналу, що приймається, і яскраво виражена нерівномірність електромагнітного поля.

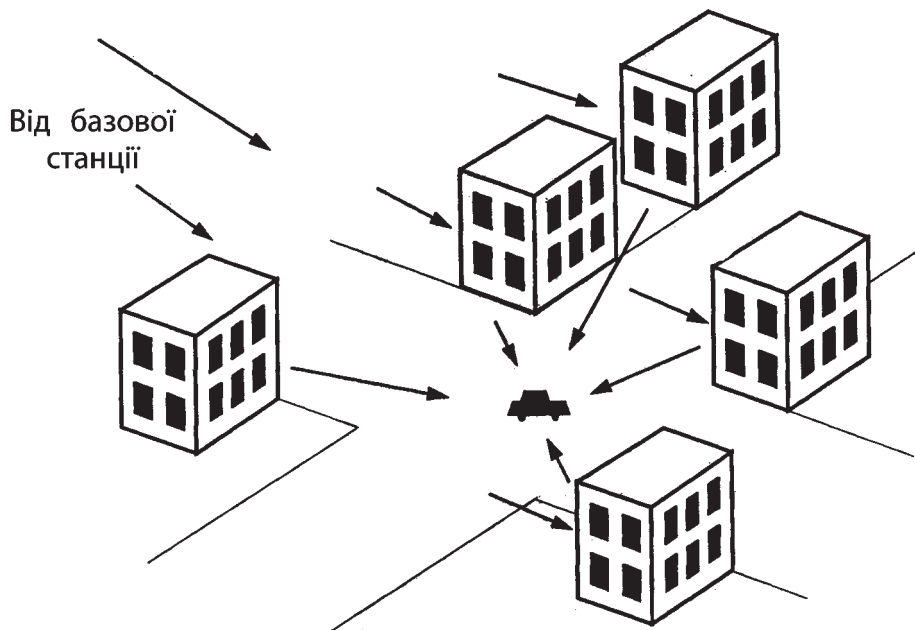


Рис. 1.1

При складанні декількох сигналів, що пройшли різними шляхами і мають у точці прийому в загальному випадку різні фази, результуючий сигнал може бути або дещо вищим від середнього рівня, або помітно нижчим. Причому провали (або завмирання сигналу), що утворюються при взаємній компенсації сигналів унаслідок несприятливого поєднання їх фаз і амплітуд, можуть бути достатньо глибокими.

Коливання рівня сигналу (завмирання), який приймається, практично завжди мають дві складові – швидку та повільну.

Швидкі завмирання, які є прямим наслідком багатопроменевого поширення, описуються релеєвським законом розподілу ймовірності і тому їх називають релеєвськими завмираннями та моделюють законом Релея – Райса [12]

$$w(r) = \left(\frac{r}{\sigma^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \exp(-Q_0) \cdot I_0\left(\frac{r}{\sigma} \cdot \sqrt{2Q_0}\right), \quad r \geq 0,$$

де  $r$  – амплітуда сигналу;  $Q_0$  – відношення потужності прямого (нефлюктууючого) сигналу до середньої потужності флюктуацій;  $\sigma^2$  – середня потужність, або дисперсія флюктуацій сигналу;  $I_0(\cdot)$  – модифікована функція Бесселя першого роду нульового порядку.

Якщо прямий сигнал відсутній, а приймаються тільки відбиті сигнали, то  $Q_0 = 0$  і густина розподілу ймовірності описується законом Релея [12]

$$w(r) = \left(\frac{r}{\sigma^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), \quad r \geq 0.$$

Діапазон змінювання рівня сигналу при швидких завмираннях може досягати 40 дБ, з яких приблизно 10 дБ – це перевищення середнього рівня і 30 дБ – провали, нижчі за середній рівень, причому глибші провали зустрічаються рідше, ніж менш глибокі. Якщо абонентський апарат нерухомий, то інтенсивність сигналу, що приймається, природно, не змінюється. При переміщенні рухомої станції періодичність флюктуації у просторі становить близько півхвилі, тобто приблизно 10...15 см у лінійному вимірі. Період флюктуації у часі залежить від швидкості переміщення рухомої станції: наприклад, при швидкості 50 км/год період флюктуації становить приблизно 10 мс, а при швидкості 100 км/год – близько 5 мс.

Повільні завмирання зумовлені зміненням умов затінювання при переміщенні рухомої станції і підпорядковуються логарифмічному нормальному закону розподілу [12]



$$w(r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma r} \exp\left[-\frac{(\ln r - a)^2}{2\sigma^2}\right], r > 0,$$

де  $a$  і  $\sigma^2$  – параметри, що характеризують середній рівень амплітуди й глибину завмирань відповідно.

Інтенсивність повільних флюктуацій не перевищує 5...10 дБ, а їх періодичність відповідає переміщенню рухомої станції на десятки метрів. Фактично повільні завмирання характеризують змінювання середнього рівня сигналу при переміщенні рухомої станції, на які накладаються швидкі завмирання внаслідок багатопроменевого поширення. При цьому можуть виникати також спотворення результуючого сигналу типу міжсимвольної інтерференції, якщо сигнали з сумірними амплітудами настільки відрізняються різницею ходу, що символи одного з них "наповзають" на сусідні символи іншого.

Основні неприємності у разі зв'язку з рухомими об'єктами створюють швидкі завмирання сигналу, оскільки вони бувають достатньо глибокими, і при цьому відношення сигнал/шум падає настільки сильно, що корисна інформація може істотно спотворюватися шумами аж до повної її втрати. При цьому існуючі способи боротьби з швидкими завмираннями радіохвиль ефективно усувають і прояви повільних завмирань.

На практиці широко використовуються такі способи боротьби з швидкими завмираннями:

- рознесений прийом;
- еквалайзинг.

### 1.2.2. Способи рознесеного прийому

Способи рознесеного прийому (англ. diversity – рознесення) полягають у сумісному використанні декількох сигналів, що розрізняються (рознесені) за деякими параметрами. Причому рознесення слід вибирати так, щоб імовірність одночасних завмирань усіх використовуваних сигналів була набагато меншою, ніж будь-якого одного з них. Іншими словами, ефективність рознесеного прийому тим вища, чим менше корельовані завмирання окремих складових сигналу.

Можливі п'ять варіантів рознесеного прийому [12]:

- з рознесенням у часі (time diversity), при цьому використовуються сигнали, зсунуті в часі один відносно іншого; цей метод порівняно легко реалізується лише в цифровій формі, коли якість прийому поліпшується за рахунок пропускнуої здатності каналу зв'язку;

– рознесенням за частотою (frequency diversity), при цьому використовуються сигнали, що передаються на декількох частотах, тому "платою" є розширення використовуваної смуги частот;

– рознесенням за кутом або напрямком (angle diversity або direction diversity), при цьому прийом проводиться на декілька антен з розузгодженими діаграмами спрямованості (що не повністю перекриваються); у цьому випадку сигнали з виходів різних антен корельовані тим слабше, чим менше перекриття діаграм спрямованості, але при цьому одночасно падає і ефективність прийому (інтенсивність сигналу, що приймається) принаймні для всіх антен, крім однієї;

– рознесенням за поляризацією (polarization diversity), коли, наприклад, дві антени приймають сигнали двох взаємно ортогональних поляризацій (практичного значення цей варіант не має, оскільки в діапазоні НВЧ замирання на різних поляризаціях сильно корельовані);

– рознесенням у просторі (space diversity), тобто з прийомом сигналів на декілька просторово рознесених антен; цей метод знаходить практичне застосування і саме його зазвичай мають на увазі, коли йдеться про рознесений прийом.

Очевидно, що для методу просторового рознесення вираш тим більший, чим більша кількість антен використовується, але при цьому зростає і складність технічного рішення. Тому найчастіше практичне застосування знаходить проста система з двома приймальними антенами базових станцій. Для рухомих станцій рознесений прийом не використовують.

При зростанні відстані між антенами кореляція між флюктуаціями рівнів сигналів, що ними приймаються, падає, тобто чим більше рознесення антен, тим вища ефективність рознесеного прийому. Але при цьому зростає і складність технічної реалізації, тому практично рознесення береться мінімально можливим, при якому рознесений прийом уже достатньо ефективний. Реально з урахуванням як аналітичних оцінок, так і емпіричних даних рознесення зазвичай становить близько десятка довжин хвиль, тобто приблизно декілька метрів.

Сигнали з виходів двох антен можна використовувати шляхом вибору тільки одного сильнішого з двох сигналів, додетекторного когерентного підсумовування обох сигналів, а також післядетекторного підсумовування сигналів з рівними вагами або зі зважуванням, що забезпечує отримання максимуму відношення сигнал/шум.

Можна зазначити, що за наслідками експериментальних досліджень, проведених на діючих мережах GSM, просторове рознесення приймальних антен на базовій станції дозволяє отримати вираш 3...4 дБ.

Застосування *стрибків частоти* є суміщеним частотним і часо-

вим способом рознесеного прийому, при якому виключаються недоліки як одного, так і іншого способу, оскільки в кожний конкретний момент часу здійснюється робота на одній частоті.

Спосіб стрибків частоти полягає у тому, що несуча частота для кожного фізичного каналу періодично змінюється. Оскільки релеївські завмирання є частотно-селективними, то, якщо при роботі на деякій частоті мало місце завмирання, при зміні робочої частоти на інтервал до 300 кГц завмирань з великою ймовірністю не буде. Отже, при достатньо частих змінах частоти істотно знижується ймовірність тривалих завмирань і групових помилок, а з одиночними помилками можна успішно боротися за допомогою перешкодостійкого каналного кодування.

Розрізняють *повільні та швидкі стрибки* частоти. При повільних стрибках період змінювання частоти набагато більший за тривалість символу передаваного повідомлення, а при швидких стрибках цей період набагато менший за тривалість символу.

Змінювання частоти в межах доступного діапазону може бути як регулярним (циклічним), так і нерегулярним (псевдовипадковим). Режим роботи зі стрибками частоти не є обов'язковим і призначається за командою з центру комутації радіосистеми.

### 1.2.3. Способи еквалайзингу

У вузькосмугових TDMA-системах для компенсації міжсимвольних спотворень використовуються різні *способи еквалайзингу*. Термін еквалайзинг запозичено з англійської мови (*equalizing* – буквально *вирівнювання*) і в даному випадку має смисл компенсації тієї різниці ходу між складовими променями при багатопроменевому поширенні радіохвиль, яка призводить до міжсимвольної інтерференції. Еквалайзер за своєю суттю – це адаптивний фільтр, що настроюється так, щоб сигнал на його виході був якомога краще очищений від міжсимвольних спотворень, які мають місце у вхідному сигналі.

Найпростіша реалізація еквалайзера – це трансверсальний фільтр (рис. 1.2). Покажемо на простому прикладі, що така схема в деяких ситуаціях може істотно послабити міжсимвольні спотворення.

Припустимо, що вхідний сигнал еквалайзера складається з основного сигналу – деякої послідовності одnobітових символів (одиниць і нулів, перший графік на рис. 1.3) і його копії, послабленої у три рази і зсунутої у часі на тривалість  $\tau$  одного символу (другий графік на рис. 1.3).

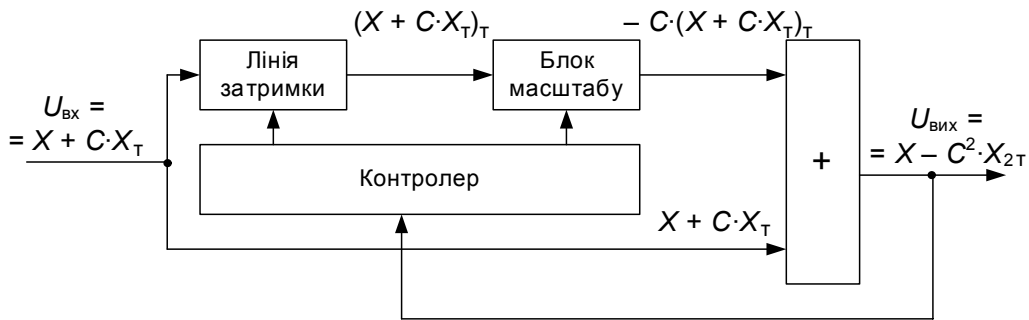


Рис. 1.2

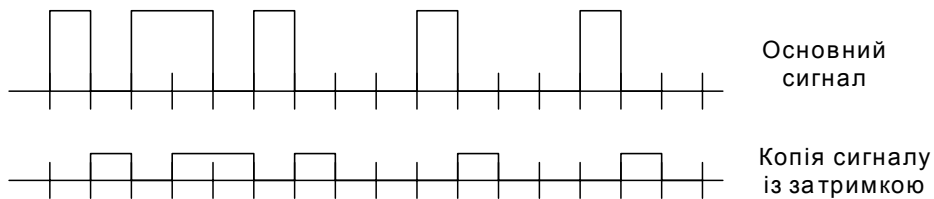


Рис. 1.3

Якщо дискрет лінії затримки фільтра дорівнює  $\tau$ , а значення коефіцієнта в першому відгалуженні  $C_1 = -1/3$ , то при складанні вхідного сигналу і сигналу з першого відгалуження отримуємо, що основний сигнал (перша складова вхідного сигналу) залишається без змін, а друга складова вхідного сигналу компенсується першою складовою, затриманою на  $\tau$  (сигналу з першого відгалуження лінії затримки), друга складова затриманого сигналу дає копію основного, але по-слаблену вже у дев'ять разів, затриману на  $2\tau$  і з протилежним знаком. Якщо у другому відгалуженні лінії коефіцієнт  $C_2 = 1/9$ , то при складанні вхідного і двох затриманих сигналів матимемо незмінний основний сигнал і його копію, затриману на  $3\tau$  і ослаблену в 27 разів. Таким чином, у даному прикладі додавання кожного наступного елемента лінії затримки з відповідним значенням коефіцієнта  $C$ , приводить до послаблення спотворюючого сигналу втричі й до додаткової затримки його в часі на  $\tau$ .

У реальній ситуації кількість променів може бути більше двох і амплітуди складових сигналів так само, як і їх кількість та затримки, не будуть заздалегідь відомі. Крім того, при переміщенні абонентського апарату вся ця картина безперервно змінюється. Тому настроювання фільтра повинно проводитися адаптивно відповідно до ситуації, що конкретно складається, з використанням навчаючих послідовностей  $C$  і  $\tau$ , які можуть змінюватися за критерієм мінімізації міжсимвольних спотворень.

## 2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СТІЛЬНИКОВІ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

### 2.1. Хронологія розвитку ССМР

Починаючи з 40-х років ХХ століття, вчені й інженери різних країн намагалися вирішити проблему обмеженості частотного ресурсу, зумовлену зростанням кількості абонентів радіосистем. У середині 40-х років минулого століття дослідницький центр Bell Laboratories американської компанії AT&T запропонував ідею розбиття всієї обслуговуваної території на невеликі ділянки, які почали називатися стільниками (від англ. cell – осередок, клітинка, стільник). Кожен стільник повинен був обслуговуватися передавачем з обмеженим радіусом дії і фіксованою частотою. Це дозволило без усяких взаємних перешкод використовувати ту саму частоту повторно в іншому осередку (стільнику). Так з'явилися стільникові системи мобільного радіозв'язку (ССМР).

Хронологію розвитку ССМР показано на рис. 2.1.

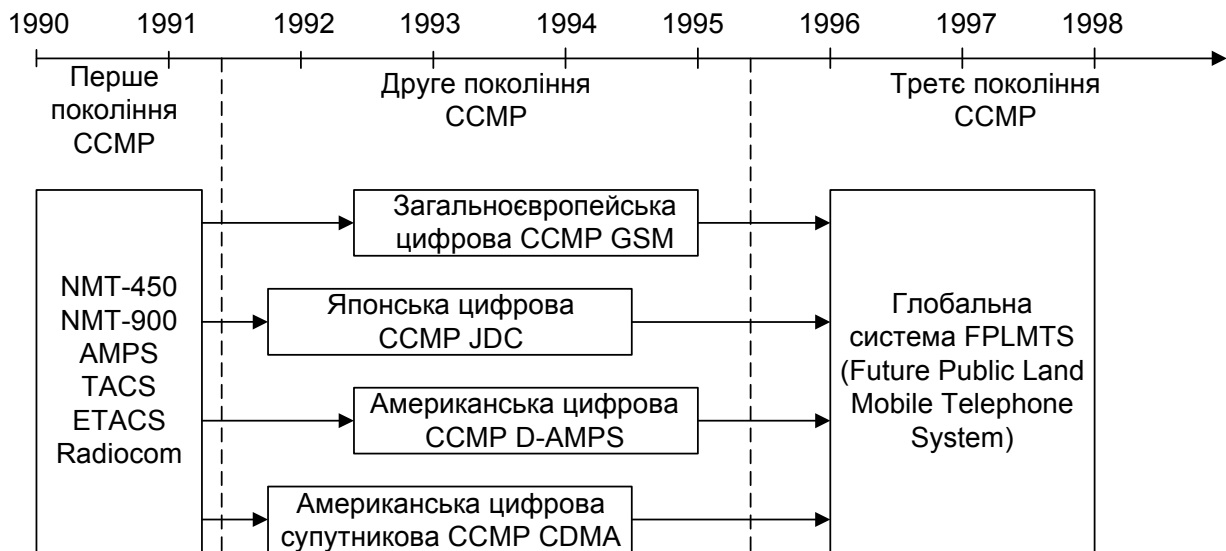


Рис. 2.1

Ще наприкінці 70-х років минулого століття почалися роботи із створення єдиного стандарту *стільникового зв'язку першого покоління (1G)* для п'яти північно-європейських країн – Швеції, Фінляндії, Ісландії, Данії і Норвегії, який отримав назву NMT-450 (Nordic Mobile Telephone) і був призначений для роботи в діапазоні 450 МГц.

Уперше систему стільникового зв'язку стандарту NMT-450 було введено в експлуатацію в Саудівській Аравії у 1981 році. На базі цього

стандарту в 1985 році було розроблено стандарт NMT-900 діапазону 900 МГц, який дозволив розширити функціональні можливості ССМР і значно збільшити їх абонентську місткість. З 1986 року у скандинавських країнах почали застосовувати стандарт NMT-900.

У 1983 році у США в районі Чикаго після ряду успішних польових випробовувань у дослідницькому центрі Bell Laboratories було введено в експлуатацію радіомережу стандарту AMPS (Advanced Mobile Phone Service).

У 1985 році у Великобританії було прийнято як національний стандарт TACS (Total Access Communications System), розроблений на основі американського стандарту AMPS. У 1987 році у зв'язку з різким збільшенням у Лондоні кількості абонентів стільникового зв'язку було розширено робочу смугу частот. Нова версія цього стандарту стільникового зв'язку отримала назву ETACS (Enhanced TACS).

У Франції у 1985 році було прийнято стандарт Radiocom-2000.

У 1992 році у Санкт-Петербурзі, а потім і в Москві з'явилися російські напрацювання ССМР стандарту NMT-4501 (удосконаленого стандарту NMT-450).

Припинив своє існування стандарт NMT-450 у Фінляндії у 2000 році. Український оператор мобільного зв'язку УМС закінчив експлуатацію мережі стандарту NMT-450 відповідно до рішення Кабінету Міністрів України, який своєю постановою № 815 від 9 червня 2006 року прийняв новий "План використання радіочастотного ресурсу України" і повернув до Національної комісії з регулювання зв'язку (НКРЗ) України ліцензію на цей застарілий стандарт

Усі перелічені раніше стандарти є аналоговими і відносяться до першого покоління систем стільникового зв'язку. У них використовується аналоговий спосіб передачі інформації за допомогою частотної або фазової модуляції. Цей спосіб має ряд істотних недоліків: можливість прослуховування розмов іншими абонентами, відсутність ефективних методів боротьби із завмираннями сигналів, що виникають за рахунок впливу навколишнього ландшафту і будівель внаслідок пересування абонентів.

Використання новітніх технологій і наукових відкриттів в області зв'язку й оброблення сигналів наприкінці 80-х років ХХ століття дозволило підійти до нового етапу розвитку систем стільникового зв'язку – створення *систем другого покоління (2G)*, що базуються на цифрових методах оброблення сигналів.

З метою розроблення єдиного європейського стандарту цифрового стільникового зв'язку для виділеного діапазону 900 МГц у 1982 році Європейська конференція адміністрацій пошт і електрозв'язку (СЕРТ), яка об'єднує 26 країн, створила спеціальну групу

Groupe Special Mobile (GSM), що і дало назву новому стандарту. Пізніше у зв'язку з швидким поширенням цього стандарту в усьому світі GSM почали розшифровувати також, як Global System for Mobile Communications. Результатом роботи цієї групи стали опубліковані в 1990 році вимоги до системи стільникового зв'язку стандарту GSM. У 1992 році у Німеччині було здано в експлуатацію першу систему стільникового зв'язку цього стандарту.

Америка проголосила свою концепцію CCMP покоління 2G – D-AMPS. На відміну від Європи в США не були виділені нові частотні діапазони, тому нова система повинна була працювати в спільній смузі частот з аналоговою CCMP AMPS.

Одночасно американська компанія Qualcomm почала активне розроблення нового стандарту стільникового зв'язку, який базується на технології шумоподібних сигналів і кодовому розділенні каналів CDMA. У 1993 році у США після ряду успішних випробовувань Промислової асоціації в області зв'язку TIA прийняла стандарт CDMA-one як внутрішній стандарт IS-95 цифрового стільникового зв'язку. У 1995 році у Гонконзі було відкрито першу радіомережу цього стандарту.

У Японії в 1991 році Міністерством пошт і зв'язку Японії було затверджено власний стандарт стільникового зв'язку JDC (Japanese Digital Cellular), що є близьким до американського стандарту D-AMPS.

Порівняно з аналоговими системами першого покоління цифрові CCMP другого покоління забезпечують підвищену якість зв'язку, взаємодію з цифровими комутаційними мережами, а також цілий ряд додаткових послуг. Вони використовують часове розділення каналів, шифрування повідомлень і новий вид модуляції – GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

Подальший розвиток стільникового мобільного зв'язку (див. рис. 2.1) відбувається в рамках створення проектів *систем третього покоління (3G)*.

У Європі концепція CCMP третього покоління отримала назву UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), а в США – CDMA-2000. Ці системи передбачають об'єднання функціональних можливостей існуючих цифрових систем зв'язку CCMP, мікростільникових систем безпроводового доступу (МСБД) і систем безпроводового абонентського доступу (СБАД) в єдиній системі третього покоління FPLMTS (Future Public Land Mobile Telephone System). Крім цього, важливою особливістю систем третього покоління є міжмережний роумінг зі супутниковими системами радіозв'язку "Iridium", "Globalstar", "Inmarsat-P" та ін. Отже, ці системи фактично матимуть архітектуру єдиної мережі для зв'язку абонентів, що знаходяться в різних умовах, включаючи транспорт, житлові приміщення, офіси тощо.

Часові межі поколінь ССМР не так чітко виділені, як показано на рис. 2.1. По-перше, усе залежить від того, що вважати межею, – появу ідеї, етап розроблення, момент проведення тестових випробувань або введення в експлуатацію і, по-друге, у різних регіонах ці етапи, як правило, зсунуті в часі.

Отже, якщо говорити про початок хронології і моменти запуску в експлуатацію технологій окремих поколінь, то потрібно назвати такі етапи:

- середина 40-х років ХХ століття – поява ідеї територіально-частотної організації стільникових систем радіозв'язку (компанія АТ&Т, США);

- 1981 рік – введення в експлуатацію першої ССМР стандарту NMT-450 покоління 1G у Саудівській Аравії (2006 рік – кінець її експлуатації в Україні);

- 1990 – 1992 роки – початок функціонування систем стандартів D-AMPS і GSM покоління 2G у США і Німеччині відповідно;

- 2000 – 2002 роки – запуск систем стандартів CDMA-2000 і WCDMA покоління 3G у США і Гонконзі відповідно;

- 2007 рік – перші тестові випробування засобів технології покоління 4G на телекомунікаційному форумі на острові Джеджу (Південна Корея) у мобільних умовах при швидкості передачі даних до 100 Мбіт/с і на демонстраційному майданчику – при швидкості 1 Гбіт/с.

Існує також технологія WCDMA/HSDPA покоління 3,5G, яка зараз забезпечує швидкість передачі даних до 3,6 Мбіт/с.

На початок 2008 року в світі зафіксовано 268 операторів систем зв'язку покоління 3G у 110 країнах і 508 млн абонентів цих систем.

В Україні в 2007 році і на початок 2008 року маємо такі етапи впровадження ССМР поколінь 2G і 3G.

Оператори GSM 900/1800 2G в Україні у 2007 році: ЗАТ "Київстар GSM" (Київстар GSM, Djuce, Мобілич), "Мобільні телесистеми" (колишні ЗАТ "Український Мобільний Зв'язок" – UMC, Jeans), ТОВ "Астеліт" (Life:), ЗАТ "Українські радіосистеми" (Beeline), Велтон Телеком, ТОВ "Голден телеком" (Golden Telecom, Україна).

Оператор D-AMPS, CDMA-one 2G в Україні в 2007 році – СП ТОВ "Інтертелеком" (CDMA UKRAINE).

6 лютого 2007 року в Україні під егідою компанії "Телесистеми України" (PEOPLEnet) розпочав працювати перший в країні оператор мобільного зв'язку третього покоління, що використовує технологію CDMA 2000 і CDMA EV-DO у діапазоні 800 МГц.

7 лютого 2007 року компанія "Інтертелеком" (CDMA UKRAINE)



почала надавати послуги у стандарті CDMA EV-DO у декількох містах України, а з 15 грудня 2008 року ця компанія здійснює повномасштабну комерційну експлуатацію мережі CDMA EV-DO в Україні під брендом "Internet 3" ..

15 жовтня 2007 року оператор ВАТ "Мобільні телесистеми" (МТС) запустив у комерційну експлуатацію мережу стандарту CDMA EV-DO діапазону 450 МГц.

З першого листопада 2007 року ВАТ "Укртелеком" (Utel) почало продаж послуг мобільного зв'язку третього покоління WCDMA. Так Укртелеком став четвертим оператором в Україні, що надає послуги мобільного зв'язку покоління 3G.

Про намір отримати ліцензію на 3G заявляли також нинішні українські оператори мобільного зв'язку: ЗАТ "Київстар GSM", ЗАТ "Український мобільний зв'язок", ТОВ "Астеліт" (Life:) і ЗАТ "Українські радіосистеми" (Beeline).

Таким чином, в Україні у 2007 та 2008 роках було зареєстровано і працювали шість операторів (10 брендів) 2G і чотири оператори 3G.

## **2.2. Територіальна організація ССМР**

Для ССМР, у яких зона обслуговування ділиться на осередки (стільники), характерним є те, що в них забезпечується територіально-частотний принцип розподілу частот по території обслуговування.

Розділити обслуговувану територію на осередки (стільники) можна двома способами:

- на ділянки однакової форми та розміру виходячи з середньостатистичних характеристик поширення радіохвиль у регіоні розгортання ССМР;

- зони радіовидимості, отримані при вимірюванні або розрахунку енергетики поширення радіохвиль, для всіх конкретних стільників регіону, у якому працює ССМР.

При реалізації *першого способу* вся обслуговувана територія розділяється на однакові за формою зони, і за допомогою законів статистичної радіофізики визначаються їх можливі розміри і відстані до інших зон, у межах яких виконуються умови допустимого взаємного впливу. Для оптимального розділення території на стільники, тобто без перекриття або пропусків ділянок, можуть бути використані тільки три геометричні фігури: трикутник, квадрат і шестикутник. Найбільш вдалою фігурою є шестикутник, оскільки при установленні в його центрі антени з круговою діаграмою спрямованості буде забезпечено радіодоступ майже до всіх ділянок стільника.

При реалізації розглянутого способу інтервал між зонами, в яких

використовуються однакові робочі канали, зазвичай виходить меншим за потрібний для підтримки взаємних перешкод на припустимому рівні і тому кількість стільників і базових станцій буде більшою за необхідну.

При *другому способі* розділення на зони ретельно вимірюють або розраховують зони радіовидимості, у яких забезпечується задовільне обслуговування абонентів, визначають оптимальне місце розташування базової станції з урахуванням рельєфу місцевості, для вирівнювання зон розглядають можливість застосування спрямованих антен, пасивних ретрансляторів та ін. Усе це дозволяє використовувати мінімальну кількість стільників і базових станцій. Другий спосіб точніший і економічно вигідніший, але й більш трудомісткий.

### 2.3. Частотна організація ССМР

Частотний план ССМР при трьох наборах  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  частот базових станцій показано на рис. 2.2.

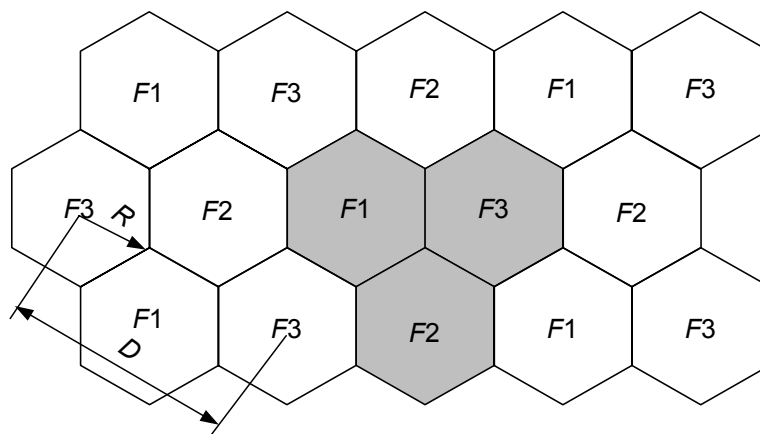


Рис. 2.2

Декілька стільників, що мають різні набори частот, які охоплюють увесь виділений частотний діапазон, називаються *кластером*. Наприклад, на рис. 2.2 розмірність кластера  $C$  дорівнює трьом, радіус стільника –  $R$ , а відстань між центрами однойменних стільників –  $D$ . У існуючих ССМР розмірність кластера становить від трьох до п'ятнадцяти.

Суміжні базові станції утворюють кластерну групу станцій. Якщо кожній базовій станції виділяється  $L$  каналів з шириною смуги кожного  $F$ , то загальна ширина смуги частот, яку займає кластерна група станцій і ССМР в цілому, становить  $F_c = FLC$ .

Якщо  $L = 1$ , тобто в стільнику знаходиться один середньостатистич-

тичний абонент, то  $F_c = F_{c \min} = FC$ . Тому величина  $C$  визначає мінімально можливу кількість каналів у системі, і її називають частотним параметром або коефіцієнтом повторення частот.

Зменшення радіуса (розмірів) чарунки збільшує кількість стільників, зменшує кількість абонентів у стільнику, отже, дозволяє підвищити ефективність використання виділеної смуги частот, збільшити абонентську місткість системи, зменшити потужність передавачів та чутливість приймачів базових і рухомих станцій, поліпшити умови електромагнітної сумісності засобів стільникового зв'язку з іншими радіоелектронними засобами та системами і підвищити безпеку роботи абонентів з радіозасобами ССМР.

Радіус чарунки  $R$  слід зменшувати до оптимальної величини  $R_{min}$ , при якій у сайті знаходиться один середньостатистичний абонент. Оскільки найменший кластер має розмірність  $C = 3$ , то мінімально можлива смуга частот ССМР  $F_{c \min} = 3F$ . Таким чином, смуга частот ССМР, що містить сотні стільників і тисячі абонентів, може теоретично мати смугу частот усього в три рази більшу за смугу частот системи децентралізованого зв'язку з трьома абонентами. Проте в реальних випадках такого виграшу не виходить, оскільки через міграцію абонентів кількість каналів у стільнику вибирають не за середньостатистичною кількістю абонентів, а виходячи з їх максимальної кількості в годину найбільшого навантаження (ГНН).

## 2.4. Способи боротьби із системними перешкодами ССМР

Системні перешкоди абонентської станції – це перешкоди від інших абонентських і базових станцій сусідніх стільників ССМР.

*Перший спосіб* боротьби з системними перешкодами зумовлений територіально-частотною організацією ССМР, оскільки базові станції з однаковими наборами частот знаходяться не в сусідніх стільниках, а рознесені територіально. Це рознесення визначається захисним інтервалом  $D = R\sqrt{3C}$  (див. рис. 2.2) і коефіцієнтом зменшення системних перешкод  $q = D/R = \sqrt{3C}$ . Зокрема, параметр  $q$  має значення 3, 3,46 і 4,58 для три-, чотири- і семиелементного кластера, тобто збільшується із зростанням розмірності відповідного кластера.

*Другим способом* зниження рівня системних перешкод може бути використання спеціальних спрямованих секторних антен з вузькими діаграмами спрямованості. У секторі такої антени сигнал випромінюється переважно в один бік, а рівень випромінювання в протилежному напрямку зменшується до мінімуму. Розділення стільників на сектори дозволяє частіше повторно використовувати частоти в стільниках.

Широко застосовуваний спосіб повторного використання частот в організованих таким чином стільниках, що базується на встановленні трисекторних антен для кожної базової станції і об'єднанні у кластер трьох сусідніх базових станцій, які формують дев'ять груп частот, ілюструється на рис. 2.3. У цьому випадку використовуються антени з шириною діаграми спрямованості  $120^\circ$ , розмірність кластера становить  $C = 3$ , кількість наборів частот –  $N = 3$ , а кількість частот одного стільника –  $L = NL_{\text{сект}} = 3L_{\text{сект}}$ . Отже, при мінімальній кількості каналів набору, коли  $L_{\text{сект}} = 1$ , ширина смуги ССМР  $F_c = F_{c \text{ min}} = FLC = 3 \cdot 3 \cdot F$ , тобто в три рази ширша, ніж при встановленні антен з круговою діаграмою спрямованості.

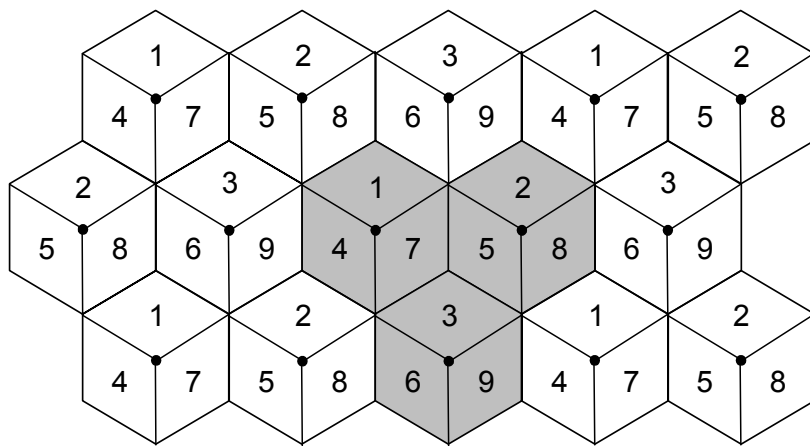


Рис. 2.3

Високу ефективність використання смуги частот і найбільшу кількість абонентів мережі, що працюють у цій смузі, забезпечує спосіб повторення частот фірми Motorola (рис. 2.4). У цьому випадку використовуються антени з шириною діаграми спрямованості  $60^\circ$ , розмірність кластера становить  $C = 4$ , кількість наборів частот одного стільника –  $N = 6$ , а кількість частот такого стільника –  $L = N \cdot L_{\text{сект}} = 6 \cdot L_{\text{сект}}$ . Отже, при мінімальній кількості каналів набору  $L_{\text{сект}} = 1$  ширина смуги частот ССМР  $F_c = F_{c \text{ min}} = 4 \cdot 6 \cdot F$ , тобто у вісім разів більша, ніж при використанні односекторних антен.

Обидва приклади використання багатосекторних антен (рис. 2.3, 2.4) показують, що забезпечуване при цьому зниження рівня системних перешкод досягається за рахунок розширення смуги робочих частот ССМР.

*Третій спосіб* зниження системних перешкод сприяє виключенню попадання в смугу абонентської станції комбінаційних (інтерференційних) коливань третього порядку частот  $f_{\text{комб}} = 2f_i - f_j$ , що формуються на нелінійностях вхідних каскадів абонентської станції при прийомі

декількох коливань з частотами  $f_i, f_j$  від інших абонентських або базових станцій ССМР.

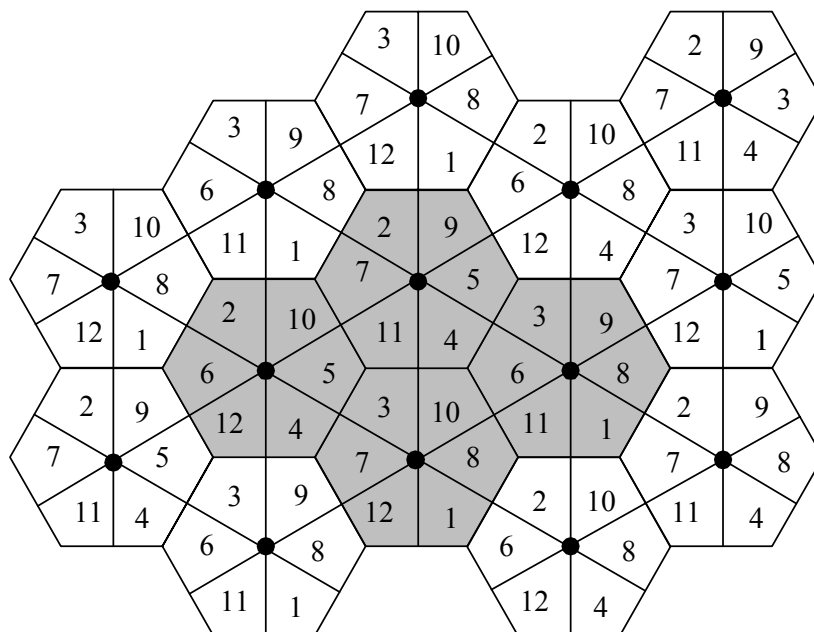


Рис. 2.4

Повне число  $m$  радіоканалів, у яке входить група з  $n$  каналів, комбінаційні частоти будь-яких пар яких не потрапляють на частоти цих  $n$  каналів, виражається таким чином [2]:

$$m = (n - 1) \cdot (n^2 - 2n + a) / 4,$$

де  $a = 4$  при парному  $n$  і  $a = 3$  при непарному  $n$ .

Так, наприклад, за наявності  $n = 5$  робочих каналів потрібно мати  $m = 18$  частотних каналів і, як наслідок, загальну смугу частот, що в  $\beta = m/n = 3,6$  раз перевищує смугу робочих частот. Чим менша величина  $\beta$ , тим більш ефективним буде використання частотного діапазону.

## 2.5. Функціональні можливості ССМР

На початку свого становлення ССМР розроблялися для забезпечення рухомих і стаціонарних абонентів мовним зв'язком. При цьому основні зусилля розробників були спрямовані:

- на збільшення кількості користувачів при обмеженому частотному ресурсі;

- розширення покриття території радіозв'язком;
- підвищення якості зв'язку і швидкості передачі даних;
- мініатюризацію і дизайн абонентських станцій.

Проте з часом, коли основну частину цих питань було вирішено, радіоканали GSM почали використовувати для передачі *немовної інформації* і забезпечення *додаткових послуг*. Наведені нижче деякі приклади нестандартного використання GSM описані у праці [4].

### *Фотографії телефоном*

Дві фірми Siemens і Kodak впровадили нову послугу "фотокамера-телефон". Через спеціальну службу Photonet On line, створену фірмою Kodak, власники мобільних телефонів матимуть доступ до послуг мобільної фотографії. Користувачі зможуть швидко пересилати свої фотознімки друзям, обмінюватися фотографіями з інтелектуальних альбомів тощо.

### *Штрих-коди телефоном*

Співробітники японської стільникової компанії KDDI мають намір залишити без роботи театральних касирів. Вони пропонують доставляти квитки у вигляді штрих-коду прямо на мобільні станції і обіцяють розпочати повномасштабну реалізацію такої послуги. Контролер виводовищної установи зможе зчитувати штрих-код спеціальним сканером, який в екстреному порядку почала випускати фірма Hitachi.

### *Почерк телефоном*

CDMA-телефон SCH-i201 (Samsung) розпізнає англійський текст, написаний від руки на дисплеї апарату. При бажанні можна намалювати яку-небудь невелику схему (як пройти в бібліотеку тощо), яку нескладно відправити згідно з протоколом SMS або електронною поштою як прикріплений файл. У радіотелефоні крім традиційних реалізована також функція голосового керування.

### *Стільникова автонавігація*

Британський стільниковий оператор Vodafone "перейшов" на обслуговування автомобілів. Недавно ця компанія виявила бажання

оснащувати нові автомобілі марки "Форд" системами зв'язку і навігації. Вони дозволять водіям в оперативному режимі одержувати інформацію про стан доріг, пробки на дорозі, а у разі потреби зв'язуватися зі службами екстреної допомоги.

### *Дистанційна медицина*

Фірма Siemens випустила стільникові телефони, у яких на задній стінці розміщено чотири електроди. Приклавши ці електроди до грудей і натиснувши кнопку, користувач передає ретельно записану кардіограму до стаціонарного консультаційного пункту. За цим самим телефоном він зв'язується з фахівцями-кардіологами і одержує медичний висновок про стан свого здоров'я.

### *Музично-навігаційний телефон*

Випуск моделі Videophone від Sanyo ознаменував новий етап у розвитку стільникових телефонів. У корпусі компактного мобільного телефону конструктивно об'єднані відеокамера, MP3-плеєр і GPS-приймач. У апараті вдало поєднуються універсальність і якість.

### *Передача телеметричних даних*

На газорозподільних станціях (ГРС) і в управлінні магістральних газопроводів (УМГ) встановлюють стільникові термінали, за допомогою яких з ГРС на УМГ передаються телеметричні дані про тиск, температуру та інші параметри газу в газопроводах.

Наведені приклади застосувань ССМР показують, що функціональні можливості таких "транспортних" засобів для передачі інформації без проводів у наш час використовуються далеко не повністю. У зв'язку з тим, що апаратура ССМР має достатньо високий рівень розвитку, основні перспективи її вдосконалення пов'язані саме з розширенням сфери послуг і переліку функцій, що виконуються системою.

### 3. ЦИФРОВІ ССМР СТАНДАРТУ GSM

#### 3.1. Структура ССМР стандарту GSM

Кожний зі стільників ССМР стандарту GSM (рис. 3.1) обслуговується багатоканальним приймачем-передавачем базової станції. Вона служить інтерфейсом між стільниковим телефоном і центром комутації мобільного зв'язку (MSC), де роль проводів звичайної телефонної мережі виконують радіоканали. Усі базові станції (BTS) сполучені з центром комутації мобільного зв'язку виділеними проводовими або радіорелейними каналами зв'язку.

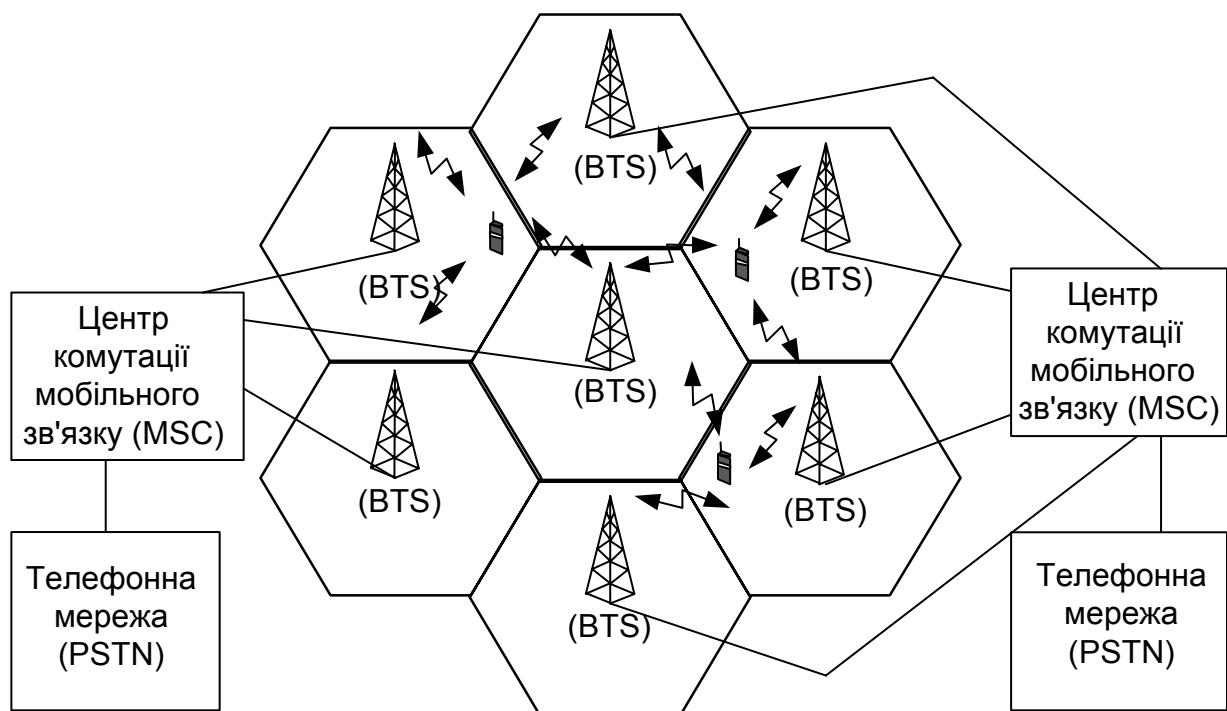


Рис. 3.1

Структуру ССМР стандарту GSM показано на рис. 3.2, на якому MSC (Mobile Switching Center) – центр комутації мобільного зв'язку; HLR – реєстр місцеположення або домашній реєстр; VLR – реєстр переміщення або гостьовий реєстр; EIR (Equipment Identification Register) – реєстр ідентифікації устаткування; AUC – центр автентифікації; BSS (Base Station Sub-System) – підсистема базових станцій; BSC (Base Station Controller) – контролер базових станцій; BTS (Base Transceiver Station) – приймач-передавач базової станції або базова станція; NSS (Network and Switching Sub-System) – мережна й комутаційна підсистеми; OMC (Operations and Maintenance Center) – центр



керування й технічного обслуговування; NMC (National Maintenance Center) – центр керування мережею; MS (Mobile Stations) – рухомі станції.

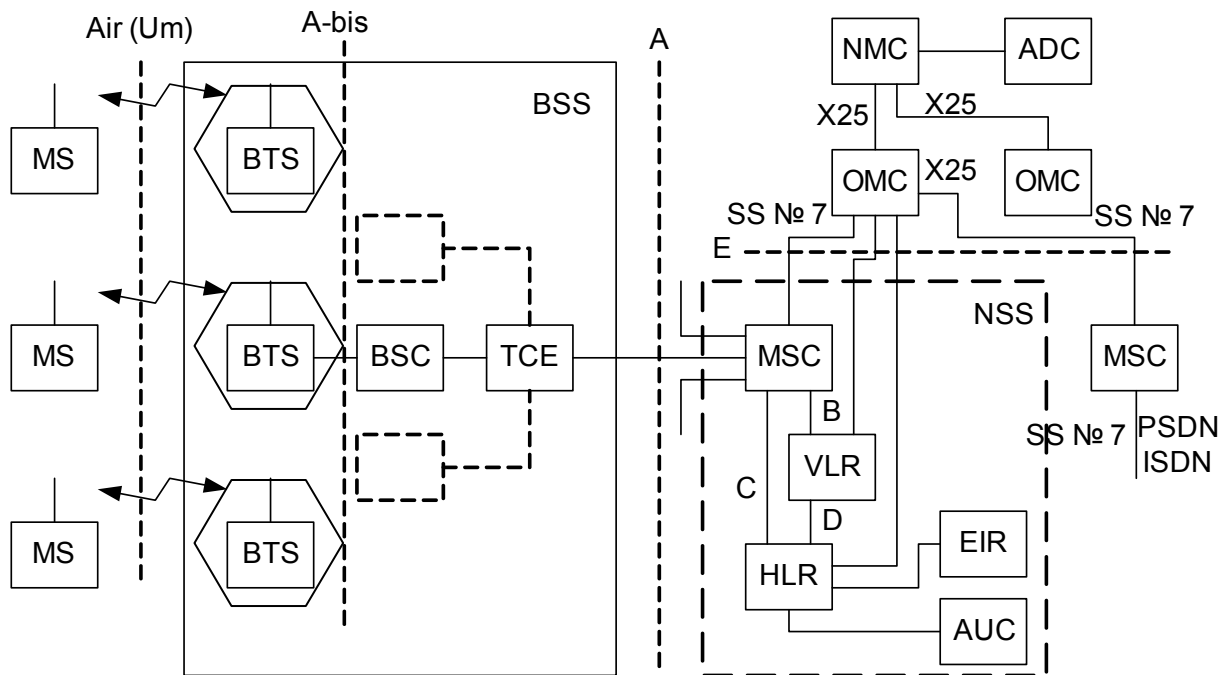


Рис. 3.2

Декілька MS і одна BTS входять до одного стільника, декілька стільників і одна BSS – до однієї зони, декілька зон і один OMC – до одного регіону, декілька регіонів і один NMC – до всієї мережі.

*Центр комутації MSC* мобільного зв'язку виконує такі завдання:

- обслуговує групу стільників, що входять до однієї зони, і забезпечує усі види з'єднань, у яких у процесі роботи має потребу рухома станція;
- забезпечує маршрутизацію викликів і функції керування викликами;
- здійснює естафетну передачу каналів і передачу каналів при появі перешкод або несправностях;
- формує дані, необхідні для виписування рахунків за надані мережею послуги зв'язку;
- збирає статистичні дані, необхідні для контролю роботи і оптимізації мережі;
- підтримує процедури безпеки, що використовуються при керуванні доступом до радіоканалів;
- реєструє місцезнаходження рухомих станцій.

Центр комутації для здійснення постійного стеження за рухомими станціями використовує реєстри положення HLR і переміщення VLR.

*Реєстри HLR і VLR* є довідковою базою даних про постійно прописаних у мережі абонентів. У ній містяться ідентифікаційні номери і адреси, а також параметри автентичності абонентів, перелік послуг зв'язку, спеціальна інформація про маршрутизацію. У цих реєстрах реєструються дані про роумінг абонента, включаючи дані про тимчасовий ідентифікаційний номер (TMSI) мобільного абонента.

За допомогою VLR досягається функціонування рухомої станції за межами зони, яка контролюється HLR. VLR містить такі самі дані, як і HLR, але ці дані знаходяться у VLR тільки до тих пір, поки абонент перебуває у зоні, яка контролюється цим реєстром.

У центрі автентифікації AUC кожен мобільний абонент на час користування системою зв'язку отримує стандартний модуль автентичності абонента (SIM), який містить міжнародний ідентифікаційний номер (IMSI), свій індивідуальний ключ автентифікації й алгоритм автентифікації, за допомогою яких та з урахуванням даних реєстра EIR перевіряються повноваження абонента і здійснюється доступ останнього до мережі зв'язку.

*База даних EIR* крім серійних номерів IMEI абонентських апаратів зберігає також такі дані про абонентське устаткування мережі:

- “білий” список, що має номери IMEI, про які є відомості, що вони закріплені за санкціонованими рухомими станціями;
- “чорний” список з номерами IMEI рухомих станцій, які вкрадені або яким відмовлено в обслуговуванні з іншої причини;
- “сірий” список, що містить номери IMEI рухомих станцій, у яких існують проблеми, виявлені за даними програмного забезпечення, але це не є підставою для внесення їх до “чорного” списку.

*Центр експлуатації і технічного обслуговування ОМС* є центральною ланкою мережі GSM у регіоні. Він забезпечує контроль і керування всіма компонентами регіональної мережі та контроль якості її роботи, а також збирає статистичні дані про навантаження від компонентів мережі GSM, здійснює змінювання програмного забезпечення і баз даних про конфігурацію елементів мережі, завантаження програмного забезпечення в пам'ять інших ланок мережі або ОМС.

*Центр керування мережею NMC* дозволяє забезпечувати раціональне ієрархічне керування всією мережею GSM.

Устаткування *підсистеми базових станцій BSS* складається з транскодера TCE, контролерів базових станцій BSC і приймачів-передавачів базових станцій BTS.

*Контролер базової станції BSC* може керувати декількома приймально-передавальними блоками і забезпечує виконання таких основних функцій:

- керує розподіленням радіоканалів;
- контролює з'єднання;
- забезпечує режим роботи зі стрибками за частотою;
- здійснює модуляцію і демодуляцію сигналів;
- проводить кодування і декодування даних і мови;
- забезпечує адаптацію швидкості передачі мови та даних.

*Транскодер TCE* перетворює вихідні сигнали каналу передачі мови і даних MSC до вигляду, що відповідає радіоінтерфейсу GSM.

Стандарт GSM містить інтерфейси (див. рис. 3.2) для здійснення з'єднань елементів системи із зовнішніми мережами та між різним устаткуванням мереж GSM.

З'єднання з міськими ATC та із загальноєвропейськими мережами GSM здійснюється MSC по лініях зв'язку 2,048 Мбіт/с відповідно до можливостей загальноканалової системи сигналізації SS № 7.

Інтерфейс між MSC і BSS (A-інтерфейс) забезпечує передачу повідомлень для керування BSS, передачі виклику, контролю пересувань абонентів. A-інтерфейс об'єднує канали зв'язку та лінії сигналізації.

Інтерфейс між MSC і HLR є суміщеним з інтерфейсом VLR (B-інтерфейс). Коли MSC необхідно визначити місцеположення рухомої станції, він звертається до VLR. Якщо рухома станція ініціює процедуру місцевизначення, вона інформує про це MSC, а він у свою чергу інформує свій VLR, який заносить усю інформацію, що змінюється, до своїх реєстрів. Ця процедура відбувається завжди, коли MS переходить з однієї області місцеположення в іншу. Якщо абонент надсилає запит про надання додаткових спеціальних послуг або змінює деякі свої дані, MSC також інформує про це VLR, який реєструє зміни і за необхідності повідомляє про них HLR.

Інтерфейс між MSC і HLR (C-інтерфейс) використовується для забезпечення взаємодії MSC і HLR. MSC може надіслати повідомлення HLR після закінчення сеансу зв'язку для того, щоб абонент міг оплатити розмову. Коли мережа фіксованого телефонного зв'язку не здатна виконати процедуру обслуговування виклику мобільного абонента, MSC може надіслати запит до HLR з метою визначення місцеположення абонента для того, щоб сформував виклик MS.

Інтерфейс між HLR і VLR (D-інтерфейс) використовується для розширення обміну даними про місцеположення мобільної станції та керування процесом зв'язку. Основні послуги, що надаються мобіль-

ному абоненту, полягають у можливості передавати або приймати повідомлення незалежно від його місцеположення. Для цього HLR повинен поповнювати свою базу даних, тому VLR повідомляє HLR про місцеположення MS, контролює її переміщення і переприсвоює номери цій станції у процесі руху, надсилає усі інші необхідні дані для обслуговування рухомої станції.

Інтерфейс між MSC (E-інтерфейс) забезпечує взаємодію різних MSC при здійсненні процедури естафетної передачі мобільного абонента.

Інтерфейс між BSC і BTS (A-bis інтерфейс) служить для зв'язку BSC з BTS. Передача інформації здійснюється цифровими потоками зі швидкістю 2,048 Мбіт/с. Можливе використання фізичного інтерфейсу, що гарантує швидкість передачі інформації 64 кбіт/с.

Внутрішній BSC-інтерфейс контролера базової станції забезпечує зв'язок між різним устаткуванням BSC та устаткуванням транскодування (TCE) і використовує стандарт ICM-передачі 2,048 Мбіт/с. Це дозволяє організувати з чотирьох каналів, що мають швидкість 16 кбіт/с, один канал зі швидкістю 64 кбіт/с.

Інтерфейс між MS і BTS ( $U_m$ -радіоінтерфейс) визначений рекомендаціями ETSI.

Сукупність інтерфейсів стандарту GSM гарантує високі параметри передачі повідомлень, сумісність з існуючими і перспективними інформаційними мережами, надає абонентам широкий спектр послуг цифрового зв'язку.

### 3.2. Організація логічних каналів CCMP стандарту GSM

Розрізняють фізичні та логічні канали зв'язку. У стандарті GSM фізичні канали реалізовані у вікнах TDMA. Повідомлення й дані, подані в цифровій формі, групуються й об'єднуються в логічні канали двох типів: канали трафіку для передачі кодованої мови або даних TCH (Traffic Channel); канали керування CCH (Control Channel) для передачі сигналів керування та синхронізації.

Склад логічних каналів наведено на рис. 3.3.

Розрізняють *логічні канали трафіку* двох основних видів:

- TCH/F (... Full) – канал передачі повідомлень з повною швидкістю 22,8 кбіт/с (інше позначення  $B_m$ );
- TCH/H (... Half) – канал передачі повідомлень з половинною швидкістю 11,4 кбіт/с (інше позначення  $L_m$ ).

Один фізичний канал може виконувати функцію каналу передачі повідомлень з повною швидкістю або двох каналів з половинною

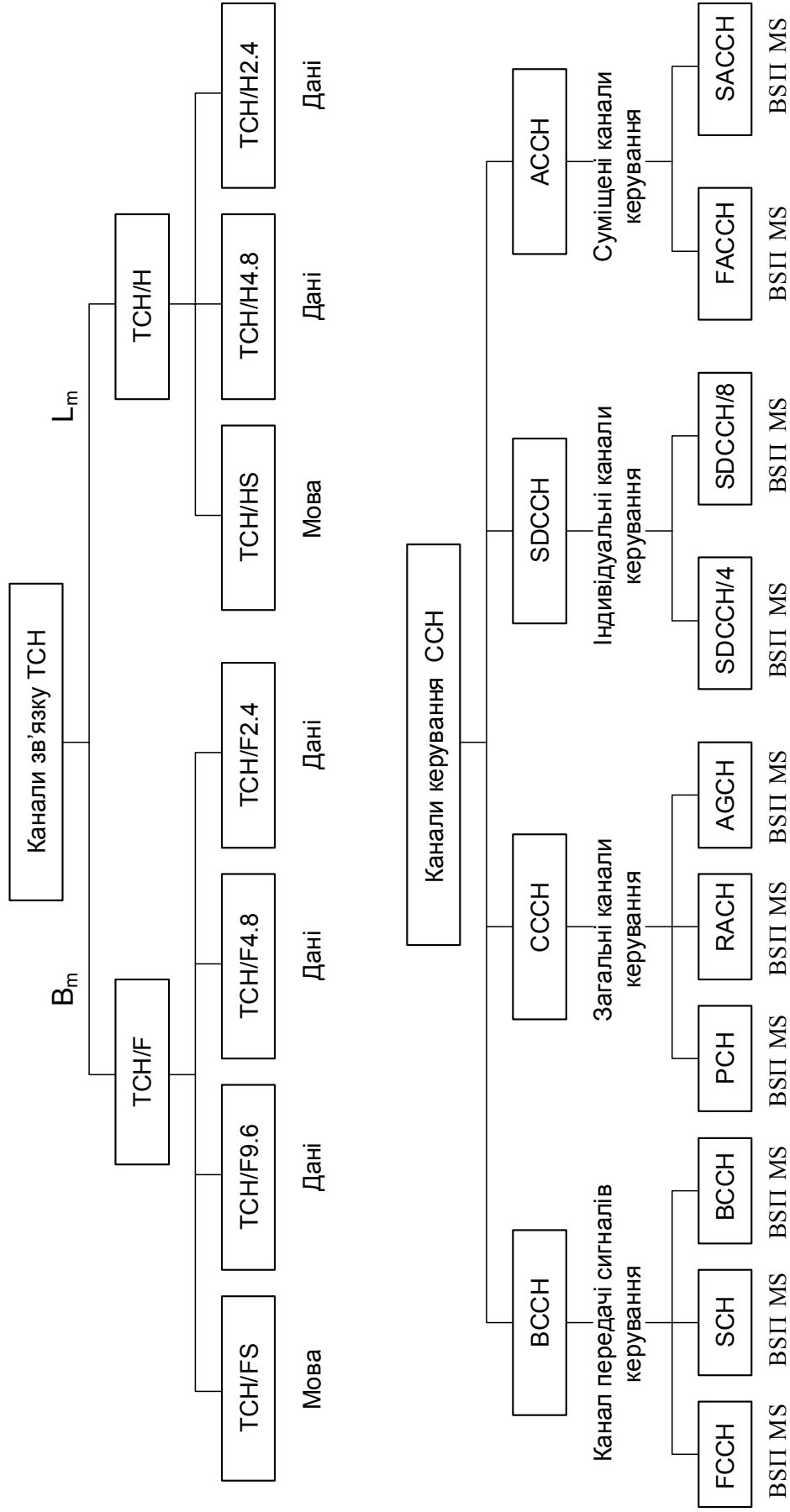


Рис. 3.3

швидкістю передачі. У першому випадку канал трафіку займає одне часове вікно, а в другому – два канали трафіку займають те саме часове вікно, але з перемежуванням у сусідніх кадрах, тобто інформація кожного каналу надходить через кадр.

Для передачі кодованої мови і даних призначені канали трафіку таких видів:

- TCH/FS (... Speech) – канал для передачі мови з повною швидкістю;
- TCH/HS – канал для передачі мови з половинною швидкістю;
- TCH/F9,6 (... 9,6 кбіт/с) – канал передачі даних з повною швидкістю 9,6 кбіт/с;
- TCH/F4,8 (... 4,8 кбіт/с) – канал передачі даних з повною швидкістю 4,8 кбіт/с;
- TCH/F2,4 (... 2,4 кбіт/с) – канал передачі даних з повною швидкістю 2,4 кбіт/с;
- TCH/H4,8 – канал передачі даних з половинною швидкістю 4,8 кбіт/с;
- TCH/H2,4 – канал передачі даних з половинною швидкістю 2,4 кбіт/с.

Розрізняють чотири види *каналів керування*:

- BCCH (Broadcast ...) – канали передачі сигналів керування або мовні канали;
- CCCH (Common ...) – загальні канали керування;
- SDCCH (Standalone Dedicated ...) – індивідуальні або виділені закріплені канали керування;
- ACCH (Associated ...) – суміщені канали керування.

Канали передачі сигналів керування BCCH використовуються тільки у напрямку від базової станції до всіх рухомих станцій. Вони несуть інформацію, яка необхідна рухомих станціям для роботи в системі зв'язку. Розрізняють три види каналів передачі сигналів керування BCCH:

- FCCH (Frequency ...) – канал підстроювання частоти, який використовується для синхронізації несучої частоти рухомої станції. По цьому каналу передається немодульована несуча;
- SCH (Synchronization ...) – канал синхронізації, по якому передається інформація на мобільну станцію про кадрову (часову) синхронізацію;

Використовуються три види загальних каналів керування CCCH:

- PCH (Paging ...) – канал виклику, використовується тільки в напрямку від базової станції до мобільної для виклику останньої;
- RACH (Random Access ...) – канал довільного доступу, викори-

стовується тільки в напрямку від рухомої станції до базової для запиту про призначення індивідуального каналу керування;

- AGCH (Access Grant ...) – канал дозволеного доступу, використовується тільки для передачі від базової станції на рухому для виділення спеціального каналу керування, що забезпечує прямий доступ до каналу зв'язку.

Виділені індивідуальні канали керування SDCCH використовуються в обох напрямках для зв'язку між базовою і рухомою станціями. Ці канали призначені для встановлення виду обслуговування, необхідного користувачу. Розрізняють два види таких каналів:

- SDCCH/4 – індивідуальний канал керування, який складається з чотирьох підканалів;

- SDCCH/8 – індивідуальний канал керування, який складається з восьми підканалів.

Розрізняють два види суміщених каналів керування ACCH:

- FACCH (Fast ...) – швидкий суміщений канал керування, що служить для передачі команд під час переходу рухомої станції з одного стільника до іншого, тобто забезпечує "естафетну передачу" мобільної станції;

- SACCH (Slow ...) – повільний суміщений канал керування, який у напрямку "вниз" передає від базової станції команди для встановлення вихідного рівня потужності передавача рухомої станції. У напрямку "нагору" по цьому каналу рухома станція посиляє дані, що стосуються рівня встановленої вихідної потужності, а також виміряного приймачем рівня радіосигналу та його якості.

### **3.3. Організація фізичних каналів CCMP стандарту GSM**

У CCMP стандарту GSM вісім фізичних каналів розміщені у восьми часових вікнах у межах TDMA-кадру. При цьому кожен фізичний канал використовує одне і те саме часове вікно в кожному часовому TDMA-кадрі. Двадцять шість кадрів тривалістю 120 мс складають мультикадр. Поєднання каналів трафіку TCH, які характеризуються повною або половинною швидкостями передачі інформації, з повільним суміщеним каналом керування SACCH показано на рис. 3.4. При цьому верхній мультикадр ілюструє організацію повношвидкісного каналу зв'язку (TCH + SACCH), а нижній – організацію напівшвидкісного каналу зв'язку (TCH + SACCH). На цьому рисунку T, t – дані або мова двох каналів трафіку TCH; A, a – дані двох каналів керування SACCH; "-" – порожній TDMA-кадр.

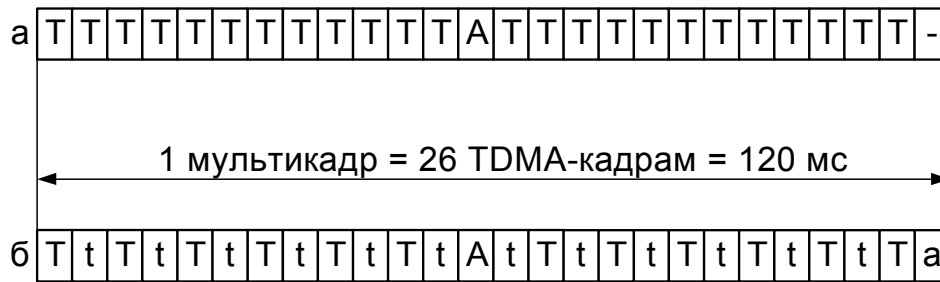


Рис. 3.4

У повношвидкісному каналі зв'язку в кожному тринадцятому TDMA-кадрі мультикадру передається пакет інформації каналу SACCH; кожний двадцять шостий TDMA-кадр мультикадру є вільним. У напівшвидкісному каналі зв'язку пакети інформації каналу SACCH передаються в кожному тринадцятому і двадцять шостому TDMA-кадрі мультикадру.

Для одного фізичного каналу в кожному TDMA-кадрі використовується 114 бітів. Оскільки в мультикадрі для передачі інформації каналу трафіку TCH використовується двадцять чотири TDMA-кадри з двадцяти шести, а тривалість мультикадру складає 120 мс, загальна швидкість передачі інформаційних повідомлень по TCH каналу складає 22,8 кбіт/с. Канал SACCH займає у повношвидкісному каналі зв'язку тільки один TDMA-кадр (114 бітів) і має швидкість передачі інформації 950 біт/с. Повна швидкість передачі в об'єднаному каналі TCH/SACCH з урахуванням порожнього (вільного) двадцять шостого TDMA-кадру становить  $22,8 + 0,950 + 0,950 = 24,7$  кбіт/с.

Як показано на рис. 3.4, у напівшвидкісному каналі зв'язку за час 26-кадрового мультикадру в одному фізичному каналі може передаватися два напівшвидкісні канали TCH, кожний по дванадцять TDMA-кадрів (T і t). У той же час двадцять шостий TDMA-кадр, що є порожнім у повношвидкісному каналі TCH, у другому напівшвидкісному каналі TCH надається каналу SACCH. Для кожного напівшвидкісного каналу TCH швидкість передачі становить 11,4 кбіт/с; повна швидкість передачі в об'єднаному напівшвидкісному каналі TCH/SACCH є такою самою, як і в повношвидкісному об'єднаному каналі – 24,7 кбіт/с.

Решта каналів керування, крім SACCH і FACCH, передається в 51-кадровому мультикадрі [12].

Стандарт GSM розроблено з метою створення CCMP у таких смугах частот: 890...915 МГц – для передачі рухомими станціями (лінія "нагору"), 935...960 МГц – для передачі базовими станціями (лінія "вниз").

Кожна зі смуг частот, виділених для мереж GSM, поділяється на



частотні канали. Рознесення каналів становить 200 кГц, що дозволяє організувати в мережах GSM 124 дуплексних частотних канали. Частоти, виділені для передачі повідомлень рухомою станцією на базову і у зворотному напрямку, групуються парами, організовуючи дуплексний канал FDD з частотним рознесенням 45 МГц. Ці пари частот зберігаються і при стрибках несучої частоти.

У CCMP стандарту GSM використовують абонентські станції 1, 2, 3, 4, 5-го класів, які мають вихідну потужність 20, 8, 5, 2, 0,8 Вт відповідно. При цьому станції 1 – 3-го класів встановлюють на транспортних засобах, а станції 4-го й 5-го класів відносяться до носимих моделей.

Для передачі цифрових повідомлень по фізичних каналах використовується гаусова частотна маніпуляція з мінімальним частотним зсувом (GMSK), яка характеризується такими властивостями:

- постійною за рівнем обвідною, що дозволяє використовувати ефективні нелінійні передавальні пристрої з підсилювачами потужності, які працюють в економічному режимі класу С;

- компактним спектром сигналу на виході підсилювача потужності передавального пристрою, що забезпечує низький рівень позасмугового випромінювання;

- якісними характеристиками перешкодостійкості каналу зв'язку.

Одна з особливостей формування сигналів у стандарті GSM – це використання повільних стрибків несучої частоти у процесі сеансу зв'язку. Головним призначенням таких стрибків (SFH – Slow Frequency Hopping) є забезпечення частотного рознесення в радіоканалах, що функціонують в умовах багатопроменевого поширення радіохвиль. SFH використовується в усіх мобільних мережах, що значно підвищує ефективність кодування і перемежування при повільному русі абонентських станцій. Принцип формування повільних стрибків несучої частоти полягає у тому, що повідомлення, яке передається у наданому абоненту часовому інтервалі TDMA-кадру (577 мкс), у кожному подальшому кадрі приймається (передається) на новій несучій частоті. Відповідно до структури кадрів інтервал часу для перестроювання частоти становить близько 1 мс.

У процесі стрибків несучої частоти постійно зберігається дуплексне рознесення 45 МГц між каналами прийому й передачі. Усім активним абонентам, що знаходяться в одному стільнику, поставлені у відповідність ортогональні формувальні послідовності, що виключає взаємні перешкоди при прийомі повідомлень мобільними абонентами. Параметри послідовності, що керує процесом переключення частот (частотно-часова матриця і початкова частота), призначаються для кожної рухомої станції у процесі встановлення каналу зв'язку. Ортого-

нальність послідовностей переключення частот у стільнику забезпечується початковим частотним зсувом однієї і тієї ж (за алгоритмом формування) послідовності. У суміжних стільниках використовуються різні формувальні послідовності.

Прийнята структура TDMA-кадрів і принципи формування сигналів у стандарті GSM сукупно з методами кодування дозволили знизити потрібне для надійного прийому відношення сигнал/перешкода на 8...9 дБ. При цьому забезпечується зниження відношення сигнал/перешкода до 9 дБ, тоді як у стандартах аналогових стільникових мереж зв'язку воно становить 17...18 дБ.

### 3.4. Основні процедури CCMP стандарту GSM

У CCMP будь-якого стандарту основними процедурами є естафетна передача каналу, роумінг, автоматичне встановлення вхідного та вихідного викликів тощо. Незважаючи на різноманітність стандартів стільникового зв'язку, алгоритми їх функціонування незалежно від наявних особливостей в основному схожі. Як наслідок основні процедури стандарту GSM можна вважати типовими.

Процедуру *встановлення вхідного виклику* проілюстровано рис. 3.5.

Процедура (рис. 3.6), що називається *передачею керування викликом або естафетною передачею каналу* (у іноземній технічній літературі – handover, або handoff), здійснюється у тому випадку, коли внаслідок віддалення абонента від базової станції або у зв'язку з погіршенням умов поширення радіохвиль рівень сигналу зменшується, що призводить до погіршення якості зв'язку. Поліпшення якості зв'язку досягається шляхом автоматичного переключення абонента на інший канал зв'язку.

На рис. 3.5 і 3.6 MSC – центр комутації і керування CCMP, BTS – базові станції, MS – абонентські станції. Для контролю якості зв'язку базова станція забезпечена спеціальним приймачем, що періодично вимірює рівень сигналу стільникового телефону обслуговуваного абонента і порівнює його з мінімально допустимим значенням. Якщо рівень сигналу менший за це значення, то відповідна інформація автоматично передається в центр комутації по службовому каналу зв'язку. Центр комутації видає команду про результати вимірювання рівня сигналу стільникового радіотелефону абонента на найближчі до нього базові станції. Після отримання інформації від базових станцій про рівень цього сигналу центр комутації переключає радіотелефон на обслуговування тією з них, де рівень сигналу виявився найбільшим.

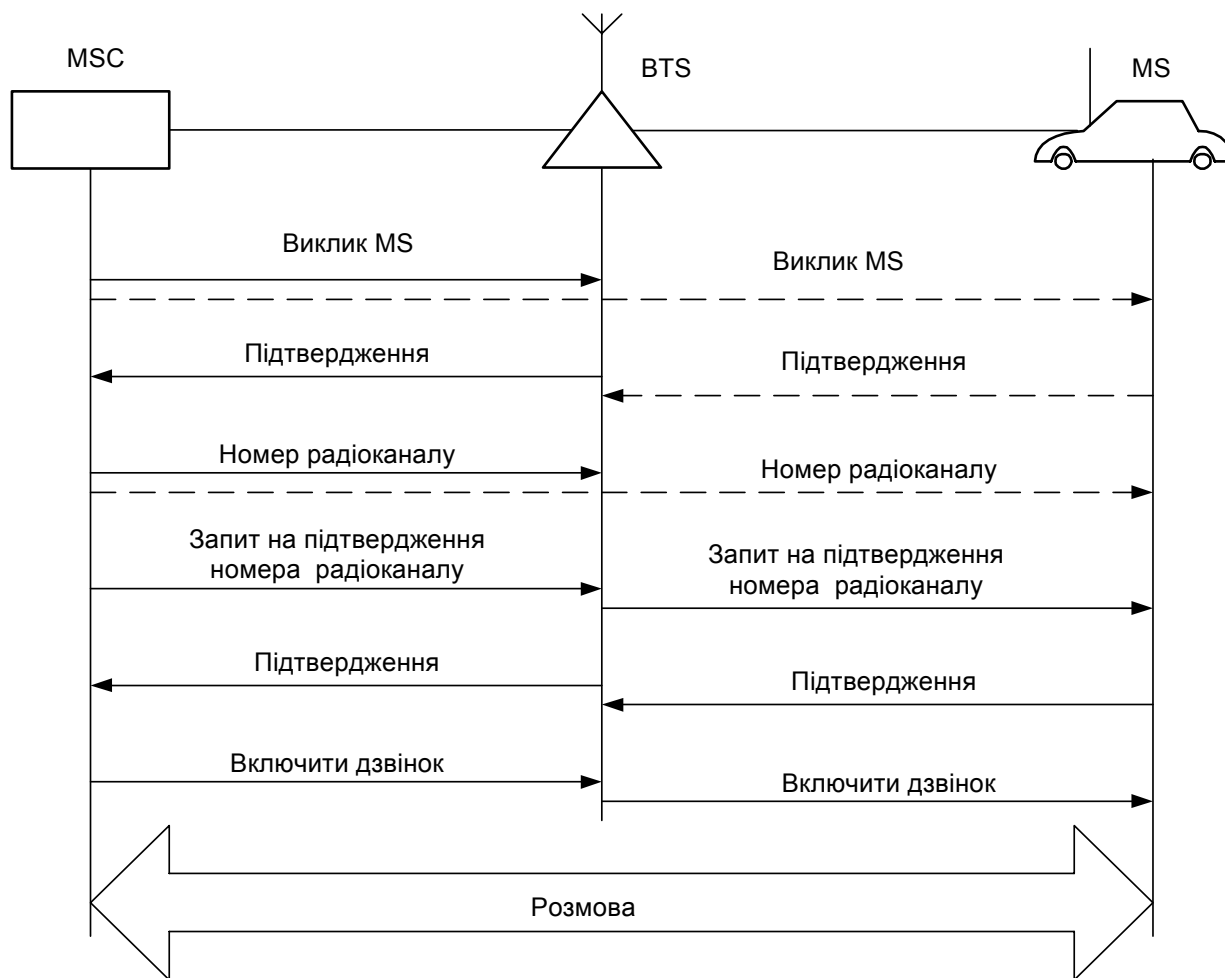


Рис. 3.5

Іноді виникає ситуація, коли потік заявок на обслуговування, що надходить від абонентів стільникової мережі, перевищує кількість каналів, що можуть бути утворені всіма розташованими близько базовими станціями. Це відбувається тоді, коли всі канали станцій зайняті обслуговуванням абонентів і немає жодного вільного, а для обслуговування надходить чергова заявка від мобільного абонента. У цьому випадку як тимчасовий захід (до моменту вивільнення одного з каналів) використовується принцип естафетної передачі усередині стільника або "жонглювання" абонентами. При цьому відбувається по чергове переключення каналів у межах одного і того самого стільника для забезпечення зв'язком усіх абонентів.

Одна з найбільш важливих послуг мережі стільникового зв'язку – надання можливості використання одного і того самого радіотелефону при поїзді до іншого міста, області або навіть до іншої країни, причому стільникова мережа дозволяє не тільки самому абонентові телефонувати з іншого міста або країни, але й отримувати дзвінки від

тих абонентів, які не встигли зв'язатися з ним на місці. У стільниковому радіозв'язку така функція називається *роумінгом* (від англ. *roam* – поневірятися, блукати).

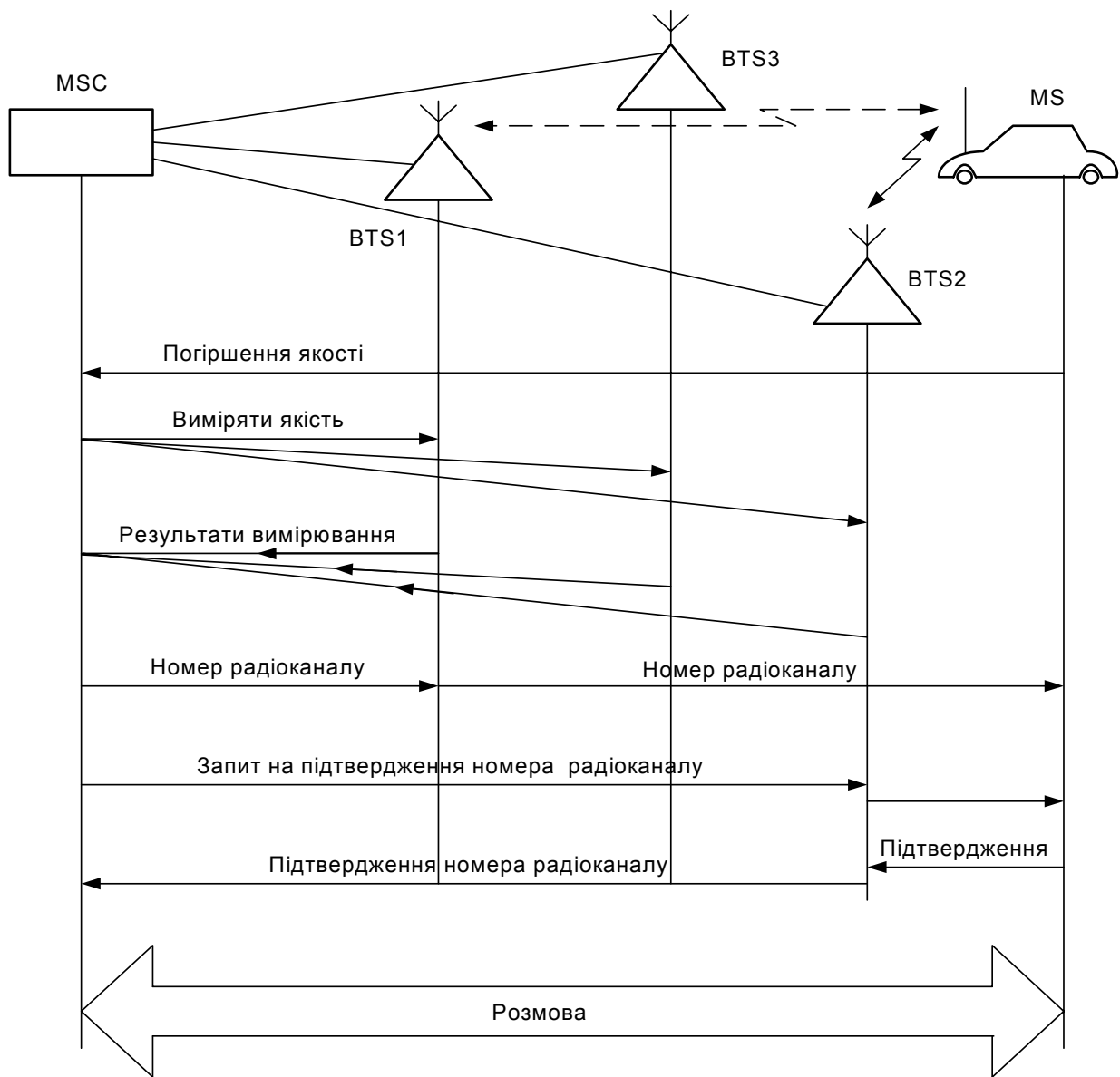


Рис. 3.6

Розрізняють три види роумінгу:

- автоматичний (саме з цією формою за кордоном зазвичай і пов'язують поняття роумінгу), тобто надання абонентові можливості вийти на зв'язок будь-коли у будь-якому місці;
- напівавтоматичний, коли абоненту для користування даною послугою в будь-якому регіоні необхідно заздалегідь повідомити про це свого оператора;

– ручний – це простий обмін одного радіотелефону на інший, підключений до стільникової системи іншого оператора.

Для забезпечення автоматичного і напівавтоматичного роумінгу необхідне виконання трьох умов:

– наявність у потрібних регіонах стільникових систем стандарту, сумісного зі стандартом компанії, у якої був придбаний радіотелефон;

– наявність відповідних організаційних і економічних угод про роумінгове обслуговування абонентів для взаєморозрахунків між операторами мереж;

– наявність каналів зв'язку між системами, що забезпечують передачу мовної та іншої інформації для роумінгових абонентів.

При переміщенні абонента в іншу мережу її центр комутації запитує інформацію у первинній мережі і за наявності підтвердження повноважень абонента реєструє його. Дані про місцеположення абонента постійно оновлюються в центрі комутації первинної мережі. Усі виклики, що туди надходять, автоматично переадресовуються в ту мережу, де в даний момент знаходиться абонент.

### **3.5. Процедури автентифікації й ідентифікації у CCMP GSM**

*Автентифікація* – це процедура підтвердження справжності (істинності, законності, наявності прав на користування послугами стільникового зв'язку) абонента системи мобільного зв'язку. Необхідність введення цієї процедури викликана численними і різноманітними проявами особливого роду шахрайства – фроду – шляхом отримання несанкціонованого доступу до послуг стільникового зв'язку. Слово *автентифікація* (англ. – *authentication*) походить від грецького *authenticos* – справжній, той що впливає з першоджерела.

Спочатку в аналогових системах стільникового зв'язку першого покоління процедура автентифікації мала простий вигляд: рухома станція передавала свій унікальний ідентифікатор (електронний серійний номер – Electronic Serial Number, ESN) і якщо такий відшукувався серед зареєстрованих у домашньому реєстрі, то процедура автентифікації вважалася успішно виконаною. Така примітивна автентифікація залишала великі можливості для фроду, тому з часом і в аналогових системах, і тим більше в системах стільникового зв'язку другого покоління з використанням додаткових можливостей цифрових методів передачі інформації процедура автентифікації була значно удосконалена.

Ідея процедури автентифікації у цифровій системі стільникового зв'язку полягає у шифруванні деяких паролів-ідентифікаторів з вико-

ристанням квазівипадкових чисел, періодично передаваних на рухому станцію з центру комутації, та індивідуального для кожної рухомої станції алгоритму шифрування. Таке шифрування з використанням одних і тих самих початкових даних і алгоритмів проводиться як на рухомій станції, так і в центрі комутації (або в центрі автентифікації), і тому автентифікація вважається такою, що закінчилася успішно, якщо обидва результати збігаються.

У стандарті GSM процедура автентифікації пов'язана з використанням модуля ідентифікації абонента (Subscriber Identity Module – SIM), званого також SIM-картою (SIM-card) або смарт-картою (smart-card). Модуль SIM – це знімний модуль, що встановлюється у відповідне гніздо абонентського апарату.

Модуль SIM містить персональний ідентифікаційний номер абонента (Personal Identification Number – PIN), міжнародний ідентифікатор абонента мобільного зв'язку (International Mobile Subscriber Identity – IMSI), індивідуальний ключ автентифікації абонента  $K_i$ , індивідуальний алгоритм автентифікації абонента  $A_3$ , алгоритм обчислення ключа шифрування  $A_8$ .

Для автентифікації використовується зашифрований відгук (*signed response*)  $S$ , що є результатом застосування алгоритму  $A_3$  до ключа  $K_i$  і квазівипадкового числа  $R$ , яке рухома станція отримує від центра автентифікації через центр комутації. Алгоритм  $A_8$  використовується для знаходження ключа шифрування повідомлень.

Унікальний ідентифікатор IMSI для поточної роботи замінюється тимчасовим ідентифікатором TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity – тимчасовий ідентифікатор абонента мобільного зв'язку), який присвоюється радіотелефону при його першій реєстрації у конкретному регіоні, що визначається ідентифікатором LAI (Location Area Identity – ідентифікатор області місцезположення), і анулюється при виході апарату за межі цього регіону.

Ідентифікатор PIN – це код, відомий тільки абонентові, який має служити захистом від несанкціонованого використання SIM-карти, наприклад при її втраті. Після трьох невдалих спроб набору PIN-коду SIM-карта блокується, а блокування може бути знято або набором додаткового коду – персонального коду розблокування (Personal unblocking key – PUK), або за командою з центру комутації.

Процедуру автентифікації у стандарті GSM схематично показано на рис. 3.7. Пунктиром позначені елементи, що не відносяться безпосередньо до процедури автентифікації, але використовуються для знаходження ключа шифрування  $K_c$ .

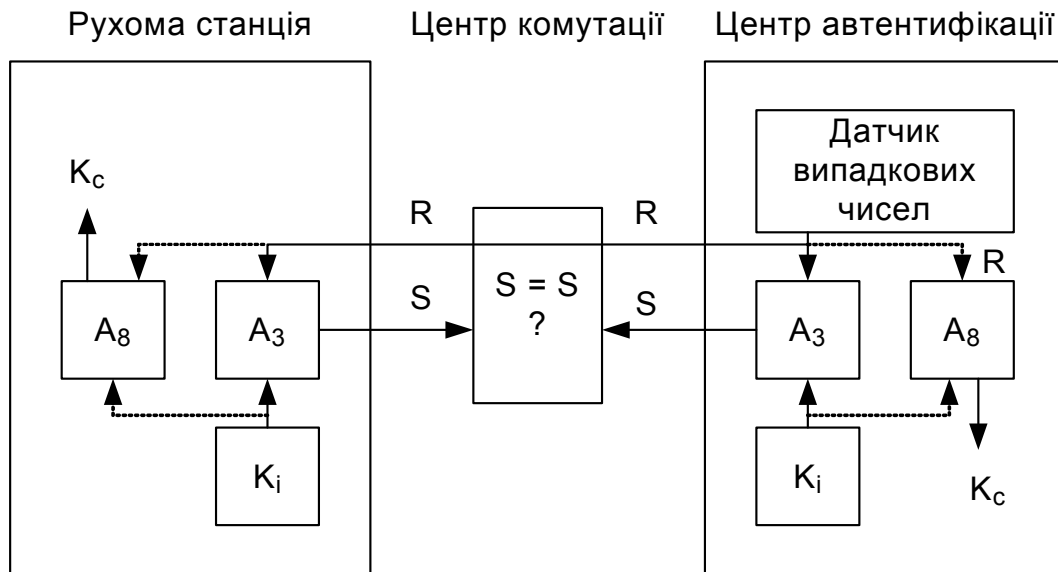


Рис. 3.7

*Ідентифікація* – це процедура ототожнення рухомої станції (абонентського радіотелефонного апарату), тобто процедура встановлення її приналежності до однієї з груп, що характеризуються певними властивостями або ознаками. Ця процедура використовується для виявлення загублених, вкрадених або несправних апаратів. Слово ідентифікація (англ. *identification*) походить від середньовічного латинського *identificare* – ототожнювати.

Процедура ідентифікації полягає у порівнянні ідентифікатора абонентського апарата з номерами, що містяться у відповідних "чорних" списках реєстра апаратури, з метою вилучення з обігу вкрадених і технічно несправних апаратів.

Таким чином, апарат функціонуватиме, якщо він не ідентифікований у "чорних" списках і автентифікований.

### 3.6. Передача даних у мережах GSM

Стільниковий телефон стандарту GSM містить 90% цифрових вузлів. Тому він має усі засоби, необхідні для передачі даних.

ССМР стандарту GSM мають два класи служб передачі даних (рис. 3.8): основні служби й телеслужби. На рис. 3.8 позначено: ТЕ (Terminal Equipment) – термінальне устаткування, наприклад, персональний комп'ютер (ПК), факс або аудіогарнітура; МТ (Mobile Terminal) – мобільний термінал, наприклад, стільниковий телефон, що має цифровий порт; ІWF (Interworking Function) – функціональний міжмережний інтерфейс з сигналізацією SS № 7.

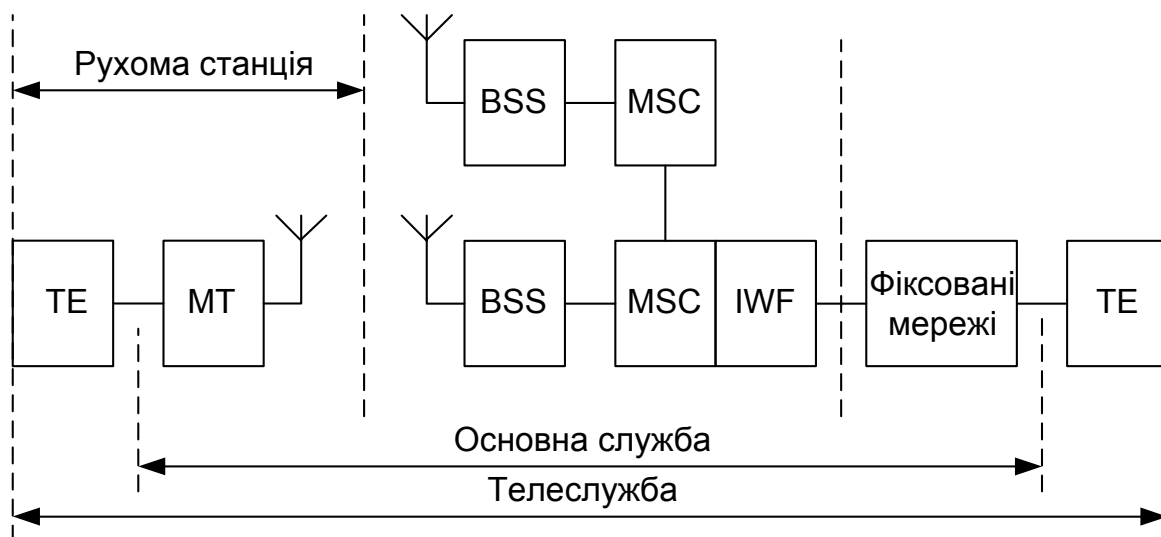


Рис. 3.8

Підсистема базової станції BSS містить базові станції BTS, контролер базових станцій BSC і транскодерне обладнання TCE.

*Основні служби* забезпечують зв'язок контролерів MT між собою, зокрема, асинхронну й синхронну дуплексні передачі даних (у тому числі оцифрованих голосових сигналів) зі стандартними швидкостями 300...9600 біт/с через лінії загального користування GSM або MATC. Можливими є *непрозорий* і *прозорий* режими роботи основних служб. У першому випадку використовується протокол Radio Link Protocol (RLP) підвищеної перешкодостійкості за рахунок використання алгоритмів прямого виправлення помилок і повторів передачі даних, у яких виявлені спотворення. У прозорому режимі GSM не коригує помилки. Тоді необхідно використовувати протоколи перешкодозахищеності TE.

*Телеслужби* забезпечують такі зв'язки між TE:

- передачу мови й тональної сигналізації у смузі мови, якщо TE – аудіогарнітура;
- передачу коротких повідомлень SMS (без TE в GSM до 160 символів);
- передачу факсимільних повідомлень, якщо TE – факс.

Мобільні термінали бувають трьох типів.

1. MT0 – функціонально закінчені мобільні термінали без інтерфейсу з TE.
2. MT1 – підтримують MT1, наприклад, факс або MATC з інтерфейсом ISDN.
3. MT2 – підтримують MT2 з усіма видами інтерфейсів V24, X21 ITU-T та ін. (IrDA, Bluetooth тощо).



Між TE і MT може бути включено термінальний адаптер, наприклад, дата-кабель – перетворювач RS-коду в TTL-код.

Стандарт GSM забезпечує функціонування таких каналів передачі даних:

- CSD (Circuit-Switched Data) – один *виділений фізичний канал* зі швидкістю передачі даних 9,6 кбіт/с, що містить канал передачі даних TCH/F9,6 і канали керування  $\Sigma$  (...CCH...) з сумарною швидкістю 24,7 кбіт/с;

- HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data) – *виділений канал*, який містить від одного до восьми каналів CSD, що збільшує швидкість 9,6 кбіт/с у відповідне число разів і забезпечує загальну швидкість передачі даних до 76,8 кбіт/с ;

- GPRS (General Packet Radio Service) – *канал передачі даних з доступом багатьох користувачів і пріоритетним голосовим каналом*, що містить канали передачі даних, призначені для користувачів TCH/F9,6 + TCH/F4,8 і канали керування  $\Sigma$  (...CCH...). Цей канал забезпечує швидкість передачі даних до  $14,4 \times 8 = 115,2$  кбіт/с;

- EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) – канал передачі даних, у якому разом з GMSK застосовується додатковий формат восьмикратної ФМ, що дозволяє втричі збільшити швидкість передачі даних (до 384 кбіт/с) при збереженні частотного ресурсу [11].

Для відповідальних завдань промислового призначення рекомендується використовувати виділені канали CSD і HSCSD, а для завдань побутового призначення – канали GPRS і EDGE.

### **3.7. Радіолінії CSD стандарту GSM**

Для передачі даних по радіоканалах CSD необхідно виконати такі умови:

- у стільниковому телефоні або терміналі повинен бути інтерфейс зв'язку з комп'ютером (дата-кабель, IrDA, Bluetooth та ін.);

- телефон або термінал мають бути підключені до COM-порту комп'ютера з настройками 19200-8-N-1-N;

- керування повинне здійснюватися AT-командами через термінальну програму, наприклад, через стандартний Hyper Terminal операційної системи WINDOWS.

Для HSCSD додатково необхідний договір з оператором стільникового зв'язку.

Стандарт AT – це командна мова з цільовою орієнтацією. Кожна команда складається з трьох елементів: префікса, основної частини

та символу закінчення.

Префікс складається з букв АТ за винятком команди АІ.

Основна частина складається з символів і, можливо, певних значень (не обов'язково), тому вони наводяться в квадратних дужках. У табл. 3.1 зведені деякі АТ-команди, спільні для різних модемів відповідно до рекомендацій V.25 ter.

Стандартний символ закінчення – <CR>.

Команди можна об'єднувати в командний рядок. Пропуски між окремими основними частинами команди ігноруються.

Таблиця 3.1

Команда	Функція
A/	Повтор останньої введеної команди
ATDPномер	Імпульсний набір номера
ATDTномер	Тональний набір номера
ATDL	Набір останнього набраного номера
ATA	Зняття слухавки при вхідному дзвінку
ATH	Покласти слухавку
ATI_	0 – виведення ідентифікаційного коду (даних про телефон) 1 – тест контрольної суми ПЗП 2 – тест ОЗП 3 – виведення версії мікрокоду 4 – виведення поточної версії мікропрограми 5 – виведення інформації про код країни 6 – виведення інформації про версію мікрокоду, завантаженого в сигнальний процесор
ATE_	0 – заборона луна-символів і повідомлень у режимі виділеної лінії 1 – дозвіл луна-символів і повідомлень у режимі виділеної лінії
ATL_	0 – дуже низький рівень гучності динаміка 1 – низький рівень гучності динаміка 2 – середній рівень гучності динаміка 3 – високий рівень гучності динаміка

Виконання команд підтверджується “OK”, “ERROR” або іншими повідомленнями (табл. 3.2). Оброблення команд переривається при надходженні будь-якого іншого символу. Тому наступна команда повинна чекати підтвердження, оскільки інакше поточна команда буде перервана.

Таблиця 3.2

Відповідь	Код	Тип	Значення
OK	0	Остаточний	Команду виконано, помилок немає
CONNECT	1	Проміжний	Встановлено з'єднання при параметрі X = 0
CONNECT [text]		Проміжний	Встановлено з'єднання при параметрі X > 0 [text], наприклад [9600]; у цьому випадку швидкість передачі даних дорівнює 9600 біт/с
RING	2	Незалежний	Надійшов сигнал виклику
NO CARRIER	3	Остаточний	З'єднання не встановлене або перерване
ERROR	4	Остаточний	Неправильна команда або дуже довгий командний рядок
NO DIAL TONE	5	Остаточний	Немає сигналу готовності до набору, встановлення з'єднання неможливе, неправильний режим роботи
BUSY	6	Остаточний	Абонент, що викликається, зайнятий
NO ANSWER	7	Остаточний	Перевищене обмеження за часом при встановленні з'єднання

Спільні модемні AT-команди (див. табл. 3.1) застосовуються і для керування стільниковими телефонами стандарту GSM. Але є і спеціальні AT-команди GSM, описані в документі ETSI GSM 07.07. Їх структура і синтаксис повністю відповідають вимогам ITU V.25 ter.

За призначенням AT-команди GSM діляться на чотири групи:

- 1) команди загального призначення;
- 2) команди керування викликом;
- 3) команди, що відносяться до мережних функцій;
- 4) команди керування MT.

*До команд загального призначення* відносять, наприклад, запит серійного номера мобільного терміналу AT + CGSN, скидання всіх параметрів до значення за замовчуванням ATZ, вибір стільникової мережі GSM – AT + WS46 = 12 та багато інших.

*До команд керування викликом належать*, наприклад, ATD> <str> – набір номера <str> рядка записника мобільного терміналу, а також AT + CBST = 12, 0, 1 – вибір асинхронного режиму швидкості 9600 біт/с з емуляцією протоколу V.34 у непрозорому режимі та ін.

До групи команд, що виконують мережні функції, входить, наприклад, команда AT + CNUM визначення мережного номера TSMI абонента та ін.

До команд керування апаратурою відносять, наприклад, команду AT + CPIN установлення пароля MT, команду AT + CBC запиту стану акумуляторної батареї, команду AT + CSQ запиту рівня сигналу, що приймається мобільним терміналом, команду AT + CCLK установлення годинника, команду AT + CALA установлення будильника та багато інших.

У табл. 3.3 і 3.4 наведено алгоритми функціонування радіолінії CSD у режимах ПК "Майстер" і "Слейв".

Таблиця 3.3

№ п/п	Сигнали від MT GSM до ПК		Команди від ПК до MT GSM	
	Сигнал	Зміст	Команда	Зміст
1	–	–	AT	Перевірка зв'язку ПК з модемом MT GSM
2	OK	Зв'язок є	ATDT8050 3236866	Тоновий набір викличного номера
3	CONNECT 9600	З'єднання є при швидкості 9600 біт/с Модем перейшов з командного режиму в режим передачі даних	–	Передача або прийом даних або файлів
	BUSY, або NO CARRIER, або NO DIALNONE	ПК, що викликається, зайнятий, або з'єднання не встановлене, або з'єднання неможливе	Повторення п. 2	
4	NO ANSWER	Перевищене обмеження часу з'єднання	Повторення пп. 2, 3	
	–	–	+++ (пауза)	Перехід (ESC) у командний режим здійснюється тим, хто передавав дані
5	–	–	ATH	Кладе трубку той, хто передавав дані

Стільникові телефони з вбудованими адаптерами зв'язку телефону з комп'ютером випускаються всіма фірмами-виробниками. Деякі телефони, наприклад Sagem RD750 (версії V.24), мають також вбудовані перетворювачі рівнів "RS-TTL" і для зв'язку з комп'ютером використовують звичайні RS-кабелі. У багатьох телефонах останніх випусків зв'язок з комп'ютером здійснюється через ІК-порт або Bluetooth, наприклад у телефоні Nokia 6021.

Таблиця 3.4

№ п/п	Сигнали від MT GSM до ПК		Команди від ПК до MT GSM	
	Сигнал	Зміст	Команда	Зміст
1	–	–	AT	Перевірка зв'язку ПК з модемом MT GSM
2	OK	Зв'язок є	–	Очікування
3	RING	Надійшов викличний сигнал	ATA	Прийняття виклику
4	CONNECT 9600	З'єднання є на швидкості 9600 біт/с Модем перейшов з командного режиму в режим передачі даних	–	Передача чи прийом даних або файлів
5	–	–	+++ (пауза)	Перехід (ESC) у командний режим здійснюється тим, хто передавав дані
6	–	–	ATH	Кладе трубку той, хто передавав дані

Фірмою Siemens випускаються спеціалізовані стільникові термінали M20, TC35 і MC35, TC37 стандарту GSM 900/1800 версій V.110, V.32. Вони мають настільне виконання, вбудований перетворювач рівнів "RS-TTL", роз'єднувач для виносної антени, вихідну потужність 1 Вт на частотах 1800 МГц і 2 Вт на частотах 900 МГц і забезпечують непрозорий режим передачі даних зі швидкістю 9600 біт/с або передачу факсів (група 3, клас 1.2).

Стільникові термінали M21xxx Integra стандарту GSM виробляє

французька фірма Wavocom. Ця фірма випускає також безкорпусні одноплатові модулі Q23xx/Q24xx (Wismo-2C2), які можуть бути вбудовані в радіоустаткування систем передачі даних.

### 3.8. Служба GPRS стандарту GSM

До впровадження служби GPRS для голосового зв'язку потрібні були окремий номер і окрема тарифікація, а для передачі даних – інші номер і тариф. Після введення GPRS (в Україні у 2002 році) мову та дані можна передавати, користуючись одним і тим самим номером, а SSMP сама розпізнає і тарифікує їх.

Для надання послуг передачі даних службою GPRS проводять як програмне, так і апаратне доопрацювання стандарту GSM (покоління 2,5G).

Програмне забезпечення замінюється практично повністю, починаючи з реєстрів HLR-VLR і закінчуючи базовими станціями BTS. Зокрема, вводиться режим доступу багатьох користувачів до часових кадрів каналів GSM, а в HLR, наприклад, з'являється новий параметр *Mobile Station Multislot Capability* (кількість каналів, з якими одночасно може працювати мобільний телефон абонента).

Мають місце такі зміни структури системи (рис. 3.9).

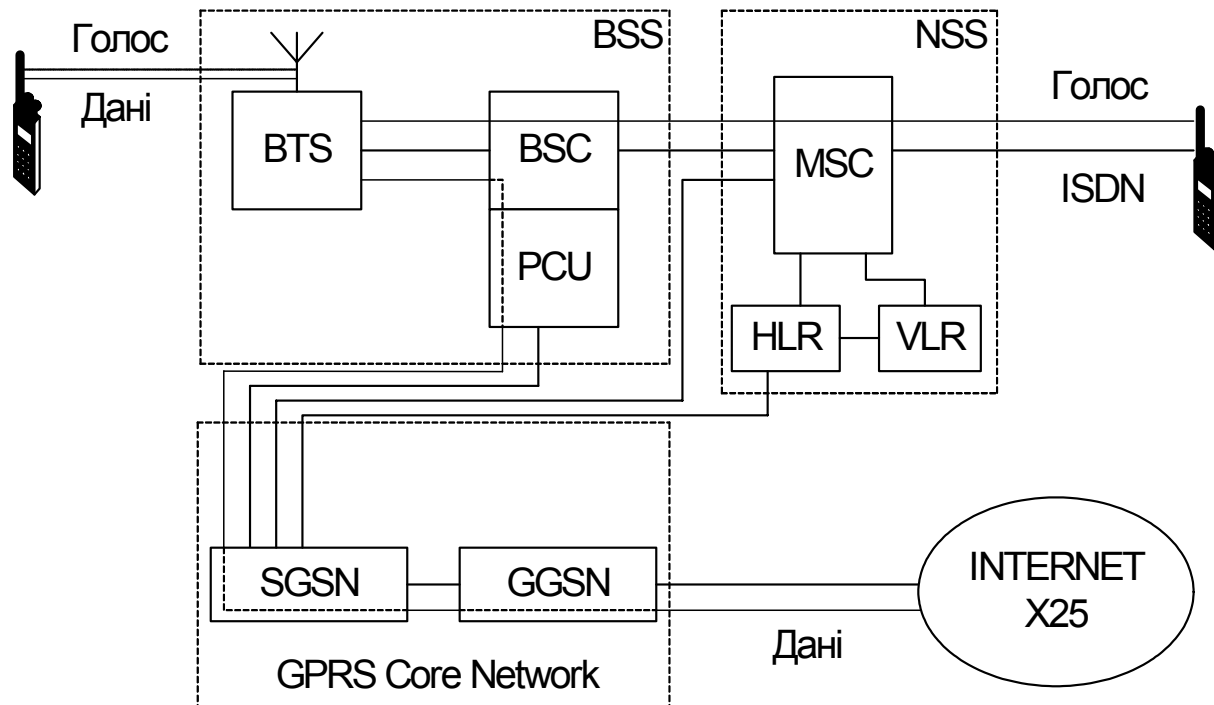


Рис. 3.9

Додатково вводяться вузли: ядро системи GCN (GPRS Core Network), що складається з двох основних блоків – вузла підтримки GPRS SGSN (Serving GPRS Support Node) і шлюзового вузла GPRS GGSN (Gateway GPRS Support Node), а також контролер пакетного зв'язку – PCU (Packet Controller Unit).

SGSN – це комутатор пакетної мережі GSM (аналог MSC). Причому SGSN контролює доставку пакетів даних користувачам, взаємодіє з реєстром власних абонентів мережі HLR, перевіряючи, чи дозволені запитувані користувачами послуги, веде моніторинг користувачів, організовує реєстрацію абонентів, які знову "з'явилися" у зоні дії мережі та ін. Так само, як і MSC, *SGSN у системі може бути і не один*, у цьому випадку кожен вузол відповідає за свою зону системи зв'язку. Наприклад, SGSN виробництва компанії Motorola має такі характеристики: кожен вузол підтримує передачу до 2000 пакетів за секунду, одночасно контролює до 10000 виявлених on line користувачів. Усього в системі може бути до 18 комутаторів SGSN компанії Motorola.

Вузол GGSN – це шлюз між стільниковою мережею (вірніше, її частиною для передачі даних GPRS) і зовнішніми інформаційними магістралями (Internet, іншими GPRS системами тощо). Основним завданням GGSN, таким чином, є *роутінг (маршрутизація) даних*, що передаються від абонента і до абонента через SGSN. Вторинними функціями GGSN є адресація даних, *динамічна видача IP-адреси*, а також відстежування інформації про зовнішні мережі та власних абонентів (зокрема *тарифікація послуг*).

У GPRS-систему закладена *хороша масштабованість*, оскільки з появою нових абонентів оператор може збільшувати кількість SGSN, а при збільшенні сумарного трафіку – додавати в систему нові GGSN. У середині ядра GPRS-системи (між SGSN і GGSN) дані передаються за допомогою спеціального тунельного протоколу GTP (GPRS Tunneling Protocol).

Ще однією складовою частиною системи GPRS є PCU (Packet Control Unit – пристрій контролю пакетної передачі). PCU стикується з контролером базових станцій BSC і відповідає за *напрямок трафіку даних* безпосередньо від BSC до SGSN.

За керування і контроль GPRS-системи відповідає вузол OMC-R/G (Operation and Maintenance Center – Radio/GSN – центр керування й обслуговування радіо/вузла GPRS). Це інтерфейс між системою і обслуговуючим її персоналом.

Для передачі даних базова станція BTS виділяє мобільному терміналу в кадрі довільне *число тайм-слотів: від 0 до 8*. При цьому

можлива швидкість передачі даних до  $14,4 \times 8 = 115,2$  кбіт/с, причому допустиме асиметричне призначення ресурсів, тобто під час пакетної передачі ресурси лінії зв'язку "нагору" і "вниз" формуються незалежно.

Мобільні телефони GPRS при роботі на високих швидкостях можуть виходити за рамки максимально допустимого рівня радіовипромінювання. Наприклад, при роботі зі швидкістю 30...40 кбіт/с стільниковий телефон 4-го класу (2 Вт) випромінює потужність до 0,75 Вт, що перевищує потужність при роботі голосового каналу.

Будь-який канал зв'язку працює в неідеальних умовах, тому в GSM використовують надлишкове кодування. Більш того в технології GPRS можливі чотири *схеми кодування даних*: від CS1 (для роботи в умовах сильних перешкод) до CS4 (для роботи при мінімальних перешкодах). Таким чином, при постійній швидкості передачі в каналі кількість передаваної корисної інформації залежить від умов роботи МТ і базової станції. Чим гірша заводова обстановка, тим менше корисної інформації можна передати за одиницю часу.

За можливостями одночасних з'єднань і передачі даних через GPRS мобільні телефони ділять *на три класи*.

*Клас А* – термінал дозволяє одночасно здійснювати передачу мови і даних у режимі GPRS. Термінали одночасно виконують сигналізацію (керування) для GSM і GPRS. У разі прийому інформації та при вхідному виклику телефон класу А підтримує одночасну роботу з голосом і даними.

*Клас В* – термінал, наприклад стільниковий телефон Nokia 6021, підтримує і голосове з'єднання, і передачу даних у режимі GPRS, але ці режими використовуються не одночасно. Вибір режиму GPRS/мова здійснюється автоматично з пріоритетом останнього. Під час передачі даних через GPRS абонент не може здійснювати і приймати голосові дзвінки. Якщо під час завантаження інформації з Інтернету (режим GPRS) телефон приймає виклик для голосового зв'язку, передача даних переривається. Як тільки голосове з'єднання завершується, завантаження даних поновлюється, оскільки логічний зв'язок між мережею GPRS і телефоном зберігається.

*Клас С* – термінал, наприклад стільниковий телефон Siemens x35, забезпечує тільки передачу даних у пакетному режимі або голос. Вибір режиму (GPRS/мова) виконується вручну.

### **3.9. Служба EDGE стандарту GSM**

Технологію EDGE розроблено в 1997 році ETSI. Тоді ж було представлено першу розшифровку як Enhanced Data Rates for GSM



Evolution (удосконалена технологія передачі даних для розвитку GSM). У подальшому (з появою специфікації мереж покоління 3G) назва EDGE розшифровується як Enhanced Data rates for Global Evolution (... для Глобального...).

Технологію EDGE називають також розширенням GPRS (EGPRS) або CSD (ECSD). Тому EDGE є ще одним кроком на шляху від GSM до UMTS і перехідною ланкою на шляху від 2,5G до 3G.

Компанія "Київстар" запустила EDGE в комерційну експлуатацію у жовтні 2005 року. На першому етапі нову технологію було впроваджено у 10 великих містах України.

EDGE не є новим стандартом стільникового зв'язку. Основна зміна технології GSM з EDGE полягає у застосуванні нових методів модуляції і корекції помилок, які значно розширюють можливості радіоінтерфейсу.

EDGE використовує той самий частотний план і ту саму структуру часових слотів, що й GSM. Але інфраструктура базової станції (рис. 3.10) зазнала деяких змін відносно GSM з GPRS, оскільки з'явився новий вузол TRU – приймач-передавач EDGE.

Для підтримки EDGE достатньо установити на базовій станції трансивер TRU, який підтримує нові модуляційні схеми, а також здійснити необхідне оновлення програмного забезпечення, яке повинне обробляти змінений протокол передачі пакетів EDGE.

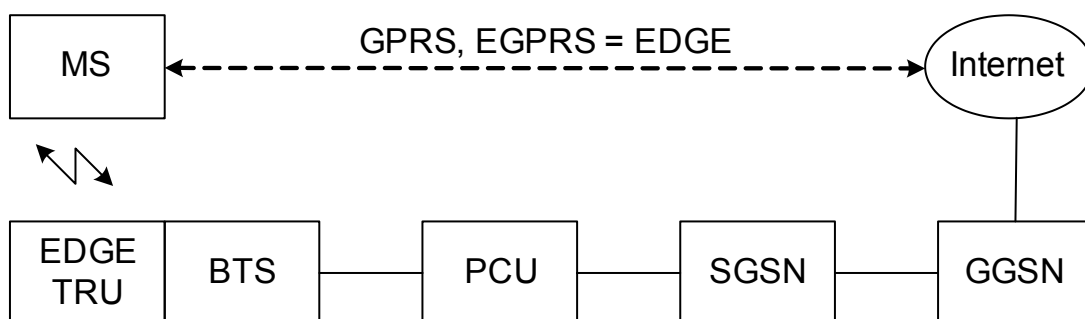


Рис. 3.10

Табл. 3.5 ілюструє різницю між технічними характеристиками GPRS і EDGE.

Хоча і в EDGE, і в GPRS за одиницю часу передається однакова кількість символів, завдяки використанню іншої модуляційної схеми кількість бітів даних у EDGE втричі більша. На відміну від GPRS EDGE використовує разом з GMSK ще й іншу технологію – 8PSK або 8-Phase Shift Keying (8-позиційна фазова маніпуляція зі зсувом фази, що дорівнює  $\pi/4$ ). У мережі GPRS один імпульс може переносити

1 біт даних, а в мережі EDGE один імпульс – 3 біти. Таким чином, дані передаються більшими порціями за той самий проміжок часу. Наведені в табл. 3.5 значення пропускної здатності та швидкості передачі даних на тайм-слот відрізняються для різних технологій тим, що в GPRS враховуються заголовки пакетів, які не потрібні користувачу. Максимальна швидкість передачі даних 384 кбіт/с (потрібна для відповідності специфікаціям IMT-2000) має місце у тому випадку, коли використовуються всі вісім тайм-слотів кадру, оскільки на кожен тайм-слот припадає по 48 кбіт/с.

Таблиця 3.5

Технологія	GPRS	EDGE
Модуляційна схема	GMSK	8-PSK/GMSK
Швидкість передачі символів	270 тис./с	270 тис./с
Пропускна здатність	270 кбіт/с	810 кбіт/с
Пропускна здатність на 1 тайм-слот	22,8 кбіт/с	69,2 кбіт/с
Швидкість передачі даних на 1 тайм-слот (при мінімальному шумі ефіру)	20 кбіт/с (CS4)	59,2 кбіт/с (MCS9)
Швидкість передачі даних з використанням 8 тайм-слотів	160 кбіт/с	473,6 кбіт/с

Швидкість передачі даних залежить від умов радіодоступу, а також від використовуваних схеми кодування та кількості часових інтервалів (каналів) TDMA-кадру.

Для EDGE розроблено дев'ять схем кодування MCS1 – MCS9 (рис. 3.11), які призначені для забезпечення корекції помилок.

У “молодших” схемах MSC1 – MSC4 використовується модуляційна схема GMSK, а в “старших” MSC5 – MSC9 – модуляційна схема

8PSK. Чим гірші умови прийому (менше відношення сигнал/шум), тим більше доводиться закладати надмірної інформації у кожен пакет, а значить, меншою буде швидкість передачі даних. Невелика відмінність у швидкості передачі даних, що спостерігається між CS1 і MCS1, CS2 і MCS2 тощо, пов'язана з незначною відмінністю між величиною заголовків пакетів.

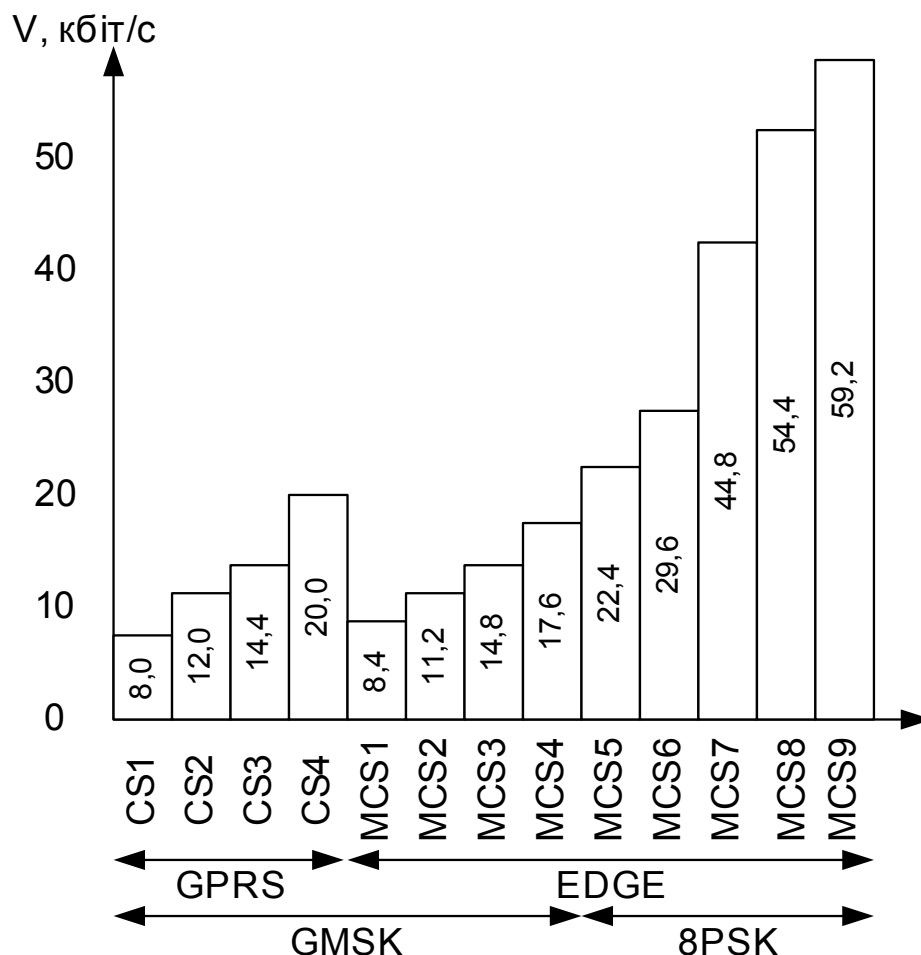


Рис. 3.11

У технології EDGE швидкість передачі даних з розрахунку на один часовий інтервал (канал) складає від 8,4 кбіт/с (MCS1) до 59,2 кбіт/с (MCS9). EDGE може використовувати вісім вільних часових інтервалів кадру, тому теоретично може забезпечувати граничну швидкість передачі даних 473,6 кбіт/с (тобто вісім часових інтервалів по 59,2 кбіт/с). Проте стійкою швидкістю є 384 кбіт/с.

У EDGE застосовані такі додаткові способи підвищення перешкодозахисту радіоліній.

1. Якщо з якихось причин пакет, відправлений з використанням "старших" схем кодування MCS7, MCS8, MCS9, не був коректно прий-

нятий, EDGE дозволяє ретранслювати його наново з використанням "заниженої" кодувальної схеми. У GPRS такої можливості, що називається "ресегментацією" (resegmentation), передбачено не було, а некоректно прийнятий пакет відправлявся заново за тією самою модуляційно-кодувальною схемою, що і попереднього разу.

2. У мережах EDGE застосовується нова технологія під назвою "інкрементальна надмірність", за рахунок якої замість повторного надсилання пошкоджених пакетів відправляється додаткова надлишкова інформація, що кінець кінцем збільшує можливість правильного декодування пошкодженого пакету.

3. Для забезпечення коректного функціонування технологій GPRS і EDGE у середовищі GSM доводиться постійно оцінювати такі радіоумови: рівень сигнал/шум у каналі, доплерівські ефекти за рахунок переміщення терміналу та ймовірність виникнення бітових помилок BER. При передачі даних у GPRS вимірювання радіоумов можливе лише в паузах – двічі за період 240 мс. EDGE визначає ймовірність виникнення помилок BER у кожному фреймі. Завдяки цьому EDGE швидше реагує на зміни радіоумов: збільшує швидкість передачі даних при зниженні BER, і навпаки.

Основне застосування EDGE – це високошвидкісний доступ до Інтернету, організація мобільного офісу, а також обмін у реальному масштабі часу картинками, фотографіями та іншою інформацією за допомогою мережі Інтернет, перегляд потокового відео, Інтернет-радіо, перегляд зображень з web-камер, пересилання факсів, пошта і підтримка мобільного телебачення. Якщо дивитися передачі, адаптовані до телефону, через GPRS, то картинка буде відчутно "пригальмовувати". При використанні EDGE-мовлення забезпечується набагато вища якість передачі.

#### 4. ССМР CDMA-2000 I WCDMA

Принципи функціонування засобів зв'язку з багатостанційним доступом CDMA і устаткування систем безпроводового абонентського доступу CDMA-оone покоління 2G розглянуто в [12].

Покоління 3G об'єднує в собі декілька стандартів мобільного зв'язку третього покоління. Вони забезпечують [9]:

- швидкість передачі даних до 2 Мбіт/с при смузі частот до 5 МГц;
- загальну структуру кодів: каналних – Уолша і скремблюючих – Голда ;
- швидкість проходження чипів кодів – 3,84 Мчип/с.

До цих стандартів відносяться CDMA-2000 або Global CDMA I, WCDMA або Global CDMA II і TD-CDMA (TD-SCDMA).

ССМР стандартів CDMA-2000 і WCDMA є черговим кроком еволюції систем CDMA від CDMA-оone до CDMA-2000 і систем TDMA від GSM до CDMA-2000 і WCDMA (рис. 4.1).

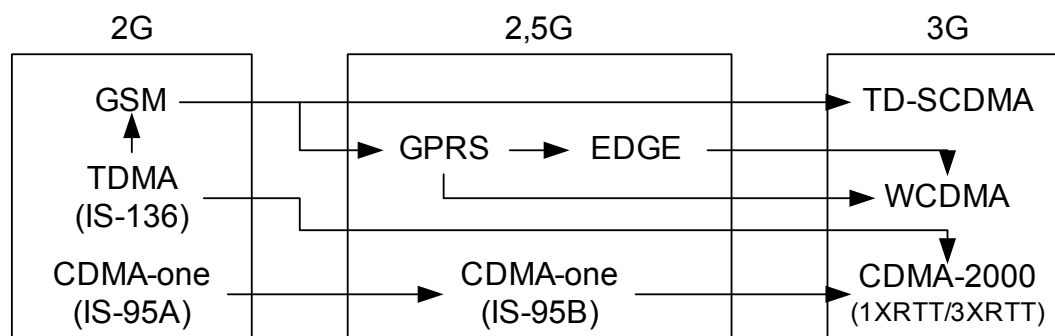


Рис. 4.1

Наступний еволюційний ступінь розвитку CDMA-2000 – два стандарти CDMA-2000 1X EV (EV – Evolution – еволюція, розвиток) і CDMA-2000 1X EV-DO (DO – Data Only – тільки дані), які використовують різні частоти для передачі голосу і даних. У наступному варіанті – стандарті CDMA-2000 1X EV-DV (DV – Data and Voice – дані й голос) була реалізована інтеграція голосу і даних в одному частотному діапазоні.

WCDMA і CDMA-2000 розвиваються згідно з Рекомендаціями IMT-2000 (International Mobile Telecommunication-2000) союзу ITU (International Telecommunication Union) країн Європи, США, Японії, Південної Кореї і Китаю в рамках проекту 3GPP (3rd Generation Partnership Project).

Основні відмінності CCMP CDMA-2000 від СБАР CDMA-one такі:

- використовуються діапазони частот 1850...1910 МГц для лінії “нагору” і 1930...1990 МГц для лінії “вниз” з частотним дуплексом FDD, що має дуплексне рознесення 80 МГц, і з часовим дуплексом TDD, що має 8 пар (“вниз” і “нагору”) тайм-слотів TDMA;

- для збільшення швидкості передачі даних ці стандарти мають розширений спектр сигналів від 1,25 до 3,75 МГц, який формується двома способами: традиційним із застосуванням більш високочастотних псевдовипадкових послідовностей і багаточастотним з трьома смугами по 1,25 МГц, що формуються одночасно на трьох піднесучих частотах;

- використовуються від 4 до 128 каналних кодів Уолша з адаптивною зміною довжини кодового слова і відповідною зміною швидкості передачі даних залежно від рівня перешкод і навантаження каналу;

- у службових каналах лінії “вниз” передбачаються допоміжні канали керування діаграмою спрямованості антени MS для здійснення просторової селекції BTS;

- підвищена перешкодостійкість радіоліній системи при високошвидкісній передачі сигналів за рахунок застосування турбокодів.

У WCDMA крім розглянутих є такі додаткові відмінності від СБАР CDMA-one:

- у стандартній реалізації WCDMA використовується частотний дуплекс FDD, а в модифікації TD/CDMA застосовується часовий дуплекс TDD з п'ятнадцятьма адаптивно розподіленими “вниз” і “нагору” тайм-слотами і шістнадцятьма кодами Уолша в кожному слоті;

- діапазон робочих частот стандартних систем WCDMA – 1920...1980 МГц (“нагору”) і 2110...2170 МГц (“вниз”), а діапазон робочих частот систем TD/WCDMA – 1900...1920 МГц і 2010...2025 МГц;

- розширений спектр сигналів – від 1,25 до 5 МГц і швидкостей передачі даних – до 2000, 384 і 144 кбіт/с для мобільних абонентів з швидкостями переміщення до 10, 120 і 500 км/год відповідно.

- використовуються 4 – 256 кодів Уолша для лінії “нагору” і 4 – 512 кодів – для лінії “вниз” з адаптивним змінюванням довжини кодового слова, а значить, і швидкості передачі даних залежно від рівня перешкод і навантаження каналу;

Відмінності CCMP стандарту WCDMA від CCMP стандарту GSM стосуються:

- протоколів та процедур функціонування CCMP і, як наслідок, нових алгоритмів і програмного забезпечення контролерів і баз даних;
- технології множинного доступу та розділення каналів, форматів модуляції, частотних і швидкісних показників фізичних каналів CCMP, а також устаткування базових й абонентських станцій.

При цьому загальна структура CCMP WCDMA в основному не відрізняється від структури CCMP стандарту GSM, які мають засоби підтримки пакетних протоколів GPRS і EDGE.

На рис. 4.2 показано структуру суміщених CCMP GSM + WCDMA, які виробляються компанією Ericsson. Ця структура має такі додаткові позначення, що відрізняють її від систем стандарту GSM: UE – абонентське устаткування WCDMA; AN – мережа доступу; CN – центральна мережа; RNS – підсистема радіомережі WCDMA; BTS – базові станції CCMP WCDMA; RNC – контролер мережі WCDMA; USIM – ідентифікаційний модуль мережі WCDMA; GMSC – маршрутизатор MSC; SMS-GMSC і SMS-IWMSC – служби SMS MSC (внутрішньомережна і міжмережна), а також додаткові інтерфейси CCMP WCDMA: Um, Iu, F, Q та ін.

Як абонентське устаткування в CCMP стандартів CDMA-2000 і WCDMA використовуються стаціонарні або мобільні телефони відповідних стандартів, а також 3G PCMCIA-карти або USB-модеми для виходу в Інтернет.

Випускаються мобільні телефони 3G WCDMA з можливістю прийому мобільного телебачення, наприклад, фірми LG типів U900, U9000, SB120, LB1500, LB1700.

У системах покоління 3G усі абонентські станції працюють одночасно в єдиній смузі частот і необхідно, щоб вони випромінювали сигнали таких потужностей, які забезпечили б приблизно однакові рівні сигналів різних абонентських станцій, що приймаються базовою станцією. Тому потужності всіх мобільних станцій регулюються з точністю до 1 дБ за допомогою замкненої і розімкненої петель керування. У першому випадку керування здійснюється за допомогою команд базових станцій, які передаються по спеціальному каналу керування, а в другому – самостійно абонентськими станціями за наслідками вимірювання рівня сигналів від базових станцій. При цьому кожна абонентська станція працює з мінімально необхідною потужністю випромінювання і, як наслідок, створює мінімальні перешкоди іншим станціям системи та мінімально опромінює абонента.

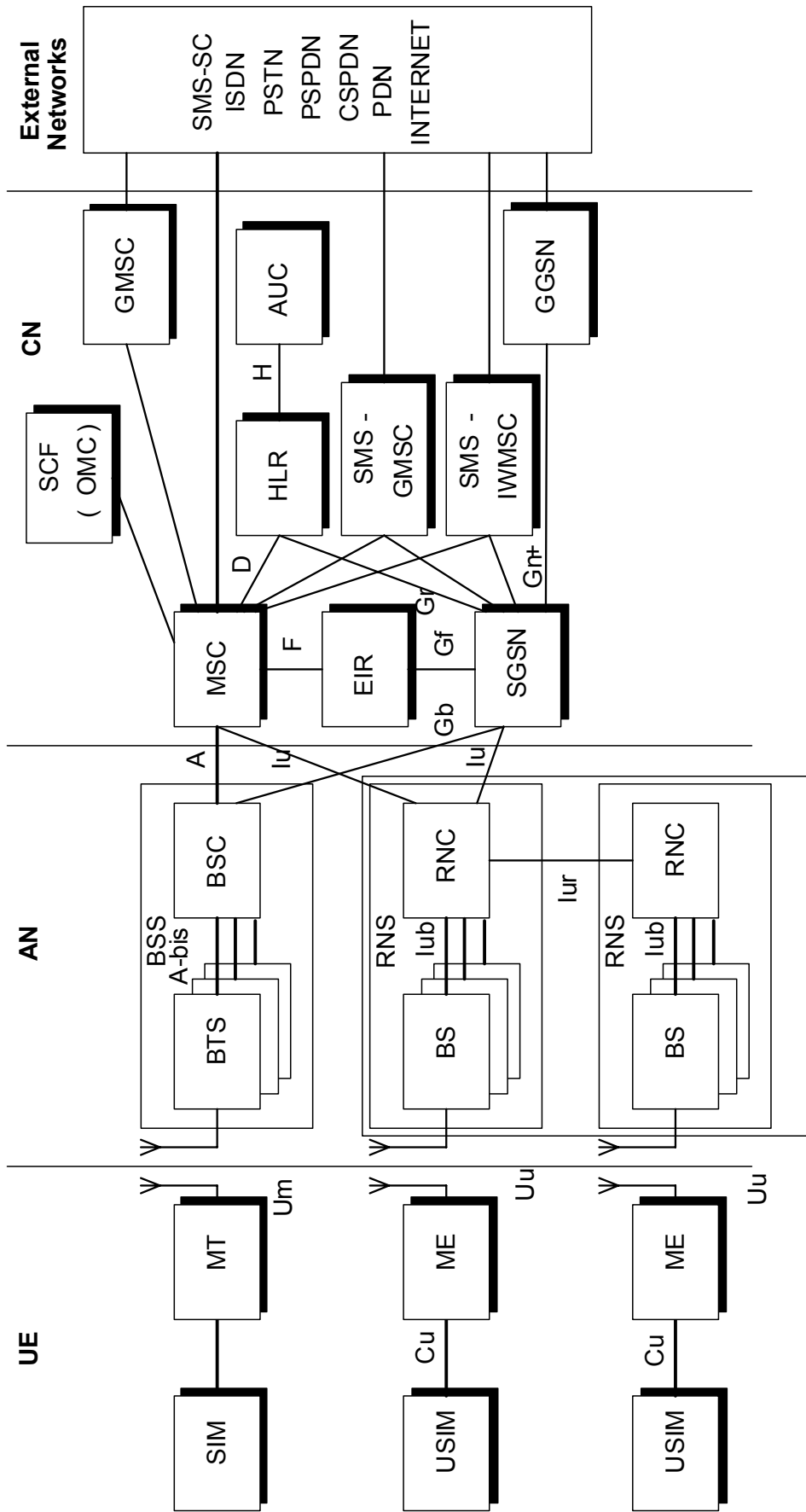


Рис. 4.2



## 5. ПРОФЕСІЙНІ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

### 5.1. Класифікація ПСМР

Професійні системи мобільного радіозв'язку (ПСМР) називають також транкінговими, транковими, корпоративними або відомчими радіосистемами (рис. 5.1). До їх основних особливостей можна віднести таке:

- вони не є системами загального користування, а призначені для обслуговування певного кола абонентів;

- структура, склад, принципи роботи, вартість і складність різноманітні настільки, що такі системи закривають увесь параметричний ряд радіосистем від децентралізованих систем для обслуговування декількох абонентів до СБАД, МСБТ і ССМР, що мають сотні тисяч і більше абонентів;

- послуги таких систем на відміну від систем загального користування є замовленими і можуть бути абсолютно нестандартними, наприклад, сигнал аварії на АЕС або прихована носима радіостанція;

- ПСМР мають найменування, наприклад, SmarTrunk II, Startsite та ін.

На рис. 5.1 показано не всі стандарти і протоколи існуючих ПСМР. Так, наприклад, відомо багато систем з різними назвами, що базуються на протоколах SmarTrunk II, зокрема, AL-Trunk, VX-Trunk, Info-Trunk та ін. Немає також вітчизняних ПСМР “Алтай”, “Валдай”, “Колос” та ін., розроблених ще за часів колишнього СРСР.

Аналогові системи фірми Motorola (Startsite, Smartnet, Smartzone), створюючи окрему сім'ю, є системами одного і того самого виробника і стандарту, але розрізняються за складністю та набором послуг, що надаються користувачеві.

Разом з тим системи стандарту MPT 1327 від різних фірм-виробників, наприклад, Fylde, Zetron, TaitNet та ін., мають помітні структурні й функціональні відмінності та різні протоколи.

На рис. 5.1 не відображено всі системи відкритого протоколу LTR, які успадкували його основні принципи і заслуговують на увагу, наприклад ПСМР Fast. Крім того, багато систем фірми Motorola мають закриті стандарти і також тут не фігурують.

Існують системи різних класів, стандартів і складності, але тільки одного виробника, наприклад, ПСМР AccessNet (-D, -T) фірми Rohde & Schwarz (Німеччина).

На рис. 5.1 позначено системи від найпростіших, наприклад

SmartTrunk II, до найскладніших, наприклад, цифрових систем з частотним розділенням каналів EDACS, APCO 25 і Tetrapol PAS.

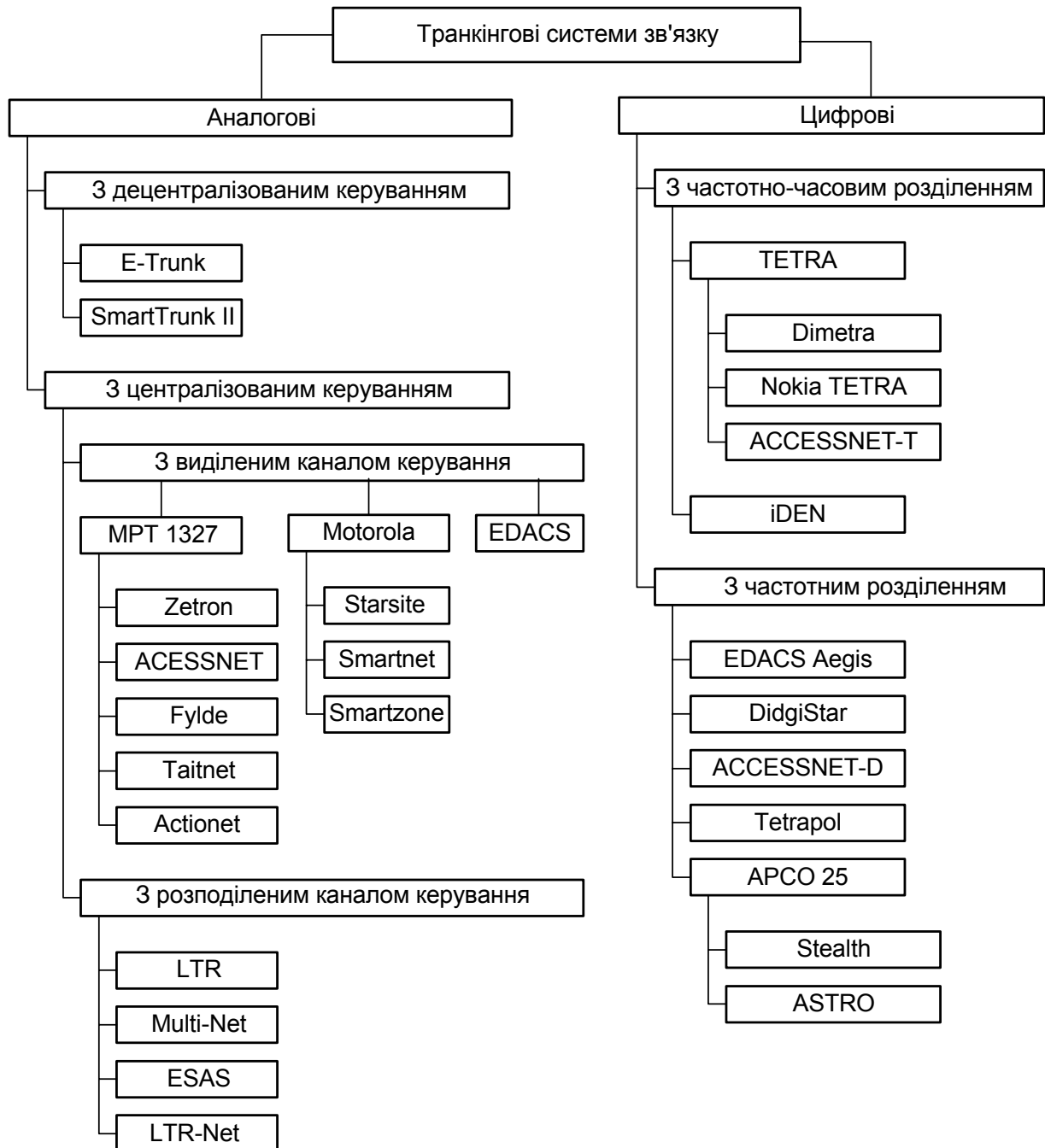


Рис. 5.1

Транкінгові системи завдяки своєму універсалізму займають цілком певну нішу на ринку систем мобільного зв'язку. Це виразно помітно при порівнянні параметрів різних типів систем, які домінують на цьому ринку (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Вид системи зв'язку	Децентралізована	Транкінгова	Стільникова
Можлива конфігурація	Однозонова	Однозонова або багатозонова	Багатозонова
Радіус зони, км	20...80	5...80	0,3...10
Можливі типи викликів	Груповий	Груповий або індивідуальний	Індивідуальний
Метод посилення виклику	Натиснення на кнопку "Передача"	Натиснення на кнопку "Передача" або набір номера	Набір номера
Режим радіозв'язку	Півдуплекс	Півдуплекс або дуплекс	Дуплекс
Внутрішньо-системний трафік	100%	50...95%	3...15%
Можливість роумінгу	Відсутній	Є у великих ПСМР	Є
Режим естафетної передачі каналів	Відсутній	Жорсткий або м'який	М'який
Середня кількість абонентів на канал	до 30	50 – 100	до 30

У децентралізованих системах є можливим тільки один тип виклику – груповий. Транкінгові системи передбачають обслуговування групових та індивідуальних викликів, а також безліч їх різновидів.

Найбільш зручним способом посилення групового виклику є натиснення на кнопку "Передача". Для децентралізованих систем цей спосіб є також і єдиним. У транкінгових системах натиснення на кнопку "Передача" приводить до запуску процедури встановлення з'єднання з базовою станцією (БС), у ході якої пристрою керування базовою станцією повідомляється ідентифікатор групи, що викликається. Далі БС призначає канал зв'язку і повідомляє про це як радіостанцію абонента, що викликає, так і радіостанції решти абонентів групи. Піс-

ля цього радіостанція, що викликає абонента, переходить у режим передачі мови на призначеному каналі.

У той час коли частка внутрішньосистемного трафіку в стільникових системах завжди незначна і лише у виняткових випадках зростає до 15%, для транкінгових систем цей показник сильно відрізняється в різних мережах. Якщо транкінгова система використовується переважно з метою корпоративного або відомчого зв'язку, а право доступу до ТфЗК надане лише окремим абонентам, внутрішньосистемний трафік може досягати 95%, тому проблема перевантаження інтерфейсу ТфЗК не завдаватиме клопоту оператору.

Роумінг використовується як у стільникових, так і в транкінгових системах, але його реалізація істотно відрізняється. Якщо в стільникових системах з самого початку закладалася можливість організації глобальних мереж з автоматичним роумінгом, то серед аналогових транкінгових систем таку можливість мають лише найбільш розвинені: ACTIONET (Nokia), ACCESSNET (Rohde & Schwarz) або Smartzone (Motorola). При цьому, як було сказано раніше, аналогові транкінгові системи не забезпечують безперервності поточного сеансу зв'язку в разі змінювання зони обслуговування (естафетної передачі). Лише в сучасних стандартах цифрового транкінгового зв'язку TETRA і TetraPol PAS забезпечуються як можливість міжсистемного роумінгу, так і підтримка естафетної передачі абонента від однієї базової станції до іншої.

Середня кількість абонентів на канал є найважливішою інтегральною характеристикою будь-якої системи мобільного зв'язку. Як видно з табл. 5.1, транкінгові системи в цьому відношенні є найбільш ефективними, дозволяючи обслужити одну і ту саму кількість абонентів меншою кількістю ретрансляторів, тобто за допомогою менш дорогої інфраструктури.

Незважаючи на те, що характери навантаження в стільникових і транкінгових системах майже збігаються, відсутність механізму автоматичного доступу до вільного каналу у перших обмежує кількість абонентів, що використовують один і той самий частотний канал, приблизно до 30. Крім того, використання у транкінгових системах статусних повідомлень "все гаразд", "вас зрозумів" тощо дозволяє значно зменшити час, що поглинається тривіальними переговорами.

Таким чином, автоматичне оброблення викликів дозволяє досягти в транкінгових системах показників навантаження до 100 абонентів на канал. Щодо стільникових систем, то невисоке значення цього параметра пояснюється високим рівнем трафіку, що створюється абонентами при телефонних переговорах.

Крім того, ПСМР мають ширшу номенклатуру, їх значно більше,

ніж ССМР, але кожна з них обслуговує набагато меншу кількість абонентів.

## 5.2. ПСМР “Алтай”

Білоруська ПСМР “Алтай-3М” (рис. 5.2) є аналоговою радіальною системою з централізованими керуванням і комутацією.

Система “Алтай-3М” [4] складається з центральної станції (ЦС), відомчих диспетчерських пунктів (ВДП), абонентських радіостанцій (АР), ремонтно-профілактичної майстерні (РПМ), з'єднувальних ліній (ЗЛ).

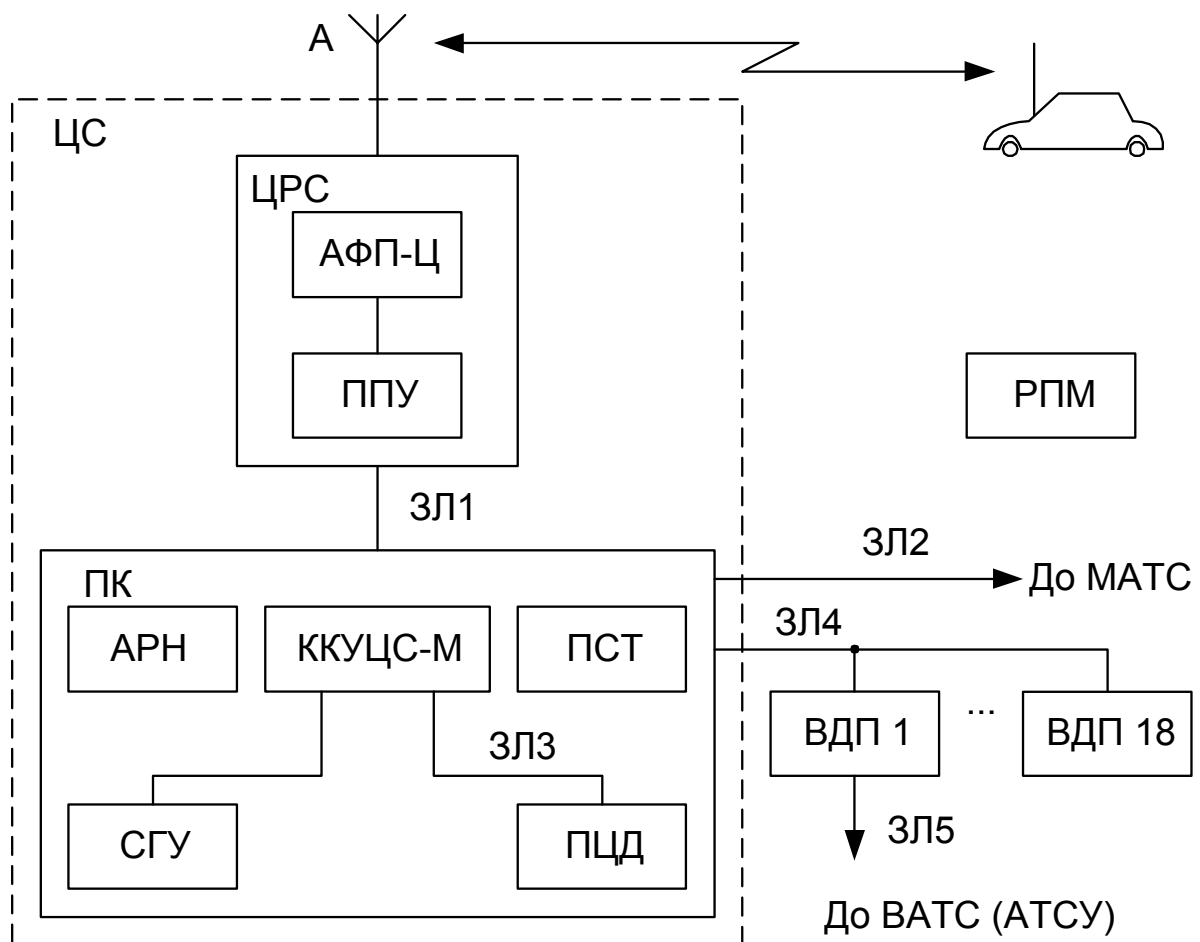


Рис. 5.2

Центральна станція (ЦС) складається з центральної радіостанції (ЦРС), до якої входять приймально-передавальне устаткування (ППУ) і антенно-фідерний пристрій (АФП-Ц), пункт керування (ПК), що містить комплект комутаційного устаткування (ККУЦС-М), стив генера-

торного устаткування (СГУ), пульт центрального диспетчера (ПЦД), пульт сигналізації чергового техника (ПСТ), апаратуру розпізнавання номера (АРН). ЦРС і ПК зв'язані між собою з'єднувальною лінією ЗЛ1, між ККУЦС-М і ПЦД використовується з'єднувальна лінія ЗЛ3.

З міською АТС (МАТС) ПК зв'язаний з'єднувальною лінією ЗЛ2. До ПК через з'єднувальні лінії ЗЛ4 можуть бути підключені до 18 ВДП. Передбачене підключення різних варіантів ВДП: безпосереднє підключення ВДП, підключення ВДП, який з'єднується з виробничою АТС (ВАТС) або АТС установи (АТСУ), а також ВДП, до яких підключено декілька прямих абонентів, та ін.

У РПМ періодично перевіряються та ремонтуються абонентські радіостанції.

Зв'язок у системі здійснюється через єдину міську центральну станцію в діапазоні частот 301,1375...305,8125 МГц (лінії "нагору") і 337,1375...341,8125 МГц (лінії "вниз") у дуплексному режимі з рознесенням частот на 36 МГц. Увесь діапазон частот розбито на 22 ділянки (стволу) по вісім радіоканалів у кожному. Рознесення частот між радіоканалами становить 25 кГц. Радіоканали, що входять до одного ствола, є рівнодоступними. Таким чином, "Алтай-3М" – це ПСМР з частотним доступом (FDMA).

За кожним мобільним абонентом ствола закріплюється індивідуальний вибірний виклик. Кількість вибірних (індивідуальних) викликів у стволі – 989, циркулярних (групових) – 10, вибірних номерів відомчих диспетчерів – 18. Кожний ствол є автономним і має свою нумерацію абонентів, ВДП і циркулярних викликів.

Система шумопридушення в радіоканалах – тональна (аналог STCSS). У ній використано 42 частоти в діапазоні 1003...2397 Гц, які рознесені на 34 Гц. Вибірний виклик абонентських станцій складається з комбінації трьох тонів, які передаються одночасно.

При ймовірності відмови у наданні зв'язку не більше 20% кількість абонентів у стволі може становити до 100 або близько 12 абонентів на один канал.

У кожному стволі ЦС забезпечуються такі види зв'язку:

– мобільного радіоабонента – з ВДП і ПЦД при автоматичному встановленні з'єднання набором двозначного номера 11 – 19 і 21 – 29 з ВДП (центрального диспетчера викликається набором цифри 0);

– мобільного радіоабонента – з будь-яким абонентом міської або відомчої телефонної мережі при автоматичному встановленні з'єднання набором індексу "8", а після отримання другого зумера – набором повного номера абонента телефонної мережі;

– ВДП і ПЦД з рухомим радіоабонентом – набором тризначного номера цього абонента або з групою абонентів – набором тризначного циркулярного номера;

– будь-якого абонента міської або відомчої телефонної мережі з мобільним радіоабонентом при автоматичному встановленні з'єднання – набором номера АТС, закріпленого за цим радіоабонентом (у одному стволі не більше 100 абонентів);

– двох мобільних радіоабонентів одного ствола між собою при автоматичному встановленні з'єднання – набором однозначного індексу "9" та індивідуального тризначного номера радіоабонента, що викликається;

– мобільного радіоабонента з абонентами МАТС, міжміської телефонної станції, прямими абонентами, іншими рухомими радіоабонентами – через ВДП або ПЦД при ручному встановленні з'єднання;

– зв'язок радіоабонента з черговим техніком здійснюється набором однозначного номера 3, 4, 5, 6, 7.

Антенно-фідерний пристрій ЦРС (рис. 5.3) призначений для підключення і забезпечення одночасної роботи восьми основних передавачів і приймачів, а також двох резервних передавачів і приймачів ствола на дві приймально-передавальні антени.

До складу антенно-фідерного пристрою входять такі основні елементи: резонаторні фільтри передачі (РФ ПРД); резонаторні фільтри прийому (РФ ПРМ); мостові відокремлювальні фільтри (МВФ); розподільні коробки (РК); антенні роздільники (АР); антени (А1, А2); спрямовані відгалужувачі (СВ); головні фідери.

*РФ ПРД* служить для зменшення позасмугових випромінювань передавачів сусідніх каналів.

*РФ ПРМ* призначений для розв'язування входу приймача та виходу передавача і зменшення позасмугових перешкод.

*МВФ* необхідний для забезпечення одночасної роботи двох передавачів з близькими частотами на один вихідний пристрій. Таким пристроєм може бути: такий самий МВФ наступного ступеня складання, а також антенний роздільник, спрямований відгалужувач, або антена.

*АР* призначений для забезпечення одночасної роботи передавачів і приймачів на спільну антену. Він перешкоджає попаданню сигналу від передавача на вхід приймача (сигнал, що при цьому приймається, не попадає на вихід передавача).

*РК* служать для об'єднання елементів багатовібраторної антени при роботі на один фідер і узгодження хвильових опорів цих елементів, яке здійснюється за допомогою східчастих трансформаторів.

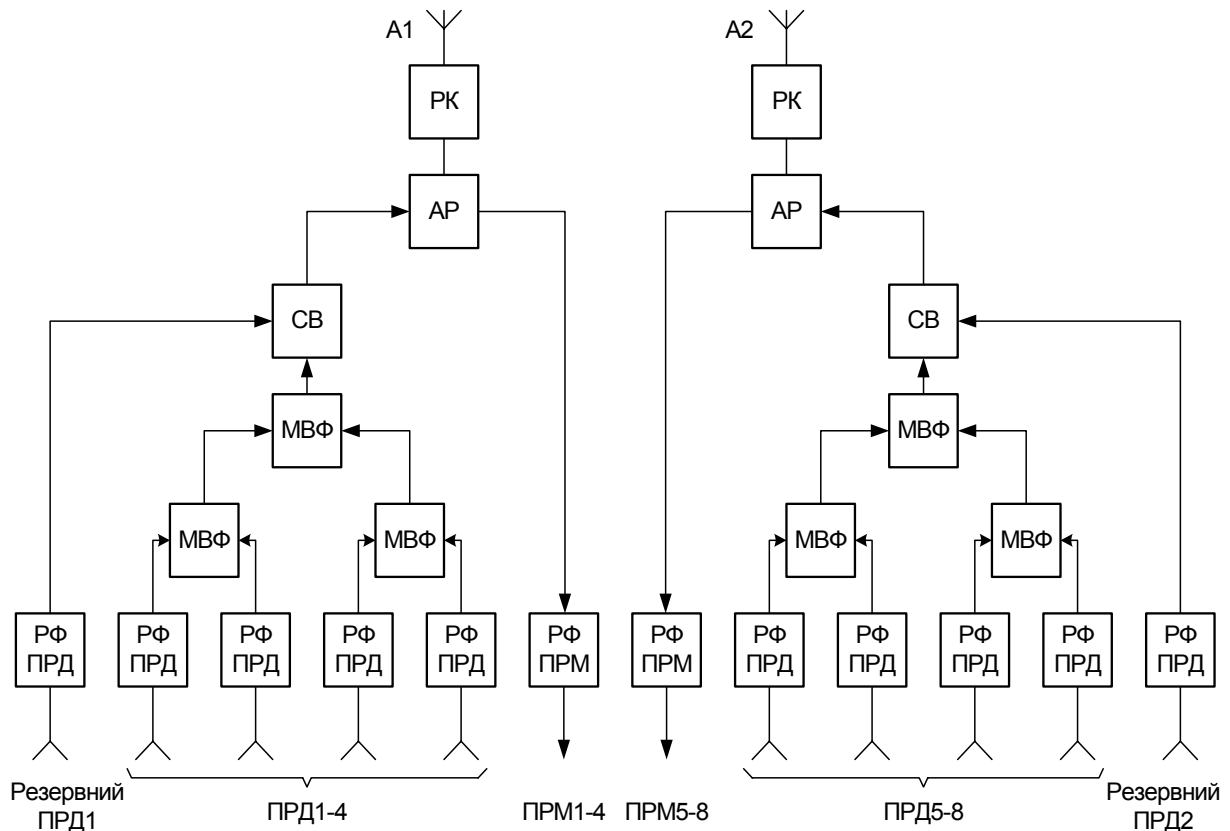


Рис. 5.3

Анени A1, A2 призначені для випромінювання сигналів передавачів центральної станції і прийому сигналів від абонентських станцій. Поляризація електромагнітних хвиль вертикальна.

СВ служать для підключення до антени резервних передавачів замість основних, які вийшли з ладу.

Антенно-фідерні пристрої часто коштують значно дорожче, ніж радіостанції багатоканальних систем зв'язку.

### 5.3. PCMP SmarTrunk II

PCMP протоколу децентралізованого керування SmarTrunk було розроблено в 1992 році американською фірмою Selectone Corporation (нині, SmarTrunk Systems, Inc.). Технологія SmarTrunk стала світовим стандартом для найдорожчих і найбільш популярних транкінгових од-нозонових систем.

З дозволу фірми SmarTrunk Systems транкінгові системи протоколу SmarTrunk можуть постачатися і під іншими назвами: AL-Trunk (фірма Alinco), VX-Trunk (фірма Yaesu / Vertex), SmarTrunk-R (фірма РКК, Москва) або InforTrunk (фірма "Інформаційна індустрія", Москва).



Структурну схему базового устаткування чотирьохканальної системи SmartTrunk II з контролерами ST-853 і двома антенами для прийому й передачі наведено на рис. 5.4.

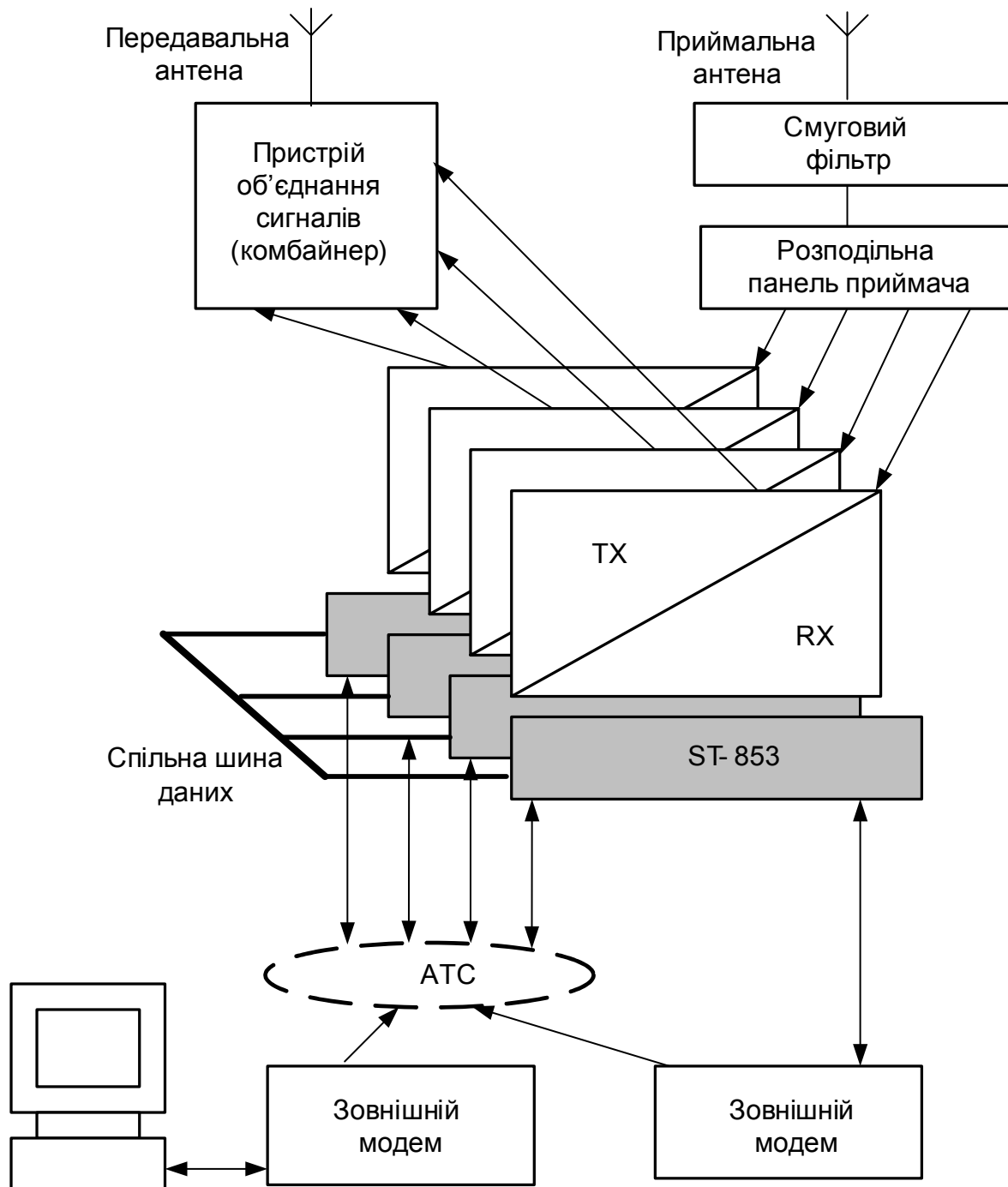


Рис. 5.4

У такої ПСМР немає системного комутатора, тому в ній реалізовано принцип розподіленої комутації, коли як комутатор використову-

ється АТС.

*Склад.* Центральним елементом системи SmarTrunk є транкінговий контролер ST-853, підключений до ретранслятора робочого каналу. Він забезпечує завантаження свого каналу, виробляє усі керуючі сигнали, визначає, чи може радіоабонент користуватися даним каналом, які він має привілеї, зокрема щодо виходу в телефонну мережу.

Керуючий комп'ютер підключається до одного з контролерів ST-853 базової станції за посередництвом стандартного стику RS-232. Зв'язок з рештою контролерів тієї самої базової станції здійснюється без додаткових переключень за допомогою загальної шини даних.

Кожен транкінговий контролер SmarTrunk містить бази даних про абонентів транкінгової системи та про сеанси зв'язку, що мали місце на відповідному робочому каналі.

База даних сеансів зв'язку, що здійснювалися через ретранслятор, містить додаткові номери і коди абонентів, які зверталися до системи, відмітки про характер зв'язку ("місто – абонент", "абонент – місто", "абонент – абонент"), дату, час і тривалість сеансу зв'язку. База даних про сеанси зв'язку необхідна для обліку абонентської плати і тарифікації. На підставі цих даних надсилаються рахунки абонентам за користування послугами зв'язку.

База даних абонентів містить пріоритети користування телефонними мережами, дозволи або заборони користуватися лініями № 1 і № 2, заборони набору певних комбінацій цифр, наприклад, заборону набору першої цифри "8", тобто заборону міжміських дзвінків та ін.

*Технічні дані.* ПСМР SmarTrunk II працюють у діапазонах частот 146...174 , 403...470 МГц і 33...48, 300...344 МГц (як і ПСМР "Алтай"), а також у діапазоні 800 МГц (як і системи протоколів LTR).

Кількість радіоканалів систем SmarTrunk визначається кількістю абонентів у системі та планованим трафіком. У складі однієї системи може бути використано від 2 до 16 дуплексних радіоканалів, що дає можливість забезпечити одночасне обслуговування від 50 до 1000 абонентів.

Для додаткового захисту від перешкод і несанкціонованого доступу в системах SmarTrunk може використовуватися шумопридушення з тонально кодованими сигналами CTCSS (Continues Tone Coded Squelch System).

Система SmarTrunk дозволяє організувати радіозв'язок між мобільними абонентами та зв'язок між мобільними абонентами і абонентами МАТС або АТСУ.

У системах зв'язку стандарту SmarTrunk може бути організовано

декілька типів викликів: індивідуальний, груповий, загальносистемний, а також екстрений.

ПСМР SmarTrunk II забезпечують до 100 рівнів пріоритету абонентів, причому високопріоритетним абонентам робочі канали надаються за першою вимогою.

Кожний контролер системи допускає підключення до нього до двох абонентських телефонних ліній. Зазвичай один з виходів контролера підключається до міської АТС, а другий – до місцевої АТС, РРЛ або до супутникової лінії зв'язку тощо.

*Організація зв'язку.* За необхідності викликати будь-кого з радіоабонентів або вийти в міську телефонну мережу потрібно набрати на клавіатурі номер радіоабонента або телефонний номер, а також маршрутний код типу виклику (два символи). Для зв'язку зі своєю групою досить натиснути на тангенту. У результаті цього абонентська радіостанція послідовно сканує доступні радіоканали і, знайшовши вільну частоту, забезпечує зв'язок з ретранслятором базової станції. Безпосередньо після цього проводиться набір міського телефонного номера або випромінюється в ефір сигнал, що несе інформацію про додатковий номер рухомого абонента.

Абонентська радіостанція послідовно сканує усі працюючі радіоканали у пошуках сигналу виклику. При виявленні свого коду вона припиняє сканування й подає звуковий сигнал, сповіщаючи абонента про надходження виклику. Після цього починається діалог між абонентами.

Щоб зателефонувати рухомому абоненту з міського телефону, треба набрати телефонний номер одного з ретрансляторів системи і після звукового сигналу про з'єднання набрати додатковий номер потрібного абонента в тональному режимі. Після відповіді цього абонента можна вести звичайну телефонну розмову.

ПСМР SmarTrunk II є системою зв'язку з децентралізованим керуванням через АТС і з розподіленим каналом керування.

Російська фірма "Інформаційна індустрія" доопрацювала систему SmarTrunk II і на її основі створила багатозонову систему зв'язку з централізованою комутацією InforTrunk (рис. 5.5), хоча вона й залишилася системою з децентралізованим керуванням.

У цій системі контролери InforTrunk виконано у вигляді карт, що встановлюються в слоти материнської плати ПК. Централізований комутатор розташовується на карті контролера. Зональні контролери зв'язані між собою виділеними лініями передачі, які обладнані модемами.

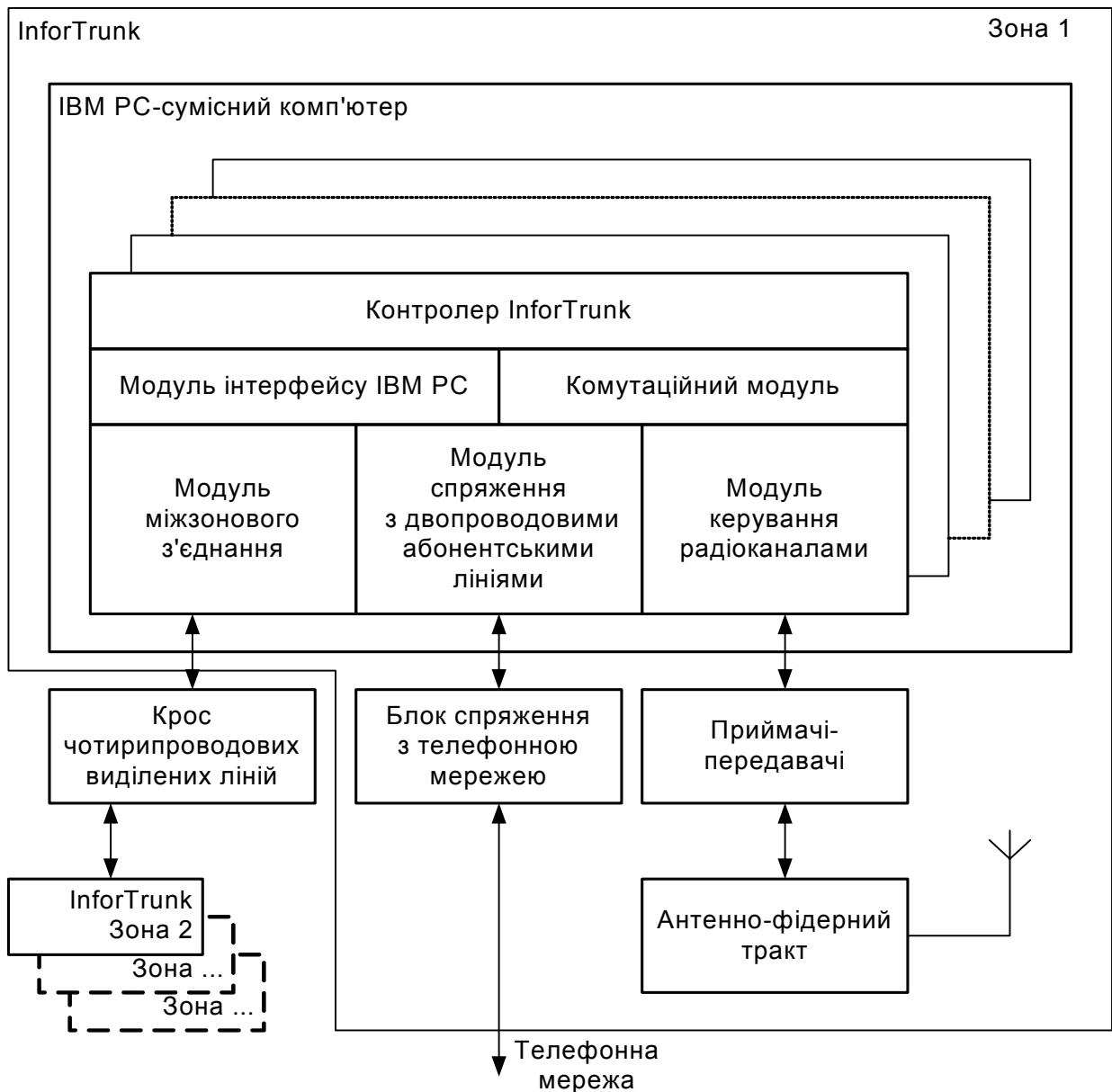


Рис. 5.5

## 5.4. ПСМР СТАНДАРТУ LTR

### 5.4.1. Стандарт LTR

Стандарт LTR (Logic Trunked Radio) було розроблено американською фірмою E.F. Johnson у 1982 році. Системи стандарту LTR мають розподілений канал керування. Смуги частот кожного з каналів трафіку розбиваються на два піддіапазони – до 300 Гц і вище 300 Гц. Смуга частот нижче 300 Гц використовується для передачі потоку да-

них логічного каналу керування (піднесуча частота – 150 Гц, швидкість передачі даних – 300 біт/с, модуляція FSK). Діапазон частот, вище за 300 Гц, надається для передачі аналогових мовних сигналів.

Таким чином, усі частотні канали транкінгових систем стандарту LTR служать для передачі трафіку. Це рішення дозволяє, наприклад, у разі двоканальної системи подвоїти пропускну здатність порівняно з системою, що використовує *виділений канал керування*.

Стандарт LTR передбачає наявність у системі до 20 ретрансляторів. У логічний блок кожного ретранслятора може бути введено до 250 групових ідентифікаційних кодів. Стандарт LTR *не розрізняє групових та індивідуальних адрес*, тому для надання абоненту індивідуального коду необхідно створити групу, що складається з одного абонента. Таким чином, повна адресна місткість двадцятиканальної системи LTR становить  $(20 \times 250) = 5000$  груп та абонентів.

Залежно від типу сеансу зв'язку системи стандарту LTR можуть працювати в режимі *транкінгу передачі* (канал надається на час однієї передачі) або *транкінгу повідомлень* (канал надається на весь сеанс зв'язку). У разі зв'язку між радіоабонентами використовується транкінг передачі, а якщо здійснюється зв'язок з абонентами АТС – транкінг повідомлень.

У стандарті LTR послуговуються поняттям *опорного каналу*. Будь-який канал трафіку може бути опорним для певної сукупності радіостанцій. І, навпаки, для кожної абонентської радіостанції обов'язково повинен призначатися опорний канал. Таким чином, повний ідентифікатор у системах зв'язку стандарту LTR складається з двох частин – номера опорного каналу й номера групи.

Усі абонентські станції постійно обробляють у каналі керування повідомлення, що надходять через їх опорний ретранслятор. Службові повідомлення опорного каналу інформують абонентську станцію про те, до якого ретранслятора слід звертатися для здійснення чергового виклику (інформація про поточний вільний ретранслятор) або до якого ретранслятора треба звертатися для відповіді на виклик, що надійшов.

Службова інформація в логічному каналі керування передається у вигляді пакетів. Довжина пакетів становить 40 бітів.

Протокол LTR передбачає передачу в напрямку *від абонентської радіостанції до ретранслятора* пакетів запиту для надання каналу зв'язку (REQ) і повідомлень про закінчення передачі (EOT).

Структуру пакетів запиту REQ показано на рис. 5.6. Цей пакет надсилається тільки один раз перед наданням каналу зв'язку в процесі встановлення з'єднання.

Синхро- послідов- ність	Код зони	Використо- вуваний ретрансля- тор	Опорний ретранс- лятор	Груповий номер станції, що викликаєть- ся	Конт- роль- ний сим- вол	Біти перевірки на парність
-------------------------------	-------------	--	------------------------------	---	--------------------------------------	-------------------------------------

Рис. 5.6

При встановленому з'єднанні такі запити надсилаються по логічному каналу керування *безперервно*. Пакет запиту REQ містить:

1. Поле синхропослідовності (9 бітів). Два перших біти синхропослідовності призначені для включення приймального пристрою, а решта бітів використовується для визначення початку службового повідомлення і для тактової синхронізації.

2. Поле коду зони (1 біт), яке може бути "0" або "1". Воно використовується в багатозонових системах для запобігання конфліктним ситуаціям, коли станція, що не відноситься до даної зони, знаходиться у межах її покриття. Якщо контролер ретранслятора, що викликається, виявить код зони, який не збігається із заданим, така спроба з'єднання відкидається.

3. Поле використовуваного ретранслятора (5 бітів), тобто номер ретранслятора, якому передається повідомлення.

4. Поле опорного ретранслятора (5 бітів), тобто його номер.

5. Поле групового ідентифікаційного номера (8 бітів), тобто ID радіостанції, що викликається.

6. Поле контрольного символу (5 бітів), який містить код виключення радіостанції після закінчення передачі.

7. Поле бітів перевірки на парність (7 бітів), за допомогою яких службове повідомлення перевіряється на предмет помилок. Якщо помилки виявляються, то таке повідомлення ігнорується.

Структуру повідомлення EOT про закінчення передачі показано на рис. 5.7.

Син- хропо- слідов- ність	Код зони	Код за- вершення передачі	Опорний ретранс- лятор	Груповий номер стан- ції, що ви- кликається	Конт- рольний символ	Біти пе- ревірки на пар- ність
------------------------------------	-------------	---------------------------------	------------------------------	--	----------------------------	---

Рис. 5.7

Повідомлення EOT посилається тільки один раз, коли абонент-

ська станція припиняє передачу (відпущена клавіша PTT).

У напрямку від ретранслятора до абонентів протокол LTR передбачає передачу пакетів таких типів: групові виклики (COL), повідомлення про закінчення передачі (EOT), повідомлення про очікування (IDLE).

Структуру повідомлення COL про груповий виклик показано на рис. 5.8.

Синхро- послідов- ність	Код зони	Використо- вуваний ретрансля- тор	Опорний ретранс- лятор	Груповий номер стан- ції, що ви- кликається	Вільний ретранс- лятор	Біти пе- ревірки на пар- ність
-------------------------------	-------------	--	------------------------------	--	------------------------------	---

Рис. 5.8

Повідомлення цього типу передаються *безперервно*, поки ретранслятор обслуговує виклик. Призначення цих повідомлень таке:

1. Відповісти на запит абонента про з'єднання з ретранслятором.
2. Зібрати разом усі станції з однаковими кодами зони, опорним каналом та ідентифікаційним номером і підключити їх до ретранслятора станції, що викликається (поле 3).
3. Передати інформацію про вільний ретранслятор. Вміст передостаннього поля повідомлення вказує станціям, який ретранслятор є вільним для виклику. Якщо вміст цього поля "00", то це означає, що всі ретранслятори зайняті.

Структуру повідомлення EOT про припинення передачі показано на рис. 5.9.

Синхро- послідов- ність	Код зони	Код за- вершення передачі	Опорний ретранс- лятор	Груповий номер станції, що виклика- ється	Контроль- ний сим- вол	Біти перевірки на пар- ність
-------------------------------	-------------	---------------------------------	------------------------------	---	------------------------------	---------------------------------------

Рис. 5.9

Повідомлення цього типу надсилається ретранслятором тільки один раз після того, як ретранслятор декодує повідомлення EOT від радіостанції. Усі приймальні станції закінчують прийом і підключаються до своїх опорних ретрансляторів.

Структуру повідомлення IDLE показано на рис. 5.10.

Синхро- послі- довність	Код зони	Номер ретранс- лятора	Номер ретранс- лятора	255	Номер ретрансля- тора	Біти перевірки на парність
-------------------------------	-------------	-----------------------------	-----------------------------	-----	-----------------------------	----------------------------------

Рис. 5.10

Якщо ретранслятор не зайнятий, повідомлення про очікування IDLE надсилається кожні 10 с, щоб повідомити абонентським станціям, які щойно з'явилися в зоні дії ретранслятора, що їх опорний ретранслятор вільний.

#### 5.4.2. PCMP FAST™ і ESAS™

Розробник і виробник радіоустаткування фірма UNIDEN American Corporation здійснила розроблення власних PCMP стандартів LTR ESAS™ і FAST™.

Система ESAS є багатозоною з централізованим керуванням і комутацією. При цьому система ESAS зберігає спадковість і сумісність відносно всіх PCMP протоколу LTR. Це робить можливим плавний перехід від декількох розрізнених систем LTR до єдиної мережі. Крім того, при переході від однозонової до багатозонової конфігурації мережі необхідна лише незначна часткова заміна устаткування, яка може здійснюватись без зупинки роботи системи зв'язку.

Максимальна кількість зон у системі ESAS становить 128, у кожній з них можуть працювати до 20 ретрансляторів ( $250 \times 20 \times 128 = 640000$  абонентів або груп).

У системі ESAS існує обмеження на кількість абонентів у групі. Залежно від типу групового виклику, що використовується, максимальна кількість учасників групи може бути або 50, або 200. Радіостанції ESAS можуть приймати виклики в декількох групах будь-якого типу. Максимальна кількість груп, у які може входити радіостанція, – 50. У цій системі можливий як транкінг повідомлень, так і транкінг передачі. При обробленні трафіку використовується пріоритетне розмежування викликів, причому в системі доступними є 15 рівнів пріоритету.

Радіоустаткування системи ESAS працює у діапазонах частот 806...825 і 851...870 МГц, крок сітки частот – 25 кГц. У системі є можливим дуплексний зв'язок. Спектр послуг системи ESAS достатньо



широкий і містить різні види групових викликів, індивідуальні виклики, з'єднання з АТС, автоматичний роумінг і маршрутизацію, динамічне перегруповування, передачу коротких цифрових повідомлень (статусних викликів), голосову пошту, перенаправлення викликів, захист від не-санкціонованого доступу, режим безпосереднього зв'язку.

Абонентським устаткуванням є дуплексні радіотелефони, а також півдуплексні радіостанції з клавіатурою і без неї. Усі типи радіостанцій системи ESAS обладнані РК-дисплеями для відображення номера або імені абонентської групи чи індивідуального абонента, що викликаються, а також для прийому статусних викликів. Можливе відображення номера абонента, який здійснює виклик.

Типову схему базового устаткування зображено на рис. 5.11.

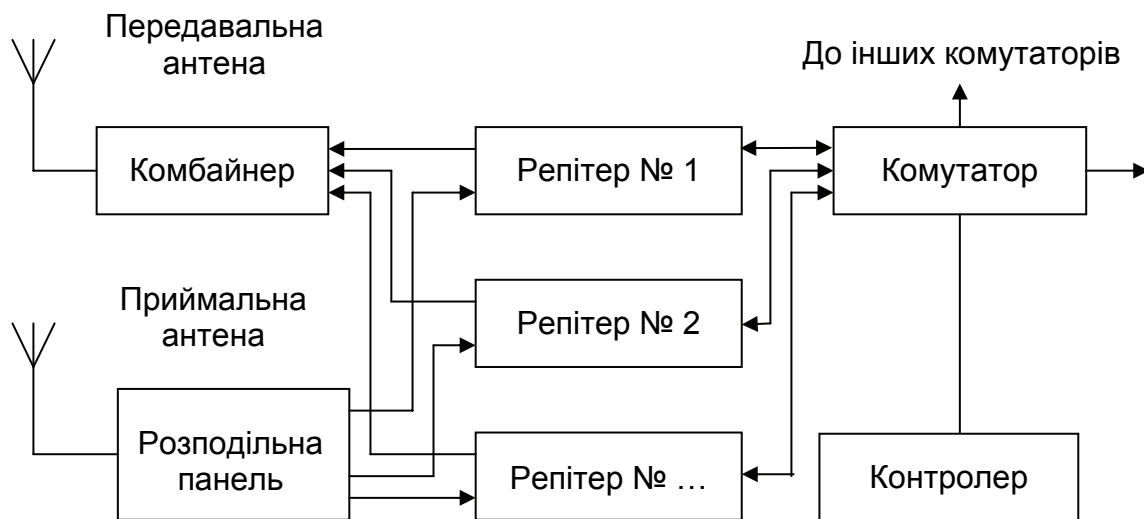


Рис. 5.11

Комплект базового устаткування містить:

- антенно-фідерну систему;
- комбайнер і розподільну панель;
- репітери (ретранслятори) із вбудованими в них блоками керування;
- комутатор, керований персональним комп'ютером.

Оброблення радіосигналів у репітерах здійснюється традиційним аналоговим способом, і після аналого-цифрового перетворення мовна та керуюча інформація через інтерфейс ISDN надходить на комутатор.

Комутатор виконаний повністю за цифровою технологією. Крім комутації каналів зв'язку він здійснює формування протоколу ESAS™ на мережному рівні. Роботою комутатора керує персональний комп'ю-

тер.

При підключенні до телефонної мережі адреса кожного абонента може збігатися з телефонним номером, прив'язаним до місцевої системи нумерації.

ПСМР стандарту FASTNet (рис. 5.12) розроблено за принципом блоково-модульної архітектури.

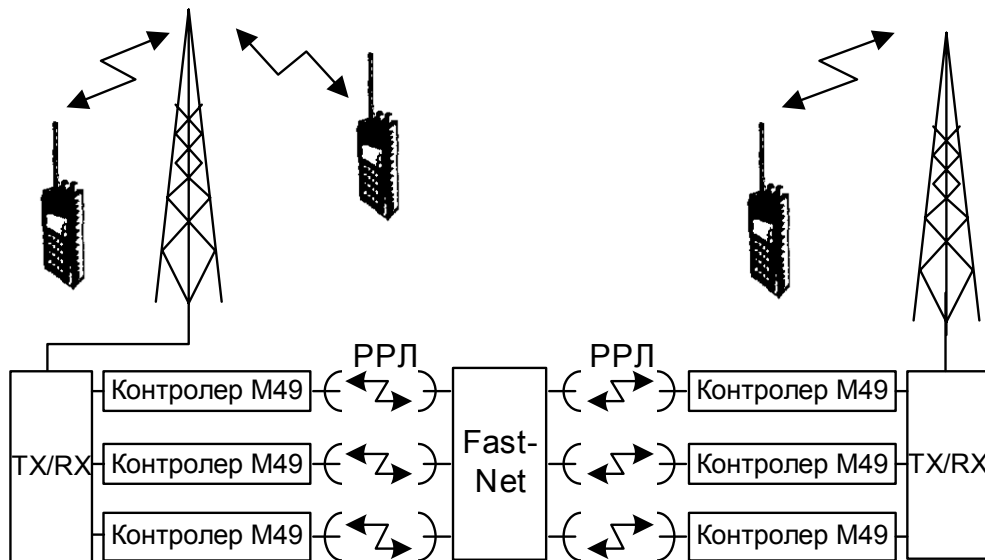


Рис. 5.12

Основним модулем цієї системи зв'язку є центральний багатозадачний процесор FASTNet. Ця система однозонова, з централізованим керуванням, розподіленою комутацією і виділеним каналом керування.

Програмне забезпечення процесора дозволяє перекласти багато функцій, що виконувалися раніше апаратно, на процесор. Воно містить три основні модулі: *Call Router*, *Call Saver* і *Call Networker*.

Модуль *Call Router* керує маршрутизацією телефонних і системних викликів по з'єднувальних лініях, декодує сигнали з імпульсних телефонних ліній, DTMF і MF тональних наборів. Система FASTNet може одночасно маршрутизувати до 40 аудіоканалів.

У разі використання модуля *Call Saver* система FASTNet служить як пристрій зберігання голосових повідомлень. Ці повідомлення можуть адресуватися більш ніж трьом тисячам користувачів. Модуль *Call Saver* може підтримувати до 16 користувачів одночасно.

Програмне забезпечення модуля *Call Networker* керує мережними функціями багатозонової системи, яка має декілька процесорів FastNet. Це забезпечує роботу з перекриттям зон і виконання мережних функцій системи з декількома комутаторами FASTNet при обслу-

говуванні великих територій (рис. 5.13).

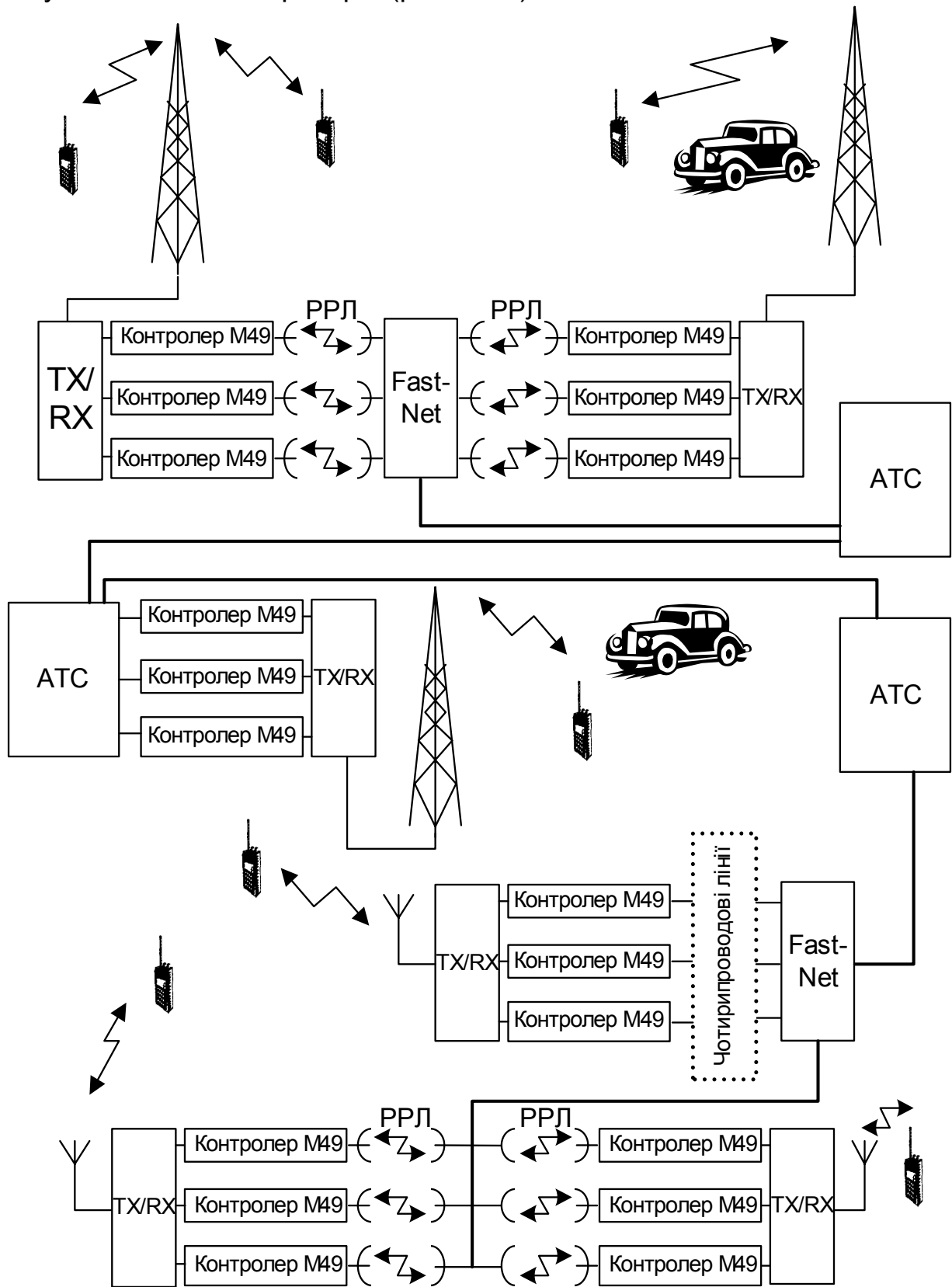


Рис. 5.13

Для подальшого розширення зони покриття мережі можна за допомогою комутованих телефонних ліній об'єднувати між собою дуже багато комутаторів FASTNet відповідно до принципу розподіленої комутації (як у системі SmartTrunk II).

Залежно від можливостей місцевої телефонної мережі оператор радіотелефонної системи може запропонувати своїм абонентам усі поліпшені послуги FASTNet: роумінг, маршрутизацію за принципом "менша вартість", передачу викликів, внутрішні голосові повідомлення з повідомленням про їх наявність, до 255 персоніфікованих наборів служб, які роблять користування радіотелефоном набагато зручнішим. Деякі з цих функцій є недоступними у стільникових телефонних мережах.

База даних кожної БС такої системи розрахована на 5000 абонентів, 2000 ідентифікаторів груп і 500 об'єднань груп. Вміст бази даних завантажується через системний контролер БС і копіюється рештою контролерів тієї самої БС через спільну шину. Наявність спільної шини і резервування системних контролерів і комутаторів підвищує життєздатність транкінгової системи.

## **5.5. PCMP стандарту MPT**

### **5.5.1. Стандарт MPT**

Скорочення MPT – це початкові букви найменувань стандартів і рекомендацій департаменту зв'язку Великобританії (Ministry of Post and Telegraph), за своїм змістом воно аналогічне скороченню ДСТУ.

Стандарт MPT 1318 характеризує методи статистичних досліджень параметрів систем радіозв'язку, у тому числі й транкінгових.

Стандарт MPT 1327, опублікований у січні 1988 року, містить протоколи сигналізації для PCMP з автоматичним доступом до вільних каналів і визначає алгоритми обміну між транкінговими контролерами системи і абонентськими радіостанціями.

Стандарт MPT 1343 регламентує процедури організації трафіку по радіоканалу між мобільними абонентами і базовими станціями транкінгових систем загального користування протоколу MPT 1327.

Стандарт MPT 1347 містить додаткові специфікації радіоінтерфейсу для стаціонарних абонентських радіостанцій транкінгових систем загального користування, що не відображені в стандарті MPT 1343.

Стандарт MPT 1352 регламентує процедури випробувань та оцінки якості радіостанцій протоколу MPT 1327.

У конкретній системі не обов'язково реалізовувати всі без винятку функції стандартів MPT. Необхідно забезпечити певний обов'язковий мінімум вимог, наприклад, згідно зі стандартом MPT 1327, а в іншому система може бути побудована відповідно до побажань конкретного замовника.

Відмінності транкінгових систем MPT 1327 різних виробників полягають у тому, як широко в них реалізовані можливості протоколу MPT 1327 порівняно з "обов'язковим мінімумом". Транкінгові контролери тих систем, де набір реалізованих функцій вельми широкий, наприклад контролери Accessnet, можуть бути істотно складнішими і дорожчими, ніж контролери більш простих систем Fylde і Taitnet.

Усі системи зв'язку протоколу MPT 1327 будуються з централізованим керуванням і комутацією, причому багатозонові – з виділеним каналом керування, яким є один з каналів базової станції. На цьому каналі в цифровому вигляді передаються команди керування і деякі види даних. Решта каналів базової станції є робочими або каналами трафіку і вони призначені для аналогового мовного зв'язку радіоабонентів і передачі цифрових даних довільної довжини.

### *Види зв'язку*

Стандартний варіант протоколу MPT 1327 передбачає такі види зв'язку:

1. Голосовий зв'язок (Speech Call), індивідуальний або груповий, зі звичайним або високим пріоритетом. При груповому виклику радіоабонент, що викликає, може визначити, у якому режимі вестиметься зв'язок: чи в режимі загального радіообміну, чи в режимі оповіщення (коли говорити може тільки радіоабонент, що викликає, а всі інші тільки слухають).

2. Передача даних (Data Call) довільної довжини на робочому каналі зі звичайним або високим пріоритетом.

3. Аварійний виклик (Emergency Call) голосовим зв'язком або передачею даних з максимально можливим пріоритетом.

4. Зв'язок з підключенням (Include Call), що використовується для підключення до зв'язку інших радіоабонентів, реалізації конференц-зв'язку і для переадресації викликів.

5. Статусні повідомлення (Status Messages) кількістю до 30 цифрових статусних повідомлень, що містять 5 бітів, значення яких може бути наперед визначено замовником. Статусні повідомлення передаються по каналу керування як між радіоабонентами, так і між транкінговим контролером і радіоабонентом. Статусні повідомлення не мо-

жуть бути адресовані групі радіоабонентів й абонентам АТСУ або міських АТС.

6. Короткі блоки даних (Short Data Messages). Це цифрові повідомлення довільної форми, що можуть містити до 184 бітів, які передаються по каналу керування між радіоабонентами або між транкінговим контролером і радіоабонентом.

7. Передача по каналу керування розширених блоків даних (Extended Data Messages), які складаються з чотирьох коротких блоків, пов'язаних між собою, і мають довжину до 736 бітів.

### *Передача і прийом викликів*

Радіоабонент може передати або прийняти запит на встановлення зв'язку (виклик) з такими абонентами:

- з іншими радіоабонентами;
- групою радіоабонентів або усіма радіоабонентами системи;
- абонентом АТСУ, що має номер довжиною до 9 цифр;
- абонентом МАТС, що має номер довжиною до 31 цифри.

Протокол MPT 1327 може забезпечити такі граничні параметри транкінгових систем:

- до 1 036 800 абонентських адрес на систему;
- 32 768 групових ідентифікаційних кодів;
- 1024 керуючих каналів транкінгу.

Транкінгові системи протоколу MPT 1327 діляться на системи регіонального рівня, для яких передбачено максимум 16 зон (сайтів) і кількість робочих каналів у зоні не обмежується і системи національного рівня, що можуть містити до 64 регіонів і до 1024 зон (16 зон × 64 регіони).

### *Керування в стандарті MPT 1327*

Усі службові команди передаються по каналу керування (КК). При цьому в стандарті MPT 1327 передбачено дві стратегії керування:

- з жорстко закріпленим КК;
- нежорстко закріпленим КК.

У системах з жорстко закріпленим КК цей канал використовується виключно для передачі команд, тоді як у системах з нежорстко закріпленим КК він може використовуватися також і для передачі голосу та даних у ті періоди часу, коли всі робочі канали зайняті, але є необслужені виклики.

У стандарті MPT 1327 існують три рівні пріоритетів:

- нормальний (Normal);

- високий (High);
- аварійний (Emergency).

Усі сигнали керування передаються по каналу керування у цифровому вигляді зі швидкістю 1200 біт/с за допомогою швидкої частотної маніпуляції FFSK. Інтервал передачі розбито на слоти по 106,7 мс (128 бітів) кожний. Декілька слотів складають кадр.

У кожному слоті, що передається базовою станцією, перші 64 біти містять системне кодове слово КК (CCSC), у якому є ідентифікатор даної базової станції. Останні 64 біти кожного слота називають адресним кодовим словом і, крім службової інформації, вони містять команди керування або "телеграми". За термінологією, що прийнята у протоколі MPT 1327, ці команди позначаються трьома-чотирма латинськими буквами, наприклад, ALH, ACKQ, RQE тощо.

### **5.5.2. ПСМР фірми Fylde Microsystems стандарту MPT 1327**

Фірма Fylde Microsystems (Великобританія), яка разом з фірмами Motorola та Philips із самого початку брала участь у формуванні стандарту MPT 1327, ніколи не була виробником приймально-передатальної апаратури, а займалася в основному розробленням транкінгових контролерів.

Загальну структурну схему типової системи зв'язку стандарту MPT 1327 зображено на рис. 5.14.

На схемі позначено: МКК – модуль керування каналом; БКС – блок керування сайтом; КРВ – контролер регіонального вузла; КМРВ – контролер міжрегіонального вузла; РСК – регіональний системний комутатор; МРСК – міжрегіональний системний комутатор; ТАС – термінал адміністратора системи; СТ – системний термінал; Р1 – РN – ретранслятори.

Транкінгові системи Fylde можуть бути реалізовані в таких варіантах.

1. Однозонова система у складі однієї БС, що має від 2 до 24 ретрансляторів і відповідну кількість МКК. Один канал БС виконує функції КК, а решта каналів БС – робочі. Блок керування стільником (БКС) повинен бути в складі системи обов'язково, а контролер регіонального вузла (КРВ) може бути відсутнім у випадку, якщо не потрібні виходи на АТСУ та МАТС.

2. Багатозонова система регіонального рівня, що містить від двох до десяти зон, кожна з яких має одну БС з кількістю каналів від 2 до 24. Усі БКС з'єднані з КРВ, утворюючи конфігурацію "зірка".

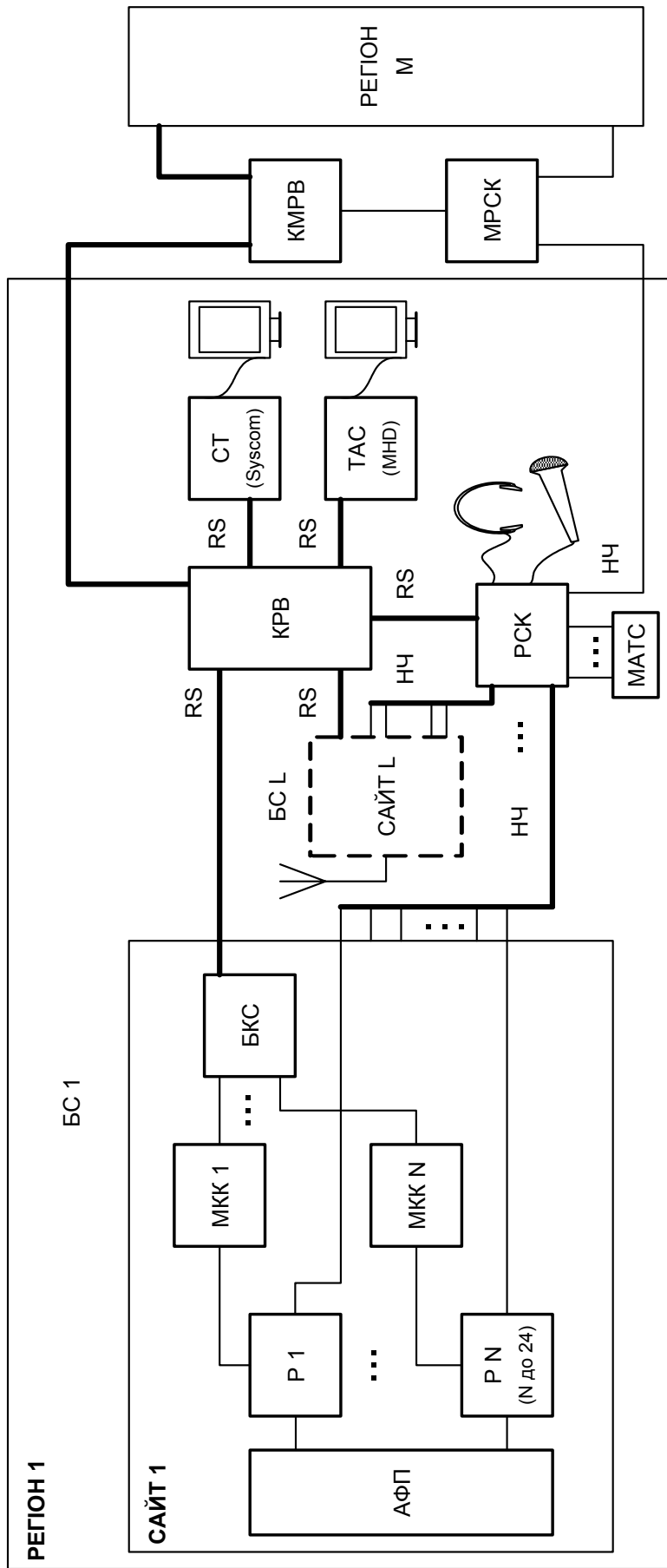


Рис. 5.14



3. Багатозонава система національного рівня з використанням контролера міжрегіонального вузла (КМРВ), який керує комутацією від 2 до 16 КРВ, утворюючи конфігурацію "зірка, що складається з зірок".

У таких системах є сенс застосовувати одноканальні базові станції тільки в таких випадках:

- у разі експериментальних досліджень зон радіопокриття, коли базову станцію доводиться багато разів переносити з місця на місце;

- при натурних демонстраціях можливостей систем зв'язку стандарту МРТ 1327 потенційним замовникам;

- під час запуску нової системи зв'язку, коли її оператор бажає спочатку гранично навантажити один канал і тільки тоді підключати інші канали, щоб краще оцінити різницю в рівні обслуговування.

ПСМР Fylde стандарту МРТ 1327 працюють у діапазонах професійного зв'язку 150 і 450 МГц, тобто на частотах 136...174 і 420...480 МГц, використовують систему доступу FDMA з кроком сітки 12,5 або 25 кГц і фазову модуляцію (G3E), забезпечують дуплексний режим роботи БС (ретрансляторів), а також дуплекс або півдуплекс абонентських станцій.

У системах зв'язку Fylde з'єднання з АТСУ і МАТС здійснюються через РСК, при цьому можливими є з'єднання з вісьмома різними АТСУ за допомогою дво- і чотирипроводових аналогових ліній. Загальна кількість ліній зв'язку з АТС не повинна перевищувати 24.

Система зв'язку Fylde дозволяє вести облік і тарифікацію усіх з'єднань. Облікові дані спочатку накопичуються на кожній БС і за запитом можуть бути передані на системний термінал Syscon. До складу облікової інформації входять такі параметри:

- час і дата початку з'єднання (виклику);
- ідентифікатори радіоабонентів, що викликають і викликаються;
- ідентифікатор БС, що викликає радіоабонента;
- номер використаного робочого каналу;
- вид з'єднання (локальне або міжзонаве);
- груповий або індивідуальний виклик;
- вид виклику (голосовий зв'язок, аварійний виклик та ін.);
- пріоритет (звичайний або високий);
- тривалість знаходження в черзі до встановлення з'єднання;
- тривалість з'єднання (з точністю до 1 с), та ін.

### **5.5.3. ПСМР фірми ZETRON стандарту МРТ 1327**

Американська фірма Zetron, відома своїми пейджинговими терміналами та іншим комутаційним устаткуванням, у 1994 році розробила

свої контролери моделі 827 стандарту MPT 1327.

### Однозонові системи

Контролер моделі 827 зовні подібний до контролерів SmartTrunk, а структура однозонової системи MPT 1327 фірми Zetron, яку наведено на рис. 5.15, також нагадує структуру сучасних систем SmartTrunk II. Проте ПСМР фірми Zetron має централізовану систему комутації, оскільки в контролери моделі 827 вбудовані системні комутатори, а АТС використовується і для зв'язку її абонентів з радіоабонентами, і для зв'язку системного терміналу з транкінговими контролерами. Таким чином, у системі Zetron системні комутатори мають багаторазове резервування.

Кожний з транкінгових контролерів моделі 827 є контролером ретранслятора базової станції, тобто аналогом БКС ПСМР Fylde. При цьому будь-який з контролерів моделі 827 може виконувати функції системного контролера (як КРВ або КМРВ у ПСМР Fylde). Таким чином, у системі Zetron і системні контролери мають багаторазове резервування.

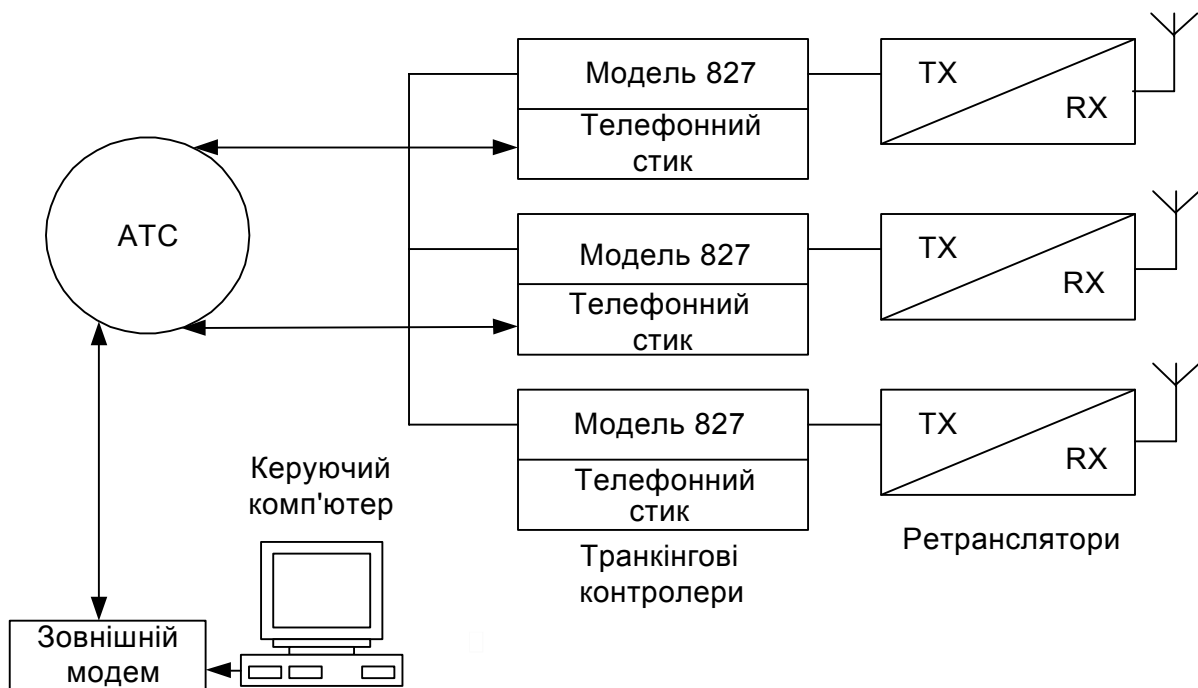


Рис. 5.15

Усі контролери об'єднані високошвидкісною шиною, по якій відбуваються обмін керуючою інформацією і базами даних зі швидкістю

64 кбіт/с, а також передача мовної інформації між контролерами.

База даних кожної БС розрахована на 5000 абонентів, 2000 ідентифікаторів груп і 500 "флотів" (груп, до яких входить велика кількість повних груп). Вміст бази даних завантажується через системний контролер БС і копіюється до всіх інших контролерів тієї самої БС по спільній шині. Наявність спільної шини та резервування системних контролерів і комутаторів підвищує життєздатність транкінгової системи, оскільки вихід з ладу одного з контролерів або комутаторів практично не впливає на роботу системи.

### *Багатозонові системи*

Контролери систем зв'язку Zetron призначені також для побудови багатозонових (до 12 зон) транкінгових систем. Для цього системні контролери різних зон зв'язують між собою.

Типові конфігурації з'єднання системних контролерів різних зон типу "лінійна", "проста зірка" та "зірка з перехресними з'єднаннями" показано на рис. 5.16 – 5.18.

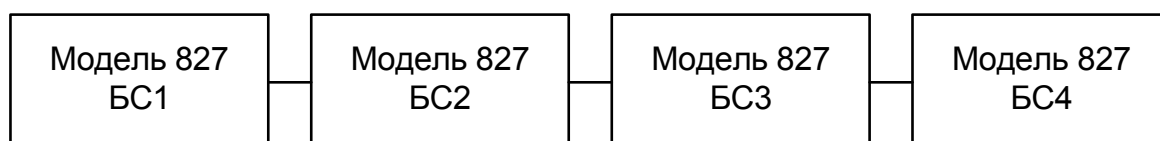


Рис. 5.16

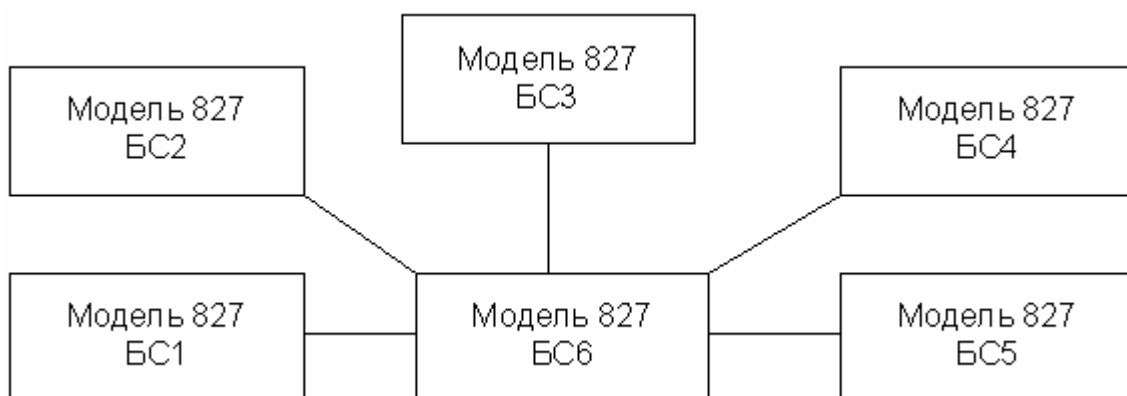


Рис. 5.17

Стандарт MPT 1327 передбачає можливість супроводу мобільного абонента одночасно максимум трьома БС, система Zetron допускає одночасну реєстрацію мобільної станції максимум з двох БС – своєї

"домашньої" БС і БС якоїсь з поточних зон. При переміщенні абонента може змінюватися його реєстрація у "чужій" зоні, тоді як реєстрація в "домашній" зоні зберігатиметься.

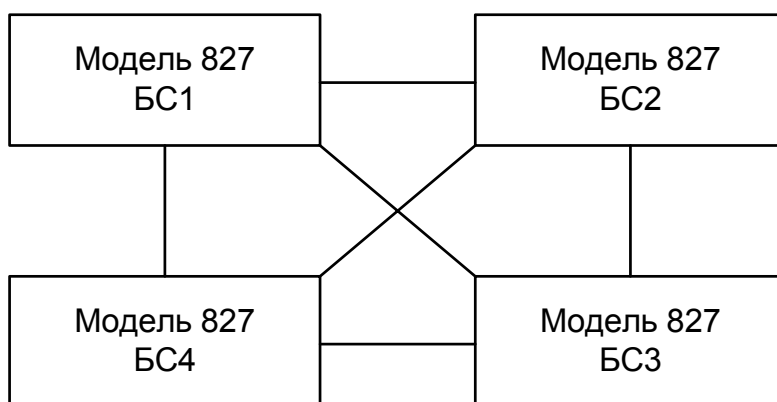


Рис. 5.18

Як лінії зв'язку між зонами системи Zetron у першу чергу допускають використання чотирипроводових виділених ліній, що сполучають послідовні шини даних і контролери різних зон або безпосередньо, або за допомогою асинхронних модемів. Є можливість також використовувати для міжзонових з'єднань комутовані телефонні лінії. При цьому базові станції кожної із зон повинні мати у своєму складі спеціальні телефонні інтерфейси для міжзонових з'єднань.

Для міжзонової сигналізації застосовується пакетна передача даних з використанням FFSK.

У разі групових викликів у багатозоновому варіанті кожний виклик буде переданий на 12 різних зон. Групові виклики з аварійним пріоритетом можуть при цьому переривати поточні сеанси зв'язку.

#### 5.5.4. ПСМР TaitNet стандарту MPT 1327

Транкінгова система Taitnet фірми Tait Electronics Ltd. (Нова Зеландія) є ПСМР стандарту MPT 1327 і схожа з ПСМР Fylde, але побудована на основі власного базового устаткування.

Типову функціональну схему чотиризонової транкінгової системи зв'язку Taitnet зображено на рис. 5.19.

Система зв'язку Taitnet складається з центру регіонального керування, пульта оператора (терміналу керування системою), базових станцій і абонентського устаткування.

Регіональний контролер T1530 або T1540 здійснює об'єднання контролерів T1510 базових станцій з метою створення єдиної багато-

канальної багатозонової транкінгової системи радіозв'язку. Контролер T1530 може керувати системою, що має до 10 зон з 24 каналами зв'язку в кожній зоні. Він збирає інформацію від усіх підключених базових станцій і передає її до терміналу керування системою.

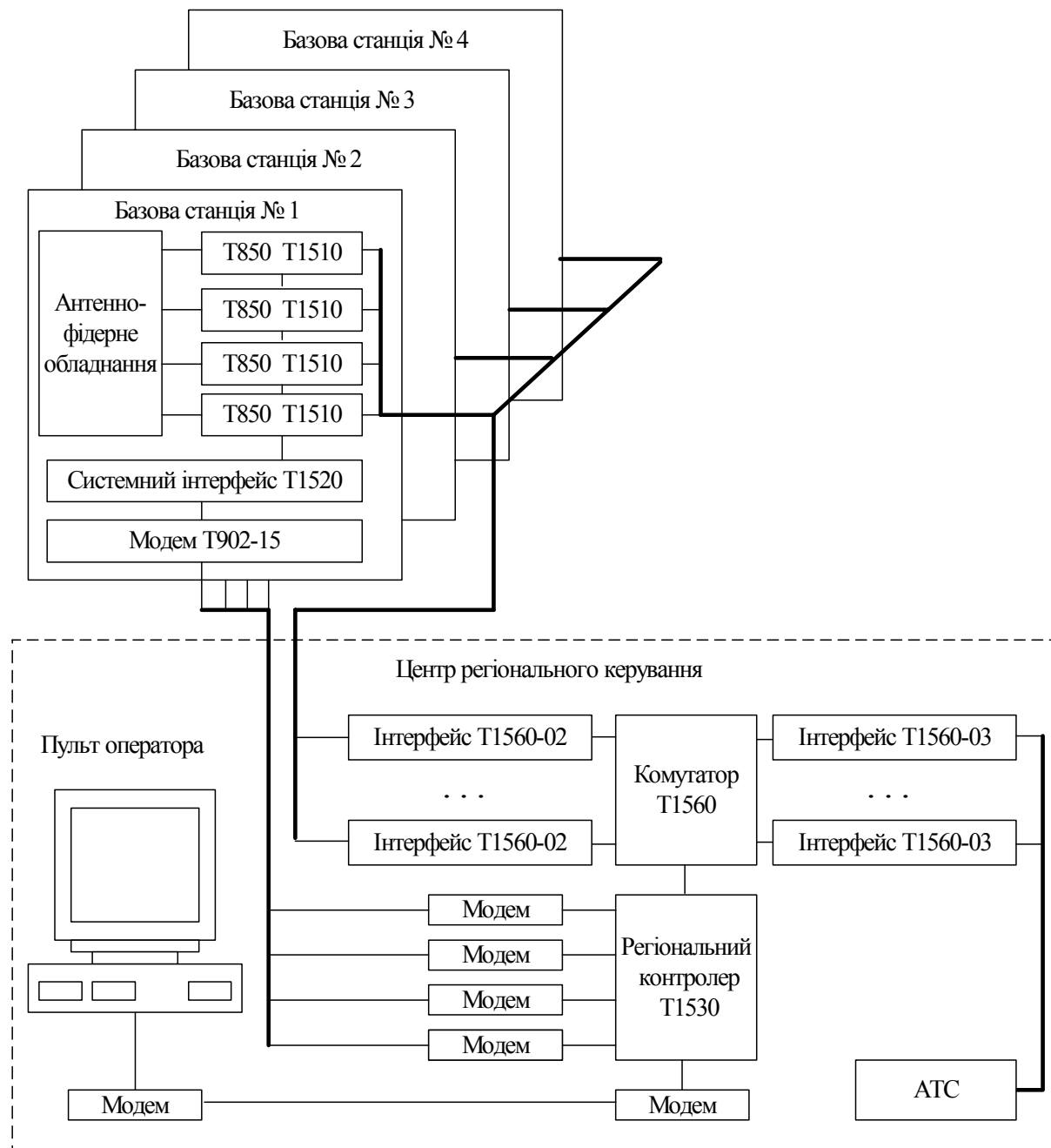


Рис. 5.19

Таким чином, система Taitnet є ПСМР регіонального рівня, у якій відсутній КМРВ.

Комутатор T1560 складається з комутаційної матриці й інтер-

фейсних плат. Він забезпечує комутацію аудіоканалів при міжзонових з'єднаннях і у разі з'єднання аудіоканалів з телефонними лініями.

Контролер T1510 підтримує окремих сеанс зв'язку і взаємодіє з системним інтерфейсом контролера T1520. Блок T1520 виконує перевірку й облік з'єднань, видає інформацію про стан системи і здійснює обмін даними з контролерами T1510.

Зв'язок регіонального контролера T1530 з периферією забезпечується за допомогою виділених двопроводових ліній через модеми T902-15.

Усі PCSMP стандарту Taitnet працюють у діапазонах професійного зв'язку 150 і 450 МГц, тобто на частотах 136...174 і 420...480 МГц, використовують доступ FDMA з кроком сітки 12,5 або 25 кГц і фазову модуляцію (G3E), забезпечують дуплексний режим роботи БС (ретрансляторів) і дуплекс або півдуплекс абонентських станцій.

## **5.6. PCSMP стандарту TETRA**

### **5.6.1. Стандарт TETRA**

Стандарт TETRA (TErrestrial Trunked RAdio) є першим затвердженим стандартом цифрового транкінгу.

При розробленні стандарту TETRA враховувався негативний досвід створення систем MPT, для яких було стандартизовано недостатню кількість інтерфейсів (системи зв'язку стандарту MPT різних виробників не сумісні одна з одною). Для забезпечення широкого відкритого ринку за участі в ньому великої кількості постачальників стандарт TETRA визначає такі вимоги до інтерфейсів:

1. Інтерфейс радіосигналів (AIR IF) забезпечує можливість роботи абонентського устаткування різних виробників.

2. Робота в режимі безпосереднього зв'язку (DMO) можлива між терміналами різних виробників поза зоною обслуговування системи.

3. Інтерфейс термінального устаткування (TEI) сприяє використанню мобільних додатків для передачі даних.

4. Міжсистемний інтерфейс (ISI) забезпечує можливість об'єднання мереж TETRA різних виробників. Крім того, системи стандарту TETRA можуть бути підключені до цифрових MATC і АТСУ та різних командних і контрольних систем.

Слід зазначити, що внутрішньосистемні інтерфейси в стандарті TETRA не стандартизуються. Це дає можливість виробникам самим впроваджувати найраціональніші й традиційні для них технічні рішення.

Стандарт TETRA використовує цифрову технологію багатостан-

ційного доступу з часовим розділенням каналів TDMA і режимом повного частотного дуплекса FDD. На одній частоті забезпечується функціонування чотирьох часових фізичних каналів (рис. 5.20).

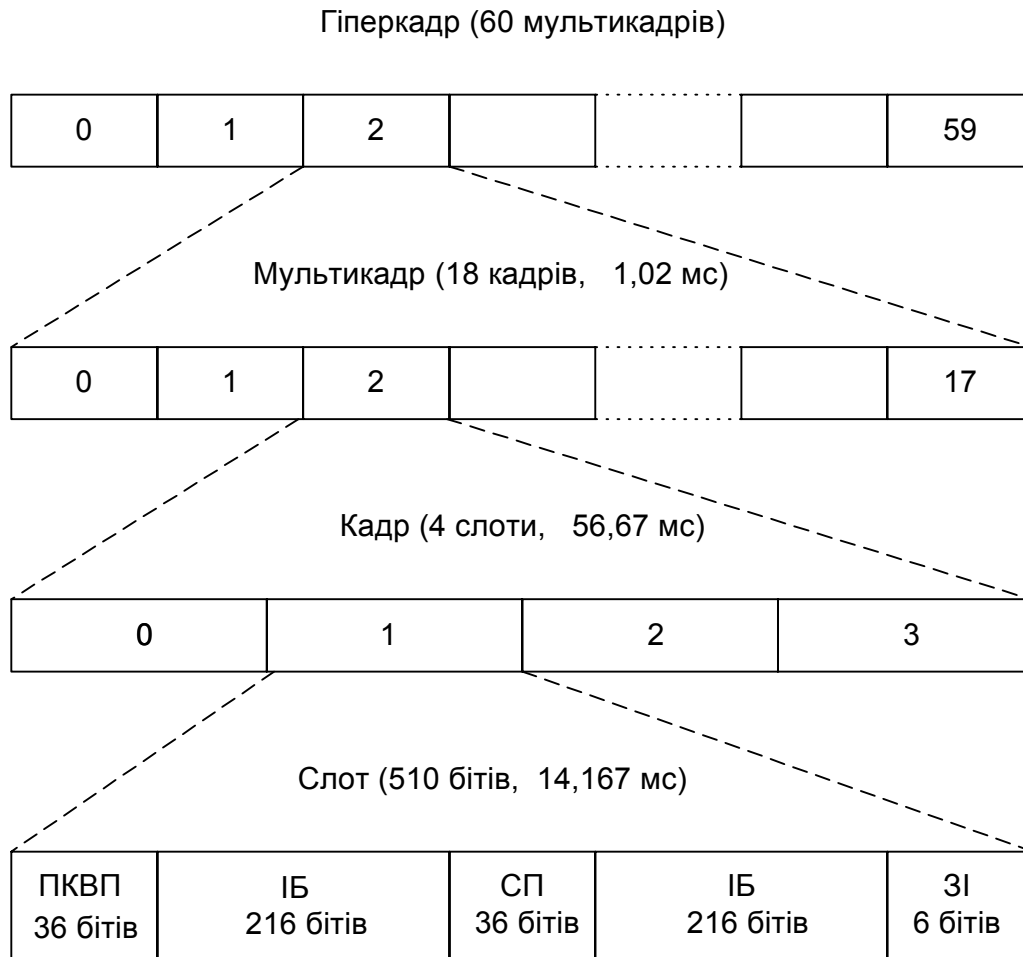


Рис. 5.20

Чотири слоти (часові фізичні канали) складають кадр, який має тривалість 56,67 мс. Послідовність з 18 кадрів утворює мультикадр тривалістю 1,02 с. Один з кадрів у мультикадрі є службовим для передачі сигналізації, а 60 мультикадрів утворюють гіперкадр.

Кожний часовий інтервал (слот) у складі кадру містить 510 бітів, 432 з яких є інформаційними (два блоки по 216 бітів). На початку часового інтервалу передається пакет РА керування випромінюваною потужністю (36 бітів), за ним надходить перший інформаційний блок (216 бітів), далі – синхропослідовність SYNC (36 бітів) і другий інформаційний блок. Сусідні часові інтервали розділяються захисними інтервалами GP тривалістю 0,167 мс, що відповідає 6 бітам.

При цьому забезпечується високошвидкісна передача даних, включаючи передачу відеозображень, зі швидкістю приблизно 7 кбіт/с в одному (512 бітів/56,67 мс  $\approx$  7,6 кбіт/с) або 28 кбіт/с у чотирьох часових слотах відповідно.

У стандарті TETRA реалізується процедура автентифікації абонентів, що передбачає надсилання базовою станцією кодового запиту на абонентську станцію, оброблення цього запиту контролером SIM-модуля відповідно до алгоритму автентифікації та відправлення на базову станцію кодованого відгуку.

Стандарт TETRA забезпечує автоматичне регулювання вихідної потужності абонентських станцій за командами базової станції відповідно до необхідності створити певну напруженість електромагнітного поля. Це дозволяє істотно зменшити взаємні радіоперешкоди при високій щільності розташування радіозасобів.

Можливості PCMP стандарту TETRA такі:

- груповий виклик;
- індивідуальний виклик;
- системний (аварійний) виклик;
- вихід у телефонну мережу;
- передача даних по виділених каналах;
- передача мови й коротких повідомлень по загальному каналу;
- підключення до групового виклику;
- організація черги при стані "зайнято";
- інтерфейс з магнітофоном для реєстрації сеансу зв'язку;
- внутрішньосайтовий хендовер;
- синхронізація базових станцій за сигналами GPS;
- 10 рівнів пріоритету користувача.

### **5.6.2. PCMP Dimetra стандарту TETRA**

У 1996 році на острові Джерсі проводилися польові випробування нових систем зв'язку і тоді була розгорнута перша PCMP Dimetra компанії Motorola стандарту TETRA.

PCMP Dimetra – це багатозонова система зв'язку національного рівня з централізованим керуванням і комутацією, з виділеним каналом керування.

Структуру двосайтової PCMP Dimetra наведено на рис. 5.21.

*Розширена система базової станції EBTS* забезпечує радіочастотний інтерфейс між устаткуванням інфраструктури й абонентським устаткуванням.



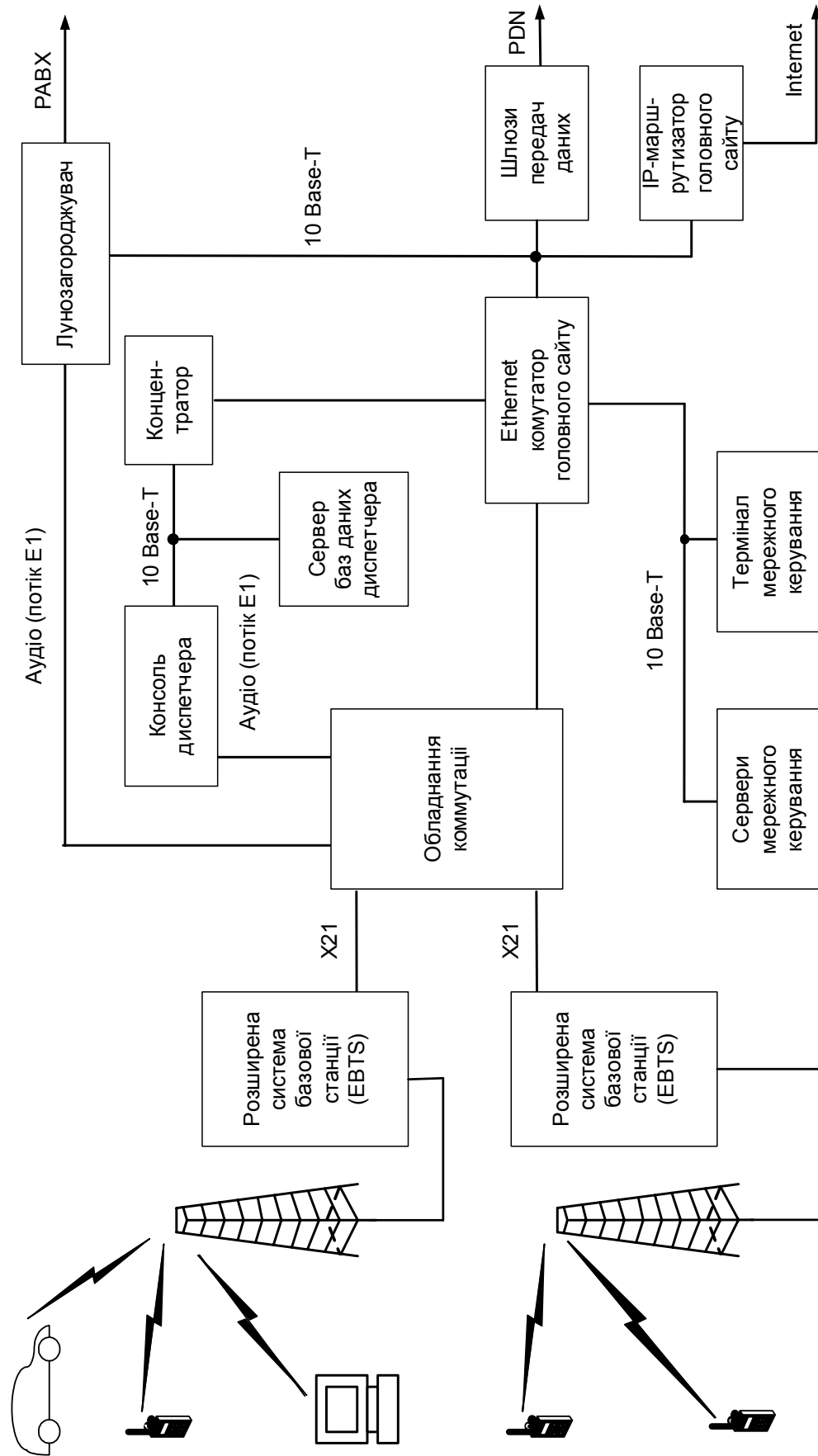


Рис. 5.21

Конструктивно EBTS являє собою стійку, що включає до семи радіостанцій, контролер сайту TETRA та систему аварійної сигналізації. Кожна стійка EBTS оснащена також трьома антенами для реалізації рознесеного прийому, що забезпечує боротьбу із завмираннями сигналу та поліпшує надійність роботи системи.

Контролер сайту містить приймач супутникового навігаційного сигналу GPS, який забезпечує синхронізацію, необхідну для мінімізації затримок при наданні зв'язку і хендвері.

Система аварійної сигналізації підтримує до 48 входів, які служать для підключення різних датчиків і приладів сигналізації.

*Комутаційне устаткування* містить аудіокомутатор, зоновий контролер, мультиплексор каналів сайтів і транскодер.

Швидкодіючий аудіокомутатор може динамічно перебудовуватися для маршрутизації типу "точка-точка" у разі індивідуальних викликів; або типу "точка-багатоточка" при групових викликах, або для підсумовування аудіосигналів для диспетчерських консолей, що беруть участь у групових викликах.

Мультиплексор каналів сайтів, використовуючи протокол пакетної передачі даних X21, проводить мультиплексування і демультиплексування трафіку.

Транскодер здійснює кодування й декодування аудіосигналів.

Аудіокомутатором, мультиплексором і транскодером керує зоновий контролер.

*Диспетчерська служба* має у своєму складі диспетчерські консолі та сервер бази даних.

Диспетчерська консоль – це комп'ютер, на якому встановлено програмне забезпечення "Еліт". Диспетчерські консолі можуть розташовуватися як у головному сайті, так і у віддалених центрах.

*До складу телефонної інфраструктури системи* входить телефонний шлюз, що підключається до АТСУ (РАВХ) шляхом організації двомегабітного потоку Е1.

Затримка в часі проходження аудіосигналу від мобільної радіостанції до АТСУ та назад є достатньо великою, внаслідок чого виникає відлуння голосу користувача. Для запобігання цьому ефекту застосовується лунозагороджувач.

*До служби коротких повідомлень і пакетної передачі даних* входять шлюзи передачі даних й IP-маршрутизатори.

Технічні показники PCMP Dimetra такі: до семи каналів FDMA (до 28 каналів TDMA) у сайті; до 32 сайтів (до 896 каналів) у регіоні; кількість абонентських номерів до 30000 (до 33 абон./кан.); робоча смуга частот 403...433 МГц (FDD, 10 МГц); потужність базової станції – 15 або 25 Вт; потужність абонентської станції – від 0,1 до 25 Вт; модуляція QPSK і 4FM.

## Бібліографічний список

1. Сухопутная подвижная радиосвязь: в 2 т. / И.М. Пышкин, И.И. Дежурный, Р.Т. Пантикян и др. – М.: Радио и связь, 1990. – Т. 2. – 328 с.
2. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи / Ю.А. Громаков. – М.: Еко-трендз, 1997. – 238 с.
3. Карташевский В.Г. Сети подвижной связи / В.Г. Карташевский, С.Н. Семенов, Т.В. Фирстова. – М.: Еко-трендз, 2001. – 300 с.
4. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения / Л.М. Невдяев; под ред. Ю.М. Горностаева. – М.: МЦНТИ, 2000. – 208 с.
5. Ратынский И.В. Основы сотовой связи / И.В. Ратынский; под ред. Д.В. Зимина. – М.: Радио и связь, 2000. – 248 с.
6. Тамаркин В.М. Перспективные системы и стандарты транкинговой связи / В.М. Тамаркин, В.И. Сергеев, Л.М. Невдяев // Сети и системы связи. – 1997. – № 2. – С. 5 – 8.
7. Толмачев Ю.А. Глобальная подвижная персональная спутниковая связь / Ю.А. Толмачев // Технологии и средства связи. – 1997. – № 1. – С. 12 – 15.
8. Зеленский А.А. Профессиональные системы радиосвязи / А.А. Зеленский, А.Н. Беседин, В.Ф. Солодовник. – Х.: ОАО "Модель Вселенной", 2002. – 108 с.
9. Системы мобильной связи: учеб. пособие для вузов / В.П. Ипатов, В.К. Орлов, И.М. Самойлов, В.Н. Смирнов. – М.: Горячая Линия-телеком, 2003. – 272 с.
10. Зеленский А.А. Системы радиосвязи: учеб. пособие: в 3 ч. / А.А. Зеленский, В.Ф. Солодовник. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2002. – Ч. 2. – 64 с.
11. Зеленский А.А. Системы радиосвязи: учеб. пособие: в 3 ч. / А.А. Зеленский, В.Ф. Солодовник. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2003. – Ч. 3. – 89 с.
12. Системи радіозв'язку: навч. посіб. / О. О. Зеленський, В. Ф. Солодовник, В. Д. Карлов, Є. О. Мількевич. – Х.: ХУПС, 2007. – 250 с.

## Зміст

Список скорочень .....	3
Вступ .....	5
1. Особливості систем мобільного радіозв'язку .....	6
1.1. Доплерівське розширення спектра сигналів засобів мобільного радіозв'язку .....	6
1.2. Багатопроменеве поширення радіохвиль.....	7
1.2.1. Завмирання сигналів засобів мобільного радіозв'язку.....	7
1.2.2. Способи рознесеного прийому.....	9
1.2.3. Способи еквайзингу .....	11
2. Загальні відомості про стільникові системи мобільного радіозв'язку .....	13
2.1. Хронологія розвитку CCMP .....	13
2.2. Територіальна організація CCMP .....	17
2.3. Частотна організація CCMP .....	18
2.4. Способи боротьби із системними перешкодами CCMP .....	19
2.5. Функціональні можливості CCMP .....	21
3. Цифрові CCMP стандарту GSM .....	24
3.1. Структура CCMP стандарту GSM.....	24
3.2. Організація логічних каналів CCMP стандарту GSM .....	28
3.3. Організація фізичних каналів CCMP стандарту GSM .....	31
3.4. Основні процедури CCMP стандарту GSM.....	34
3.5. Процедури автентифікації й ідентифікації у CCMP GSM .....	37
3.6. Передача даних у мережах GSM .....	39
3.7. Радіолінії CSD стандарту GSM.....	41
3.8. Служба GPRS стандарту GSM .....	46
3.9. Служба EDGE стандарту GSM .....	48
4. CCMP CDMA-2000 і WCDMA .....	53
5. Професійні системи мобільного радіозв'язку.....	57
5.1. Класифікація PCMP .....	57
5.2. PCMP “Алтай” .....	61
5.3. PCMP SmarTrunk II .....	64
5.4. PCMP СТАНДАРТУ LTR.....	68
5.4.1. Стандарт LTR .....	68
5.4.2. PCMP FAST™ і ESAS™ .....	72
5.5. PCMP стандарту MPT .....	76
5.5.1. Стандарт MPT .....	76
5.5.2. PCMP фірми Fylde Microsystems стандарту MPT 1327 .....	79
5.5.3. PCMP фірми ZETRON стандарту MPT 1327 .....	81
5.5.4. PCMP TaitNet стандарту MPT 1327 .....	84
5.6. PCMP стандарту TETRA .....	86
5.6.1. Стандарт TETRA .....	86
5.6.2. PCMP Dimetra стандарту TETRA .....	88
Бібліографічний список.....	91

Зеленський Олександр Олексійович  
Солодовнік Віктор Федорович  
Мількевич Євген Олексійович

## СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Редактор С.П. Гевло

Зв. план, 2009

Підписано до друку 10.02.2009

Формат 60×84 1/16. Папір. офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 5,1. Обл.-вид. арк. 5,81. Наклад 100 прим.

Замовлення 35. Ціна вільна

---

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського

«Харківський авіаційний інститут»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр «ХАІ»

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

[izdat@khai.edu](mailto:izdat@khai.edu)