

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Конспект лекцій  
з дисципліни  
“Системи зв’язку з рухомими об’єктами”

Харків 2010

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Конспект лекцій  
з дисципліни  
“Системи зв’язку з рухомими об’єктами”  
для студентів усіх форм навчання  
напряму 6.050903 – Телекомунікації

Затверджено  
кафедрою ТКС  
протокол № 11 від  
16.06.2010

Харків 2010

Конспект лекцій з дисципліни “Системи зв’язку з рухомими об’єктами” для студентів усіх форм навчання напряму 6.050903 - Телекомунікації/Упоряд.: М.Д. Плотніков, М.В. Москалець. - Харків:ХНУРЕ,2010. -204 с.

Упорядники: М.Д. Плотніков  
М.В. Москалець

Рецензент: В.В. Ємельянов проф., к.т.н. каф. “Мережі зв’язку” ХНУРЕ

## ЗМІСТ

Стр.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	9
1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ	
1.1 Історія розвитку мобільного радіозв'язку.....	11
1.2 Основні поняття і визначення.....	14
1.3 Основні характеристики систем мобільного зв'язку.....	16
1.4 Особливості поширення радіохвиль УКХ діапазону.....	16
1.5 Класифікація систем мобільного зв'язку загального користування.....	18
1.6 Територіальне планування систем мобільного зв'язку.....	19
1.7 Методика розрахунку рівномірності кластера.....	26
1.8 Способи розподілу каналів між базовими станціями.....	32
1.9 Організація управління в системах мобільного зв'язку.....	35
1.10 Критерії ефективності систем мобільного зв'язку.....	40
Контрольні запитання та завдання.....	44
2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СМЗ ПЕРШОГО ПОКОЛІННЯ (1G)	
2.1 Стислий огляд стандартів аналогових СМЗ.....	46
2.2 Система стандарту NMT.....	47
2.3 Система стандарту AMPS.....	48
2.4 Еволюція систем мобільного зв'язку.....	50
3 МОБІЛЬНІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ДРУГОГО ПОКОЛІННЯ (2G)	
3.1 Стислий огляд систем мобільного зв'язку другого покоління (2G).....	53
3.2 Система мобільного зв'язку з доступом TDMA стандарту GSM-900.....	54
3.3 Особливості стандарту DCS-1800.....	56
3.4 Склад і призначення обладнання мобільної системи зв'язку стандарту GSM.....	57
3.5 Мережні інтерфейси у системах стандарту GSM.....	63
3.6 Структура TDMA-кадрів.....	64
3.7 Організація каналів у системах стандарту GSM.....	67
3.8 Формування сигналу в радіоканалі.....	69
3.9 Протокол організації вихідних і вхідних викликів у мережах стандарту GSM.....	74
3.10 Протокол організації естафетної передачі управління.....	77
3.11 Протокол організації роумінгу.....	79
3.12 Забезпечення інформаційної безпеки в стандарті GSM.....	80
Контрольні запитання та завдання.....	83
4 ОСНОВИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ З ДОСТУПОМ CDMA	
4.1 Загальна характеристика широкосмугових сигналів.....	84

4.2	Геометричне і математичне зображення широкосмугових сигналів.....	88
4.3	Види сигналів у системах з кодовим поділом сигналів.....	96
	Контрольні запитання та завдання.....	105
5	СИСТЕМА МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ CDMA СТАНДАРТУ IS-95	
5.1	Загальна характеристика системи мобільного зв'язку стандарту IS-95.....	109
5.2	Склад і призначення обладнання системи мобільного зв'язку стандарту IS-95.....	109
5.3	Принципи обробки сигналів в мобільній системі зв'язку стандарту IS-95....	111
5.4	Організація каналів у системах стандарту IS-95.....	117
5.5	Формування сигналу в прямому каналі трафіку.....	119
5.6	Формування сигналу у зворотному каналі трафіку.....	123
5.7	Обслуговування викликів у мережах стандарту CDMA.....	124
5.8	Управління потужністю.....	127
5.9	Боротьба зі впливом багатоприменовості.....	129
5.10	Організація естафетної передачі управління.....	130
5.11	Забезпечення безпеки у стандарті IS-95.....	130
5.12	Стисла характеристика обладнання стандарту IS-95.....	131
5.13	Переваги і недоліки мобільних систем зв'язку з кодовим розподілом каналів.....	134
	Контрольні запитання та завдання.....	135
6	МОБІЛЬНІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ТРЕТЬОГО ПОКОЛІННЯ (3G)	
6.1	Загальна характеристика стандартів мобільних систем зв'язку третього покоління.....	136
6.2	Еволюція систем з технологією TDMA.....	142
6.3	Еволюція систем з технологією CDMA.....	146
6.4	Загальна характеристика мобільних стандартів систем зв'язку UMTS.....	148
6.5	Архітектура систем стандарту UMTS.....	150
6.6	Організація каналів у стандарті UTRA FDD.....	153
6.7	Структура кадрів, мультиплексування каналів.....	157
6.8	Формування сигналу в системі UTRA.....	160
6.9	Особливості стандарту UTRA TDD.....	165
6.10	Загальна характеристика CM3 стандарту CDMA-450.....	166
6.11	На шляху до четвертого покоління мобільних систем зв'язку (4G).....	168
	Контрольні запитання та завдання.....	170

7	ТРАНКІНГОВІ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ	
7.1	Загальні принципи побудови транкінгових систем.....	171
7.2	Класифікація транкінгових систем.....	173
7.3	Методи організації зв'язку в транкінгових системах.....	175
7.4	Служби транкінгових систем.....	177
7.5	Загальна характеристика аналогових транкінгових систем зв'язку.....	181
7.6	Загальна характеристика транкінгової системи зв'язку TETRA.....	185
7.7	Режими роботи системи TETRA.....	186
7.8	Архітектура мережі стандарту TETRA.....	188
7.9	Структура радіоінтерфейсу системи TETRA.....	192
7.10	Послуги, що надаються системою TETRA.....	194
7.11	Забезпечення інформаційної безпеки в системах TETRA.....	198
	Контрольні запитання та завдання.....	199
8	СИСТЕМИ ПЕРСОНАЛЬНОГО РАДІОВИКЛИКУ	
8.1	Принципи побудови систем персонального радіовиклику.....	200
8.2	Склад і призначення основних засобів СПРВ-ЗК.....	202
8.3	Однозонові і багато зонові СПРВ.....	204
8.4	Основні стандарти СПРВ.....	205
8.5	Коротка характеристика пейджерів.....	206
	Контрольні запитання та завдання .....	207
	Глосарій.....	208
	РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	210

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

3GPP	- партнерство за проектом в області технологій 3-го покоління (формує стандарт WCDMA)
3GPP2	- партнерство за проектом в області технологій 3-го покоління (формує стандарт cdma- 2000)
ACELP	– алгебраїчний метод кодування і лінійного пророкування
BCCH	<input type="checkbox"/> ширококомовний канал управління передачею
BPSK	<input type="checkbox"/> двійкова фазова маніпуляція; двопозиційна фазова маніпуляція
BS ( БС)	<input type="checkbox"/> базова станція
BSS	<input type="checkbox"/> система базових станцій
BSC	<input type="checkbox"/> контролер базової станції
CCCH	<input type="checkbox"/> загальний канал управління
CDMA	<input type="checkbox"/> множинний доступ з кодовим поділом каналів
CN	<input type="checkbox"/> базова мережа
PCH	<input type="checkbox"/> канал персонального виклику
DCCH	<input type="checkbox"/> виділений канал управління
DECT	<input type="checkbox"/> цифрова вдосконалена система бездротового телефону
DS-CDMA	<input type="checkbox"/> множинний доступ з кодовим поділом і прямим розширенням спектра
DTX	<input type="checkbox"/> переривчаста передача
EDGE	<input type="checkbox"/> підвищені швидкості передачі даних (для еволюції GSM)
ETSI	<input type="checkbox"/> Європейський інститут стандартів електрозв'язку
FACH	<input type="checkbox"/> прямий канал доступу
FDD	<input type="checkbox"/> режим частотного поділу дуплексних каналів
FDMA	<input type="checkbox"/> множинний доступ із частотним поділом каналів
FPLMTS	<input type="checkbox"/> наземна система мобільного зв'язку загального користування
MSC	<input type="checkbox"/> комутаційний центр рухомого радіозв'язку
GPRS	<input type="checkbox"/> пакетна комутація в мережах рухомого радіозв'язку
GSM	<input type="checkbox"/> глобальна система мобільного радіозв'язку
HLR	<input type="checkbox"/> домашній (за місцем реєстрації) реєстр користувача
IMSI	<input type="checkbox"/> міжнародний ідентифікаційний номер рухомого абонента
IMT-2000	<input type="checkbox"/> міжнародна система рухомого зв'язку 2000
IN	<input type="checkbox"/> інтелектуальна мережа
IP	<input type="checkbox"/> сімейство протоколів Інтернету
IS-95	<input type="checkbox"/> cdma-One, одна із систем 2-го покоління, що використовується, переважно, в Америці і Кореї
ISDN	<input type="checkbox"/> цифрова мережа з інтеграцією служб
ITU	<input type="checkbox"/> Міжнародний союз електрозв'язку
ME	<input type="checkbox"/> устаткування рухомої станції
MS (AC)	<input type="checkbox"/> рухома станція

VLR	<input type="checkbox"/> реєстр подорожуючого користувача
MT	<input type="checkbox"/> мобільний термінал
PCH	<input type="checkbox"/> канал персонального виклику
PCPCH	<input type="checkbox"/> загальний фізичний пакетний канал
PDC	<input type="checkbox"/> персональний цифровий стільниковий зв'язок, система 2-го покоління, використовується в Японії
PRACH	<input type="checkbox"/> фізичний канал довільного доступу
PSCH	<input type="checkbox"/> сполучений канал керування на фізичному рівні
PSTN	<input type="checkbox"/> телефонна мережа загального користування
QPSK	<input type="checkbox"/> квадратурна фазова маніпуляція
RACH	<input type="checkbox"/> канал випадкового доступу
RNC	<input type="checkbox"/> контролер радіомережі
SCH	<input type="checkbox"/> канал синхронізації
SF	<input type="checkbox"/> коефіцієнт розширення спектра
SMS	<input type="checkbox"/> служба передачі коротких повідомлень
SS7	система сигналізації №7 (загальноканальна, система взаємодії мережних елементів)
TCH	<input type="checkbox"/> канал інформаційного обміну (трафіка)
TD/CDMA	<input type="checkbox"/> CDMA з часовим поділом; комбінований TDMA і CDMA
TDD	<input type="checkbox"/> режим часового поділу дуплексних каналів
TDMA	<input type="checkbox"/> множинний доступ з часовим поділом каналів
TE	<input type="checkbox"/> термінальне устаткування
UE	<input type="checkbox"/> абонентське устаткування
UMTS	<input type="checkbox"/> універсальна мобільна телекомунікаційна система
UTRA	<input type="checkbox"/> наземний радіодоступ до UMTS (ETSI)
UMTS	
UTRA	<input type="checkbox"/> універсальний наземний радіодоступ (3GPP)
UTRAN	<input type="checkbox"/> мережа наземного радіодоступу системи UMTS
WCDMA	<input type="checkbox"/> ширококутний множинний доступ з кодовим поділом каналів



## ВСТУП

Останнє десятиліття минулого століття в історії телекомунікацій було відмічено небувалим по темпах і масштабах зростанням ролі стільникового зв'язку у всіх сферах людської діяльності. Їх упровадження дозволило розв'язати проблему економічного використання виділеної смуги радіочастот шляхом передачі повідомлень на одних і тих же частотах і таким чином збільшити пропускну здатність телекомунікаційних мереж. Використання сучасних методів і технологій організації мобільного зв'язку дозволяє забезпечити абонентам таких мереж високу якість мовних повідомлень, надійність і конфіденційність зв'язку, захист від несанкціонованого доступу в мережу і ще дуже широкий набір інших послуг. Можливість передачі мультимедійних даних абоненту, що рухається, різко розширює його можливості і дозволяє йому більш ефективно використовувати робочий час, оперативно і надійно одержувати необхідну йому інформацію шляхом доступу до інформаційних ресурсів мережі Інтернет. Примітно, що розвиток мереж бездротового широкосмугового доступу і мереж мобільного стільникового зв'язку характеризується інтеграцією їх функцій і можливостей при зближенні технологій побудови тих і інших, що знаходить втілення в мережах широкосмугового мобільного доступу сучасних поколінь.

Розвиток мобільного зв'язку розпочався з 80-х років ХХ століття і містить де-кілька поколінь. Стандарти аналогових СМЗ систем 1-го покоління створювалися в багатьох країнах незалежно один від одного, що привело до їхньої несумісності. Крім того, цим системам властиві такі недоліки, як відносно низька пропускну здатність (ємність), відсутність засекречування переданих повідомлень, неможливість взаємодії з цифровими мережами. Найбільш відомі – NMT, AMPS.

Багато недоліків систем 1-го покоління (1G) усунуті в системах 2-го покоління (2G) – у цифрових СМЗ, таких як D-AMPS, GSM, IS-95 тощо. Характерною рисою цих СМЗ є обробка голосових сигналів та сигналів передачі даних у цифровому вигляді.

Актуальність проблеми переходу України до систем мобільного зв'язку 3-го покоління підтверджують загальні тенденції світового розвитку сектора мобільного зв'язку. Перехід до систем 3-го покоління характеризується надзвичайно широким спектром додаткових телекомунікаційних послуг, спрямованих на загальну інтеграцію існуючих мереж фіксованого і мобільного зв'язку до єдиної інформаційно-технічної структури на основі новітніх технологій. Подальший розвиток систем зв'язку 3-го покоління визначається, переважно, вимогами ринку, попитом на нові види послуг передачі даних з урахуванням збільшення попиту і об'єму трафіку на одного користувача.

Наступним етапом розвитку систем мобільного зв'язку є системи четвертого покоління (4G). У цих системах зв'язку передбачається використання технологій передачі мови за протоколом VoIP, забезпечення швидкостей передачі від 20 до

100 Мбіт/с, об'єднання з технологіями бездротових локальних мереж широкосмугового зв'язку на основі стандартів IEEE 802.11 WLAN (Wireless Local Area Network). Запропоновано використовувати вдосконалені методи модуляції, методи динамічного виділення спектра частот DSA (Dynamic Spectrum Allocation). При такій архітектурі повна ефективність використання радіочастотного спектра збільшується за рахунок оптимального вибору технології радіодоступу для кожного виду послуг.

Ефективна інтеграція телекомунікаційної системи України до світових і європейських інформаційних структур можлива, за умови переходу до систем мобільного зв'язку 3-го і 4-го покоління.

Матеріал конспекту лекцій складається з 8 розділів. Після кожного з розділів подані контрольні запитання та завдання.

У першому розділі розглядаються загальні принципи організації мобільного зв'язку, основні характеристики та критерії ефективності СМЗ, особливості поширення радіохвиль діапазону УКХ, в якому здійснюється мобільний зв'язок, організація управління в мережі. Надається методика частотного і територіального планування СМЗ.

У другому розділі подана загальна характеристика аналогових СМЗ першого покоління.

У третьому розділі розглядаються загальні питання функціонування системи мобільного зв'язку другого покоління стандарту GSM, особливості формування сигналу в радіоканалі системи GSM-900, протоколи організації вхідних і вихідних викликів, процедури роумінгу та естафетної передачі.

Четвертий розділ присвячений основам синтезу широкосмугових сигналів, їхньому геометричному і математичному представленню.

В п'ятому розділі розглянуті принципи формування та обробки сигналів в системі мобільного зв'язку з кодовим розподілом каналів стандарту IS-95. Надається коротка характеристика обладнання у стандарті IS-95 та основних процедур таких як управління потужністю, боротьба із впливом багатопроміневої, забезпечення безпеки інформації.

Архітектура побудови системи мобільного зв'язку третього покоління UMTS та особливості стандарту UTRA TDD подано у шостому розділі.

Сьомий розділ присвячений розгляду питань організації зв'язку у транкінговій системі TETRA.

В восьмому розділі надані принципи побудови сетем персонального радіо-виклику.

# 1 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

## 1.1 Історія розвитку мобільного радіозв'язку

Перші спроби організації радіозв'язку було розпочато відразу з відкриттям радіо. Однак практичне і досить професійне використання сухопутного рухомого радіозв'язку було реалізовано в 1921 р. у м. Детройт (США) для забезпечення одностороннім радіомовленням на приймачі поліцейських автомобілів. Згодом були створені радіопередавачі, що дозволило на початку 30-х років ввести в експлуатацію першу систему двостороннього рухомого радіозв'язку департаменту поліції м.Бейона штату Нью-Джерсі. До 1934р. 58 радіостанцій поліції штатів обслуговували 5000 службових автомобілів. Радіообладнання було громіздким, займало більшу частину багажника автомобіля. Крім того, відразу ж з'явилися особливості поширення радіохвиль, пов'язані з рухом приймача та мінливою природою траси передачі. В наслідок цього якість рухомого радіозв'язку не завжди була задовільною. Разом з тим, практична необхідність у рухомому радіозв'язку, передусім в поліцейських і пожежних службах, обумовили зростаючий попит на системи рухомого радіозв'язку. Проводилися роботи з підвищення стійкості радіозв'язку.

До початку 40-х років у радіостанціях замість амплітудної модуляції почали застосовувати частотну, що підвищило стійкість радіозв'язку. Частотна модуляція (ЧМ) на довгі роки стала основним видом модуляції в системах рухомого радіозв'язку.

З року в рік зростав парк радіостанцій, збільшувалась кількість абонентів, що обслуговувались. Рухомий радіозв'язок знаходив все більше застосування і в комерційній сфері. Якщо до 1940 р. кількість абонентів становила декілька тисяч, то до 1948 р. їхня кількість зросла до 86000, до 1958 р. – до 70000, і до 1963 р. – до 1,4 млн. В 1946 р. було введено в експлуатацію систему мобільного радіозв'язку, що забезпечувала підключення мобільних абонентів до абонентів телефонної мережі загального користування (ТМЗК) і навпаки абонентів ТМЗК до мобільних абонентів. Базова станція з потужним передавачем забезпечувала дальність зв'язку до 75 км і більше. У системі використовувалися три канали з ЧМ на частоті 150 МГц. Комутація розмов до ТМЗК здійснювалася операторами вручну. Першу автоматичну систему рухомого телефонного радіозв'язку було введено в експлуатацію в 1948 р. у м. Річмонд, штат Індіана.

Безупинно зростаючий попит на послуги мобільного радіозв'язку став випереджати можливості діючих систем на задоволення цих послуг. Збільшення кількості абонентів приводило до перевантаження каналів зв'язку і, як наслідок, до підвищення ймовірності відмови в обслуговуванні.

Підвищення пропускної здатності системи досягалося за рахунок підвищення спектральної ефективності. Якщо в перших системах для передачі телефонних

сигналів зі смугою 0,3..3,4 кГц використовувалися радіоканали із ЧМ, що займали робочу смугу шириною 120 кГц, то до 1950 р. у цій смузі містились два канали по 60 кГц, а до початку 60-х років удосконалена технологія ЧМ приймачів дозволила знизити смугу каналу приймача ЧМ сигналів до 30 кГц.

Істотне підвищення спектральної ефективності мобільного радіозв'язку забезпечило винахід і застосування транкінгових систем радіозв'язку з мультиплексуванням, у яких забезпечується доступ абоненту до того або іншого вільного каналу із загальної групи робочих каналів. Областю застосування транкінгових систем є різні відомчі, державні організації (служба швидкої допомоги, охорона правопорядку), різні комерційні структури тощо.

Транкінгові системи пройшли досить тривалий шлях розвитку від аналогових систем типу SmartTrunk, Алтай та ін. до цифрових. У цей час основним типом транкінгових систем є цифрова система транкінгового зв'язку "TETRA", яка орієнтована на інтеграцію з СМЗ наступного покоління.

Поряд із цими системами знайшли застосування і системи персонального радіовиклику (пейджингові системи), які забезпечують одnobічну передачу коротких повідомлень на мініатюрні приймачі (пейджери).

Транкінгові, як і пейджингові системи, характеризуються, як правило, невеликою абонентською ємністю. У діючих системах мобільного радіозв'язку загального використання застосовувалась одна центральна станція з потужним передавачем. Радіус дії таких систем – десятки кілометрів. У таких системах збільшення кількості абонентів можливо лише за рахунок збільшення кількості каналів. Однак, ступінь нарощування числа робочих каналів обмежується відведеним для системи частотним спектром. Одже, розвиток мобільного радіозв'язку став стримуватися дефіцитом частотного спектра. Повторне ж використання частотних каналів у відносно прилеглих районах виключається, через вплив взаємних завад від потужних передавачів на однакових частотах. Це, в свою чергу, виключає можливість створення системи великої абонентської ємності на обмеженій території сучасних міст.

Зазначені недоліки вдалося усунути в системах мобільного зв'язку. Системи мобільного зв'язку з'явилися внаслідок досить тривалого процесу розвитку радіотелефонного зв'язку, протягом якого освоювалися нові діапазони частот, удосконалювалися системи зв'язку і технології їхнього виробництва. Ідея побудови мобільних систем зв'язку була запропонована у 40-х роках. Проте апаратурна реалізація цих систем стала можливою лише наприкінці 70-х років. Відповідно до цього принципу, замість радіостанції великої потужності з антенами, розташованими на максимально можливій висоті, що передають сигнал на територію обслуговування великої площі, передбачене використання досить великої кількості радіостанцій з менш потужними передавачами, причому кожна з радіостанцій призначена для обслуговування невеликої зони (стільника/комірки). Внаслідок цього з'явилася можливість ті самі частоти повторно використовувати в різних комірках, віддале-

них одна від одної на необхідні захисні відстані, що забезпечують незначний вплив взаємних завад між абонентами. Саме ця особливість мобільних систем зв'язку – повторне використання частот – забезпечує істотне збільшення частотних каналів для обслуговування абонентів на заданій території, тобто істотно підвищує ефективність використання спектра частот, виділеного системі.

Перша аналогова система мобільного радіозв'язку з частотною модуляцією HCMTS (High-Capacity Mobile Telephone System – система рухомої телефонії великої ємності) почала працювати у 1978 р. Вона втілила в собі ряд розробок, які багато років виконувалися в області технологій мобільного радіозв'язку. Система працювала в діапазоні 850 МГц. Подальший розвиток цієї системи було реалізовано в США у стандарті аналогової системи мобільного радіозв'язку AMPS (Advanced Mobile Phone Service – поліпшена послуга мобільного телефонного зв'язку), якій було виділено дві ділянки по 20 МГц у діапазоні 850 МГц. Перші випробування система AMPS пройшла в 1979 р., а в експлуатацію вона надійшла в 1983 р.

Паралельно з AMPS в країнах Європи і Японії було розроблено декілька стандартів аналогових мобільних систем зв'язку. У скандинавських країнах була розроблена і в 1981 р. була введена в експлуатацію система NMT-450 (Nordic Mobile Telephone), призначена для роботи в діапазоні 450 МГц. На базі стандарту NMT-450 було розроблено і в 1986р. введено в експлуатацію систему NMT-900, яка працювала в діапазоні 900 МГц. В NMT-900 істотно збільшена абонентська ємність і розширені функціональні можливості систем стандарту NMT.

У Великобританії була розроблена на основі AMPS і в 1985 р. введена в експлуатацію система TACS (Total Access Communications System – система зв'язку загального доступу). Пізніше її трансформували в систему ETACS (Enchanted – "розширений" TACS).

У Німеччині і Португалії в ці ж роки вступила в експлуатацію система C-450 (діапазон 450 МГц), в Італії – RTMS (Radio Telephone Mobile System – радіотелефонна мобільна система) діапазон 450 МГц, у Франції – Radiocom 2000 (діапазони 170, 200, 400 МГц), в Японії – NTT (Nippon Telephone and Telegraph – японська система телефону і телеграфу).

Подальший розвиток мобільного зв'язку йшов шляхом створення цифрових стандартів, причому, країни Європи і США йшли різними шляхами.

У 1982 році почалися роботи з розробки єдиного європейського стандарту цифрового мобільного зв'язку в діапазоні 900 МГц. Внаслідок цієї роботи з'явився стандарт GSM (Global for Mobile Communications – глобальна система для мобільного зв'язку) несумісного з аналоговими системами. Перша дослідна мережа стандарту GSM-900 з'явилася лише у 1990 році, через рік – у 1991 році – з'явилася система стандарту DCS-1800 (Digital Cellular System 1800 МГц – цифрова стільникова система 1800 МГц). В експлуатацію перша система мобільного зв'язку стандарту GSM була введена в 1992 році у Німеччині.

В 1990 року в США був затверджений стандарт цифрового зв'язку D-AMPS (цифрова AMPS). У мережі D-AMPS дворежимна абонентська станція може працювати, як в аналоговому, так і у цифровому режимах. Одночасно, американська компанія Qualcomm почала розробку нового стандарту мобільного зв'язку, заснованого на технології шумоподібних сигналів і кодовому розподілі каналів CDMA (Code Division Multiple Access – множинний доступ з кодовим поділом). Перша мобільна система, заснована на цьому стандарті (IS-95), вступила в експлуатацію в 1995 році в Гонконгу.

Впровадження цифрових систем (мобільних систем зв'язку 2-го покоління 2G) на світовому ринку проходило за нетривалий час і розвивалося винятково шляхом "витиснення" старих технологій аналогових систем, з якими не передбачалося забезпечення сумісності.

Швидко зростаючі потреби в мультимедійних послугах (передача відео, мобільний доступ до Internet та ін.) призвели до створення систем 3-го покоління, реалізованих на базі трьох різновидів технології CDMA: cdma 2000, WCDMA і TDMA/CDMA. Північноамериканський стандарт cdma 2000 являє собою подальший розвиток системи cdma One (IS-95), технологія WCDMA – об'єднана пропозиція, що надійшла від Японії (WCDMA) і Європи (UMTS) та ін., технологія TDMA/CDMA – об'єднана пропозиція UTRA TDD (Європи) і TD-SCDMA (Китай).

Дотепер у Європі вироблена політика переходу до систем 3G на основі базового стандарту UTRA з технологією радіоінтерфейсу UTRA-FDD (WCDMA).

Паралельно із впровадженням систем 3G проводяться активні роботи зі створення мобільних систем зв'язку 4-го покоління (4G). Ці системи мають забезпечувати гарантовану якість (QoS), швидкість передачі на рівні 115 Мбіт/с, тобто в десятки разів швидше, ніж дозволяє кожна із сучасних технологій. Внаслідок цього можливість високоякісної передачі великого обсягу різноманітної інформації істотно зростає.

## **1.2 Основні поняття і визначення**

Система мобільного зв'язку являє собою сукупність технічних засобів (радіоустаткування, комутаційних пристроїв, сполучних ліній і систем передачі), за допомогою яких забезпечується зв'язок рухомих абонентів, як між собою, так і з абонентами ТМЗК.

СМЗ забезпечують передачу інформації між радіостанціями рухомих об'єктів (РО) як безпосередньо, так і шляхом ретрансляції через базову станцію (БС). Варіант організації безпосереднього зв'язку між двома радіостанціями наведено на рис. 1.1.

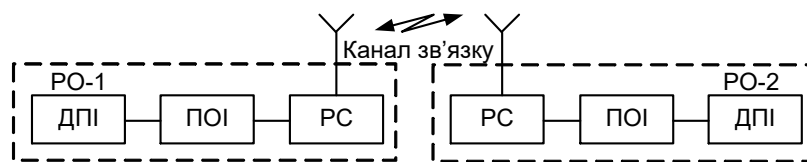


Рисунок 1.1 – Структурна схема безпосереднього зв'язку між радіостанціями

На рис. 1.1 зазначено: ДПІ – джерело і приймач інформації; ПОІ – пристрій обробки інформації; РС – радіостанція.

Джерелом інформації можуть бути мікрофон, телевізійна камера, датчик тощо. Приймачем може бути телефон, телевізор, персональний комп'ютер тощо.

Варіант структурної схеми зв'язку між двома РС з використанням проміжної БС наведений на рис. 1.2.

Кожній СМЗ надається робочий діапазон частот. Для організації двостороннього (дуплексного) зв'язку в СМЗ виділяються два однакових піддіапазони частот, які рознесені один від одного. Один з піддіапазонів використовується для передачі інформації «вверх» (від АС до БС), а інший – для передачі інформації «вниз» (від БС до АС). Для організації дуплексного каналу при безпосередньому зв'язку між радіостанціями (рис. 1.1) необхідно виділити 2 несучі частоти, а при зв'язку через проміжну станцію – 4 несучі частоти. Для організації однобічного (симплексного) зв'язку достатньо одного піддіапазону частот.

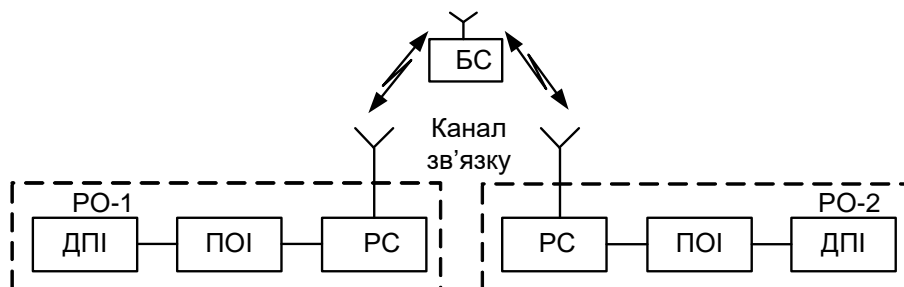


Рисунок 1.2 – Структурна схема зв'язку між радіостанціями з використанням проміжної базової станції

Залежно від способу використання каналів абонентами розрізняють СМЗ із закріпленими частотними або часовими каналами (закріпленням ресурсом) і СМЗ із наданням каналів на вимогу (наданням ресурсу – індивідуальні канали не закріплюються за відповідними абонентами).

У складі СМЗ крім однієї або декількох базових станцій, може використовуватися і центральна станція (ЦС), що забезпечує управління з метою організації зв'язку між абонентами (надання каналів, організацію вхідних і вихідних з'єднань).

### 1.3 Основні характеристики систем мобільного зв'язку

До основних характеристик СМЗ належать:

- вид інформації: аналогова, цифрова;
- спрямованість зв'язку: однобічна (симлексна) – передача здійснюється в одну сторону: у бік мобільного абонента або навпаки; двостороння (дуплексна) – в обидва боки. Прикладом симплексних СМЗ є пейджингові системи, у яких сигнали передаються тільки в напрямку до абонентів;
  - кількість абонентів, які обслуговуються системою: до 100 – системи малої ємності, від 100 до 1000 – середньої ємності, більше 1000 – великої ємності;
  - спосіб множинного доступу: із частотним (МДЧР), часовим (МДЧВР), кодовим (МДКР) або просторовим (МДПР) поділом каналів;
  - спосіб управління мережевими елементами і системою: децентралізований, який передбачає встановлення і проведення радіозв'язку в цілому безпосередньо між абонентами без участі ЦС, або централізоване, при якому встановлення і проведення радіозв'язку між абонентами здійснюється через ЦС;
  - модуляція сигналу: амплітудна, частотна, фазова або комбінована;
  - діапазон частот, що надається системі радіозв'язку, залежить від її призначення. Для організації радіозв'язку в Україні виділено декілька ділянок частот у діапазоні від 30 до 2170 МГц:
    - 40 МГц (33..48,5 МГц);
    - 80 МГц (68..88 МГц);
    - 160 МГц (146..174 МГц);
    - 330 МГц (300..350 МГц);
    - 450 МГц (420..470 МГц);
    - 900 МГц (804..947 МГц);
    - 1800 МГц (1780..1880 МГц);
    - 1900 МГц (1850..1990 МГц);
    - 2 ГГц (1920..2170 МГц).

З вихідних даних можна побачити, що в системах мобільного радіозв'язку, використовуються частоти ультракоротохвильового діапазону (УКХ).

### 1.4 Особливості поширення радіохвиль УКХ діапазону

При поширенні радіохвиль (ПРХ) у вільному просторі потужність сигналу на вході приймача ( $P_{np}$ ) пов'язана з потужністю передавача ( $P_{nep}$ ), коефіцієнтами підсилення передавача ( $G_{nep}$ ) і приймача ( $G_{np}$ ) співвідношенням, дБ:

$$P_{np} = P_{nep} + G_{nep} + G_{np} + W_0, \quad (1.1)$$



де  $G_{nep} + G_{np} + W_0$  характеризує рівень послаблення сигналу, а  $W_0$  має назву “коефіцієнт послаблення”. Для ПРХ значення  $W_0$  визначається співвідношенням

$$W_0 = 10 \lg \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^k, \quad (1.2)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі (її значення в метрах визначається як функція частоти у МГц формулою  $\lambda = c/f$ , де  $c$  – швидкість світла, м/с);

$R$  – відстань від передавача до приймача.

В каналах мобільного зв’язку є додаткове послаблення  $W_0$ , яке враховують тим, що збільшують показник ступеню послаблення  $W_0 = \left( \frac{\lambda}{4\pi R} \right)^k$ , де  $k > 2$  і може приймати значення в інтервалі від 2-х до 5-ти. Під час розрахунків енергетичних характеристик використовують значення  $k = 4$ .

Проте, частіше замість співвідношення (1.2) використовують емпіричні формули Окамури-Хата. Співвідношення для визначення втрат на трасі ПРХ у міському середовищі має вигляд, дБ:

$$W_0 = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,82 \lg h_{BC} - A(h_{AC}) + (45 - 6,55 \lg h_{BC}) \lg R, \quad (1.3)$$

де  $f$  – частота несучої, МГц ( $150 \leq f_C \leq 1500$ );

$h_{BC}$  – висота антени базової радіостанції, м ( $30 \leq h_{BC} \leq 300$ );

$h_{AC}$  – висота антени абонентської радіостанції, м ( $1 \leq h_{AC} \leq 10$ );

$A(h_{AC})$  – корегуючий коефіцієнт, який враховує особливість забудови місцевості.

Формула (1.3) адаптована для місцевого і приміського середовищ і відкритого простору.

Для невеликих і середніх міст значення корегуючого коефіцієнта  $A(h_{AC})$  обчислюється за формулою, дБ:

$$A(h_{AC}) = (1,11 \cdot \lg f - 0,7) h_{AC} - (1,56 \lg f - 0,8). \quad (1.4)$$

Для великих міст значення  $A(h_{AC})$  розраховується за формулою:

$$A(h_{AC}) = 8,29 [\lg(1,54 h_{AC})]^2 - 1,1, \text{ дБ для } f < 300 \text{ МГц}; \quad (1.5)$$

$$A(h_{AC}) = 3,2 [\lg(11,75 h_{AC})]^2 - 4,97, \text{ дБ для } f > 300 \text{ МГц}. \quad (1.6)$$

Співвідношення для визначення втрат при поширенні радіохвиль на трасі у приміському середовищі, дБ:

$$W_{\text{передмістя}} = W_{\text{місто}} - 21\lg[(f/28)]^2 - 5,4 \quad (1.7)$$

Втрати у відкритому просторі визначаються співвідношенням, дБ:

$$W_0 = W_{\text{місто}} - 4,781\lg(f)^2 - 18,73(1\lg) - 40,98. \quad (1.8)$$

За точністю прогнозування втрат при ПРХ модель Окамури-Хата вважається однією із кращих.

Приклад. Визначити втрати на трасі при ПРХ в місті середнього розміру, якщо  $f_c = 1800$  МГц;  $h_{BC} = 50$  м;  $h_{AC} = 5$  м,  $R = 5$  км.

За формулою (1.4) визначаємо  $A(h_{AC})$ , після чого за формулою (1.3) визначаємо  $W_0$ :

$$A(h_{AC}) = (1,11 \cdot \lg 1800 - 0,7)5 - (1,561\lg 1800 - 0,8) = 14,57 - 4,28 = 10,29 \text{ дБ.}$$

$$\begin{aligned} W_0 &= 69,55 + 26,16\lg 1800 - 13,821\lg 50 - 10,29 + (44,9 - 6,551\lg 50)\lg 5 = \\ &= 69,55 + 85,16 - 23,48 - 10,29 + 23,6 = 144,5 \text{ дБ.} \end{aligned}$$

## 1.5 Класифікація систем мобільного зв'язку загального користування

СМЗ поділяють на такі категорії:

- транкінгові (професійні) системи мобільного зв'язку (ТСЗ);
- системи стільникового зв'язку (ССЗ);
- системи персонального радіовиклику (СПРВ).

Транкінговими системами зв'язку (ТСЗ) називають такі системи, які здатні забезпечувати безпосередній (рис. 1.1) або опосередкований (рис. 1.2) радіозв'язок. Технологія транкінгового зв'язку орієнтована на використання переважно в інтересах відомств (пожежних команд, швидкої допомоги, служб безпеки, охорони громадського порядку і тощо), установ, комерційних структур. Ці системи більш оперативні і мають ряд властивостей з інформаційної безпеки. Тому їх називають ще професійними системами радіозв'язку. В зоні обслуговування може бути одна базова станція (однозонова ТСЗ), або декілька базових станцій (багато-зонова ТСЗ). Радіуси зон зв'язку можуть досягати 50..70 км. Базові станції зазвичай з'єднані між собою і кожна з них має вихід на ТМЗК.

Системи мобільного зв'язку (СМЗ) свою назву одержали, виходячи із принципу організації зв'язку, відповідно до якого територія обслуговування поділяється

ся на зони у формі правильних шестикутників (стілників). Розміри комірок можуть бути в межах від десятків метрів (пікосоти) до декількох кілометрів в залежності від прогнозованої інтенсивності радіообміну в тій чи іншій чарунці. Ці системи також відкриті для абонентів ТМЗК інших мереж зв'язку.

Системи персонального радіовиклику (СПРВ) – пейджингові системи зазвичай забезпечують однобічну передачу інформаційних сигналів або сигналів виклику абонентам пейджингової мережі на відстань до 40..60 км від передавача. Існують пейджингові системи, які мають можливість підтверджувати факт прийому сигналу абонентом.

## 1.6 Територіальне планування систем мобільного зв'язку

Метою територіального планування є розподіл території на зони обслуговування з урахуванням повторного використання частотних каналів.

Під час планування систем мобільного зв'язку територія, що передбачена для обслуговування, поділяється на невеликі (радіусом 2..5 км) зони обслуговування (комірки) у формі правильних шестикутників (рис. 1.3). Кожну зону обслуговує своя БС. Кожна БС забезпечує зв'язок по радіоканалах з багатьма АС, які перебувають у зоні її обслуговування. Всі БС з'єднані лініями зв'язку із центральною станцією (ЦС), що забезпечує управління всією системою та з'єднання АС з будь-яким абонентом ТМЗК або з АС іншого рухомого об'єкта.

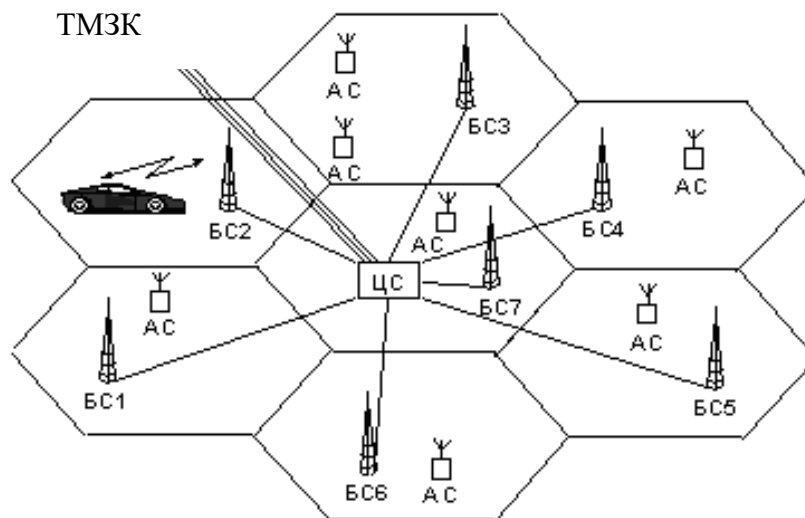


Рисунок 1.3 – Принцип організації мобільного зв'язку

У процесі пересування абонентська станція «естафетно» передається від однієї БС до іншої з автоматичним перемиканням за командами ЦС на відповідний дозволений частотний канал.

Для забезпечення дуплексного зв'язку мобільній системі виділяється два піддіапазона частоти шириною  $\Delta F_{\text{СМЗ}}$ . Якщо смуга частотного каналу  $\Delta F_k$ , то загальна кількість каналів у системі (кількість несучих)  $n_{k \text{ cc}}$  визначається співвідношенням  $n_{\text{КМСЗ}} = \Delta F_{\text{СМЗ}} / \Delta F_k$ . Ці канали розподіляються між "N" базовими станціями. Група з N комірок, у яких є базові станції, і які використовують весь виділений системі діапазон частот і працюють на різних частотних каналах, називається кластером розмірності N. Розмірність кластера N часто називають частотним параметром, тому що він визначає мінімальну кількість каналів у системі мобільного зв'язку при кількості каналів на кожній БС, яка дорівнює одиниці.

Метою територіального планування є розподіл території на зони обслуговування з урахуванням повторного використання частотних каналів. Для роботи СМЗ і припустимого на абонентську станцію сигналів БС, що розміщені в сусідніх кластерах.

Поділити територію на зони обслуговування можливо одним із способів: статистичним або детермінованим.

Розглянемо статистичний спосіб. Припустимо, що дві АС А і Б віддалені одна від одної на відстань  $R_{\text{min}}$  (рис. 1.4), і розташовані в центрах зон обслуговування і мають всеспрямовані приймально-передавальні антени. Згідно з (1.1), середня потужність корисного сигналу, що надходить до АС в точці Е від станції в точці А, обернено пропорційна відстані від передавача до приймача радіусу зони R у ступені k :

$$P_C \equiv R^{-k}. \quad (1.9)$$

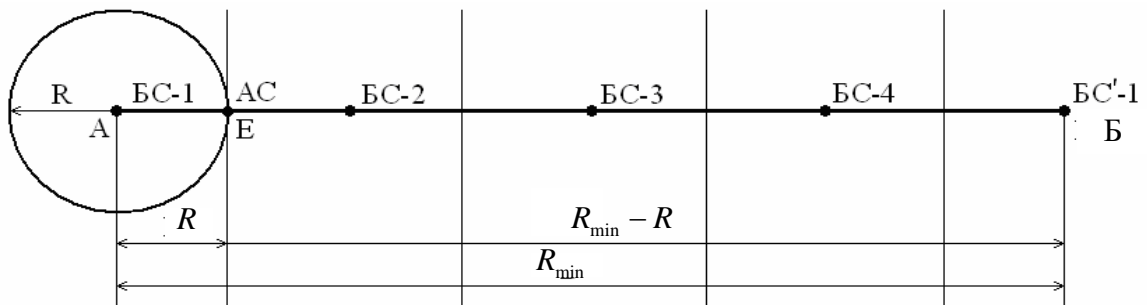


Рисунок 1.4 – До розрахунку середньої потужності взаємних завад від базових станцій, що працюють на однакових частотах

Розглянемо ситуацію, зображену на рис. 1.4, коли БС розташовані ланцюжком для обслуговування території типу автостради (лінійна структура).

Середня потужність сигналу, що надходить до АС у точці Е, прийнятого від базової станції Б, обернено пропорційна відстані  $D - R$  у ступені k, тобто

$$P_{B3} = (D - R)^{-k}, \quad (1.10)$$

де  $D$  – захисна відстань між БС, що працюють на однакових частотних каналах.

Очевидно, що цей сигнал для АС у точці Е є завадою.

Якщо БС А і Б ведуть передачу на одній і тій самій частоті, то відношення середньої потужності сигналу до середньої потужності взаємних завад у точці Е визначається співвідношенням

$$\frac{P_c}{P_{B3}} = \frac{(D - R)^k}{R^k}, \quad (1.11)$$

Якщо, крім станції Б на відстані  $D$  від БС А розташовані  $M$  базових станцій і всі прийняті від них у точці Е сигнали статистично незалежні, то справедливо співвідношення

$$\frac{P_c}{P_{B3}} = \frac{1}{M} \cdot \frac{(D - R)^k}{R^k}, \quad (1.12)$$

Уцьому разі загальна кількість частотних каналів системи розділена між БС-1, БС-2, БС-3 і БС-4. Ланцюжок з базових станцій може повторюватися, зберігаючи захисні відстані  $D$  між БС з однаковими частотними каналами.

З наведеного на рис. 1.4 видно, що кількість базових станцій з різними частотними каналами (частотний параметр  $N$ ) і захисна відстань  $D$  визначаються співвідношеннями

$$N = \frac{D}{2R}, \quad D = 2RN. \quad (1.13)$$

З урахуванням того, що  $D = 2RN$ , а значення  $M$  для лінійної структури не перевищує 2, співвідношення (1.12) матиме вигляд

$$\frac{P_c}{P_{B3}} = 0,5(2N - 1)^k. \quad (1.14)$$

При довільній конфігурації території, що обслуговується, її поділ можливий між зонами обслуговування різної форми – трикутної, квадратної та у вигляді правильних шестикутників. Найчастіше використовуються зони у вигляді правильних шестикутників. Така форма є кращою апроксимацією кругової зони діаграми спрямованості антен (ДСА) базової станції.

Визначимо співвідношення, що визначає залежність захисної відстані  $D$  між базовими станціями сусідніх кластерів із комірками радіуса  $R$ , що працюють на однакових частотах. При цьому слід враховувати, що сусідні БС одного і того ж кластера мають працювати на різних частотах. На рис. 1.5 зображений варіант можливого розміщення однієї (БС-1') та інших сусідніх базових станцій, що працюють на однакових частотах з БС-1.

Очевидно, що  $D = \sqrt{(a+a')^2 + b^2}$ . Якщо прийняти за одиницю виміру в косокутній системі координат  $R\sqrt{3}$ , легко переконатися в тому, що

$$a = iR\sqrt{3}; \quad a' = jR\frac{\sqrt{3}}{2} \quad (\text{на рис. 1.5 } i=1, j=2).$$

$$b^2 = c^2 - a'^2 = \left(jR\sqrt{3}\right)^2 - \left(jR\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 = \frac{3}{4}\left(jR\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2$$

Підставимо значення  $a, a'$  і  $b^2$  у співвідношення для  $D$ , тоді одержимо

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{\left(iR\sqrt{3} + jR\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}\left(jR\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(R\sqrt{3}\right)^2\left(i^2 + 2ij\frac{1}{2} + \frac{1}{4}j^2 + \frac{3}{4}j^2\right)} = \\ &= R\sqrt{3(i^2 + j^2 + ij)} = R\sqrt{3N}. \end{aligned}$$

Таким чином,

$$D = R\sqrt{3N} \tag{1.15}$$

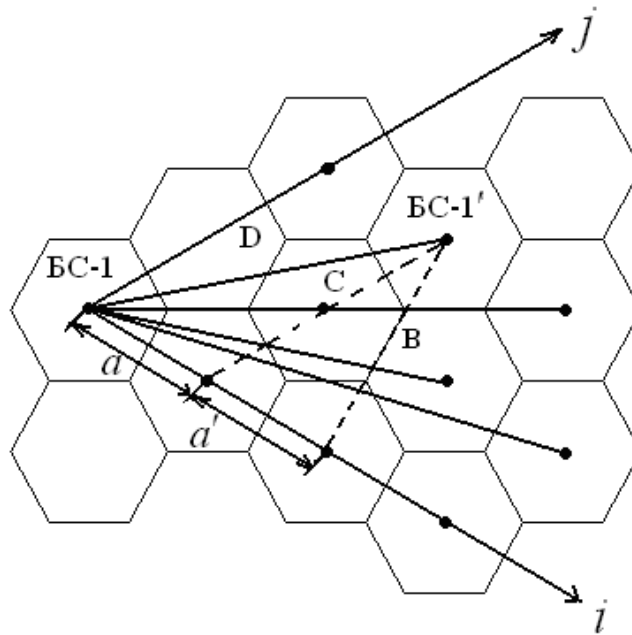


Рисунок 1.5 – Варіант можливого розміщення однієї (БС-1') і сусідніх базових станцій, що працюють на однакових частотах із БС-1

Параметр  $N$  визначає розмірність кластера, оскільки при використанні на БС-1 круговий ДСА навколо її можуть розміщуватися на відстані  $D$  шість БС, що працюють на тих же частотах. Величина  $N$  може приймати значення з ряду чисел, які визначаються співвідношенням  $N = i^2 + j^2 + ij$ , де  $i, j = 0, 1, 2, 3, \dots$ . Наприклад, змінюючи  $i$  та  $j$ , можна одержати значення  $N = 3 (i = 1, j = 1)$ ;  $N = 4 (i = 0, j = 2)$ ;  $N = 7 (i = 1, j = 2)$ ;  $N = 12 (i = 2, j = 2)$ ;  $N = 13 (i = 1, j = 3)$  і т.д.

Під час складання територіального плану необхідно "покрити" територію шестикутними комірками, а потім у комірках кожного з кластерів розмістити базові станції, кількість яких дорівнює розмірності кластера  $N$ . Прийнемо, наприклад, величину  $N$ , що дорівнює 7. Таким чином, маємо групу із 7 БС, що працюють на різних частотах. Розмістимо їх так, як наведено на рис. 1.6, і запишемо номери БС від 1 до 7.

Для планування розміщення БС, які повторно використовують частоти БС1..БС7, необхідно використовувати співвідношення  $N = i^2 + j^2 + ij$ . Для  $N = 7$ ,  $i = 1, j = 2$  або  $i = 2, j = 1$ , при цьому, правило розміщення БС не змінюється.

Для знаходження комірки з "повторною" БС-1 (БС із аналогічними номерами) необхідно "пройти" перпендикулярно стороні шестикутної комірки БС-1  $i$  комірки (у прикладі  $i = 2$ ), а потім під кутом  $60^\circ$  "пройти"  $j$  чарунок (у прикладі  $j = 1$ ) і записати номер БС-1 (рис.1.6) Застосовуючи це правило, можна записати номери інших комірок, БС яких повторно використовують частотні канали. Після визначення комірок для всіх БС, що використовують ті самі канали, що і БС-1, які у даному випадку перебувають у центрі кластера розмірністю  $N = 7$ , взаємне положення інших БС-2, БС3 ... БС-7 легко визначається.

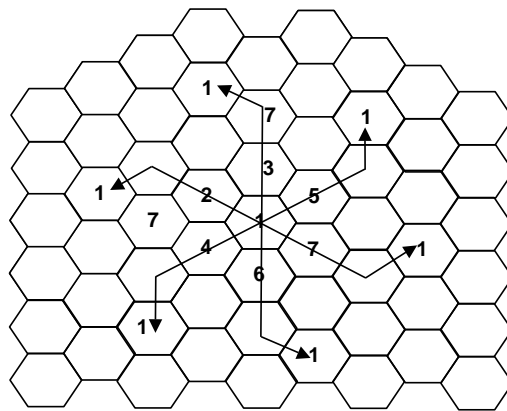


Рисунок 1.6 – Принцип визначення комірок з частотами, що повторно використовуються

Для будь-якого припустимого значення  $N$  зазначене правило поділу території обслуговування на комірки (стілники) з урахуванням повторного використан-

ня частот при правильному зображенні кластера забезпечує заповнення комірок номерами БС без пропусків і накладень. Пропуски (наявність комірок без номера) або накладення (два різних номери в одній комірці) виникають у випадку неправильного зображення форми кластера.

На рис. 1.7 наведені варіанти кластерів розмірностей  $N = 4(i = 2, j = 0)$  і  $N = 9(i = 3, j = 0)$  і зазначені комірки з частотами, що повторюються.

Розмірність кластерів сучасних СМЗ різна, але найчастіше використовуються кластери розмірністю з ряду чисел 3, 4, 7, 9, 12 і 21.

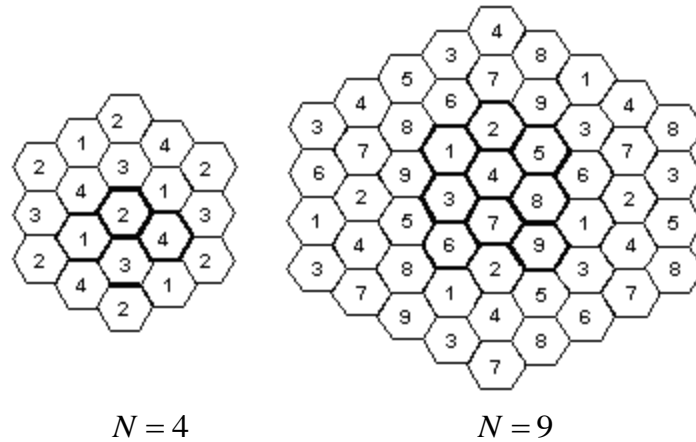


Рисунок 1.7 – Варіанти кластерів з розмірністю 4 і 9

На рис.1.8 зображено варіант кластера розмірністю  $N = 7$  з розміщенням базових станцій у центрі комірок, базові станції мають секторні діаграми спрямованості антен з кутами кожного з секторів  $\varphi = 120^\circ$ .

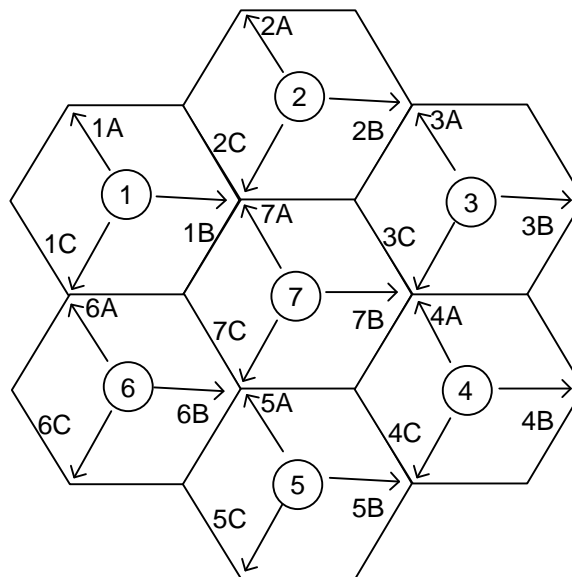




Рисунок 1.8 – Кластер розмірністю  $N = 7$ , базові станції з секторними ДСА розміщені у центрах комірок

Крім розміщення БС у центрах комірок, при цьому ДСА можуть бути круговими ( $\varphi = 360^\circ$ ) або секторними ( $\varphi = 120^\circ$  і  $60^\circ$ ), використовуються інші варіанти розміщення БС:

- у кутах, що чергуються, шестикутних комірок;
- у кутах, загальних для кожної трійки комірок (мобільних решіток).

Розміщення в кутах шестикутних комірок базових станцій із секторними ДСА ( $\varphi = 120^\circ$ ) представлено на рис. 1.9.

При використанні “стілникових решіток” базові станції із секторними ДСА ( $\varphi = 120^\circ$ ) розміщуються в загальних кутах трьох сусідніх комірок, тому одна БС обслуговує 3 комірки. При використанні “стілникових решіток” можливі значення параметра  $N$  можуть бути 9, 12 і 21 (запис у вигляді  $3/9$ ,  $4/12$  і  $7/21$  вказує на використання “стілникових решіток”).

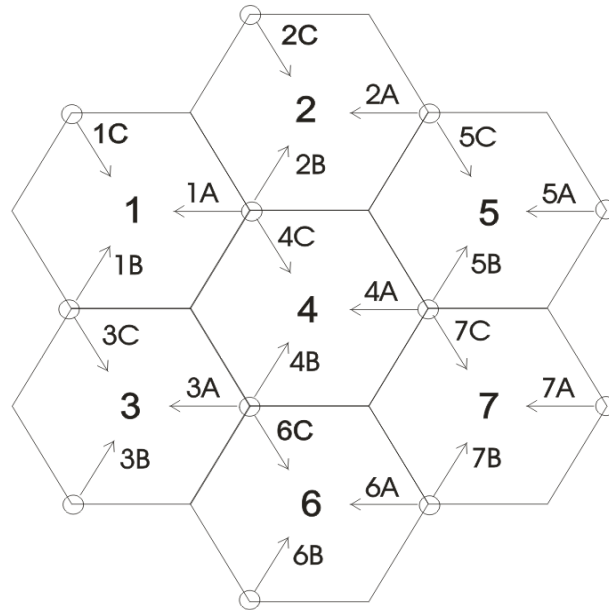


Рисунок 1.9 – Кластер розмірністю  $N = 7$ , базові станції з секторними ДСА розміщені у кутах комірок

На рис. 1.10 подано кластер розмірністю  $N = 3/9$ .

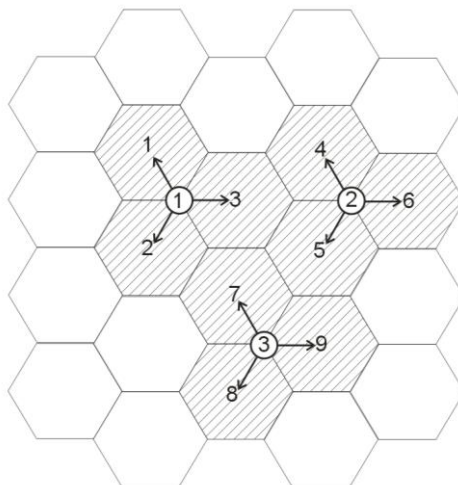


Рисунок 1.10 – Кластер з “стільникових решіток” розмірністю  $N = 3/9$

Перевага такого варіанта розміщення БС – його економічність (менша кількість БС, а відповідно і ліній зв'язку між БС і ЦС, менші витрати на розміщення БС).

Недоліки: зниження надійності зв'язку порівнянно з розміщенням БС у центрі і у кутах комірок, що чергуються, більш висока ймовірність “мертвих зон”.

### 1.7 Методика розрахунку розмірності кластера

Від величини кластера (частотного параметра)  $N$ , що використовується в системі, суттєво залежить величина середнього значення відношення сигнал/взаємна завада з потужності і відсоток часу, протягом якого відношення сигнал/взаємна завада з потужності менше припустимого значення.

Раніше було показано, що наближене значення відношення сигнал/взаємна завада з потужності ( $P_C/P_{B3}$ ) визначається співвідношенням (1.12)

$$\frac{P_C}{P_{B3}} = \frac{1}{M} \left( \frac{D-R}{R} \right)^k, \quad (1.12)$$

де  $D$  – відстань від АС до “заважаючої” БС;

$R$  – радіус комірки;

$M$  – число “заважаючих” БС, сигнали яких на повторних частотах надходять на вхід приймача АС;

$k$  – параметр згасання радіохвиль. При поширенні радіохвиль у вільному просторі  $k = 2$ , а для мобільних систем зв'язку  $2 < k < 5$ .

Як відомо, для лінійної структури СМЗ захисна відстань  $D$  між базовими станціями, що працюють на однакових частотах, визначається співвідношенням (1.10)  $D = 2RN$ . Тому вказане співвідношення (1.12) можна записати у вигляді

$$\frac{P_C}{P_{B3}} = \frac{1}{M} \left( \frac{2RN - R}{R} \right)^k = \frac{1}{M} (2N - 1)^k. \quad (1.16)$$

Величина  $M$  у даному випадку (СМЗ має лінійну структуру) може дорівнювати  $M = 2$  (ДСА кругова) або  $M = 1$  (ДСА секторна).

Слід зауважити, що наведене співвідношення (1.16) для  $P_C/P_{B3}$  визначає собою найменше значення  $P_C/P_{B3}$ , оскільки передбачається, що всі БС, які заважають, віддалені від АС на мінімальну відстань, що дорівнює  $D - R$ .

Для СМЗ з територіальною структурою захисна відстань визначається співвідношенням (1.15)  $D = R\sqrt{3N}$ . Тому співвідношення (1.12), що визначає  $P_C/P_{B3}$ ,

можна записати у вигляді 
$$\frac{P_C}{P_{B3}} = \frac{1}{M} \left( \frac{R\sqrt{3N} - R}{R} \right)^k.$$

Якщо базові станції розміщені в центрах комірок, а діаграми спрямованості антен БС (ДСА) кругові ( $\varphi = 360^\circ$ ), то  $M = 6$ , якщо секторні ( $\varphi = 120^\circ$  або  $60^\circ$ ), то  $M = 2$  і  $M = 1$  відповідно.

При великих значеннях розмірності кластера  $N$  для приблизних розрахунків можна прийняти  $D - R \approx D$ , тоді співвідношення сигнал/взаємна завада за потужністю набуде вигляду:

$$\frac{P_C}{P_{B3}} = \frac{1}{M} \left( \frac{R\sqrt{3N} - R}{R} \right)^k = \frac{1}{M} (\sqrt{3N} - 1)^k \approx \frac{1}{M} (\sqrt{3N})^k, \quad (1.17)$$

Припустимо, що  $M = 6, N = 21, k = 4$ .

Використовуючи співвідношення (1.17) одержимо

$$\frac{P_C}{P_{B3}} = \frac{1}{6} (\sqrt{3 \cdot 21} - 1)^4 = 386 \text{ (25,87 дБ)}, \text{ або } \frac{P_C}{P_{B3}} = \frac{1}{6} (\sqrt{3 \cdot 21})^4 = 661,5 \text{ (28,2) дБ}.$$

У загальному випадку відношення сигнал/(взаємна завада + шум) за потужністю на вході приймача АС визначається співвідношенням

$$\frac{P_C}{P_{III} + P_{B3}} = \frac{P_C}{P_{III} + \sum_{i=1}^M P_{заві}}, \quad (1.18)$$

де  $P_{III}$  – потужність власних шумів;

$P_{B3} = \sum_{i=1}^M P_{заві}$  – потужність сигналів (взаємних завад) від  $M$  базових станцій, розташованих у сусідніх кластерах і працюючих на частоті прийому АС.

Якщо зневажити величиною  $P_{III}$  порівнянно з  $\sum_{i=1}^M P_{заві}$  (оскільки зазвичай  $P_{III} \ll \sum_{i=1}^M P_{заві}$ ), то попереднє співвідношення (1.18) можна перетворити до вигляду:

$$\frac{P_C}{P_{III} + P_{B3}} = \frac{P_C}{\sum_{i=1}^M P_{заві}}. \quad (1.19)$$

З урахуванням того, що  $P_C \sim \alpha D_{AC-BC}^{-k}$  ( $D_{AC-BC}$  – відстань від АС до БС, що обслуговує цю АС), а  $P_{заві} \sim \alpha D_{AC-BCi}^{-k}$  ( $D_{AC-BCi}$  – відстань від АС до БС  $i$ -ї базової станції, що розташована у сусідньому кластері і працює на частоті прийому АС), розглянуте співвідношення (1.18) можна перетворити до вигляду:

$$\frac{P_C}{\sum_{i=1}^M P_{заві}} = \rho = \frac{D_{AC-BC}^{-k}}{\sum_{i=1}^M D_{AC-BCi}^{-k}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^M \left( \frac{D_{AC-BCi}}{D_{AC-BC}} \right)^{-k}}. \quad (1.20)$$

Якщо БС установлені в центрах осередків (комірок), то

$$D_{AC-BC}^{-k} \approx R^{-k}. \quad (1.21)$$

Якщо БС обладнані секторними антенами ( $\varphi = 120^\circ$ ), установленними в загальних кутах кожної з трійки комірок (стільникові решітки виду 3/9, 4/12 або 7/21), то

$$D_{AC-BC}^{-k} \approx (2R)^{-k}. \quad (1.22)$$

Раніше було показано, що значення  $D_{AC-BC}^{-k}$  для наближених розрахунків можна взяти однаковими і рівними захисному проміжку  $D$ , що, у свою чергу, визначається співвідношенням  $D = R\sqrt{3N}$ .

Для більш точного визначення відстаней між АС і базовими станціями ( $D_{AC-BCi}^{-k}$ ), що працюють на співпадаючих частотах, необхідно використовувати геометричні моделі територіального розміщення цих БС.

Так, наприклад, використовуючи наведену на рис.1.11 геометричну модель розміщення БС із круговими ДНА для  $N=3$ , можна знайти значення  $D_{AC-BCi}^{-k}$ , виражені через величину радіуса комірки  $R$ .

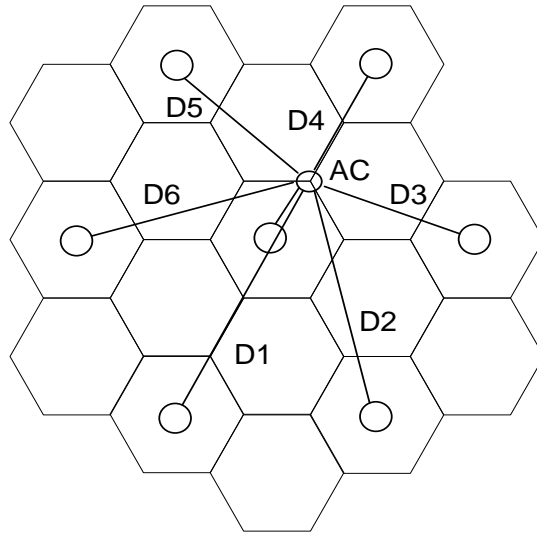


Рисунок 1.11 – Геометрична модель розміщення БС із частотним параметром  $N=3$

З рис. 1.11 можна визначити:

$$D_1 = 4R ; D_2 = R \cdot \sqrt{1^2 + \left(4 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} = R\sqrt{13} ; D_3 = R \cdot \sqrt{2,5^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} = R\sqrt{7} ;$$

$$D_4 = 2R ; D_5 = D_3 = R\sqrt{7} ; D_6 = D_2 = R\sqrt{13} .$$

Введемо значення  $\beta_i$ , що визначається співвідношенням:

$$\beta_i = \left(\frac{D_{AC-BCi}}{R}\right)^{-K} = \left(\frac{D_i}{R}\right)^{-K} . \quad (1.23)$$

З урахуванням наведених значень  $D_i$  і (1.23) отримаємо співвідношення  $\beta_i$  для усіх шести БС:

$$\beta_1 = \left(\frac{D_1}{R}\right)^{-k} = 4^{-k}; \quad \beta_2 = \left(\frac{D_2}{R}\right)^{-k} = \sqrt{13}^{-k}; \quad \beta_3 = \left(\frac{D_3}{R}\right)^{-k} = \sqrt{7}^{-k};$$

$$\beta_4 = \left(\frac{D_4}{R}\right)^{-k} = 2^{-k}; \quad \beta_5 = \left(\frac{D_5}{R}\right)^{-k} = \sqrt{7}^{-k}; \quad \beta_6 = \left(\frac{D_6}{R}\right)^{-k} = \sqrt{13}^{-k}.$$

Для коефіцієнта згасання радіохвиль  $k=4$  значення  $\beta_i$  для  $(i=1,2,\dots,6)$  відповідно дорівнюють  $3,9 \cdot 10^{-3}; 5,95 \cdot 10^{-3}; 2,02 \cdot 10^{-2}; 6,25 \cdot 10^{-2}; 2,02 \cdot 10^{-2}; 5,95 \cdot 10^{-3}$ .

Аналогічно можна визначити значення  $\beta_i$  для будь-яких можливих значень кластера  $N$  з урахуванням варіанта розміщення БС (у центрі або в кутах шестикутних комірок).

Отримані значення  $\beta_i$  використовуються для визначення середнього значення відносини сигнал/взаємна завада на вході приймача АС

$$\left(\frac{P_C}{P_{B3}}\right)_{\text{дБ}} = \bar{\rho} = 10 \lg \frac{1}{\sum_{i=1}^M \beta_i}, \quad (1.24)$$

Для приклада, що розглядається з  $N=3$  і  $M=6$ :

$$\bar{\rho}_1 = 10 \lg \frac{1}{\sum_{i=1}^M \beta_i} = 10 \lg \frac{1}{4^{-4} + 2 \cdot (\sqrt{13})^{-4} + 2 \cdot (\sqrt{7})^{-4} + 2^{-4}} = 10 \lg 8,42 = 9,85 \text{ дБ}.$$

Результат розрахунку  $\bar{\rho}_2$  за формулою (1.12) в дБ

$$\bar{\rho}_2 = 10 \lg \frac{1}{M} \left(\frac{D-R}{R}\right)^4 = 10 \lg \frac{(\sqrt{3N}-1)^4}{6} = 4,2 \text{ дБ},$$

менш, ніж  $\bar{\rho}_1$ . Причина полягає в тому, під час розрахунку за формулою (1.12) передбачається, що відстань від АС до кожної з  $M=6$  базових станцій, що заважають, однакові і дорівнюють значенню, найменшому з можливих  $D_{AC-BCi} = D-R$ .

Розрахунок за формулою (1.17) у дБ  $\bar{\rho}_3 = 10 \lg \frac{1}{M} (\sqrt{3N})^4$  дає значення  $\bar{\rho}_3 = 10 \lg \frac{1}{M} (\sqrt{3N})^4 = 10 \lg \frac{1}{6} (\sqrt{3 \cdot 3})^4 = 11,3 \text{ дБ}$ , що більше  $\bar{\rho}_1$ , тому що, в цьому випадку

відстані від АС до кожної БС, що заважає, однакові і дорівнюють захисному інтервалу  $D = R\sqrt{3N}$ .

Чим більше  $N$ , тим меншою мірою відрізняються результати розрахунків цих трьох варіантів. Тому для оцінки гіршого результату можна використовувати перший варіант розрахунку, а кращого – третій.

Слід зазначити, що наведені розрахунки виконані без урахування флуктуацій рівня сигналу, наявність яких знижує надійність проходження сигналу радіоканалом. Урахування впливу флуктуацій потребує поруч з наведеними більш детальних розрахунків.

Розглянемо методику визначення розмірності кластера з урахуванням проценту часу, протягом якого співвідношення сигнал/завада з потужності менше припустимого значення.

Розмірність кластера  $N$  (частотного параметра) у загальному випадку визначається співвідношенням

$$P_t(N) = \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{t^2}{2}} dt \right] 100\% , \quad (1.25)$$

де  $P_t(N)$  – процент часу, протягом якого відношення сигнал/взаємна завада з потужності менш припустимого значення.

Інтеграл (1.25) є табульованою Q – функцією. Значення цієї функції для різних величин  $x$  наведені у відповідних таблицях Q – функції.

Нижча границя інтегралу (1.25) визначається співвідношенням

$$x = \frac{10 \lg \frac{1}{\beta_M} - \rho_0}{\alpha_p} . \quad (1.26)$$

Співвідношення  $\beta_M$  визначаються

$$\beta_M = \sum_{i=0}^M \beta_i e^{\frac{\gamma^2(a^2 - a_M^2)}{2}} , \quad (1.27)$$

де  $\gamma = 0,1 \ln 10 = 0,23$ ;

$\alpha$  – параметр, що визначає діапазон випадкових флуктуацій рівня сигналу в точці прийому (для систем мобільного зв'язку  $\alpha = 6 \dots 12$  дБ).

У свою чергу значення  $\alpha_p$  і  $\alpha_M$  визначаються формулами

$$\alpha_p = \sqrt{\alpha^2 + \alpha_M^2} , \quad (1.28)$$

$$\alpha_M^2 = \frac{1}{\gamma^2} \ln \left[ 1 + (e^{\gamma^2 \alpha^2} - 1) \frac{\sum_{i=1}^M \beta_i^2}{\left( \sum_{i=1}^M \beta_i \right)^2} \right]. \quad (1.29)$$

Значення  $\beta_M$  і  $M$  залежать від виду діаграми спрямованості антен (ДСА), що використовуються на БС (кругова або секторна).

При використанні антен з круговою ДСА ( $\varphi = 360^\circ$ ) і секторними ДСА ( $\varphi = 120^\circ$  або  $\varphi = 60^\circ$ ) значення  $M$  дорівнює 6, 2 та 1 відповідно. Величина  $M$  визначає кількість «заважаючих» базових станцій, розміщених у сусідніх кластерах, а  $\beta_i$  - величину, зворотну співвідношенню потужності сигналу до потужності завад, що створюються  $i$ -ю «заважаючою» базовою станцією.

Отримані значення  $\beta_i$  використовуються для визначення  $\beta_M$  (1.27),  $\alpha_M$  (1.29) і середнього значення співвідношення сигнал/завада на вході приймача

$$\bar{\rho} = 10 \lg \left( \frac{1}{\beta_M} \right). \quad (1.30)$$

Співвідношення, що визначає величину нижньої межі  $x$  (1.26), має вигляд:

$$x = \frac{\bar{\rho} - \rho_0}{\alpha_\rho}, \quad (1.31)$$

де  $\rho_0$  – припустиме значення співвідношення сигнал/взаємна завада.

Після розрахунку  $x$  з таблиці Q-функції можна визначити процент часу ( $P_t$ ), протягом якого співвідношення сигнал/взаємна завада на вході приймача АС при вибраній розмірності кластера  $N$  буде нижче припустимої величини  $\rho_0$ .

Якщо виконується нерівність  $P_t(N) \leq P_t$ , то отримане значення частотного параметра  $N$  задовольняє заданим вимогам. Якщо ж  $P_t(N) > P_t$ , то необхідно відшукати нове значення параметра  $N$ .

## 1.8 Способи розподілу каналів між базовими станціями

Винятково важливим питанням, що визначає значною мірою основні характеристики СМЗ, є розподіл частотних каналів між БС. Воно дозволяє забезпечити якомога більш низький рівень міжканальних завад, що впливають на завадостійкість системи. Існують три способи розподілу частотних каналів: фіксований, динамічний і гібридний.

При фіксованому розподілі кожній БС виділяється певний набір каналів. Абонентській станції при її розміщенні в певній комірці за допомогою ЦС призна-



часться вільний канал із загального набору каналів, закріплених за базовою станцією. При переміщенні АС в іншу комірку здійснюється процедура естафетної передачі переключення каналу даної АС на відповідний вільний канал у цій комірці.

Недоліком фіксованого розподілу каналів є неефективне використання частотного спектра, оскільки в реальних умовах комірки у центрі міста можуть бути перевантажені, а комірки на периферії міста можуть мати вільні канали.

При динамічному способі будь-який із частотних каналів може бути використаний будь-якою БС. Розподіл каналів здійснюється за допомогою комп'ютера, у пам'яті якого зберігається інформація про стан кожного з каналів у зоні обслуговування і всіх змін їхнього стану в процесі роботи системи, а також про місцезнаходження АС. Таким чином, динамічний розподіл каналів дозволяє збільшити навантаженість каналів і тим самим підвищити ефективність їхнього використання і знизити ймовірність блокування виклику у випадку, коли всі канали даної комірки зайняті. Однак навантаження на пристрої управління системою зв'язку в цьому випадку зростає.

При гібридному способі розподілу кожної БС виділяється фіксований набір каналів, а також певна їх кількість для розподілу динамічним способом. Гібридний спосіб при великих навантаженнях дозволяє висувати менш жорсткі вимоги до управляючих пристроїв порівнянно з динамічним, а в межах малих значень навантаження має перевагу перед фіксованим, що виявляється у більш низькій імовірності блокування виклику. Слід зазначити, що найбільш суттєва перевага динамічного і гібридного розподілів каналів полягає в тому, що вони забезпечують вирівнювання навантаження на канал. При фіксованому розподілі це здійснюється шляхом збільшення кількості каналів, що надаються БС у місцях із зростаючим трафіком, а також зменшенням радіуса комірок.

У більшості сучасних СМЗ використовується фіксований розподіл каналів. При цьому способі за кожною БС (з круговими ДСА) закріплюється набір частотних каналів з номерами  $n_k = \kappa + iN$ , де  $\kappa$  – номер БС (від 1 до  $N$ ), величина  $i \rightarrow 0, 1, 2, 3, \dots$ . Наприклад, у кластері розмірністю  $N = 7$  базової станції з номером 2 призначаються канали з номерами 2, 9, 18, 23 і т.д.

Якщо ДСА БС секторна, то номери закріплених каналів за кожним сектором БС визначаються співвідношенням  $n_{kc} = \kappa_c + imN$ , де  $m$  – кількість секторів ДСА,  $\kappa_c$  – номер сектора (від 1 до  $mN$ ). Наприклад, для  $N = 7$ ,  $m = 3$  за БС у секторі №18 ( $\kappa_c = 18$ ) закріплюються канали з номерами 18, 39, 60, 81, ... З наведених прикладів видно, що при використанні антен з круговою ДСА сусідні канали на кожній БС віддалені на  $N$  номерів, а при використанні секторних антен – на  $mN$  номерів, що зменшує міжканальні завади.

Доцільно додатково пронумерувати канали секторів (А, В, і С при  $\varphi = 120^\circ$ , або А, В, С, D, Е, F при  $\varphi = 60^\circ$  секторної ДСА БС) і вказати на частотному плані значення цих груп каналів, що використовуються кожною БС. У табл. 1.1 наведе-

ний приклад частотного плану для СМЗ з загальною кількістю 140 частотних каналів, БС обладнані секторними ДСА ( $\varphi = 120^\circ$ ), кластер складається з 7-ми комірок ( $N = 7$ ). Позначення секторів відповідають наведеному на рис.1.9. При використанні наведеного способу позначення груп каналів номери каналів для кожного із секторів ( $n_{kk_{cm}}$ )  $k$ -ї БС визначаються співвідношенням

$$n_{kk_{cm}} = k + (k_c - 1)N + imN = k + (k_c - 1 + im)N, \quad (1.32)$$

де  $k$  – номер БС;

$k_c$  – номер сектора (1,2,3 для секторів А, В і С відповідно);

$N$  – розмірність кластера;

$m$  – кількість секторів ДСА;

$i \rightarrow 0, 1, 2, \dots$

Наприклад, у секторі 5В ( $k = 5, k_c = 2, i = 3$ ) використовуються канали з номерами  $n_{kk_{cm}} = 5 + (2 - 1)7 + i \cdot 3 \cdot 7 = 12 + i \cdot 21 \rightarrow 12, 33, 54, 75, \dots$  і т.д.

З табл. 1.1 легко визначити номери каналів, виділених для кожної з 7-ми БС. Наприклад, базової станції БС-2, ДСА якої розділена на сектори А2, В2 і С2, виділені канали 2, 23 ... 128 (у секторі А2), 9, 30 ... 135 (у секторі В2) і 16, 37 ... 121 (у секторі С2). Аналогічно визначаються номери каналів, виділених іншим БС.

Таблиця 1.1 – Розподіл каналів між базовими станціями

	Номери секторів БС																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	Позначення секторів																				
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Номери частотних каналів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
	84	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126
	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140							

З обліком викладеного нескладно побудувати частотний план для СМЗ з іншими значеннями кластера  $N$ , іншим загальним числом каналів у СМЗ при використанні ДСА із заданим значенням секторів.

## 1.9 Організація управління в системах мобільного зв'язку

У більшості сучасних СМЗ передача сигналів управління з ЦС на АС (транзитом через БС) забезпечується за спеціально виділеними каналами управління. У деяких СМЗ для передачі сигналів управління можуть використовуватися робочі канали (РК). Розрізняють прямий і зворотний канали управління (ПКУ і ЗКУ відповідно). Прямий і зворотний канали займають дві однакові смуги частот, що віддалені одна від одної на величину дуплексного рознесення. По ПКУ абонент (АС) сповіщається вхідним викликом, а по ЗКУ від АС на ЦС передається вихідний виклик та інша службова інформація.

На дільниці ЦС-БС канали управління організуються в провідних або радіорелейних лініях зв'язку телефонної мережі, а на дільниці БС-АС – в радіолінії. Як правило, один канал управління (КУ) виділяється на групу мовних каналів. Загальна кількість КУ в різних СМЗ різна. Так, в аналогових системах AMPS і TACS їхня кількість становило 21, у NMT кількість КУ була змінною, причому в системі NMT для організації КУ можливо було використовувати будь-який вільний канал з групи робочих.

Характерною рисою роботи системи управління СМЗ є перемикання АС з одного робочого (частотного) каналу на інший при переході АС з однієї комірки в іншу ("естафетна передача АС"). Команди управління на перемикання АС з одного робочого каналу на інший формуються на ЦС і передаються від ЦС на БС по з'єднувальних лініях.

Таким чином, передача сигналів управління для організації вхідного і вихідного з'єднань здійснюється за спеціально виділеним ПКУ і ЗКУ, а в процесі сеансу зв'язку сигнали управління на перемикання каналів в аналогових СМЗ передаються по робочих каналах.

Розглянемо протоколи організації вхідних і вихідних викликів, "естафетної передачі АС" і протокол організації зв'язку з візитною АС (роумінг).

Протокол організації вхідного виклику (від ЦС до АС) наведений на рис. 1.12.

У вільному стані АС перебуває в черговому режимі і автоматично настроюється на ПКУ (інша його назва "канал виклику") з найбільш високим рівнем сигналу. Як правило, це сигнали від найближчих БС. По ПКУ від ЦС (через БС) безупинно передається інформація, що містить телефонні номери АС, які викликаються. Отримавши сигнал виклику (номер АС), абонентська станція по ЗКУ передає на ЦС підтвердження із зазначенням свого номера.

Переконавшись у тому, що виклик прийнятий, ЦС передає на АС по ПКУ номер виділеного робочого каналу і по цьому ж каналу передає запит підтвердження. Отримавши номер РК, АС налаштовується на його частоту, а після одержання по ньому запиту підтвердження передає по цьому ж РК сигнал підтвер-

дження з раніше прийнятим номером РК. На ЦС перевіряється прийнятий номер РК із номером раніше переданого і при їхньому збігу передається команда на включення сигналізації (телефонного дзвінка). Після зняття абонентом слухавки на АС центральна станція підключає розмовний тракт.

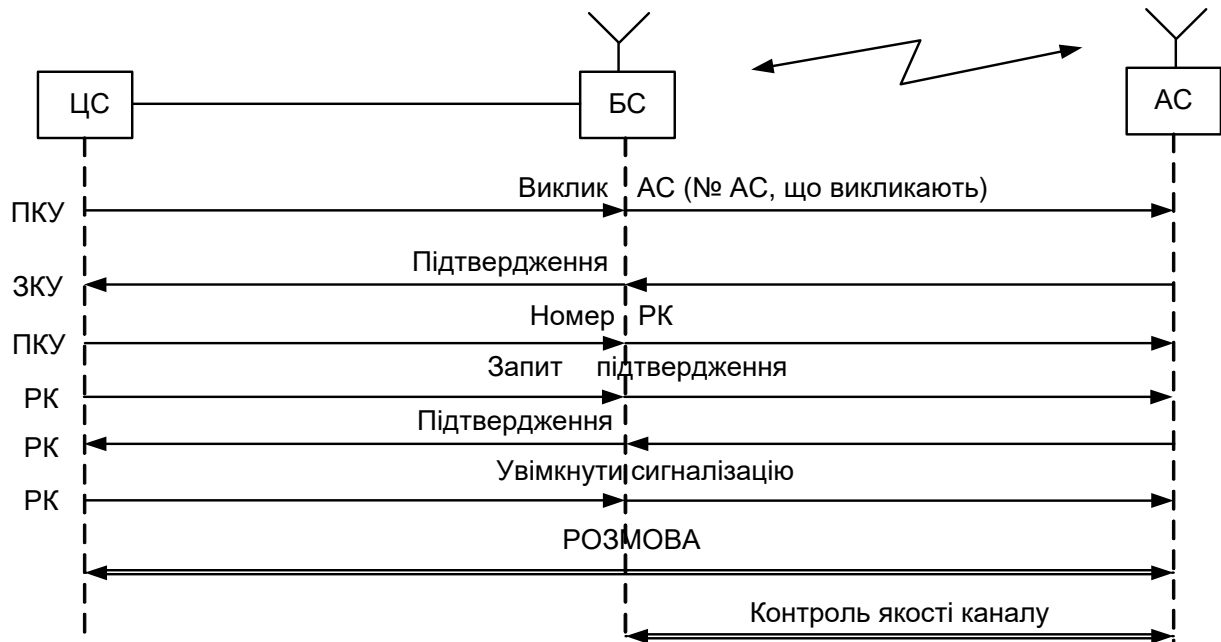


Рисунок 1.12 – Протокол організації вхідного виклику

У процесі сеансу зв'язку на БС постійно контролюється якість передачі. Для контролю використовуються позасмугові сигнали (пілот-сигнали). В NMT – це сигнал тональної частоти 4 кГц, в AMPS і TACS – один з трьох сигналів тональних частот (SAT) 5970, 6000 і 6030 Гц. Контрольні сигнали передаються по робочому каналу безупинно під час розмови.

Вихідний виклик від АС може бути призначений як для абонента ТМЗК, так і для абонента СМЗ. Протокол вихідного виклику наведено на рис. 1.13.

Для організації вихідного виклику абонент набирає номер абонента, що викликається. Цей номер записується у пристрій пам'яті АС. Абонентська станція перевіряє стан ЗКУ (канал доступу) на зайнятість. Якщо він вільний, АС передає вихідний виклик (свій номер і номер абонента, що викликається). БС транслює цей сигнал на ЦС, де здійснюється перевірка "повноважень" абонента. Якщо абонент має право доступу до даної мережі, то ЦС виділяє для АС вільний робочий канал і передає його номер по ПКУ.

За виділеним робочим каналом ЦС передає на АС запит підтвердження про одержання номер каналу. Отримавши номер РК і запит підтвердження, АС настраюється на частоту РК і по цьому каналу (канал дуплексний) передає на ЦС сигнал підтвердження. Після одержання цього сигналу підтвердження вмикається

сигналізація і при знятті трубки абонентом, що викликається, підключається наскрізний розмовний тракт. Під час розмови здійснюється контроль якості зв'язку між абонентами.

Під час руху РО з АС може переміщуватися з однієї зони в іншу. Припустимо, що АС переміщується із зони БС3 у зону БС2. Оскільки сусідні БС працюють на різних, незбіжних, частотах, то для забезпечення безперервного зв'язку необхідно автоматично перенастроювати абонентську станцію з одного каналу на інший.

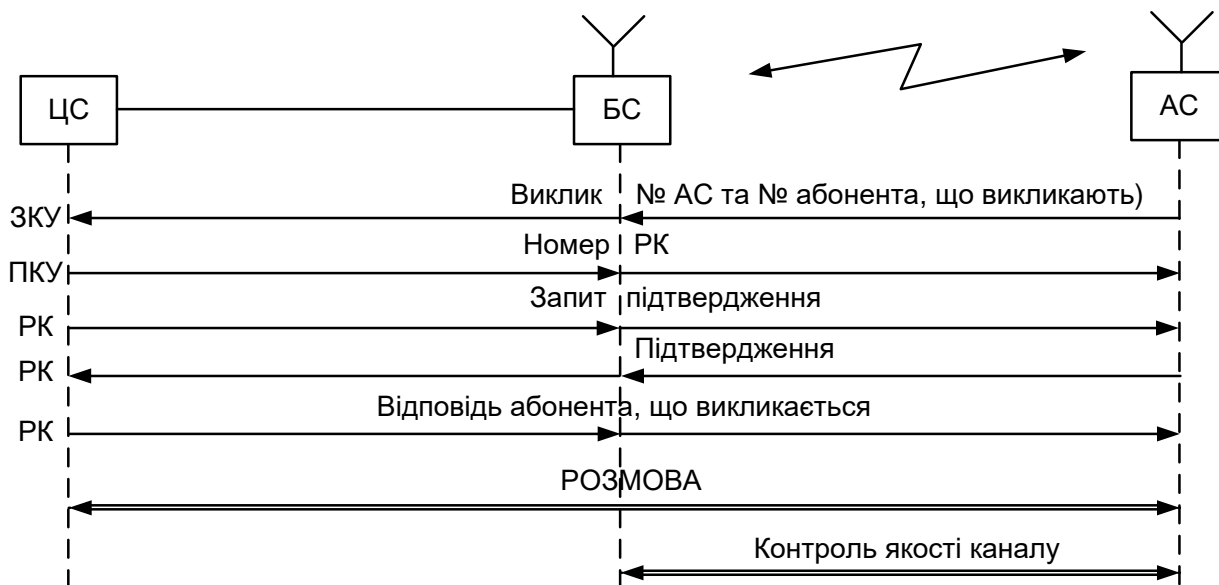


Рисунок 1.13 – Протокол організації вихідного виклику

Протокол забезпечення безперервного зв'язку ("естафетна передача АС") наведено на рис. 1.14.

Для оцінки якості робочого каналу БС безупинно передає цим каналом на АС позаполосний сигнал – пілот-сигнал. АС приймає і ретранслює цей сигнал на БС, де вимірюється співвідношення сигнал/шум за потужністю. Якщо величина цього співвідношення стає нижче граничної, то БС сповіщає про це ЦС. Отримавши сповіщення, ЦС видає на "робочу" і найближчі до неї БС сигнал "Виміряти співвідношення сигнал/шум" і номер каналу, в якому необхідно виконати вимір. Вимір виконують спеціальні приймачі, які можуть бути настроєні на частоту будь-якого радіоканалу мобільної системи. Отримавши результати вимірів, ЦС вибирає БС, у зоні якої максимальне співвідношення сигнал/шум, і виділяє абонентській станції вільний канал у зоні цієї БС. За старим РК через БС (у зоні якої погіршилося співвідношення сигнал/шум) ЦС передає номер нового РК у зоні БС із максимальним співвідношенням сигнал/шум. Одночасно з номером нового РК ЦС видає по цьому ж РК запит підтвердження.

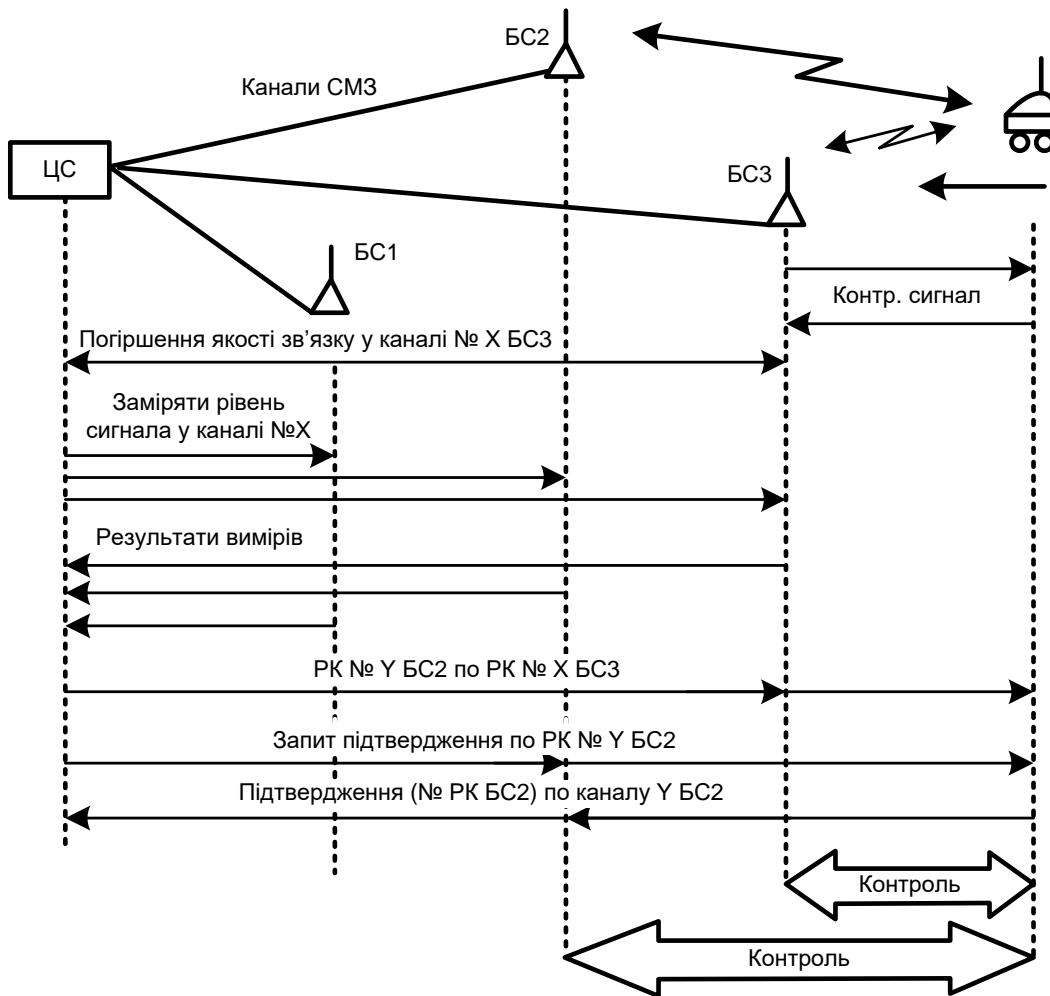


Рисунок 1.14 – Протокол організації "естафетної передачі АС"

Отримавши номер нового РК АС переналаштується і видає по цьому РК на ЦС підтвердження про перенастроювання на новий канал. По закінченні обміну цими сигналами ЦС перемикає відповідні пристрої і телефонні пари зі "старої" БС на "нову" для продовження розмови по новому розмовному тракту.

Всі команди управління в режимі "естафетної передачі" із БС на АС передаються по РК шляхом переривання розмови на час від 0,25 до 1,25с у різних СМЗ.

У випадку руху РО вздовж меж зони обслуговування і для зниження навантаження на ЦС використовується метод "утримання перемикачів" – закріплення за абонентом раніше виділеного каналу.

Важливою послугою мобільних систем є забезпечення роумінгу – можливість використовувати той самий мобільний телефон при переміщенні абонента в інше місто, область і навіть країну для двостороннього зв'язку з абонентами, які теж можуть перебувати в інших містах, областях або країнах. Організація роумін-

гу можлива, якщо поруч з адміністративними умовами виконуються і технічні – мобільні системи одного стандарту, їхні центральні станції (центри комутації мобільного зв'язку ЦКРЗ) з'єднані каналами зв'язку для взаємного обміну інформацією в процесі організації роумінгу. Протокол організації роумінгу наведений на рис. 1.15.

Якщо рухомий абонент перемістився із зони обслуговування "своєї" ЦС (опорної) у зону обслуговування іншої ("чужої", тимчасової) ЦС, то його АС, що перебуває в черговому режимі, у складі прийнятих сигналів виявляє код зони обслуговування (код ЦС), що не збігається з кодом зони обслуговування своєї ЦС. У цьому випадку АС видає сигнал запиту на поновлення інформації про своє місцезнаходження (зони обслуговування).

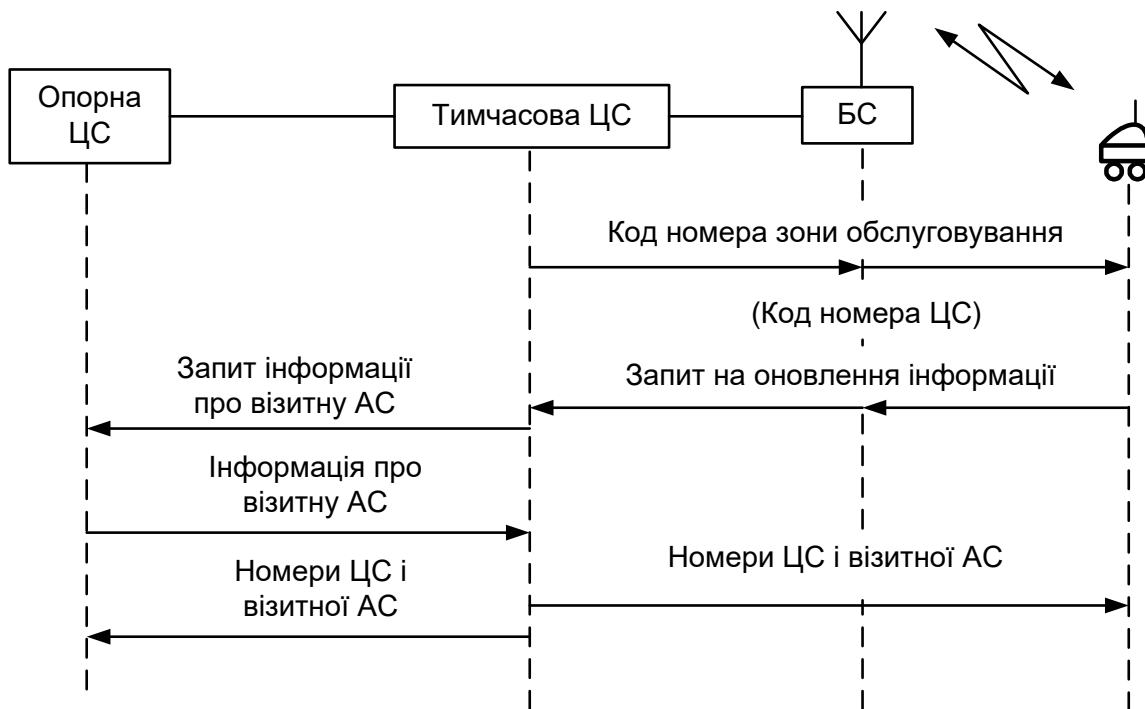


Рисунок 1.15 – Протокол організації роумінгу

Отримавши цей сигнал з кодом номера АС і з кодом зони обслуговування опорної ЦС, тимчасова ЦС передає сигнал на опорну ЦС про візитну АС і повідомляє їй номер зони обслуговування (номер ЦС), у якій перебуває в цей час візитна АС. Опорна ЦС фіксує цю інформацію і передає тимчасовій ЦС всі відомості, необхідні для обслуговування візитної АС (види послуг, паролі тощо). Отримавши ці відомості, тимчасова ЦС видає АС привласнений їй тимчасовий (блукаючий) номер і номер тимчасової ЦС на час перебування візитної АС у зоні обслуговування цієї ЦС і повідомляє цю інформацію опорної ЦС. Після цього "візитний" абонент обслуговується, як і всі інші, приписані до даної системи. Виклики від абонентів із

зони обслуговування опорної ЦС на адресу АС, що перемістилася, переадресовуються на тимчасову ЦС, після чого організується наскрізний розмовний тракт.

При поверненні АС у зону обслуговування опорної ЦС вся інформація на обох ЦС і в АС, записана на час забезпечення роумінгу, стирається.

### 1.10 Критерії ефективності систем мобільного зв'язку

Основними критеріями ефективності СМЗ прийнято вважати ймовірність відмови в обслуговуванні абонента ( $p_{від}$ ), ймовірність помилки ( $p_{ном}$ ) передачі інформації і частотну ефективність ( $\nu$ ). При цьому фіксованими вважаються смуга частот і швидкість передачі.

При виведенні співвідношення для ймовірності відмови в обслуговуванні передбачається, що відмова абоненту в наданні каналу відбувається тоді, коли при проходженні абонентом декількох зон, хоча б в одній з них не виявиться вільних каналів.

Вважатимемо, що в кожній із зон обслуговування, через які проходить РО, може відбутися відмова з ймовірністю  $p_0$ . У кожній зоні розмова (сеанс зв'язку) може закінчитися з ймовірністю  $p_k$ . Якщо в даній зоні відмови не відбулося і сеанс зв'язку не закінчився, то при переході РО в іншу зону, якщо там теж відмови не відбулося, сеанс зв'язку триває. Якщо ж відбулася відмова в тій або іншій зоні, сеанс зв'язку переривається.

Відповідно до викладеного, складемо графу-схему (рис. 1.16), що дозволяє легко визначити ймовірність відмови в обслуговуванні ( $p_{від}$ ).

Відмова абонента ( $p_{від}$ ) може відбутися при вході в першу ж зону обслуговування СМЗ із ймовірністю  $p_0$ . Або ж при вході в першу зону обслуговування абонента немає відмови в обслуговуванні з ймовірністю  $(1 - p_0)$ , з ймовірністю  $(1 - p_k)$  розмова може бути не закінчена і абонент ( $P_{від}$ ) переходить у другу зону і т.д.

Внаслідок цього з використанням граф-схеми можна записати

$$p_{від} = p_0 + (1 - p_0)(1 - p_k)p_0 + (1 - p_0)(1 - p_k)(1 - p_0)(1 - p_k)p_0 + \dots = \\ = p_0 [1 + (1 - p_0)(1 - p_k) + (1 - p_0)^2(1 - p_k)^2 + \dots]$$

У квадратних дужках – геометрична прогресія із знаменником  $(1 - p_0)(1 - p_k) < 1$ . Сума цієї прогресії і визначає собою ймовірність відмови:

$$P_{від} = \frac{p_0}{1 - (1 - p_0)(1 - p_k)}. \quad (1.33)$$

Ймовірність відмови в одній зоні визначається співвідношенням



$$P_{\text{від}} = \frac{A_1^{n_1}}{n_1! \sum_{i=0}^{n_1} \left(\frac{1}{i!} A_1^i\right)}, \quad (1.34)$$

де  $n_1 = n_{\text{СМЗ}}/N_{\text{БС}}$  – кількість каналів, закріплених за кожною БС (кількість каналів у кожній з “ $N$ ” груп каналів). Кількість БС визначається співвідношенням  $N_{\text{БС}} = 1,21(R_0/R)^2$ ;

$A_1^i$  – інтенсивність трафіку (середнє навантаження) на БС, Ерл.

З аналізу співвідношення для  $p_{\text{від}}$  можна зробити такі висновки.

По-перше, зі збільшенням кількості зон (числа БС) у системі зменшується ймовірність відмови ( $p_{\text{від}}$ ). По-друге, чим більше частотний параметр  $N$ , тим менше кількість каналів, закріплених за кожною із  $N$  станцій, і тим більша ймовірність відмови ( $p_{\text{від}}$ ) в обслуговуванні абонентів у кожній комірці.

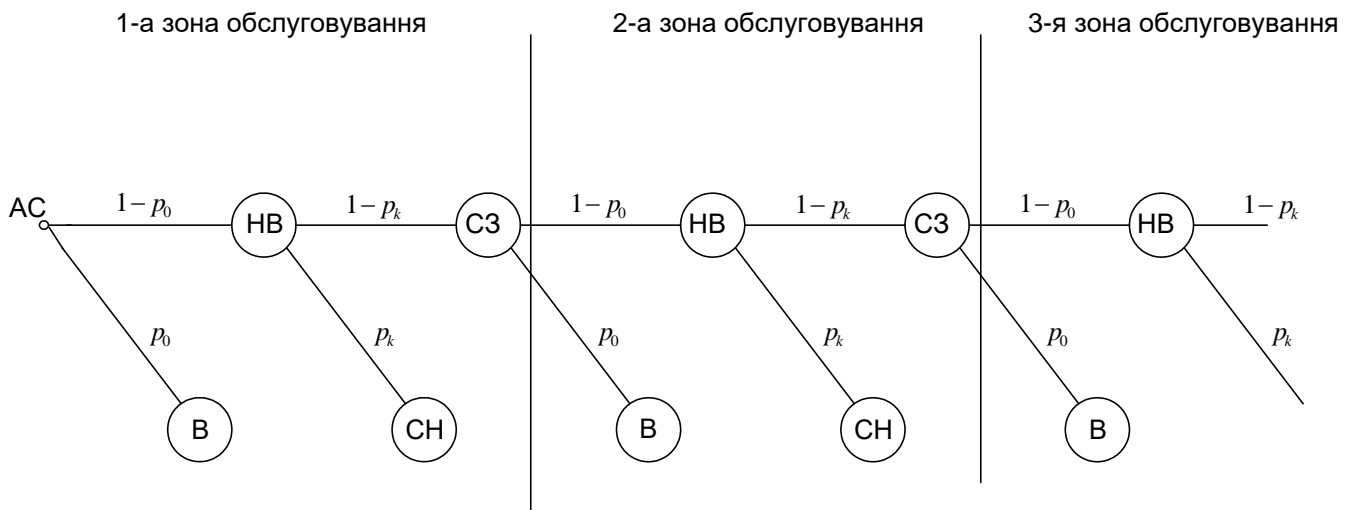


Рисунок 1.16 – Граф-схема для визначення ймовірності відмови в обслуговуванні

На граф-схемі позначено:

HB – немає відмови в зоні обслуговування;

B – відмова абонента в зоні обслуговування;

CH – сеанс зв'язку в зоні не закінчений;

CZ – сеанс зв'язку в зоні закінчений.

Ймовірність закінчення сеансу зв'язку в кожній зоні (комірці) обслуговування визначається співвідношенням:

$$p_k = (1 - e^{-\frac{\gamma R}{v}}) - D_1 \frac{V^2}{2} e^{-\frac{\gamma R}{2}}, \quad (1.35)$$

де  $1/\gamma$  – середня тривалість сеансу зв'язку;

$v$  – частотна ефективність;

$V$  – швидкість переміщення РО;

$R$  – радіус зони обслуговування;

$D_1 = \left(\frac{R}{16v}\right)^2$  – дисперсія часу перебування РО в зоні обслуговування.

Ймовірність помилки у випадку, коли РО (АС) перебуває на границі зони обслуговування (найгірший випадок), визначається співвідношенням:

$$p_{ном} = \frac{1}{(\sqrt{3N} - 1)^{2k} (1 + 2/h^2)^2} + \frac{1}{2 + h^2}; \quad N \geq 3, \quad (1.36)$$

де  $h$  – співвідношення сигнал/шум на границі зони обслуговування. Якщо  $h \gg 1$  (що зазвичай має місце на практиці) формулу для  $p_{ном}$  можна подати у вигляді:

$$p_{iii} = \frac{1}{(\sqrt{3N} - 1)^{2k}}. \quad (1.37)$$

При розрахунках  $p_{ном}$  величину коефіцієнта згасання радіохвиль  $k$  доцільно брати  $k = 2$ , що забезпечує урахування максимально можливого впливу взаємних завад. Таким чином, при  $h \gg 1$  завадостійкість СМЗ визначається величиною частотного параметра  $N$ , і ймовірність помилки зменшується зі збільшенням параметра  $N$ . Цю обставину можна пояснити тим, що при незмінному радіусі ( $R$ ) збільшення розмірності кластера ( $N$ ) однозначно пов'язане зі збільшенням захисної відстані  $D = R\sqrt{3N}$  між базовими станціями, які працюють на однакових частотах. Крім того, зі збільшенням параметра  $N$  зменшується кількість частотних каналів у кожній БС, що в свою чергу знижує рівень взаємних завад. Разом з тим, не слід забувати, що збільшення параметра  $N$  (розмірності кластера) призводить до зниження частотної ефективності системи, оскільки знижується кількість каналів, що виділені кожній БС кластера.

Наведені співвідношення для  $p_{вид}$  і  $p_{ном}$  дозволяють оптимізувати СМЗ по мінімуму зон і груп каналів ( $N$ ) при відомих вихідних параметрах. Очевидно, найкращою в цьому випадку системою буде система з однією зоною ( $N = 1$ ),  $R = R_0$  з ймовірністю закінчення сеансу зв'язку в зоні, близької до одиниці ( $p_k = 1$ ), оскільки є лише одна зона, в якій має закінчитися розмова. Однак, при великій кількості абонентів на території, що обслуговується, вимоги на припустимі значення

ймовірності відмови й імовірності помилки в радіальній системі ( $R = R_0$ ) не виконуються. Причинами можуть бути недостатня енергетика при великих розмірах території ( $R_0$ ), або через велике завантаження системи при великій кількості абонентів і (або) високої їхньої активності. У цих умовах доцільно будувати СМЗ з можливо меншим частотним параметром  $N$ .

Важливим параметром СМЗ є частотна ефективність ( $\nu$ ), обумовлена кількістю активних абонентів ( $N_a$ ) на 1 Гц смуги частот СМЗ ( $F_{СМЗ}$ ):

$$\nu = \frac{N_a}{F_{СМЗ}}. \quad (1.38)$$

Кількість активних абонентів визначається кількістю БС у СМЗ ( $N_{БС}$ ) і кількістю каналів на кожній із БС ( $n_1$ ):

$$N_a = N_{БС} n_1. \quad (1.39)$$

Кількість БС на території радіуса  $R_0$ , що обслуговує СМЗ з радіусом комірок  $R$ , визначається співвідношенням:

$$N_{БС} = 1,21 \frac{R_0^2}{R^2}. \quad (1.40)$$

Смуга частот, яка використовується СМЗ, пов'язана із шириною смуги частот одного каналу ( $F_k$ ), кількістю каналів ( $n_1$ ) на кожній БС і частотним параметром ( $N$ ) співвідношенням

$$F_{СМЗ} = F_k n_1 N. \quad (1.41)$$

Підставивши співвідношення для  $N_a$  і  $F_{СМЗ}$  у формулу, що визначає частотну ефективність  $\nu$ , отримаємо

$$\nu = \frac{N_a}{F_{СМЗ}} = \frac{1,21 R_0^2}{F_k N R^2}. \quad (1.42)$$

Таким чином, частотна ефективність безпосередньо не залежить від кількості каналів  $n_1$ . Величина  $\nu$  зростає зі зменшенням радіуса комірки  $R$  (зростає число БС у системі і в результаті збільшується число активних абонентів  $N_a$ ). Наслідок цього зменшення  $R$  зростає повторне використання частот.

Величини  $F_k$  і  $N$  бажано мати меншими з урахуванням припустимих значень  $p_{від}$  і  $p_{ном}$ . Зменшення  $F_k$  дозволяє у відведеному діапазоні частот збільшити кіль-

кість каналів, а зменшення параметра  $N$  призводить до збільшення кількості каналів, закріплених за кожною БС.

### Контрольні запитання та завдання

1. Дайте загальну характеристику історії розвитку систем мобільного зв'язку.

2. Наведіть загальну структурну схему зв'язку між мобільними станціями. Перелічіть основні характеристики систем мобільного зв'язку.

3. Дайте класифікацію систем мобільного зв'язку загального користування

4. Поясніть чим відрізняється механізм поширення радіохвиль у вільному просторі від поширення радіохвиль в умовах роботи систем мобільного зв'язку.

5. Охарактеризуйте модель розрахунку згасання сигналів що використовують у системах мобільного зв'язку.

6. Запишіть співвідношення для визначення втрат на трасі ПРХ у міському середовищі. Дайте характеристику кожному компоненту.

7. Визначити втрати на трасі при ПРХ у місті середнього розміру, якщо  $f_c = 900$  МГц;  $h_{BC} = 50$  м;  $h_{AC} = 5$  м,  $R = 5$  км.

8. Визначити захисні відстані  $D$  між базовими станціями (БС) з однаковими частотними каналами, якщо допустиме співвідношення потужності сигналу до потужності взаємних завад ( $P_C/P_{B3}$ ) складає 16 дБ. Параметр згасання радіохвиль  $k = 4$ , радіус кожного з осередків рівний  $R = 3$  км. Базові станції обладнані антенами з круговими діаграмами спрямованості (ДСА).

9. На території обслуговування, що має форму кола з радіусом  $R_0$ , встановлено 30 БС ( $N_{BC} = 30$ ) з радіусом комірок  $R = 2$  км. Величина частотного параметра  $N = 7$ . Визначити радіус  $R_0$ , побудувати територіальний план розміщення осередків, визначити коефіцієнт повторного використання частотних каналів ( $K$ ).

10. Побудувати план розміщення на території, що має форму кола, 19-ти БС. Визначити захисні відстані  $D$  між БС з однаковими частотними каналами, допустиме відношення потужності сигналу до потужності взаємних завад ( $\rho = P_C/P_{B3}$ ). Радіус комірок  $R = 2$  км, коефіцієнт згасання радіохвиль  $k = 4$ , частотний параметр  $N = 7$ . Антени з круговою ДСА.

11. Визначити відношення потужності сигналу до потужності взаємних завад ( $\rho = P_C/P_{B3}$ ) для мобільної системи зв'язку з радіусом комірок  $R = 3$  км. Частотний параметр  $N = 12$ , параметр згасання радіохвиль  $k = 3$ .

12. Система мобільного зв'язку (СМЗ) працює у діапазоні частот 860-866 МГц і 915-921 МГц. Рознесення частотних каналів  $F_k = 25$  кГц, частотний параметр  $N = 12$ . Визначити кількість дуплексних каналів в СМЗ; дуплексне рознесен-

ня  $F_d$ ; кількість каналів на кожній базовій станції кластера. Скласти частотний план. У системі використовується БС з круговою ДСА.

13. Базові станції (БС) з радіусом комірок  $R=20$  км розміщені уздовж автомагістралі протяжністю  $L=360$  км. Допустиме відношення сигнал/взаємна завада ( $P_C/P_{B3}$ ) = 18 дБ, параметр згасання радіохвиль  $k=3$ . Визначити значення частотного параметра, необхідну кількість БС, коефіцієнт повторного використання кластерів.

14. У СМЗ базові станції обладнані антенами з направленими ДСА ( $\varphi=120^\circ$ ) і розміщені в кутках шестикутників, що чергуються. Частотний параметр  $N=7$ , радіус комірок  $R=5$  км, відношення потужності сигналу до потужності завад складає  $P_C/P_{B3}=100$ . Необхідно:

- побудувати територіальний план розміщення осередків з урахуванням можливого коефіцієнта повторення частот не менше 7;

- визначити захисну відстань  $D$  між комірками з однаковими частотними каналами.

15. Визначити відношення потужності сигналу до потужності взаємних завад в СМЗ з радіусом осередків  $R=3$  км, частотним параметром  $N=12$ . Коефіцієнт згасання радіохвиль  $k=3$ . БС розміщені в центрі комірок і обладнані антенами з круговими ДСА.

16. Визначити значення частотного параметра ( $N$ ) і відношення потужності сигналу до потужності взаємних завад ( $P_C/P_{B3}$ ) в СМЗ з шестикутними комірками, радіус комірок  $R=3$  км, захисна відстань між комірками з однаковими частотними каналами  $D=13,75$  км.

17. Визначити значення частотного параметра ( $N$ ) і відношення потужності сигналу до потужності взаємних завад ( $P_C/P_{B3}$ ) у СМЗ з радіусом комірок  $R=3$  км, частотним параметром  $N=12$ . На БС використовуються антени з секторним ДСА ( $\varphi=60^\circ$ ). Параметр згасання  $k=3$ .

18. Визначити ймовірність помилки  $P_{ном}$  та ймовірність відмови в обслуговуванні абонента  $P_{від}$ , якщо відомі ймовірність відмови в обслуговуванні в одній зоні  $P_0=0,1$  і ймовірність закінчення розмови в одній зоні  $P_0=0,5$ .

19. Покажіть, що збільшення частоти передачі або відстані між антеною, що передає і антеною, що приймає вдвічі призводить до зменшення потужності сигналу, що приймається, на бДБ.

20. Потужність сигналу на виході підсилювача складає 20Вт. Чому дорівнює ця потужність в децибелватах (дБВт) і децибелміліватах (дБм)?

21. Вихідна потужність передавача 50Вт. Слід записати вихідну потужність сигналу в дБВт і дБм, визначити потужність сигналу, що приймається, в дБм на відстані: а) 100м і б) 10км у вільному просторі. Коефіцієнт посилення антени 12дБ.

## 2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СМЗ ПЕРШОГО ПОКОЛІННЯ (1G)

### 2.1 Стислий огляд стандартів аналогових СМЗ

До першого покоління СМЗ (1G) належать аналогові системи.

Першою аналоговою мобільною системою зв'язку є система AMPS, що розроблена в США (Чикаго) у 1979 р. і з 1983 р. знаходиться в експлуатації у багатьох країнах. Одна з перших систем (NMT-450), яка розроблена у Скандинавських країнах практично одночасно з AMPS, з 1981 р. знаходилася в експлуатації у країнах західної Європи і понад 10 років використовувалася в Україні. Використовувалися аналогові СМЗ дев'яти стандартів. У світі найбільш розповсюджені були системи AMPS, NMT-450, NMT-900 і TACS. Основні характеристики зазначених стандартів аналогових СМЗ наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики стандартів аналогових систем мобільного зв'язку

Стандарт характеристика	США	NMT-450	NMT-900	TACS Велика Британія
		Скандинавські країни		
Рік введення в експлуатацію	1983	1981	1986	1985
Діапазон частот на передачу, МГц від БС від АС	870...890 825...845	463...467,5 453...457,5	935...960 890...915	935...950 890...905
Смуга частот кожного піддіапазону, МГц	20	4,5	25	15
Рознесення дуплексних каналів, МГц	45	10	45	45
Ширина смуги частот каналу, кГц	30	25;20	25;12,5	25
Загальна кількість дуплексних каналів	666	180;225	1999;2000	600
Розмірність кластера	7; 12	7;9;21	7;9;21	4; 7; 12
Радіус осередку, км	2...20...2	1...40	0,5...20	2...20
Макс. потужність БС, Вт	100	50	100	100
Номінальна потужність АС, Вт	3	15/2	6/1	2-20
Час перемикання каналів на границі комірки, мс	250	1250	270	290
Мін. величина вхідного співвідношення сигнал/шум, дБ	10	15	15	10

Оскільки стандарти TACS і ETACS, (розроблені на основі AMPS), розрізняються лише використовуваним діапазоном частот, то в табл. 2.1. наведені характеристики одного з них – TACS. Найбільшою мірою знайшли використання СМЗ стандартів NMT-450(900) і AMPS.

## 2.2 Система стандарту NMT

Стандарт NMT-450 був розроблений спільно Адміністраціями зв'язку Данії, Норвегії, Швеції і Фінляндії для забезпечення автоматичним мобільним радіотелефонним зв'язком Скандинавських країн.

Абонентські станції в стандарті NMT-450 повністю сумісні з усіма базовими станціями системи незалежно від країни. Після введення в експлуатацію система набула такої популярності, що незабаром стала перевантаженою. Для збільшення кількості каналів був розроблений на базі стандарту NMT-450 удосконалений варіант цієї системи – NMT-900. Для неї були виділені дві більш широкі смуги частот (по 25 МГц) у діапазоні 900 МГц. Внаслідок цього кількість каналів істотно збільшилася (до 1999) порівнянно з кількістю каналів у системі NMT-450 (180 каналів).

До складу мережі входять ЦКРЗ – центр комутації рухомого зв'язку; БС – базові станції; АС – абонентські (рухомі) станції. У стандарті NMT-450 передбачено використання комірок двох видів – малих (радіус 2...5 км) і великих (радіус 5...20 км). На першому етапі організації зв'язку територія обслуговування покривається великими комірками. Зі збільшенням навантаження всередині великих стільників будуються маленькі комірки. Старі комірки не ліквідуються, а перепрограмуються в ЦКРЗ і функціонують поряд з маленькими, що дозволяє збільшити ємність системи зв'язку.

БС у межах одного кластера працюють на різних частотах. На кожній БС один канал використовується як канал управління (виклику в напрямку АС і доступу у зворотному), а інші канали є робочими. Тип каналу маркірується відповідним кодом у форматі сигналізації. Це означає, що канал управління може тимчасово використовуватись як розмовний, а у випадку несправності каналу управління будь-який робочий можна перетворити в канал управління шляхом простої заміни каналного коду. Абонентські станції в черговому режимі настроєні на прийом сигналів, що надходять по каналу виклику.

Всі службові сигнали є цифровими і передаються двійково-десятковим кодом із швидкістю 1200 Бод з використанням швидкої частотної маніпуляції (FSK). Цифровий сигнал, визначений як логічна одиниця, являє собою один період коливання з частотою 1200 Гц, а сигнал логічного нуля – 1,5 періоду коливання з частотою 1800 Гц.

Передача службових сигналів здійснюється 166 розрядними кадрами. У кадрі розміщені сигнали тактової і циклової синхронізації, службові сигнали та контрольні біти для захисту від помилок.

Зміст службової інформації переноситься десятковими цифрами від 0 до 9, які кодуються двійково-десятковим кодом (кожна цифра від 0 до 9 кодується чотири-розрядним двійковим кодом). Обсяг службової інформації становить 16 десяткових цифр, для передачі яких використовується 64-розрядний двійково-

десятковий код. До складу службової інформації входять: номер радіоканалу, тип кадру, код зони обслуговування ЦКРЗ, номер АС (що викликає або який викликається). Для підвищення вірності передачі інформаційні біти двійково-десятькового коду доповнюються бітами парності. Кожному переданому службовому сигналу відповідає робочий кадр певного типу.

Організація вхідних і вихідних з'єднань, естафетної передачі АС і роумінгу в системі NMT-450 здійснюється відповідно до раніше розглянутих протоколів вказаних процесів. Розходження складається лише в найменуванні каналів: прямий канал управління називається каналом виклику, а зворотний канал управління – каналом доступу. Контроль якості зв'язку здійснюється за рівнем контрольного (пілотного) сигналу з частотою 4 кГц. Контрольний сигнал передається від БС до АС, ретранслюється і вимірюється на базовій станції контрольним приймачем.

До складу системи NMT-450 входить устаткування ЦКРЗ, БС, АС. ЦКРЗ забезпечує управління і контроль за роботою всіх БС і АС. У пам'яті ЦКРЗ зберігаються дані про абонентів і стан мережі в цілому. ЦКРЗ забезпечує встановлення з'єднання між АС; контроль за якістю зв'язку; перемикання АС на новий канал у процесі естафетної передачі АС; пошук АС на території, що обслуговується (роумінг); діагностику стану системи; тарифікацію.

Центри комутації побудовані на базі типової електронної телефонної станції з програмним управлінням DX 2000MTX та її модифікаціях. Функції ЦКРЗ можуть виконувати цифрові АТС типу EWSD і 5ESS.

Стандарт NMT передбачає централізовану комутацію і управління з'єднаннями з використанням багатостанційного доступу з МДЧР, тому до складу БС входять передавачі і приймачі кожного з радіоканалів. Антени можуть бути з круговими або секторними ДСА. Прийом однократний.

### **2.3 Система стандарту AMPS**

Система стандарту AMPS розроблена в США (Чикаго) у 1979 р. з 1983 р. знаходиться в експлуатації. На базових станціях системи AMPS використовуються антени із секторними ДСА по 120 градусів. Базові станції встановлюються в кутах осередків, що чергуються через один (рис. 2.1). Внаслідок такого розміщення БС і застосування антени із секторними ДСА кожен осередок "висвітлюється" трьома БС, що підвищує надійність зв'язку (практично виключаються затінені, закриті ділянки в зоні обслуговування БС). Однак при такому методі розміщення БС збільшується кількість БС, що використовуються, і збільшується кількість сполучних ліній між БС і ЦС. З наведеного рис. 2.1 видно, що у відповідних кластерах замість 7 БС необхідно використовувати 12 БС.



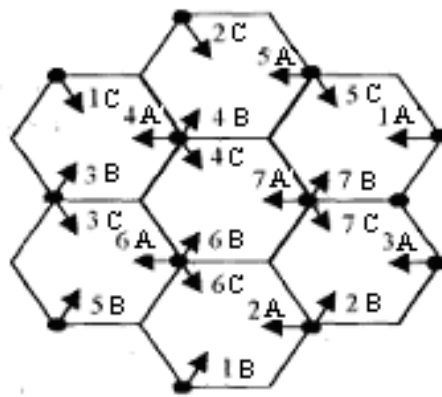


Рисунок 2.1 – Напрямки випромінювання антен із секторними ДНА

Частотний план (розподіл частотних каналів) СМЗ АМРС наведений на рис. 2.2.

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	1C	2C	3C	4C	5C	6C	7C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84
85	86	87	88															103	104	105
106	107	108	109															124	125	126
127	128	129	130															145	146	147
148	149	150	151															166	167	168
169	170	171	172															187	199	190
190	191	192	193															208	209	210
211	212	213	214															229	230	231
232	233	234	235															230	251	252
253	254	255	256															271	272	273
274	275	276	277															292	293	294
295	296	297	298															313	314	315
316	317	318	309															334	335	336
337	338	339	340															355	356	357
358	359	360	361															376	377	378
379	380	381	382															397	398	399
400	401	402	403															418	419	420
421	422	423	424															439	440	441
442	443	444	445															460	461	462
463	464	465	466															481	482	483
484	485	486	487															502	503	504
505	506	507	508															523	524	525
526	527	528	529															544	545	546
547	548	549	550															5665	566	567
568	569	570	571															586	587	588
589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609
610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	628	630
631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651
652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666						

Рисунок 2.2 – Частотний план системи мобільного зв'язку АМРС

Загальну кількість каналів системи (666) поділено на 21 групу, що відповідає загальній кількості секторів. Перші 7 з 21 групи каналів розподілені між секторами А (групи 1А, 2А,..., 7А, де 1,2,...,7 – номери ВС), наступні 7 груп – між секторами В (групи 1В,2В,...,7В) і наступні 7 – між секторами С (групи 1С,2С,...,7С).

Організація управління в системі АМРС (організація вхідних і вихідних з'єднань, естафетної передачі АС і роумінгу) здійснюється практично відповідно до раніше розглянутих протоколів.

Особливістю системи AMPS є використання не одного (як у стандарті NMT), а трьох пілотних сигналів з різними частотами (5970, 6000 і 6030) для контролю якості розмовного каналу. При призначенні абонентській станції робочого каналу їй виділяється один з трьох сигналів SAT (пілот-сигналів). Службова інформація передається дуплексними каналами управління, загальна кількість яких 21. У кожному з них розрізняють прямий (ПКУ) і зворотний (ЗКУ) канали управління.

Передача мовної і службової інформації між БС і ЦС здійснюється сполучними лініями, а між АС і БС – радіоканалами. Причому, передача сигналів вхідних і вихідних викликів, організація роумінгу здійснюється виділеними каналами управління, а передача сигналів управління в режимі "естафетної передачі" здійснюється мовним каналом, у якому переривається розмова на час переключення каналів (в AMPS цей час становить 250 мс).

Інформація по ПКУ передається зі швидкістю 8 кбіт/с безперервним потоком. За відсутності управляючої інформації передається контрольний тест. Необхідність безперервної передачі сигналів по ПКУ обумовлена тим, що АС у черговому режимі налаштовується на канал управління з найбільшим рівнем (тобто на найближчу БС).

Структура службового повідомлення (кадру) стандартизована. В його складі міститься інформація (сигнали) для тактової і циклової синхронізації і вся інша інформація, необхідна для управління системою.

До складу обладнання входять ЦС (ЦКРЗ), БС і АС. Основні функції ЦКРЗ: управління всією системою; контроль за роботою системи; забезпечення вхідних і вихідних з'єднань; забезпечення естафетної передачі і комутація каналів.

Протокол взаємодії між ЦС (ЦКРЗ) і ТМЗК реалізується за програмою, що зберігається в пристрої пам'яті центрального процесора.

Стандарти аналогових СМЗ створювалися в багатьох країнах незалежно один від одного, що привело до їхньої несумісності. Крім того, цим системам властиві такі недоліки, як відносно низька пропускна здатність (ємність), відсутність засекречування переданих повідомлень, неможливість взаємодії з цифровими мережами з інтеграцією служб (ЦМІО) і системами передачі даних (СПД).

Багато недоліків систем 1-го покоління (фаза розвитку мобільних систем 1G) усунуті в системах 2-го покоління (фаза розвитку 2G) – у цифрових СМЗ. Розроблені і широко використовуються цифрові СМЗ, які базуються на стандартах GSM, D-AMPS, IDC і CDMA. Нині почали використовуватися системи 3-го покоління (3G) і 4-го покоління (4G).

## **2.4 Еволюція систем мобільного зв'язку**

В 1982 році розпочалися роботи з розробки єдиного європейського стандарту цифрового мобільного зв'язку в діапазоні 900 МГц. Внаслідок цього з'явився стандарт GSM (Global for Mobile Communications – глобальна система для мобіль-

ного зв'язку) несумісного з аналоговими системами. Перша досвідчена мережа стандарту GSM-900 з'явилася лише в 1990 році, через рік – в 1991 році – з'явилася система стандарту DCS-1800 (Digital Cellular System 1800МГц – цифрова стільникова система 1800 МГц). В експлуатацію перша система мобільного зв'язку стандарту GSM була введена в 1992 року в Німеччині.

Використання багатофункціональної пакетної радіомережі GPRS (General Packet Radio Service) дозволило значно збільшити швидкість передачі даних. Поява GPRS стала тим кроком, який дав мобільному абоненту можливість мобільного доступу до Інтернету з використанням пакетної передачі даних.

Ще одним способом підвищення швидкості стало використання в радіоінтерфейсах абсолютно нового виду модуляції – восьмипозиційної фазової маніпуляції ФМ-8, при якій кожен символ передавався по радіоінтерфейсу комбінацією з трьох інформаційних біт. Цей метод отримав назву «збільшення швидкості передачі у стандарті GSM» – EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution).

В 1990 році у США був затверджений стандарт цифрового зв'язку D-AMPS (цифрова AMPS). У мережі D-AMPS дворезимна абонентська станція може працювати як в аналоговому, так і у цифровому режимах. Одночасно американська компанія Qualcomm розпочала розробку нового стандарту мобільного зв'язку, заснованого на технології шумоподібних сигналів і кодовому поділі каналів CDMA (Code Division Multiple Access – множинний доступ з кодовим поділом). Перша мобільна система, що заснована на цьому стандарті (IS-95), вступила в експлуатацію в 1995 році в Гонконгу.

Впровадження цифрових систем (мобільних систем зв'язку 2-го покоління 2G) на світовому ринку проходило за тривалий час і розвивалося винятково шляхом "витіснення" старих технологій аналогових систем, з якими не передбачалося забезпечення сумісності.

Дотепер до складу сімейств мереж радіодоступу входять п'ять стандартів:

- IMT- DS, відомий як широкосмуговий CDMA, або WCDMA (UTRA- FDD);
- IMT-TC, відомий як UTRA TDD, або TD-SCDMA;
- IMT- MC, відомий як cdma 2000 (подаліший розвиток системи IS-95);
- IMT- SC, відомий як UWC 136, або EDGE (варіація стандарту D-AMPS);
- IMT- FT, відомий як DECT.

Три з п'яти стандартів (IMT DS, IMT TC, IMT MC) засновані на технології CDMA, а два (IMT SC, IMT FT) – на технології TDMA.

У системах 3-го покоління передбачаються використання двох методів дуплексного рознесення: FDD у парних смугах і TDD в непарних. В режимі FDD, як базовий варіант обраний метод радіодоступу WCDMA, а в режимі TDD – метод TD-CDMA.

При чіповій швидкості 3,84 Мчп/с (базова швидкість) мінімальна необхідна смуга для роботи системи 3-го покоління дорівнює 2x5МГц (FDD) і 5 МГц (TDD).

У табл. 2.2 подана порівняльна характеристика стандартів мобільного зв'язку.

Швидко зростаючі потреби в мультимедійних послугах (передача відео, мобільний доступ до Internet тощо.) призвели до створення систем 3-го покоління, реалізованих на базі трьох різновидів технології CDMA: cdma 2000, WCDMA і TDMA/CDMA. Північноамериканський стандарт cdma 2000 являє собою подальший розвиток системи cdma One (IS-95), технологія WCDMA – об'єднана пропозиція, що надійшла від Японії (WCDMA) і Європи (UMTS) та ін., технологія TDMA/CDMA – об'єднана пропозиція UTRA TDD (Європи) і TD-SCDMA (Китай).

Паралельно впроваджуються системи мобільного зв'язку 4-го покоління (4G). Ці системи мають забезпечувати гарантовану якість обслуговування на різних рівнях (QoS), швидкість передачі на рівні 115 Мбіт/с. Внаслідок цього можливість високоякісної передачі великого обсягу різноманітної інформації істотно зростає.

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика стандартів мобільного зв'язку

ПОКОЛІННЯ	1G	2G	2.5G	3G	3.5G	4G
Стандарти	AMPS, TACS, NMT і др.	TDMA, CDMA, GSM, PDC	GPRS, EDGE, 1xRTT	WCDMA, cdma2000, UMTS	HSDPA	єдиний стандарт
Початок розробок	1970	1980	1985	1990	<2000	2000
Реалізація	1984	1991	1999	2002	2006-2007	2010-2016
Сервіси	аналоговий стандарт, синхронна передача даних зі швидкістю до 9,6 кбіт/с	цифровий стандарт, підтримка коротких повідомлень (SMS), швидкість передачі даних 14,4 кбіт/с	пакетна передача даних зі швидкістю до 384 кбіт/с	ще більша пропускна здатність каналу, швидкості передачі даних до 2 Мбіт/с	збільшення швидкості в мережі третього покоління 3-14 Мбіт/с	широко смуговість каналів, IP-орієнтована мережа, підтримка мультимедіа, швидкості від 100Мбіт/с до 1 Гбіт/с

Сумісне використання GPRS і EDGE дозволило підвищити максимальну швидкість передачі даних у мережі GSM до 384 кбіт/с. Отже, значне збільшення попиту на мультимедійні послуги і потребу у високошвидкісному мобільному доступі до мережі інтернет дали поштовх до розробки і впровадження систем третього та четвертого поколінь.

## 3 МОБІЛЬНІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ДРУГОГО ПОКОЛІННЯ (2G)

### 3.1 Стислий огляд мобільних систем зв'язку другого покоління (2G)

До систем другого покоління (2G) належать цифрові СМЗ. Порівнянно з аналоговими вони надають абонентам більший набір послуг і забезпечують більш високу якість зв'язку. Серед цих систем найширше використання отримали системи стандартів GSM-900, D-AMPS (IS-136), IDC і CDMA (IS-95). Технічні характеристики систем зазначених стандартів наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні характеристики цифрових мобільних систем

Стандарт характеристика	GSM-900	D-AMPS (IS-136)	JDC	CDMA (IS-95)
Метод доступу	МДЧВР (TDMA)	МДЧВР (TDMA)	МДЧВР (TDMA)	МДКР (CDMA)
Робочий діапазон частот на передачу, МГц від БС	935...960	969...894	940...956 1447...1459 1501...1513	869...894
Робочий діапазон частот на передачу, МГц від АС	890...915	824...949	810...826 1429...1441 1453...1465	824...849
Загальна смуга частот кожного піддіапазону, МГц	25	25	16/12/12	25
Рознесення дуплексних каналів, МГц	45	45	130/18/52	45
Ширина смуги частотного каналу, кГц	200	30	25	1250
Кількість дуплексних часових каналів на одну несучу	8(16)	3	3	—
Кількість дуплексних кодових каналів на несучу	—	—	—	64 (на БС) 1 (на АС)
Еквівалентна смуга частот на один часовий канал, кГц	25	10	8,3	—
Загальна швидкість передачі в радіоканалі, кбіт/с	270	48	42	1228,8
Радіус осередку, км	0,5...35	0,5...20	0,5...20	0,5...25

Мін. величина відносини сигнал/шум, дБ	9	16	13	6...7
---	---	----	----	-------

Система стандарту GSM використовується у всіх європейських країнах, в тому числі і в Україні. На базі цього стандарту створена система GSM-1800 (DCS-1800), що відрізняється від системи GSM-900 лише робочим діапазоном частот і енергетичними характеристиками приймально-передавальної апаратури. В цій системі передбачене використання мікростільників з радіусом 100...500 м, що дозволяє збільшити повторюваність частот на території обслуговування і різко (у 5...10 разів) збільшити ємність системи.

Стандарт D-AMPS (IS-136) розроблений у США для роботи у тому самому діапазоні 800 кГц, що і аналогова система AMPS, і передбачає можливість взаємодії цих систем (АС можуть працювати як в аналоговому, так і в цифровому режимі). Цифрова обробка сигналів дозволила організувати в системі D-AMPS три мовних канали на одній несучій з рознесенням несучих (смугою частот одного каналу) 30 кГц.

Стандарт JDC створений і використовується переважно в Японії. Від стандарту D-AMPS він відрізняється робочим діапазоном частот, величиною дуплексного рознесення піддіапазонів передачі і прийому, частотним рознесенням (смугою частот) каналів.

Використання у цифрових СМЗ нових системних і технічних рішень дозволило істотно поліпшити характеристики цих систем порівнянно з аналоговими, розширити кількість і поліпшити якість телекомунікаційних послуг, що надаються, забезпечити можливість взаємодії з ЦМІО і СПД.

У розглянутих стандартах СМЗ використовується багатостанційний доступ з часовим розподілом каналів (БДЧВР). У стандарті CDMA використовується багатостанційний доступ з кодовим розподілом каналів БДКР (CDMA). На базі цього стандарту побудована і з 1995 р. експлуатується система IS-95. На даний момент системи цього стандарту експлуатуються у багатьох країнах. Дотепер технологія CDMA у нашій країні використовувалася для забезпечення бездротового абонентського доступу (бездротової телефонізації житлових приміщень, офісів і приміщень державних і комерційних структур). Нині в Україні, як і в інших країнах Європи, почали використовувати мобільні системи 3-го покоління стандарту UMTS (UTRA).

Найбільше розповсюдження мають системи стандартів GSM і CDMA. Нині передбачене використання мобільних систем 3-го покоління стандарту UMTS (UTRA).

### **3.2 Система мобільного зв'язку з доступом TDMA стандарту GSM-900**

Стандарт GSM-900 передбачає роботу передавачів у двох діапазонах частот: 890-915 МГц (для мобільних станцій – MS), 935-960 МГц (для базових станцій – BTS).

Кожна з двох смуг по 25 МГц, виділених для GSM-900, поділяється на частотні канали по 200 кГц у кожному. Це дозволяє організувати в GSM-900 124 дуплексних частотних каналів. Дуплексне рознесення дорівнює 45 МГц. Кожній базовій станції виділяється від 1 до 15 частотних каналів. У стандарті GSM використовується доступ з БДЧВР (TDMA), що дозволяє на одній несучій частоті (в одному частотному каналі) розмістити 8 часових каналів.

Обробка мови здійснюється в рамках прийнятої системи перервчастої передачі мови (DTX), що забезпечує включення передавача тільки за наявності мовного сигналу і відключення передавача в паузах і наприкінці розмови. Як мовноперетворюючий пристрій обрано мовний кодек з регулярним імпульсним збуджуванням/довгостроковим передбаченням і лінійним предикативним кодуванням з передбаченням (RPE/LTR-LTP-кодек). Загальна швидкість перетворення мовного сигналу 13 кбіт/с. При передачі повідомлень у системі передбачене автоматичне регулювання потужності передавача для забезпечення необхідної якості зв'язку.

Для захисту від помилок інформації, що передається, застосовується завадостійке кодування (циклічний код, згортковий код) з перемеженням розрядів. Для перетворення пакетів помилок у відповідну кількість одиночних кожен блок з 456 біт піддається перемеженню. Після перемеження відбувається формування TDMA-кадра, потім імпульсна послідовність через фільтр надходить на частотний модулятор передавача. Підвищення ефективності кодування і перемеження досягається повільним переключанням робочих частот у процесі сеансу зв'язку (зі швидкістю 217 перемикачів за секунду).

Для боротьби з інтерференційними завмираннями прийнятих сигналів, викликаних багатопробієвим РРХ в умовах міста, в апаратурі використовуються автоматичні коректори (еквалайзери) імпульсних сигналів, що приймаються.

В стандарті GSM використовується гаусова частотна модуляція (GMSK). При цьому вигляді модуляції сигнал на виході модулятора аналогічний сигналу, що отримується внаслідок частотної модуляції з дискретною зміною частоти.

В приймачі мовний сигнал відновлюється після обробки цифрового сигналу (демодуляція, депеременеження, декодування). Якість передачі мови в системі GSM-900 набагато вища, ніж в аналогових СМЗ.

У стандарті GSM досягається високий рівень безпеки передачі повідомлень; здійснюється шифрування повідомлень за алгоритмом шифрування з відкритим ключем (RSA).

В цілому система зв'язку стандарту GSM розрахована на використання у різних сферах. Вона надає користувачам широкий діапазон послуг і можливість застосовувати різноманітне устаткування для передачі мовних повідомлень і даних, сигналів виклику і аварійних сигналів; розрахована на підключення до телефон-

них мереж загального користування (PSTN), мереж передачі даних (PDN) і цифрових мереж з інтеграцією служб (ISDN).

Основні характеристики стандарту GSM наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні характеристики стандарту GSM-900

Найменування характеристик	Значення
Частоти передачі мобільної станції і прийому абонентської станції, МГц	890-915
Частоти прийому мобільної станції і передачі базової станції, МГц	935-960
Дуплексне рознесення частот прийому і передачі, МГц	45
Швидкість передачі повідомлень у радіоканалі, кбіт/с	270, 833
Швидкість перетворення мовного кодека, кбіт/с	13
Ширина смуги каналу зв'язку, кГц	200
Максимальна кількість частотних каналів зв'язку	124
Максимальна кількість каналів, що організуються в базовій станції	16-20
Вид модуляції	GMSK
Індекс модуляції	BT 0,3
Ширина смуги передмодуляційного гауссового фільтра, кГц	81,2
Кількість стрибків за частотою в секунду	217
Вид мовного кодека	RPE/LTP
Максимальний радіус комірки, км	до 35
Схема організації каналів	комбінована TDMA/FDMA

Поруч з СМЗ стандарту GSM-900 використовується СМЗ стандарту DCS-1800.

### 3.3 Особливості стандарту DCS-1800

Глобальна система мобільного зв'язку DCS-1800 є модифікацією стандарту GSM-900. Система стандарту DCS-1800 працює в діапазоні частот 1710...1785 МГц для передачі абонентськими станціями і 1805...1880 МГц – для передачі базовими станціями. У зазначеному діапазоні організується 374 дуплексних частотних каналів зі смугою частот 200 кГц кожен з дуплексним розносом 95 МГц. Стандарт DCS -1800 передбачає можливість використання дводіапазонних абонентських (мобільних) станцій MS, які працюють у кожному зі стандартів DCS-1800 і GSM-900, що у свою чергу дозволяє оператору оптимізувати частотний ресурс.

У системі стандарту DCS-1800 передбачений фіксований розподіл частот між базовими станціями. Оскільки стандарт DCS-1800 порівнянно зі стандартом GSM-



900 використовує більш високочастотний діапазон, то можливий максимальний радіус комірки через збільшення згасання становить близько 10км (у стандарті GSM-900 – 35 км).

Як і у стандарті GSM-900, у стандарті DCS -1800, на кожній несучій розміщується 8 часових каналів. Організація каналів, формування сигналів, метод модуляції радіосигналу, методи захисту від помилок, використання повільних стрибків за частотою в обох стандартах однакові.

### 3.4 Склад і призначення обладнання мобільної системи зв'язку стандарту GSM

Структурна схема CM3 стандарту GSM подана на рис. 3.1.

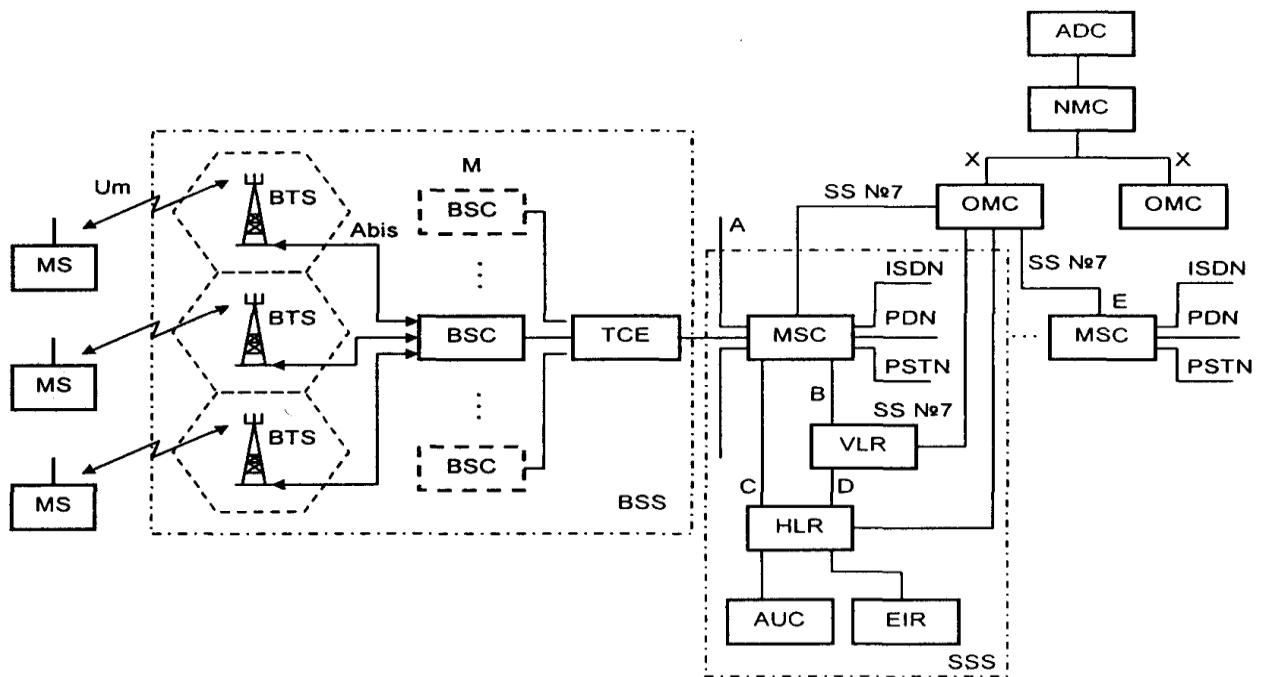


Рисунок 3.1 – Структурна схема устаткування мережі стандарту GSM

До складу мережі стандарту GSM входять MSC (Mobile Switching Centre) – центр комутації мобільного зв'язку; BSS (Base Station System) – підсистема базових станцій (BTS); контролер базових станцій (BSC); OMC (Operations and Maintenance Centre) – центр управління і обслуговування; NMC – центр управління мережею; MS (Mobile Stations) – мобільні станції; різні додаткові системи та пристрої.

Особливістю стандарту GSM-900 є використання підсистем базових станцій (BSS). До складу BSS входять контролер базових станцій (BSC), базові станції (BTS) і транскодер (TCE). До складу кожної BTS входять три або шість базових прийомо-передавачів, які на схемі не показані. Кожен з трьох (або шести) прийо-

мо-передавачів, розташованих в одному осередку, які замикаються на загальний BSC, обслуговує свій 120 градусний (або 60 градусний) азимутальний сектор.

Кожна BTS містить обладнання для виконання необхідних операцій всередині одного осередка. Це переважно приймально-передавальна апаратура, яка забезпечує зв'язок з MS, кодування переданої інформації і управління у процесі естафетної передачі MS.

Функціональне спряження елементів системи здійснюється рядом інтерфейсів  $U_m$ , *A-bis* тощо. Всі мережні функціональні компоненти у стандарті GSM взаємодіють відповідно до системи сигналізації SS N 7.

Центр комутації мобільного зв'язку (MSC) обслуговує групу комірок і забезпечує всі необхідні види з'єднань у процесі роботи мобільних станцій. MSC являє собою інтерфейс між фіксованими мережами (PSTN, PDN, ISDN і тощо.) і мережею мобільного зв'язку. Кожен MSC забезпечує обслуговування абонентів, розташованих у межах певної географічної зони. MSC управляє процедурами встановлення виклику і маршрутизації. Крім виконання функцій звичайної комутаційної станції, на MSC покладають функції комутації радіоканалів. До них належать "естафетна передача", під час якої досягається безперервність зв'язку при переміщенні абонентської станції з комірки до комірки, і переключення робочих каналів у комірки з появою високого рівня завад або несправностей.

MSC формує дані, необхідні для виписки рахунків за надані мережею послуги зв'язку, накопичує дані по розмовах, що відбулися, і передає їх у центр розрахунків (білінг-центр). MSC становить також статистичні дані, необхідні для контролю роботи й оптимізації мережі.

MSC підтримує також процедури безпеки, застосовувані для управління доступами до радіоканалів.

MSC не тільки бере участь в управлінні викликами, але також управляє процедурами реєстрації місця розташування і передачі управління, крім передачі управління в підсистемі базових станцій (BSS). Реєстрація місця розташування мобільних станцій необхідна для забезпечення доставки виклику рухомих абонентів, що переміщуються, від абонентів телефонної мережі загального користування або інших рухомих абонентів. Процедура передачі виклику дозволяє зберігати з'єднання і забезпечувати ведення розмови, коли мобільна станція переміщається з однієї зони обслуговування в іншу. Передача викликів в осередках, що управляються одним контролером базових станцій (BSC), здійснюється цим BSC. Коли передача викликів здійснюється між двома мережами, що управляються різними BSC, то первинне управління здійснюється в MSC. У стандарті GSM також передбачені процедури передачі виклику між мережами (контролерами), що ставляться до різних MSC.

Центр комутації здійснює постійне спостереження за мобільними станціями, використовуючи реєстри положення (HLR) і переміщення (VLR), у яких зберігаються як довгострокові, так і тимчасові дані, що використовувались у процесі ро-

боти системи. В HLR зберігаються відомості про всіх абонентів, зареєстрованих у даній системі, і про види послуг, які можуть бути їм надані. У цьому ж HLR реєструється місце розташування абонента для організації його виклику і реєстрації наданих йому послуг.

Регістр переміщення (VLR) містить приблизно такі самі відомості про абонентів – гостей, тобто про абонентів, зареєстрованих у зоні обслуговування іншої системи, але користуються на даний момент послугами мобільного зв'язку даної системи (на час роумінгу).

До складу довгострокових даних, що зберігаються в реєстрах HLR і VLR, входять:

- MSI – міжнародний ідентифікаційний номер мобільного абонента;
- номер рухомої станції в міжнародній мережі ISDN;
- категорія мобільної станції;
- ключ аутентифікації;
- види забезпечення допоміжними службами;
- індекс закритої групи користувачів;
- код блокування закритої групи користувачів;
- склад основних даних, які можуть бути передані;
- оповіщення абонента, що викликає;
- ідентифікація номера абонента, що викликається;
- графік роботи;
- оповіщення викликуваного абонента;
- контроль сигналізації при з'єднанні абонентів;
- властивості (засоби) закритої групи абонентів;
- пільги закритої групи користувачів;
- заборонені вихідні виклики в закритій групі користувачів;
- максимальна кількість абонентів;
- паролі, що використовуються;
- клас пріоритетного доступу;
- заборонені вхідні виклики в закритій групі абонентів (тільки в HLR).

До складу тимчасових даних, що зберігаються в HLR, входять:

- параметри аутентифікації і шифрування;
- тимчасовий номер мобільної станції, що призначається VLR;
- адреси реєстрів переміщення VLR;
- зони переміщення мобільних абонентів;
- номер осередка при естафетній передачі;
- реєстраційний статус;
- таймер відсутності відповіді (відключення з'єднання);
- склад використовуваних в цей момент паролів;
- активність зв'язку.

До складу тимчасових даних, які зберігаються в VLR, входять:

- TMSI – тимчасовий міжнародний ідентифікаційний номер користувача;
- ідентифікатори зони розташування;
- вказівки з використання основних служб;
- номер осередка при естафетній передачі;
- параметри аутентифікації і шифрування.

Практично HLR являє собою довідкову базу даних про постійно прописаних до мережі абонентів. У ній містяться розпізнавальні номери й адреси, а також параметри дійсності абонентів, склад послуг зв'язку, спеціальна інформація про маршрутизацію. Ведеться реєстрація даних про роумінг (блукання) абонента, включаючи дані про тимчасовий ідентифікаційний номер мобільного абонента (TMSI) і відповідній VLR.

До даних, що містяться в HLR, мають дистанційний доступ всі MSC і VLR мережі і, якщо в мережі є декілька HLR, у базі даних міститься тільки один запис про абонента, тому кожен HLR являє собою певну частину загальної бази даних мережі про абонентів. Доступ до бази даних про абонентів здійснюється за номером IMSI або MSISDN (номеру мобільного абонента в мережі ISDN). До бази даних можуть отримати доступ MSC або VLR, які висуваються до інших мереж, в рамках забезпечення міжмережного роумінгу абонентів.

Регістр переміщення VLR забезпечує контроль за пересуванням рухомої станції від зони до зони. За допомогою реєстра VLR досягається функціонування рухомої станції за межами зони, яку контролює HLR. Коли в процесі переміщення рухома станція переходить із зони дії одного контролера базової станції BSC, що поєднує групу базових станцій, до зони дії іншого BSC, вона реєструється новим BSC, і в VLR заноситься інформація про номер області зв'язку, що забезпечить доставку викликів рухомої станції. VLR містить такі самі дані, як і HLR, однак ці дані містяться у VLR тільки доти, поки абонент перебуває в зоні, яка контролюється VLR.

Для збереження даних, що перебувають у HLR і VLR, у випадку збоїв передбачений захист пристроїв пам'яті цих реєстрів.

В мережі мобільного зв'язку GSM комірки групуються в географічні зони (LA), яким привласнюється свій ідентифікаційний номер (LAC). Кожен VLR містить дані про абонентів у декількох LA. Коли рухомий абонент переміщається з однієї LA в іншу, дані про його місцезонашування автоматично оновлюються в VLR. Якщо стара і нова LA знаходяться під управлінням різних VLR, то дані на старому VLR стираються після їхнього копіювання в новий VLR. Поточна адреса VLR абонента, що міститься в HLR, також оновлюється.

VLR забезпечує також присвоєння номера "блукаючої" рухомої станції (MSRN). Коли рухома станція приймає вхідний виклик, VLR вибирає його MSRN

і передає його на MSC, що здійснює маршрутизацію цього виклику до базових станцій, що знаходиться поруч з рухомим абонентом.

VLR також розподіляє номери передачі управління при передачі з'єднань від одного MSC до іншого. Крім того, VLR керує розподілом нових TMSI і передає їх у HLR. Він також управляє процедурами встановлення дійсності під час обробки виклику. За рішенням оператора TMSI може періодично змінюватися для ускладнення процедури ідентифікації абонентів. Доступ до бази даних VLR може забезпечуватися через IMSI, TMSI або MSRN. У цілому VLR являє собою локальну базу даних про мобільного абонента для тієї зони, де перебуває абонент, що дозволяє виключити постійні запити в HLR і скоротити час на обслуговування викликів.

Для виключення несанкціонованого входження в мережу застосовуються заходи щодо перевірки дійсності абонента й устаткування.

Кожен абонент отримує свій міжнародний ідентифікаційний номер (IMSI), що записаний у модуль дійсності абонента (SIM-карту) і зберігається в реєстрі положення (HLR). Цей номер використовується для впізнання в центрі аутентифікації (AUC).

З іншого боку, кожній MS привласнюється свій міжнародний ідентифікаційний номер, який записаний у реєстр ідентифікації обладнання (EIR). У цьому реєстрі зберігаються номери MS, власники яких мають право доступу до мережі, а також ті номери, яким з різних причин відмовлено в обслуговуванні (не оплачені послуги, виклики з викраденого радіотелефону тощо.).

EIR – реєстр ідентифікації обладнання містить централізовану базу даних для підтвердження дійсності міжнародного ідентифікаційного номера устаткування рухомої станції (IMEI). Ця база даних ставиться винятково до обладнання рухомої станції. База даних EIR складається зі списків номерів IMEI, організованих у такий спосіб:

**БІЛИЙ СПИСОК** – містить номери IMEI, про які є відомості, що вони закріплені за санкціонованими рухомими станціями.

**ЧОРНИЙ СПИСОК** – містить номери IMEI рухомих станцій, вкрадені або ті яким відмовлено в обслуговуванні з інших причин.

**СІРИЙ СПИСОК** – містить номери IMEI рухомих станцій, в яких існують проблеми, виявлені за даними програмного забезпечення, що не є підставою для внесення в "чорний список".

До бази даних EIR отримують дистанційний доступ MSC даної мережі, а також MSC інших рухомих мереж.

Як і у випадку з HLR, мережа може мати більше одного EIR, при цьому кожен EIR керує певними групами IMEI. До складу MSC входить транслятор, що при отриманні номера IMEI повертає адресу EIR, що керує відповідною частиною бази даних про обладнання.

Отже, реєстри HLR, VLR, EIR і центр аутентифікації AUC утворюють базу даних, в якій перебуває вся необхідна інформація про абонентів і обладнання, а комплекс у складі MSC і бази даних становить підсистему комутації.

OMC – центр експлуатації і технічного обслуговування, є центральним елементом мережі GSM, що забезпечує контроль і управління іншими компонентами мережі та контроль якості її роботи.

OMC забезпечує функції обробки аварійних сигналів, призначених для сповіщення обслуговуючого персоналу, і реєструє відомості про аварійні ситуації в інших компонентах мережі. Залежно від характеру несправності OMC дозволяє забезпечити її усунення автоматично або при активному втручанні персоналу. OMC може забезпечити перевірку стану обладнання мережі та проходження виклику рухомої станції. OMC дозволяє виконувати управління навантаженням у мережі. Функція ефективного управління включає збір статистичних даних про навантаження від компонентів мережі GSM, запису їх у дискові файли і виведення на дисплей для візуального аналізу. OMC забезпечує управління змінами програмного забезпечення і базами даних про конфігурації елементів мережі. Завантаження програмного забезпечення в пам'ять можуть відбуватися з OMC в інші елементи мережі або з них в OMC. Кожен OMC мережі з'єднується з OMC інших регіонів або мереж.

NMC – центр управління мережею забезпечує раціональне ієрархічне управління мережею GSM. Він забезпечує експлуатацію і технічне обслуговування на рівні всієї мережі, що підтримується центрами OMC, які відповідають за управління регіональними мережами. NMC забезпечує управління трафіком у всій мережі і забезпечує диспетчерське управління мережею при складних аварійних ситуаціях, як наприклад, вихід з ладу або перевантаження вузлів. Крім того, він контролює стан пристроїв автоматичного управління, задіяних в обладнанні мережі, і відображає на дисплеї стан мережі для операторів NMC. Це дозволяє операторам контролювати регіональні проблеми і, за необхідності, надавати допомогу OMC, відповідальному за конкретний регіон. Таким чином, персонал NMC, обізнаний про стан всієї мережі, може давати вказівки персоналу OMC на зміну стратегії вирішення регіональної проблеми.

BSS – обладнання базової станції, складається з контролера базової станції (BSC) і приймально-передавальних базових станцій (BTS). Контролер базової станції може керувати декількома приймально-передавальними блоками. BSS керує розподілом радіоканалів, контролює з'єднання, регулює їхню черговість, забезпечує режим роботи зі стрибучою частотою, модуляцію і демодуляцію сигналів, кодування і декодування повідомлень, кодування мови, адаптацію швидкості передачі для мови, даних і виклику, визначає черговість передачі повідомлень персонального виклику.

BSS разом з MSC, HLR, VLR виконує деякі функції, наприклад: вивільнення каналу, головним чином, під контролем MSC, але MSC може надати запит базовий

станції на забезпечення звільнення каналу, якщо виклик не проходить через радіо-завади. BSS і MSC спільно здійснюють пріоритетну передачу інформації для деяких категорій рухомих станцій.

TCE – транскодер забезпечує необхідні перетворення вихідних сигналів каналів передачі мови і даних MSC (64 кбіт/с ІКМ): стиск, кодування на передачі, декодування і експондування прийнятих сигналів. Внаслідок перетворень швидкість передачі мови, подана в цифровій формі, становить 13 кбіт/с. Цей канал передачі цифрових мовних сигналів є "повношвидкісним". Стандартом передбачається використання напівшвидкісного мовного каналу (швидкість передачі 6,5 кбіт/с).

Транскодер (TCE), зазвичай розташовується разом з MSC, тоді передача цифрових повідомлень у напрямку до контролера базових станцій – BSC ведеться з додаванням до потоку зі швидкістю передачі 13 кбіт/с додаткових бітів до швидкості передачі даних 16 кбіт/с. Потім здійснюється ущільнення 4-х 16-кілобітних каналів у стандартний канал 64 кбіт/с. Так формується 30-канальна ІКМ лінія, що забезпечує передачу 120 мовних каналів. Шістнадцятий канал (64 кбіт/с) виділяється окремо для передачі інформації сигналізації і часто містить трафік SS N7. Іншим каналом (64 кбіт/с) можуть передаватися також пакети даних, що узгоджуються з інтернет протоколом.

Отже, сумарна швидкість передачі за зазначеним інтерфейсом становить  $30 \times 64 \text{ кбіт/с} + 64 \text{ кбіт/с} + 64 \text{ кбіт/с} = 2048 \text{ кбіт/с}$ .

У рамках стандарту GSM прийнято 5 класів AC: від моделі 1-го класу з вихідною потужністю до 20 Вт, що встановлюється на транспортних засобах, до моделі 5-го класу з максимальною вихідною потужністю до 0.8Вт.

### **3.5 Мережні інтерфейси у системах стандарту GSM**

Під час проектування цифрових систем мобільного зв'язку стандарту GSM розглядаються інтерфейси трьох видів: для з'єднання із зовнішніми мережами; між різним обладнанням мереж GSM; між мережею GSM і зовнішнім обладнанням.

Інтерфейси із зовнішніми мережами.

З'єднання MSC з телефонною мережею загального користування здійснюється по лінії зв'язку 2 Мбіт/с відповідно до системи сигналізації SS N 7.

Для з'єднання з мережами ISDN передбачаються чотири лінії зв'язку 2 Мбіт/с, які підтримуються системою сигналізації SSN7.

З'єднання з міжнародними мережами GSM здійснюються на основі протоколів систем сигналізації (SCCP) і міжмережною комутацією мобільного зв'язку (GMSC).

Внутрішні GSM – інтерфейси.

Інтерфейс між MSC і BSS (А-інтерфейс) забезпечує передачу повідомлень для управління BSS, передачі виклику, управління пересуванням. А-інтерфейс поєднує канали зв'язку і лінії сигналізації. Останні використовують протокол SS N7.

Інтерфейс між MSC і HLR поєднаний з VLR (У-інтерфейс). Коли MSC необхідно визначити місце розташування рухомої станції, він звертається до VLR. Якщо рухома станція ініціює процедуру місцевизначення з MSC, він інформує свій VLR, що заносить всю інформацію, яка змінюється, у свої реєстри. Ця процедура відбувається завжди, коли MS переходить із однієї області місцевизначення в іншу. У випадку, якщо абонент виконує запит спеціальних додаткових послуг або змінює деякі свої дані, MSC також інформує VLR, що реєструє зміни і, за необхідності, повідомляє про них HLR.

Інтерфейс між MSC і HLR (С-інтерфейс) використовується для забезпечення взаємодії між MSC і HLR. MSC може надіслати вказівку (повідомлення) HLR наприкінці сеансу зв'язку для того, щоб абонент міг оплатити розмову. Коли мережа фіксованого телефонного зв'язку не здатна виконати процедуру встановлення виклику абонента, MSC може запросити HLR з метою визначення місця розташування абонента для того, щоб послати виклик MS.

Інтерфейс між HLR і VLR (D-інтерфейс) використовується для розширення обміну даними про мобільну станцію, управління процесом зв'язку. Основні послуги, які надаються абоненту, полягають у можливості передавати або приймати повідомлення незалежно від місця розташування абонента. Для цього необхідно поповнювати дані HLR. З реєстра VLR надається інформація HLR про положення MS, здійснюється управління нею і перепривласнювання їй номера в процесі блукання, посилаються всі необхідні дані для забезпечення обслуговування мобільної станції.

Інтерфейс між MSC (Е-інтерфейс) забезпечує взаємодія між різними MSC при здійсненні процедури HANDOVER – "передачі" абонента із зони в зону під час його руху в процесі сеансу зв'язку без її переривання.

Інтерфейс між BSC і BTS(A-bis інтерфейс) забезпечує зв'язок BSC з BTS і визначений Рекомендаціями ETSI/GSM для процесів встановлення з'єднань і управління обладнанням. Передача здійснюється зі швидкістю 2,048 Мбіт/с. Можливе використання фізичного інтерфейсу зі швидкістю 64 кбіт/с.

Інтерфейс між BSC і OMC (О-інтерфейс), призначений для зв'язку BSC з OMC, використовується в мережах з пакетною комутацією МККТТ Х.25.

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

З'єднання мережі з OMC можуть забезпечуватися системою сигналізації МККТТ SS N7 або мережним протоколом ІР.



### 3.6 Структура TDMA-кадрів

Передача інформації здійснюється кадрами тривалістю по 4,615 мс. Формат кадру стандарту GSM-900 наведений на рис. 3.2.

Кожен кадр складається з 8 слотів по 577 мкс. З TDMA-кадрів формуються мультикадри двох видів: мультикадри каналу трафіка тривалістю 120 мс (26 кадрів) і мультикадри каналів управління тривалістю 235 мс (51 кадр).

Для передачі інформації використовуються 24 кадри мультикадрів першого типу. Один з двох, що залишилися, використовується для управління передачею сигналів, а другий – поки не використовується.

У стандарті GSM-900 передбачена можливість формування інформаційних каналів з половинною швидкістю передачі, при цьому інформація кожного мовного каналу передається через кадр. При використанні напівшвидкісного режиму пропускна здатність системи подвоюється.

Мультикадри поєднуються в суперкадри. До складу одного суперкадру входять 51 мультикадр каналу трафіка, або 26 мультикадрів каналу управління. При цьому тривалість суперкадру дорівнює 6,12 с. Далі з 2048 суперкадрів (2 715 648 кадрів) формується гіперкадр тривалістю 3г. 28 хв. 53,760 с. Номер кадру в межах гіперкадру використовується як вхідний параметр при криптографічному захисті інформації, що передається.

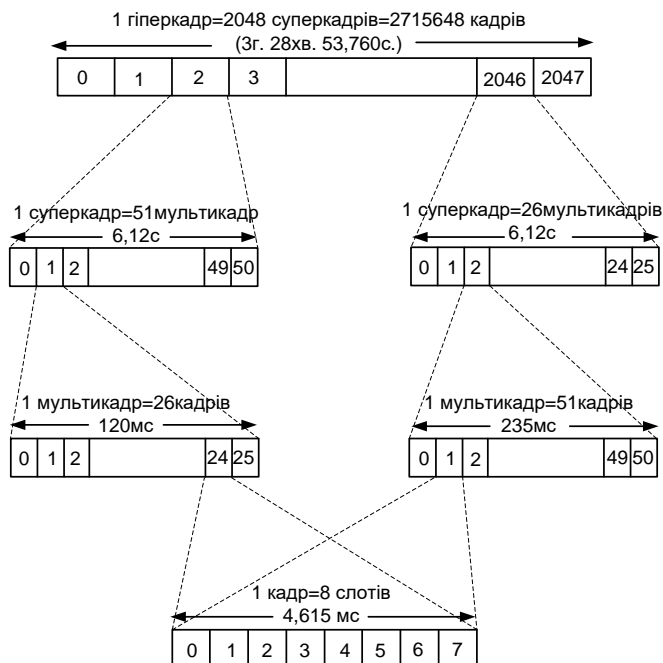


Рисунок 3.2 – Формат кадру стандарту GSM-900

При передачі кожного чергового кадру (тобто через 4,615 мс) несуча частота змінюється за псевдовипадковим законом із збереженням дуплексного розносу 45 МГц. Активним абонентським станціям, що працюють в одній комірці, призначається та сама частотно-часова матриця, але з різним частотним зсувом для кожної з них. У суміжних комірках використовуються різні частотно-часові матриці.

Цифровий інформаційний потік являє собою послідовність пакетів, які розміщуються у відповідні часові слоти. Тривалість кожного з пакетів (0,546 мс) коротше тривалості слоту (0,577 мс), що забезпечує надійний прийом за наявності дисперсії в каналі. Слот містить 156,25 біт; тривалість одного біта дорівнює 3,69 мкс, при цьому швидкість передачі по радіоканалу становить 270,833 кбіт/с.

За структурою та інформаційним змістом розрізняють 5 типів слотів:

NB – нормальний часовий інтервал;

FB – інтервал підстроювання частоти;

SB – інтервал кадрової синхронізації;

DB – настановний інтервал;

AB – інтервал доступу.

Структура слотів подана на рис. 3.3.

слот NB	TB 3	ED 57	SF 1	TS 26	SF 1	ED 57	TB 3	GP 8,25
слот FB	TB 3	фіксований набір 142 біта					TB 3	GP 8,25
слот SB	TB 3	ED 39	ETS 64		ED 39	TB 3	GP 8,25	
слот DB	TB 3	бітова суміш 142 біта					TB 3	GP 8,25
слот DB	ET 8	TS 41		ED 36	TB 3	GP 68,25		

Рисунок 3.3 – Структура слотів TDMA-кадрів

Слот NB використовується для передачі інформації каналу трафіка. Слот містить 114 біт зашифрованого повідомлення (ED), поділеного на два підблока по 57 біт, 26 біт навчальної послідовності (TS), два покажчики (приховані прапорці) по 1 біту (SF), які вказують на ознаки переданої інформації (трафіка або сигналізації), два захисних блоки (TB) по 3 біта і захисний інтервал (GP) в 8,25 біт.

Наявність навчальної послідовності дозволяє:

– оцінювати якість зв'язку за частотою появи помилок, що визначаються шляхом порівняння прийнятої послідовності з раніше переданої;

– налагоджувати адаптивний еквалайзер.

Слот FB використовується для передачі немодульованої несучої. Слот містить 142 нульових біта. Повторювані часові інтервали FB утворюють канал встановлення частоти FSSN.

Слот SB використовується для кадрової синхронізації BC і AC. У складі слоту 64-розрядна синхронізуюча послідовність (ETS), дві групи (по 39 біт) зашифровані номер кадру та ідентифікаційний номер BC. Часові інтервали SB утворюють канал синхронізації (SCH) і завжди передаються в парі зі слотами FB.

Слот AB призначений для організації доступу AC до нової BC і складаються із 41 біт синхронізуючої послідовності (TS) та інформаційних 36-ти біт, які надходять від AC. У цьому слоті захисний інтервал збільшений до 68,25 біт. Тривалість захисного інтервалу за часом дорівнює подвійному значенню максимально можливої величині затримки сигналу в слоті, що відповідає максимальній дальності зв'язку, що дорівнює 35 км.

Слот DB призначений для встановлення і тестування каналу зв'язку.

Структура слоту DB збігається зі структурою слоту NB. Контрольні біти та інформація, у переданих бітах відсутні. Встановлюється лише режим роботи передавача.

### **3.7 Організація каналів у системах стандарту GSM**

Для організації двостороннього зв'язку в стандарті GSM-900 використовуються два піддіапазону частоти: 935-960 МГц і 890-915 МГц для передачі інформації в прямому напрямку (прямі канали) від BC до AC і у зворотньому (зворотні канали) – від AC до BC відповідно. У кожному піддіапазоні розміщується по 124 частотних каналів із шириною смуги 200 кГц кожен. Дуплексне рознесення між каналами передачі і прийому дорівнює 45 МГц. У свою чергу в кожному з частотних каналів створюється 8 цифрових каналів (слотів). Отже, у стандарті GSM використовується частотно-часовий множинний доступ (TDMA/FDMA). Часове ущільнення дозволяє на базі 124 частотних каналів організувати  $124 \cdot 8 = 992$  фізичних каналів.

До формування часового фізичного каналу повідомлень і даних групуються в логічні канали. Існують 2 типи логічних каналів:

I – канали зв'язку і передачі даних (2 види);

II – канали управління (9 видів).

На рис. 3.4а і 3.4б представлена класифікація зазначених логічних каналів.

Канали трафіка використовуються для передачі мовних сигналів і даних, є двосторонніми і можуть бути повношвидкісними (при цьому мовні сигнали передаються зі швидкістю 22,8 кбіт/с, а дані – зі швидкостями від 2,4 кбіт/с до 9,6 кбіт/с) або напівшвидкісними (зі швидкостями передачі мовних сигналів 11,4

кбїт/с, даних – 2,4 і 4,8 кбїт/с). Напївшвидкїсний режим передачі забезпечується шляхом організації каналів трафіка зі слотів непарних або парних кадрів.

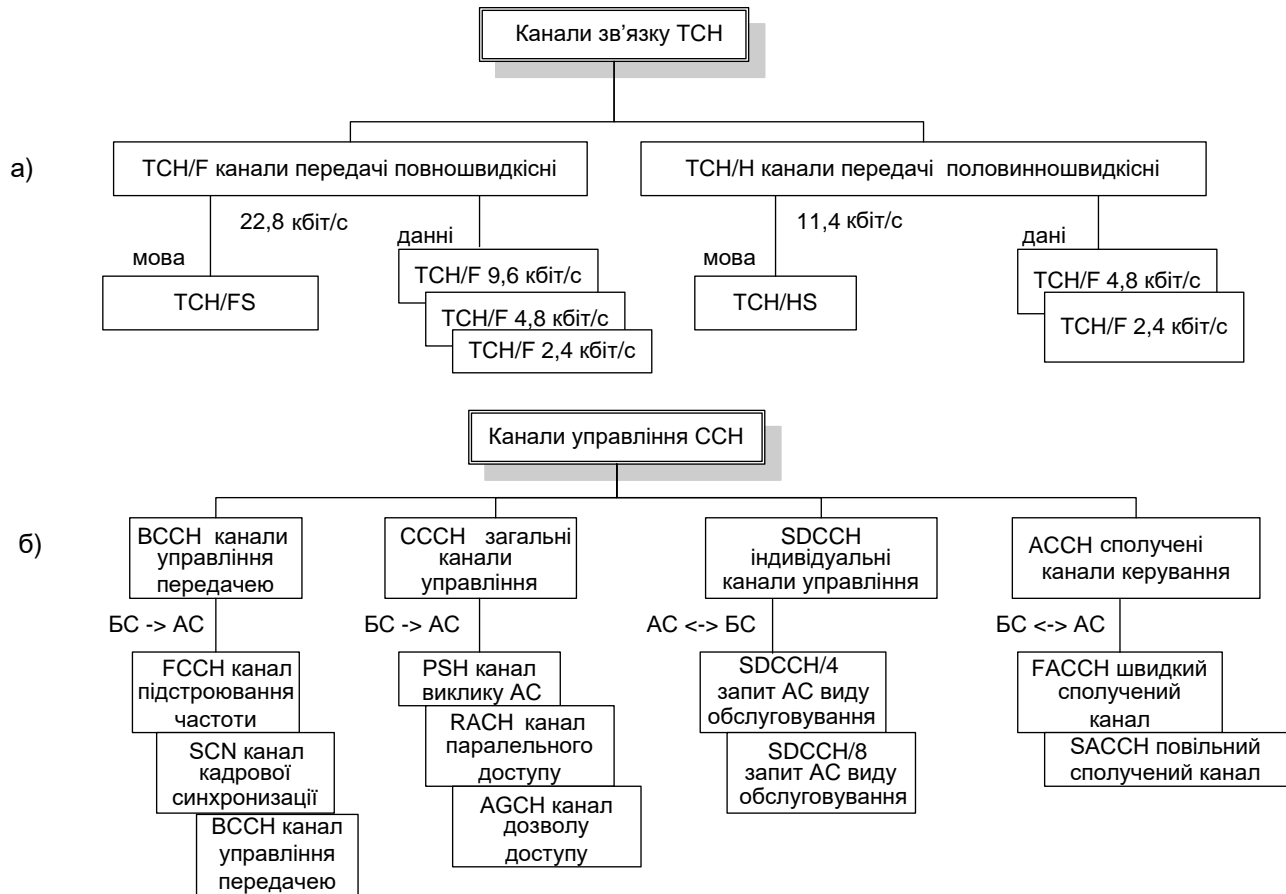


Рисунок 3.4 – Класифікація логічних каналів стандарту GSM

Канали управління забезпечують передачу сигналів управління і синхронізації. Розрізняють декілька типів каналів управління.

BCCH – канали управління передачею. За цими каналами передаються бездресні (віщальні) сигнали управління від BC до AC, які забезпечують настроювання AC для роботи в мережі. До складу цих каналів управління входять канали підстроювання частоти (FCCH), кадрової синхронізації (SCH) і канал управління передачею (BSSCH), в якому передається ідентифікатор зони обслуговування

CCCH – загальні канали управління, які містять у собі канал виклику абонентської станції (PCH) для організації вхідного виклику до AC, канал дозволу доступу (AGCH) і канал випадкового (паралельного) доступу (RACH) для передачі від AC до BC запиту про номер часового каналу (інтервалу) сигналізації при доступі AC до мережі.

SDCCH – індивідуальні канали управління використовуються у двох напрямках, між AC і BC, складаються з 4 (SDCCH/4) і 8 (SDCCH/8) підканалів. Ці кана-

ли використовуються для передачі запиту АС про необхідний вид обслуговування, контролю правильної відповіді БС, передачі результатів аутентифікації і реєстрації в процесі встановлення з'єднання.

АССН – поєднані канали управління також використовуються у двох напрямках. Від БС до АС передаються сигнали управління, а від АС до БС – інформація про статус АС. При цьому розрізняють повільний поєднаний канал управління (SACCH) і швидкий поєднаний канал управління (FACCH). За каналом SACCH передаються від БС до АС команди для встановлення рівня потужності передавача АС, а за каналом FACCH передаються сигнали управління під час “естафетної передачі”.

Поєднані канали управління завжди поєднуються з каналами трафіка або індивідуальними каналами управління.

Розрізняють 6 видів поєднаних каналів управління:

$FACCH/F = FACCH + TCH/F$ ;  $FACCH/H = FACCH + TCH/H$ ;

$SACCH/TF = SACCH + TCH/F$ ;  $SACCH/TH = SACCH + TCH/H$ ;

$SACCH/C4 = SACCH + SDCCH/4$ ;  $SACCH/C8 = SACCH + SDCCH/8$ .

### 3.8 Формування сигналу в радіоканалі

Процес формування сигналу в радіоканалі здійснюється в декілька етапів:

- аналого-цифрове перетворення;
- кодування мови;
- канальне кодування;
- модуляція.

Під час аналого-цифрового перетворення аналоговий мовний сигнал, обмежений смугою частот від 300 до 3400 Гц, за рахунок дискретизації (частота дискретизації дорівнює 8 кГц) перетворюється в амплітудно-імпульсно-модульований сигнал (АІМ). Далі кожна з дискрет АІМ-сигнала кодується 8-розрядним двійковим кодом, тобто АІМ-сигнал перетворюється в ІКМ-сигнал. Внаслідок на виході аналого-цифрового перетворювача (АЦП) формується потік, швидкість якого дорівнює 64 кбіт/с.

З виходу АЦП оцифрований мовний сигнал надходить на кодер мови. Кодування мови у стандарті GSM здійснюється в рамках системи переривчастої передачі мови (DTX), що забезпечує підключення та роботу передавача тільки на час розмови і відключає його в паузах і наприкінці розмови. Одним з основних завдань кодування мови є стискання мовного сигналу з метою зниження швидкості передачі. Застосування при кодуванні в стандарті GSM вокодерних методів на основі методу лінійного передбачення (ЛП) дозволяє знизити швидкість передачі з 64 до 13 кбіт/с. Кодуванню піддаються відрізки мовного сигналу по 20 мс. За цей інтервал часу такі параметри мовного сигналу, як період основного тону, характер збудження (голосний або дзвінкий приголосний звук у співставленні із глухими

звуками), коефіцієнт підсилення залишаються постійними. У стандарті GSM кодування здійснюється за методом RPE-LTP (лінійне передбачення зі збудженням регулярною послідовністю імпульсів і довгостроковим передбаченням). Сутність методу полягає в тому, що для передбачення поточної вибірки використовуються дані з попередніх виборок (диференціальна ІКМ). Кожна вибірка при кодуванні подається лінійною комбінацією попередніх виборок і описується у вигляді коефіцієнтів цієї лінійної комбінації та закодованої різниці передбаченої і дійсної вибірок. Внаслідок такого кодування в інтервалі 20 мс формується 260 біт, за рахунок чого швидкість передачі знижується до  $V = \frac{260}{20 \cdot 10^{-3}} = 13 \text{ кбіт/с}$ . Отже, кодер мови забезпечує стискання мовного сигналу майже у 5 разів ( $64/13=4,92$ ).

До складу вхідної інформації кодера мовного сигналу, обсягом 260 біт, входять:

- параметри фільтра короткочасного передбачення (36 біт);
- параметри фільтра довгострокового передбачення (36 біт);
- параметри сигналу збудження (188 біт).

Канальне кодування забезпечує захист від помилок переданої інформації. У стандарті GSM 260 біт інформації в інтервалі 20 мс-сегмента мови поділяється на 2 класи: клас 1 і клас 2. Клас 1 в свою чергу поділяється на два підкласи: підклас 1a – 50 біт найбільш чутливих, і підклас 1b – 132 біта, помірно чутливих до помилок. До класу 2 віднесені 78 біт, найменш чутливих до помилок. Структурна схема каналного кодування наведена на рис. 3.5.

Інформація підкласу 1a кодується циклічним кодом (53, 50). При виявленні помилки вся вибірка відкидається і замінюється попередньою. Закодовані 53 біта, підкласу 1a 132 біта підкласу 1b і 4 додаткових нульових біти (усього 189 біт) подаються на згортковий кодер (2, 1, 5), швидкість кодування якого  $V_k = 1/2$  і довжина кодового обмеження  $k = 5$ . Формуючі поліноми згорткового кодера  $P_1(x) = x^4 + x^3 + x^2 + 1$ ,  $P_2(x) = x^4 + x + 1$ . Після згорткового кодування 378 біт разом з 78 бітами класу 2 становлять 456 біт, внаслідок чого швидкість передачі стає рівною  $V = \frac{456}{20 \cdot 10^{-3}} = 22,8 \text{ кбіт/с}$ .

Після згорткового кодування 456 біт піддаються блочно-діагональному переміщенню, що зменшує вплив групових помилок (вони перетворюються в помилки малої кратності, які виправляються при декодуванні).

Після переміщення початкова послідовність із 456 біт поділяється на вісім 57-бітових блоків, тому що в кожному слоті розміщується два 57-бітових блоки (114 біт). Довжина слоту каналу трафіка з урахуванням додавання допоміжної і службової інформації становить 156,25 біт. Оскільки інформація одного 20-мілісекундного сегменту мови займає по одному слоту в чотирьох послідовних кадрах, то швидкість потоку цифрової інформації становить  $(4 \times 156,25) / 20 \times 10^{-3} = 625 / 20 \times 10^{-3} = 31,25 \text{ кбіт/с}$ .

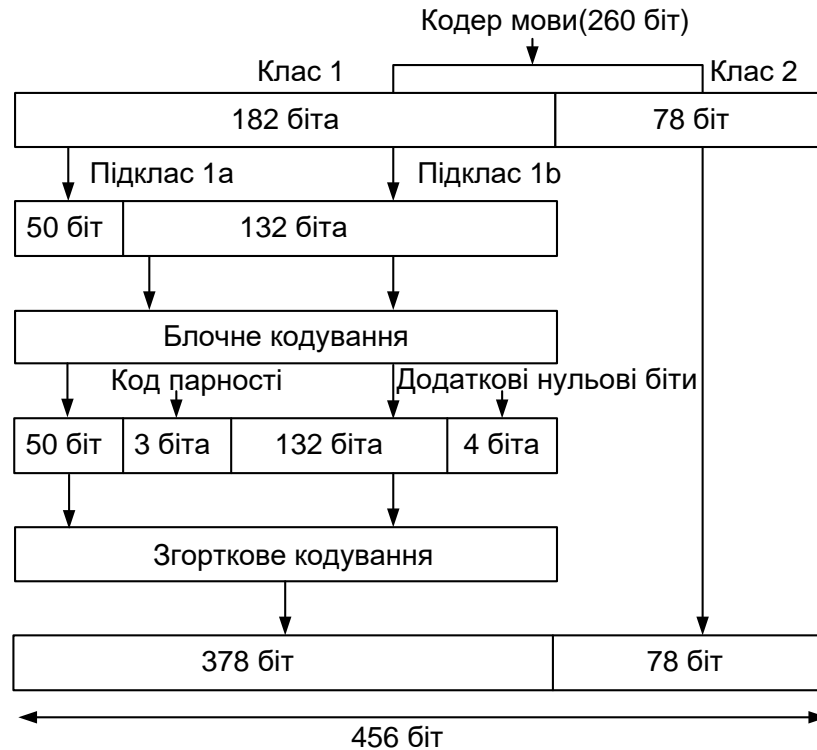


Рисунок 3.5 – Структурна схема каналного кодування у стандарті GSM

Ця інформація (а саме  $4 \times 156,25 = 625$  біт) стискається в часі у 8 разів, так що протягом одного кадру тривалістю 4,615 мс в одному частотному каналі передається інформація восьми часових слотів, внаслідок чого швидкість передачі цифрової послідовності зростає до  $(8 \times 31,25) = 250$  кбіт/с.

На кожні 12 кадрів каналу трафіка, що переносять мовну інформацію (у мультикадрі каналу трафіка інформаційними мовними кадрами є 1-12 і 14-25, у 13-му кадрі передається канал управління SACCH, а кадр 26-й – порожній, резервний) додається по одному кадру з інформацією управління каналу SACCH, який має швидкість 20,833 кбіт/с. Отже, швидкість інформаційної бітової послідовності (мовного сигналу) на виході кодера каналу становить:  $250 + 20,833 = 270,833$  кбіт/с.

Слід зазначити, що вище була розглянута процедура роботи кодера каналу тільки за завадостійким кодуванням мовного сигналу. Інформація ж каналів управління піддається блоковому і згортковому кодуванню у повному обсязі.

Так, для кодування інформації каналів: повільного сполученого каналу управління SACCH; швидкого сполученого каналу управління FACCH; каналу виклику PCN; каналу дозволу доступу AGCH; виділених закріплених каналів управління SDCCN використовуються блоковий кодер  $(n, k) \rightarrow (224, 184)$ , згортковий

кодер  $(n, k, K) \rightarrow (2, 1, 5)$ , а також схема перемешення, аналогічна схемі перемешення за мовним каналом.

У каналах синхронізації SCH і випадкового доступу RACH використовуються інші схеми блокового кодування, а також згорткові кодери  $(2, 1, 5)$ , що відрізняються від згорткових кодерів вищевказаних каналів управління.

При передачі комп'ютерних даних використовуються більш складні схеми згорткового кодування і перемешення, що забезпечують відповідно і більш високу якість передачі інформації.

Вихідні сигнали каналного кодера надходять на модулятор, завданням якого є перенесення цифрового сигналу на несучу частоту, тобто модуляція радіосигналу цифровим відеосигналом.

У стандарті GSM використовується гауссова модуляція з мінімальним частотним зсувом (GMSK). При MSK-маніпуляції несуча частота дискретно, через інтервали часу, кратні тривалості інформаційного біта ( $T_c$ ), приймає одне з двох значень (постійних протягом біту) –  $f_H = f_0 - \frac{F_c}{4}$  або  $f_B = f_0 + \frac{F_c}{4}$ , де  $f_0$  – несуча частота радіоканалу,  $F_c = \frac{1}{T_c}$  – частота (швидкість передачі) інформаційної бітової послідовності.

Рознесення частот  $\Delta f = f_B - f_H = F_c/2$  – мінімально можливе, при якому забезпечується ортогональність коливань із частотами  $f_H$  і  $f_B$  на інтервалі тривалістю, яка дорівнює одному біту ( $T_c$ ). При цьому, за час  $T_c$  між коливаннями частот  $f_H$  і  $f_B$  набігає різниця фаз, що дорівнює  $\pi/2$ . Інакше кажучи, формування MSK радіосигналу здійснюється так, що на інтервалі одного інформаційного біта фаза несучої змінюється на  $\pi/2$ . Безперервна зміна фази синусоїдального сигналу дає внаслідок цього частотну модуляцію з дискретною зміною частоти.

Найменування «гауссова» маніпуляція пояснюється тим, що послідовність інформаційних бітів на модулятор надходить через фільтр нижніх частот (ФНЧ) з гауссовою амплітудно-частотною характеристикою. Застосування гауссового фільтра дозволяє зменшити смугу частот випромінюваного радіосигналу. Для GMSK модуляції добуток смуги фільтра ( $F$ ) на тривалість інформаційного біта ( $T_c$ ) становить величину  $T_c \cdot F = 0,3$ .

Метод MSK логічно розглядати як метод квадратурної фазової маніпуляції (двократної відносної фазової маніпуляції (QPSK)), у якій прямокутні імпульси, що модулюють, тривалістю  $2T_c$  замінені напівхвильовими відрізками синусоїд або косинусоїд. На рис. 3.6 наведена схема модулятора, часові діаграми, що ілюструють процес формування GMSK сигналу.

На діаграмі 1 подана вхідна бітова послідовність ( $a$ ) модулятора.

На діаграмах 2 і 3 наведені послідовності непарних  $a_i$  і парних  $a_o$  біт вхідної послідовності відповідно, причому, тривалість кожного біта збільшена вдвічі,



тобто кожен біт «розтягнутий» у часі до 2-бітового символу. Для зручності наступних пояснень прийнято, що послідовності  $a_i$  і  $a_q$  приймають значення +1 і -1 (значення -1 відповідає значенню 0 вхідної послідовності  $a$ ). Внаслідок для кожного бітового інтервалу тривалістю  $T_c$  розташовані один над одним значення  $a_i$  і  $a_q$  дають саме ту пару парного і непарного біт, які є аргументами закону модуляції.

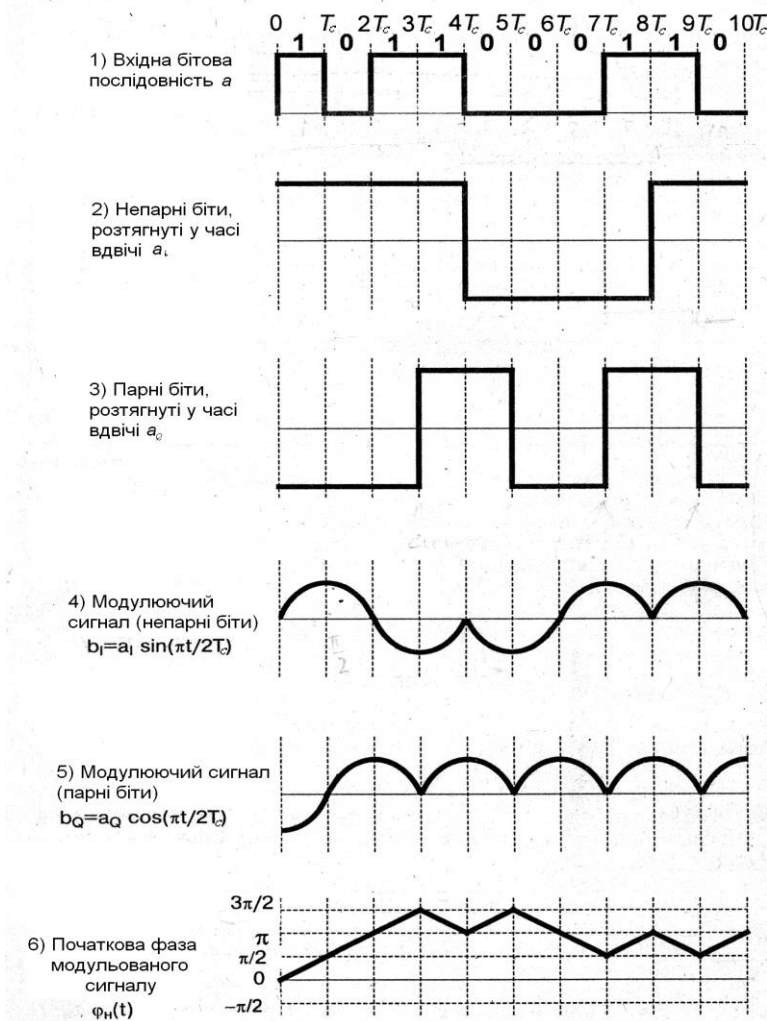
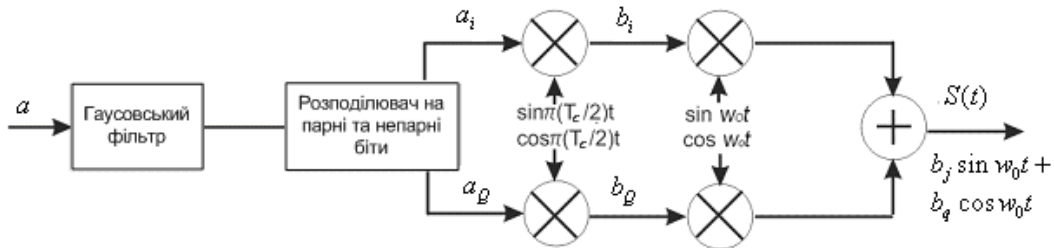


Рисунок 3.6 – Структурна схема GSMK модулятора і часові діаграми його роботи

На рис. 3.6 4) і 5) показані форми сигналів, що модулюють, двох квадратурних каналів  $b_i$  і  $b_q$ , які отримують як добуток функцій  $a_i$  і  $a_q$  відповідно на квадратурні низькочастотні сигнали  $\sin\pi(t/2T_c)$  і  $\cos\pi(t/2T_c)$ .

Вихідний модульований сигнал виходить як результат перемноження модулюючих сигналів квадратурних каналів  $\sin\pi\left(\frac{t}{2T_c}\right)$  і  $\cos\pi\left(\frac{t}{2T_c}\right)$  з відповідними несучими  $\sin\omega_0 t$  і  $\cos\omega_0 t$  і підсумовування отриманих добутків.

На діаграмі рис. 3.6 б) надана початкова фаза модульованого сигналу.

### 3.9 Протокол організації вихідних і вхідних викликів у мережах стандарту GSM

Процеси організації викликів, естафетної передачі управління АС, роумінгу в стандарті GSM засновані на загальних і раніше розглянутих організації зазначених видів з'єднань.

Розглянемо протокол організації вихідного виклику.

Мобільна станція (MS) перебуває в черговому режимі. При вихідному виклику від MS абонент спочатку має набрати весь номер абонента, якого викликає, і тільки після цього починається процес встановлення з'єднання. Такий підхід дозволяє виключити можливі помилки в процесі набору номера, тому що приблизно 20% викликів у мережах телефонного зв'язку загального користування не закінчуються розмовою через помилки абонента в наборі номера. Крім того, це дозволяє скоротити час, який втрачається на передачу цифр номера в MSC.

Дії по встановленню з'єднання починаються з натискання клавіші, що ініціює виклик. MS при цьому передає повідомлення до BTS і, відповідно на BSC через канал випадкового доступу RACH (Random Access CHannel) – запитує виділений закріплений канал управління SDCCCH (Standalone Dedicated Control CHannel) для встановлення зв'язку. Контролер базової станції BSC через канал дозволу доступу AGCH (Access Grant CHannel) призначає канал SDCCCH. Далі мобільна станція через канал SDCCCH проводить аутентифікацію і видає запит на виклик (з номером абонента, який викликається). У свою чергу центр комутації MSC видає команду в контролер базової станції BSC на призначення каналу трафіка TCH (Traffic CHannel) та передає номер абонента, який викликається, у стаціонарну телефонну мережу загального користування PSTN (Public Switched Telephone Network). Протокол організації вихідного виклику абонента мережі загального користування (ТМЗК) зображений на рис. 3.7.

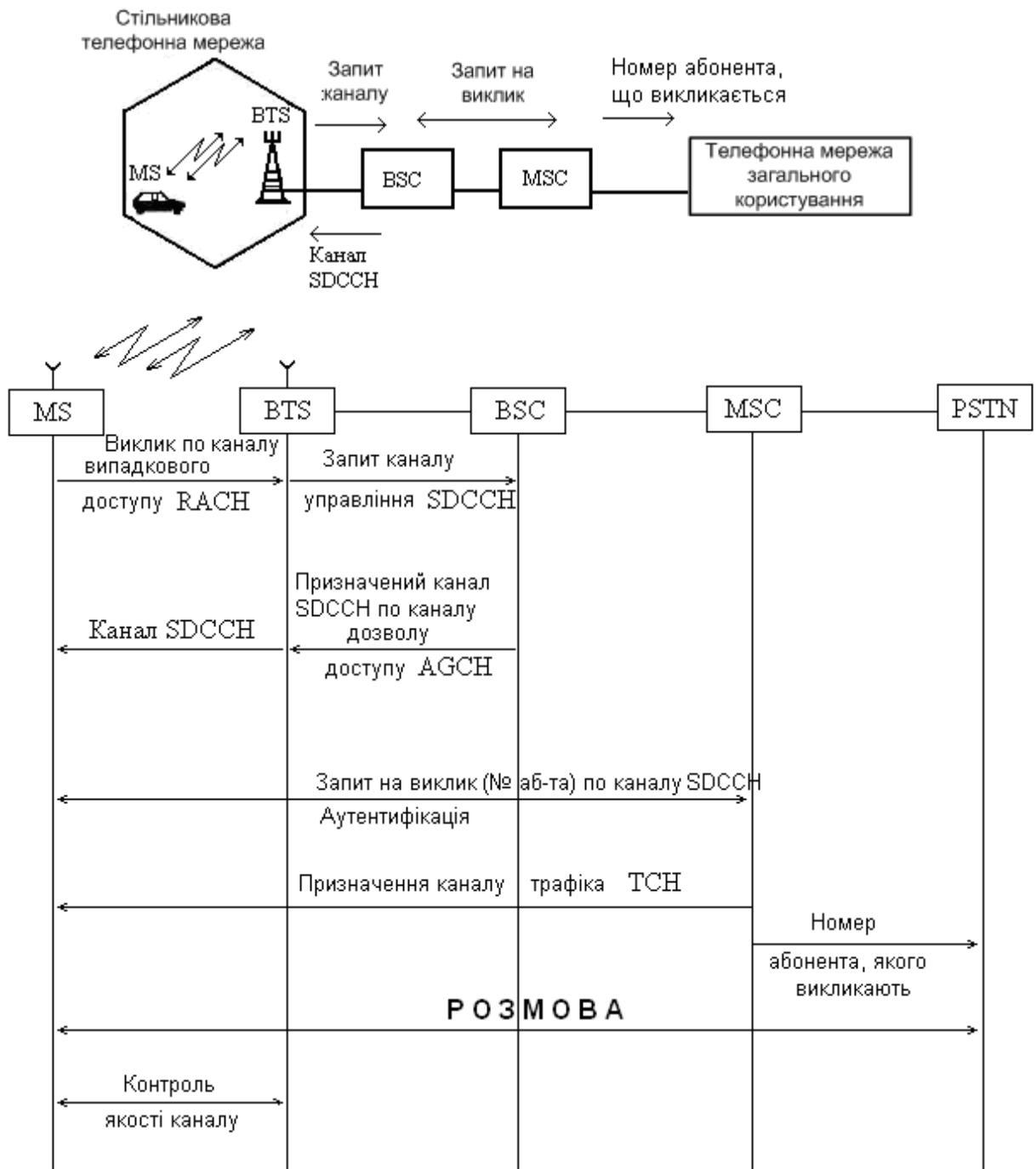


Рисунок 3.7 – Протокол організації вихідного виклику

Процес організації вхідного виклику розглянемо для варіанта, коли абонентом, який викликає, є абонент стаціонарної ТМЗК. Цей абонент набирає номер абонента, якого викликає. ТМЗК забезпечує з'єднання з MSC, що має вихід на ТМЗК, і передає йому номер абонента, якого викликають. В MSC аналізується но-

мер MS, яка викликається, і визначається BTS, у зоні обслуговування якої перебуває MS. Протокол організації вхідного виклику показаний на рис. 3.8.

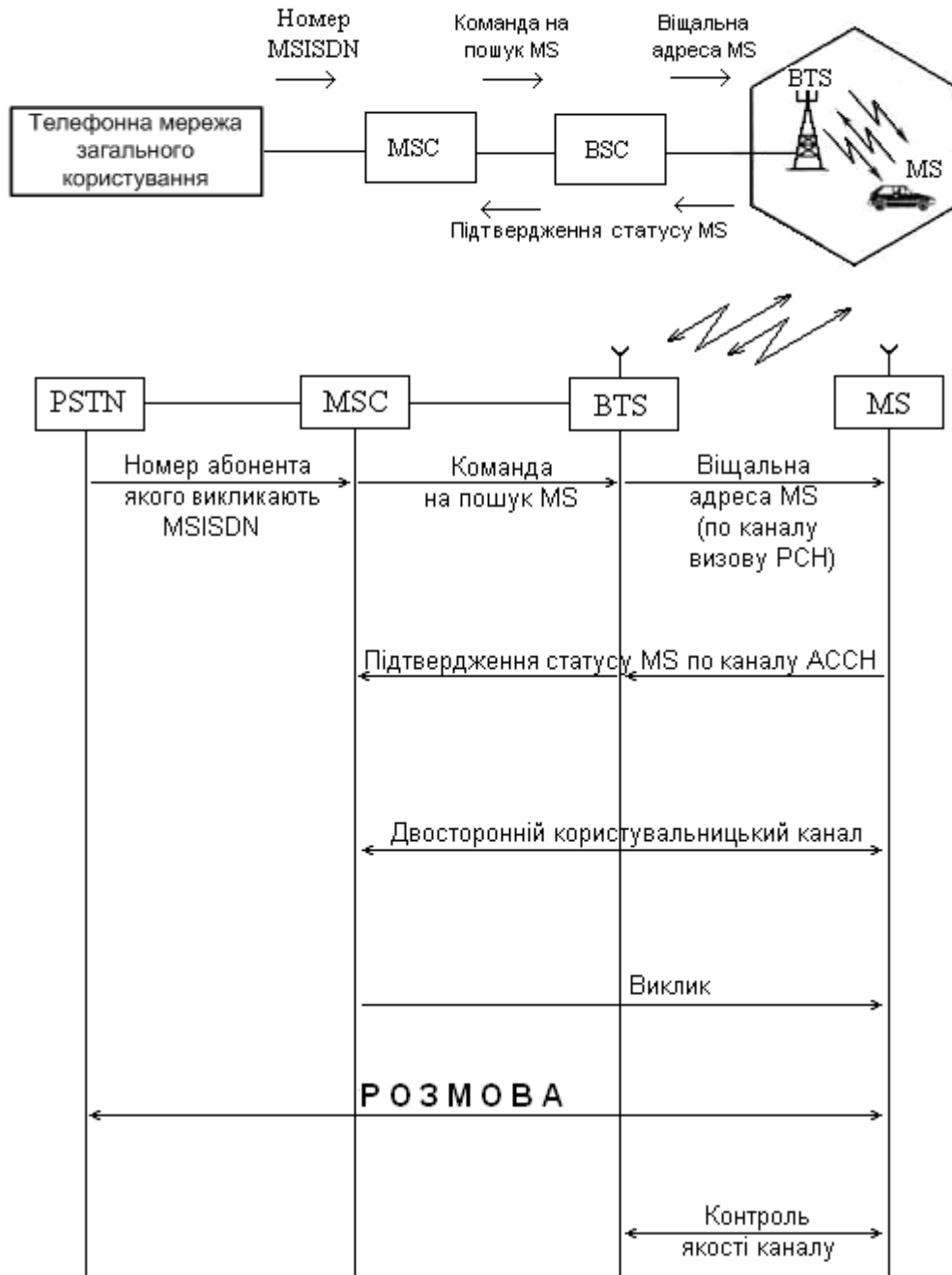


Рисунок 3.8 – Протокол організації вхідного виклику

Після визначення BTS MSC передає команду на пошук MS. BTS передає віщальну адресу MS. Отримавши адресоване їй повідомлення, MS відразу ж відповідає. Далі MSC призначає двосторонній користувальницький канал (ДКК) і пе-

редає вказівку MS на підключення до нього. Абоненту посилається сигнал виклику, після відповіді якого організується наскрізний розмовний канал.

### 3.10 Протокол організації естафетної передачі управління

При віддаленні MS від BTS, у зоні обслуговування якої вона перебуває, рівень сигналу знижується, відповідно, знижується і якість передачі, і на границі комірок виникає необхідність зміни BTS (дуплексного користувальницького каналу (ДКК)). Прийняття рішення про перемикавання каналу здійснюється мережею. Процес прийняття рішення про передачу виклику полягає в наступному. Мережа завжди інформує про частоти контрольних каналів суміжних комірок і при зниженні рівня сигналу і якості передачі нижче граничного, MS здійснює вимірювання рівня сигналів контрольних каналів суміжних чарунок. Крім того, MS продовжує вимірювати рівень сигналу і якість передачі «поганого» користувальницького каналу. Результати вимірювань передаються в BSC. За результатами вимірювань як мобільної станції, так і базової, контролери BSC ухвалюють рішення щодо можливого переключення виклику. Ухвалене рішення визначає, коли буде здійснене перемикавання виклику і якою BTS. Після ухвалення рішення BSC відповідальна за перемикавання тракту від «старої» BTS до «нової». При цьому можливі такі варіанти (на рис. 3.9 позначені кружками з цифрами) :

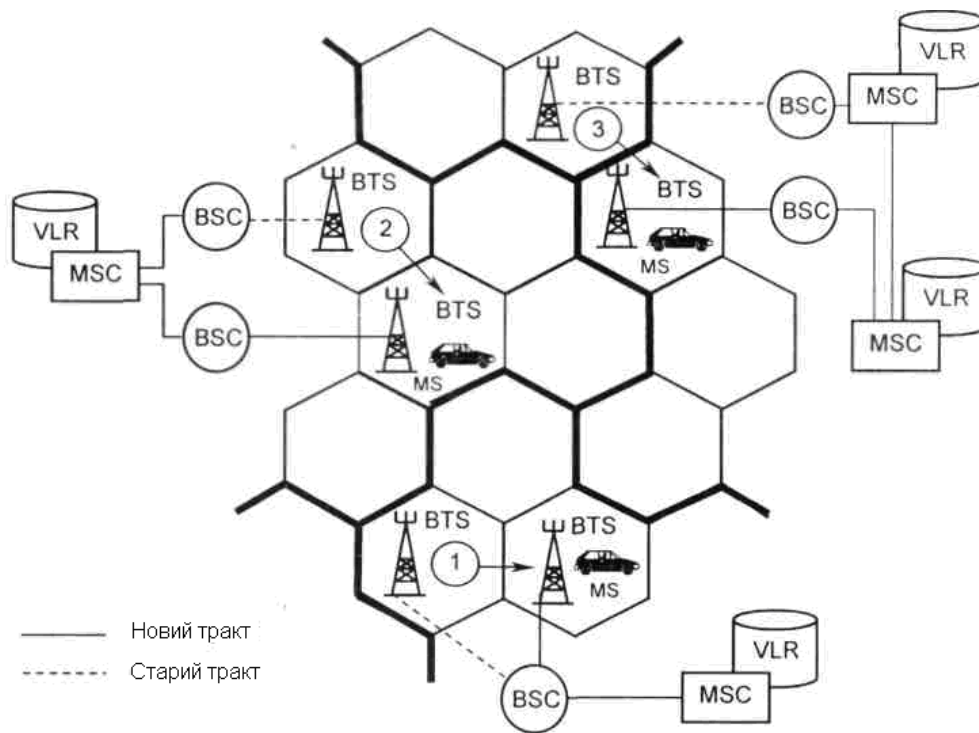


Рисунок 3.9 – Варіанти протоколу організації естафетної передачі управління

- переключення виклику здійснюється від однієї BTS до іншої, які контролюються одним BSC;
- переключення виклику здійснюється між BTS, які контролюються різними BSC, але ці BSC включені до одного MSC;
- переключення виклику здійснюється між BTS, які контролюються різними BSC, причому ці BSC підключені в різні MSC.

У першому випадку після прийняття рішення про переключення виклику BSC підключає тракт до «нової» BTS (BSC – BTS) і резервує ДКК. Далі BSC передає вказівку MS про переключення на новий канал, старий канал звільнюється.

Дана ситуація не вимагає передачі інформації про виконані дії в MSC.

Протокол організації естафетної передачі виклику в зоні обслуговування одного BSC показаний на рис. 3.10.

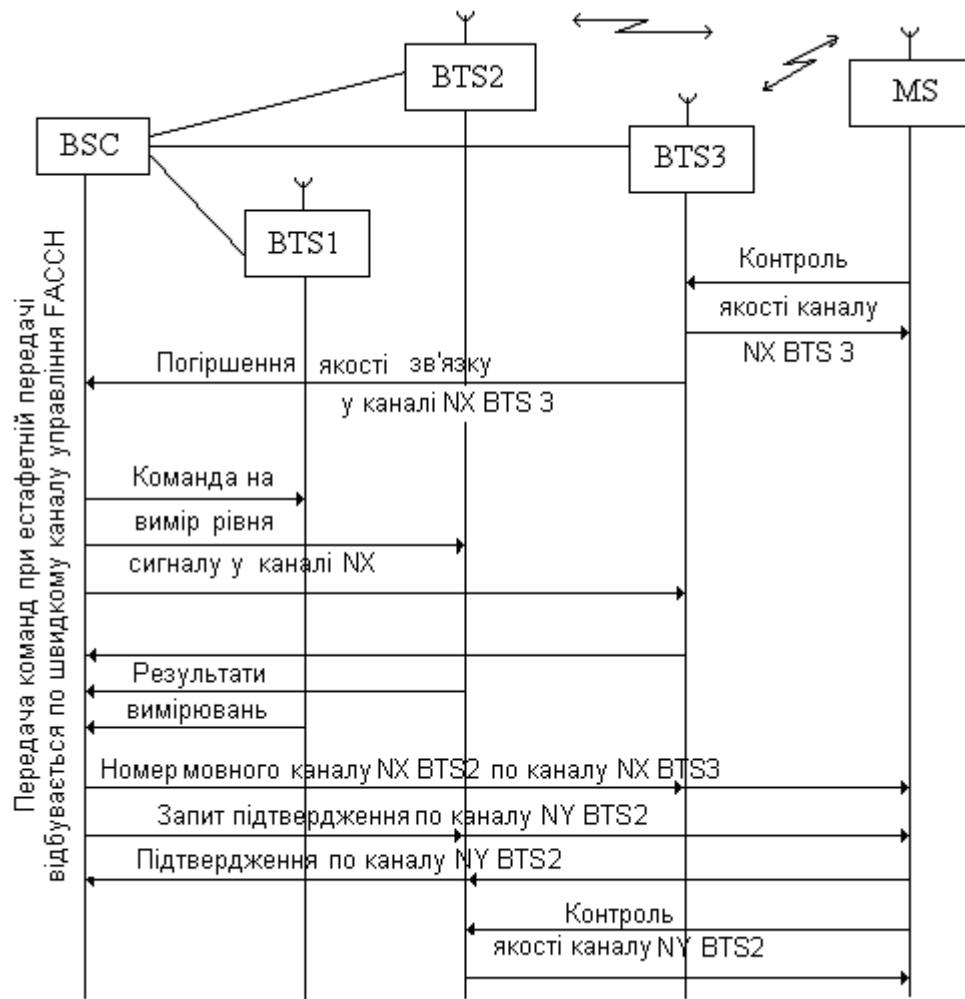


Рисунок 3.10 – Процес естафетної передачі виклику в зоні обслуговування однієї BSC

Перерва в телефонній розмові у процесі естафетної передачі управління не перевищує секунди і залишається практично непомітною для абонентів.

Як було вказано вище, у другому випадку переключення виклику здійснюється між BTS, які контролюються різними BSC, але ці BSC підключені до одного MSC.

У цьому випадку BSC, у зоні дії якого перебуває MS, самостійно не може здійснити переключення канали до «нової» BTS, тому він звертається до MSC. MSC передає запит на перемикання виклику тому BSC, що контролює «нову» BTS. Після цього підключається тракт MSC – BSC – BTS і резервується ДКК, а MS отримує сигнал (команду) на перехід на новий канал вказаного номера. Старий тракт руйнується.

У третьому випадку переключення виклику здійснюється між BTS, які контролюються різними BSC, причому ці BSC включені в різні MSC.

MSC, в зоні обслуговування якого перебувала MS, називають обслуговуючим, а MSC, в зону обслуговування якого перемістилася MS, – цільовим. Отримавши запит про переключення виклику від BSC, що обслуговує, MSC звертається до цільового MSC з повідомленням на переключення каналу ДКК.

На цільовому MSC встановлюється тракт MSC-BSC-BTS і резервується ДКК. Про підключення тракту цільовий MSC інформує обслуговуючий MSC. Після прийому підтвердження і встановлення тракту між MSC з MSC, що обслуговує, передається команда на MS про перехід на новий користувацький канал.

### **3.11 Протокол організації роумінгу**

Важливою послугою мобільних систем є забезпечення роумінгу. Організація роумінгу можлива, якщо мобільні системи одного стандарту, а центри комутації (MSC) з'єднані спеціальними каналами зв'язку для взаємного обміну інформацією про місцезнаходження абонента (роумера). Протокол організації роумінгу подано на рис. 3.11.

Якщо абонент перемістився із зони обслуговування "своєї" (опорної) мережі в зону обслуговування іншої ("чужої", тимчасової) мережі, то його MS, що перебуває в черговому режимі, у складі прийнятих сигналів виявляє код зони обслуговування, що не збігається з кодом зони обслуговування "своєї" мережі. У цьому випадку MS видає сигнал запиту на відновлення інформації про своє місце розташування (зону обслуговування). Отримавши цей сигнал з кодом номера MS і кодом зони обслуговування опорної мережі, тимчасова мережа передає на опорну мережу запит інформації про візитну MS і номер зони обслуговування (номер мережі), у якій перебуває в цей час візитна MS. Опорна мережа фіксує цю інформацію і передає тимчасовій мережі всі відомості, необхідні для обслуговування візитної MS (види послуг, паролі тощо.).

Отримавши ці відомості, тимчасова мережа видає MS привласнений їй тимчасовий (блукаючий) номер і номер мережі на час перебування візитної MS у зоні обслуговування цієї мережі і передає цю інформацію до опорної мережі. Після цього "візитна" MS обслуговується як і всі інші, приписані до даної системи. Виблики від абонентів із зони обслуговування опорної мережі на адресу MS, що перемістилася, переадресовуються до тимчасової мережі, після чого організується наскрізний розмовний тракт.

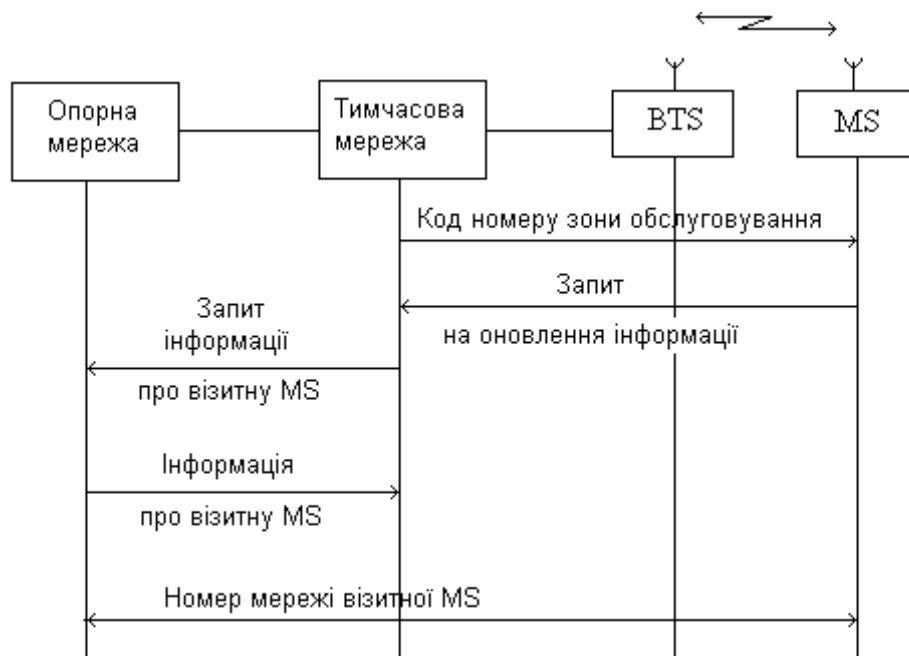


Рисунок 3.11 – Протокол організації роумінгу

При поверненні MS у зону обслуговування опорної мережі вся інформація на обох мережах і в MS, записана на час забезпечення роумінгу, стирається.

### 3.12 Забезпечення інформаційної безпеки в стандарті GSM

При входженні в мережу абонентських станцій (MS) здійснюється їх аутентифікація та ідентифікація.

Процедура аутентифікації закриває несанкціонований доступ до мережі.

Ідентифікація – процедура ототожнення MS, тобто процедура встановлення належності MS до однієї з груп, яким присвоєні певні ознаки. Ця процедура забезпечує виявлення несправних, загублених або вкрадених MS (мобільних телефонів).

Ідея аутентифікації в цифрових СМЗ полягає в шифруванні паролів-ідентифікаторів із використанням квазівипадкових чисел, що періодично передаються на MS з ЦКРЗ, та індивідуального для кожної АС алгоритму шифрування.



Таке шифрування виконується на MS і ЦКРЗ, результати шифрування порівнюються. Аутентифікація вважається закінченою, якщо результати на MS і ЦКРЗ збігаються і MS допускається до обслуговування в мережі.

Аутентифікація у стандарті GSM пов'язана з використанням SIM-карти (модуля ідентифікації абонента). SIM-карта – модуль (типу пластикової картки), що вставляється у відповідне гніздо мобільного телефону (SIM-карта однакова для всіх різновидів стандарту GSM: GSM-900, GSM-1800 і GSM-1900). Модуль містить:

- PIN (Personal Identification Number) – персональний ідентифікаційний номер абонента (PIN-код);
- IMSI (International Mobile Subscriber Identity) – міжнародний ідентифікатор абонента мобільної станції;
- $K_i$  – індивідуальний ключ аутентифікації абонента;
- A3 – індивідуальний алгоритм аутентифікації абонента;
- A8 – алгоритм обчислення ключа шифрування.

Після включення MS із встановленою SIM-картою абонент зобов'язаний, насамперед, зняти блокування останньої – ввести PIN-код, відомий тільки абоненту, що є захистом від несанкціонованого використання SIM-карти, наприклад, під час її втрати. Після трьох невдалих спроб набору PIN-коду SIM-карта блокується. Блокування може бути зняте або набором додаткового коду – персонального коду розблокування PUK (Personal Unblocking Key), або командою з центра комутації.

Коли SIM-карта виймається з MS, вона зберігає всю інформацію, що міститься на ній: персональні ідентифікатори, ключі, шифри і паролі, а також записані абонентом номери телефонів і повідомлення, і може працювати з іншими MS стандарту GSM. Таким чином, SIM-карта немовби «персоналізує» абонентський апарат MS, у який вона встановлюється.

Процедура аутентифікації зображена на рис. 3.12.

АС запрошує доступ до мережі. Регістр аутентифікації (РА) через ЦКРЗ видає випадкове число RAND. АС, отримавши RAND, за допомогою ключа  $K_i$  і алгоритму A3 обчислює маркірований відгук SRES (нове число  $S_1$ ) і передає його в ЦКРЗ, де він порівнюється з тим відгуком, що формується в реєстрі аутентифікації. Якщо  $S_1$  і  $S_2$  збігаються, то ЦКРЗ видає дозвіл на доступ АС до мережі.

Ідентифікація обладнання здійснюється в такий спосіб.

ЦКРЗ запитує в АС номер IMEL. Отриманий номер надходить у реєстр ідентифікації обладнання (PIO), де є списки обладнання (АС):

- дозволених до використання;
- заборонених до використання;
- несправних.

За результатами аналізу видається інформація про те, до якої групи належить абонент (АС) з отриманим від нього номером IMEL, після чого ЦКРЗ приймає рішення щодо допуску АС до мережі.

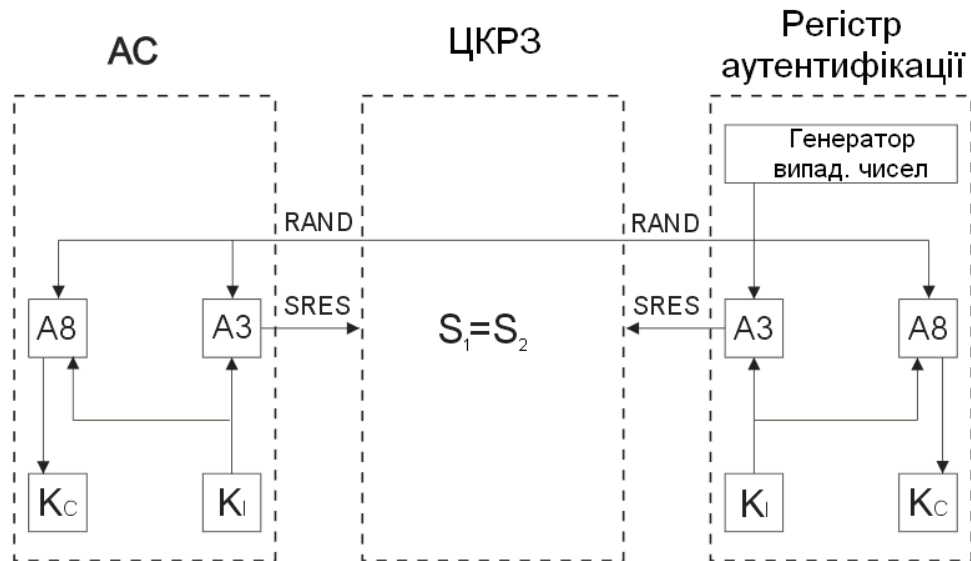


Рисунок 3.12 – Схема процедур аутентифікації з шифрування у стандарті GSM

Закриття (шифрування) інформації, що передається радіоканалом, здійснюється на БС та АС (застосовуються однакові алгоритми). Для закриття інформації використовується номер циклу доступу та ключ закриття (шифрування) інформації  $K_c$ . На БС використовується  $K_c$ , а на АС він обчислюється на підставі отриманого випадкового числа RAND і абонентського ключа  $K_i$  по алгоритму A8. Алгоритм A8 зберігається в SIM-карті. Отримавши RAND, АС обчислює крім відгуку SRES ключ шифрування  $K_c$  (з використанням RAND,  $K_i$  та алгоритма A8). Для встановлення режиму шифрування мережа передає на АС MS команду до переходу у режим шифрування (СМС). Після прийняття цієї команди MS починає шифрування, використовуючи ключ шифрування  $K_c$  та алгоритм шифрування A3.

Потік шифрованих бітів передається в мережу і дешифрується перед видачею інформації абоненту.

## Контрольні запитання та завдання

1. Дайте загальну характеристику стандарту GSM-900.
2. Назвіть основні особливості стандарту DCS-1800.
3. Наведіть склад та призначення обладнання мобільної системи зв'язку стандарту GSM-900.
4. Дайте характеристику функціональним можливостям центру комутації мобільного зв'язку (MSC).
5. Обґрунтуйте необхідність використання реєстрів положення (HLR) і переміщення (VLR) у складі системи GSM-900.
6. Вкажіть, які дані, що зберігаються у реєстрах HLR і VLR, входять до складу довгострокових.
7. Вкажіть, які дані, що зберігаються в реєстрах HLR і VLR, входять до складу часових.
8. Назвіть основні компоненти та функції системи базових станцій BSS.
9. Вкажіть призначення транскодера TCE у складі системи GSM.
10. Які функціональні модулі виконують функції управління мережею GSM та її компонентами? Дайте характеристику її функціональним можливостям.
11. Вкажіть мережні інтерфейси у системі стандарту GSM.
12. Наведіть структуру TDMA-кадру, що використовується у стандарті GSM.
13. Наведіть класифікацію каналів у системі стандарту GSM.
14. Обґрунтуйте максимальну кількість фізичних каналів у мережі GSM-900.
15. Як забезпечується формування сигналу в радіоканалі? Наведіть схеми канального кодування у стандарті GSM.
16. Наведіть схему організації вихідних викликів у мережах стандарту GSM.
17. Наведіть схему організації вхідних викликів у мережах стандарту GSM.
18. Дайте пояснення дії протоколу організації естафетної передачі управління у стандарті GSM.
19. Поясніть процедуру організації роумінгу.
20. Як здійснюється забезпечення інформаційної безпеки у стандарті GSM?

## 4 ОСНОВИ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ З ДОСТУПОМ CDMA

### 4.1 Загальна характеристика широкосмугових сигналів

Використання широкосмугових сигналів дозволяє радіостанціям працювати одночасно і в одній і тій самій смузі частот. Передані сигнали усіх абонентів (АС) розрізняються за формою, що і дозволяє розділити їх у приймачах. Кожен приймач із усієї безлічі прийнятих сигналів виділяє "свої" сигнали, форма яких відома у приймачі і відрізняється від форми сигналів усіх інших абонентів. Як такі сигнали, що розрізняються за формою, використовують широкосмугові сигнали (ШСС).

ШСС – це такі сигнали, у яких добуток ширини спектра сигналу  $P_c$  на його тривалість  $T_c$  набагато більше одиниці, тобто  $B_c = F_c \cdot T_c \gg 1$ . Цей добуток називається базою сигналу  $B_c$ . Іноді ШСС називають складними сигналами на відміну від простих з базою сигналу, рівною одиниці, тобто  $B_c = 1$ .

На основі ШСС будуються системи множинного доступу з CDMA.

У системах зв'язку з ШСС ширина спектра  $F_c$  завжди набагато більше ширини спектра вихідного сигналу. Тому в сучасній технічній літературі такі системи називають системами з розширеним спектром. У системах зв'язку з ШСС елементами дискретних сигналів надають складну форму (структуру).

Один з можливих варіантів схеми формування і прийому ШСС із використанням погодженого фільтра наведений на рис. 4.1.

Лінія затримки (ЛЗ) має  $N$  відводів, встановлених через рівні інтервали з затримкою кожного з них на час  $T_0 = T_c/N$ . Частина відводів приєднується до схеми суматора 1, частина – до суматора 2. На вхід ЛЗ із періодом  $T_c$  безперервно подаються короткі (тактові) імпульси. Ключ (модулятор) встановлюється в те або інше положення залежно від переданих інформаційних одиничних елементів ("1" або "0"), що мають бути передані. Внаслідок цього на виході модулятора видаються послідовності імпульсів, кожна з яких однозначно пов'язана з переданим інформаційним одиничним елементом ("1" або "0"). Цими послідовностями імпульсів модулюється передавач ВЧ коливань (ВЧ ПД).

Дешифрація прийнятих ШСС здійснюється за допомогою ЛЗ (погодженого фільтра), інтеграторів і тригера. Настроївши дешифратор на виділення "своїх" кодових комбінацій (послідовностей імпульсів), якими закодовані інформаційні "1" і "0", можна забезпечити прийом сигналів, адресованих даному абоненту.

Зазвичай, база ШСС досягає значень від 10 до декількох тисяч.

У розглянутій схемі інформаційні символи "1" і "0" кодується кодovими комбінаціями різної структури, якими модулюється генератор ВЧ.

Іншим варіантом передачі сигналів є варіант, при якому адреси абонентів кодується різними послідовностями імпульсів, а зміст переданих одиничних елементів "1" або "0" укладено у фазі сигналу.

Очевидно, що завадостійкість системи зв'язку з кодовим поділом сигналів стосовно взаємних завад тим вище, чим менше взаємний зв'язок між сигналами (адресами) абонентів, тобто чим менше їх взаємно кореляційна функція (ВКФ). Тому при побудові таких систем необхідно вирішувати завдання побудови систем складних сигналів, що забезпечують у приймачах абонентів найменший рівень структурних завад.

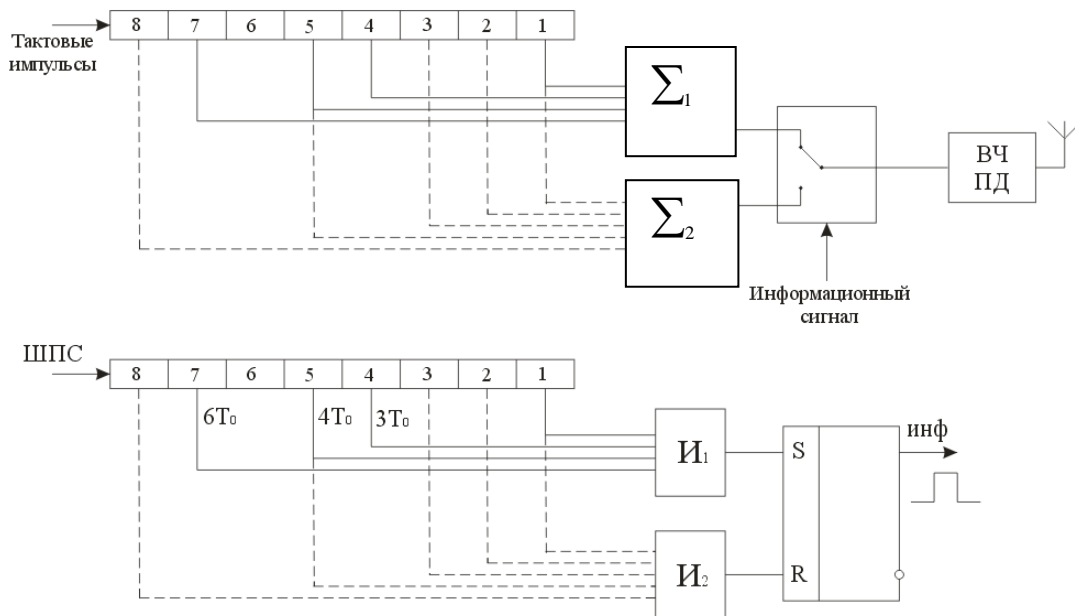


Рисунок 4.1 – Схеми формування і прийому ШСС

Кодове ущільнення (поділ) сигналів широко використовується в різних радіосистемах, особливо у системах рухомого радіозв'язку.

Можливість кодового ущільнення (ущільнення сигналів за формою заснована на кореляційних властивостях широкосмугових сигналів. Взаємно кореляційною функція (ВКФ)  $R_{12}(\tau)$  сигналів  $S_1(t)$  і  $S_2(t)$ , що мають кінцеві енергії, є функція, що визначається співвідношенням:

$$R_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_1(t) S_2(t - \tau) dt, \quad (4.1)$$

де  $t$  – час;  $\tau$  – величина зсуву в часі другого сигналу щодо першого.

Фізичний зміст ВКФ є ступінь подоби двох сигналів. Окремим випадком ВКФ є автокореляційна функція (АКФ), коли  $S_1(t) = S_2(t)$ . Чим більше схожі сигнали один на одного, тим більше позитивне значення має ВКФ. Якщо значення функції  $R_{12}(\tau)$  має найбільше абсолютне значення і негативний знак, то це вказує на те, що

сигнали  $S_1(t)$  і  $S_2(t)$  протилежні, тобто  $S_1(t) = -S_2(t)$ . Для кодового поділу каналів, застосованого у стандартах CDMA, важливий випадок, коли  $R_{12}(\tau) = 0$  у точці, або  $R_{12}(\tau) \approx 0$  на всьому відрізку визначення зсуву  $\tau$ . Сигнали, що задовольняють першій рівності, називаються ортогональними "у точці", сигнали, що задовольняють другій приблизній рівності – квазіортогональними. Сигнали, для яких ВКФ чітко дорівнює нулю при всіх часових зсувах, не існують, тому, говорячи про ортогональні коди, мається на увазі ортогональність "у точці". У зв'язку із зазначеними випадками розглядають два типи адресних систем з кодовим ущільненням сигналів: синхронні та асинхронні. Прикладом систем із кодовим ущільненням сигналів є синхронні адресні системи, які використовуються у системі стандарту IS-95.

Сутність кодового ущільнення сигналів від базової станції (БС) до абонентської (АС), зводиться до наступного:

- $N$  інформаційним потокам, призначеним для  $N$  абонентів, привласнюється своя кодова псевдовипадкова послідовність (ПВП);
- кодові послідовності некорельовані між собою;
- бінарні інформаційні потоки модулюються власними ПВП;
- каналні широкосмугові сигнали складаються в підсумовуючому пристрої;
- модуляція несучої складним широкосмуговим сигналом і випромінювання радіосигналу у простір.

Спрощена схема формування групового сигналу, що реалізує викладені принципи, зображена на рис. 4.2.

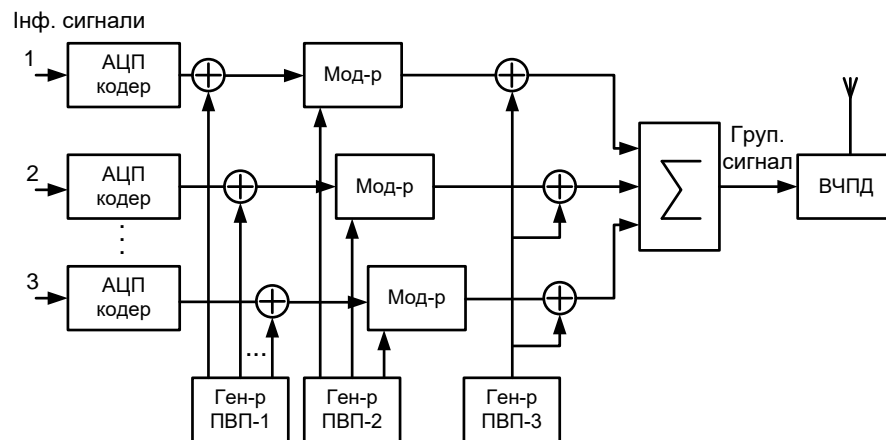


Рисунок 4.2 – Схема формування групового сигналу

На приймальній стороні в абонентській станції:

- відома "своя" кодова послідовність;
- здійснюється перенесення сигналу з радіочастоти в область низьких частот;

- низькочастотний імпульсний сигнал надходить на вхід корелятора, на другий вхід якого синхронно надходить кодуюча ПВП;
- корелятор, що складається з перемножника та інтегратора, обчислює взаємнокореляційну функцію двох сигналів;
- відгук на виході корелятора відбувається тільки тоді, коли в ущільненому складному сигналі присутня "своя" ПВП, у протилежному випадку на виході спостерігається тільки шум.

Нині відомо чимало методів формування ансамблів ортогональних і квазіортогональних послідовностей. Серед ортогональних систем сигналів у ряді систем зв'язку для кодового поділу застосовуються сигнали, що є рядками матриці Адамара розміром  $64 \times 64$ . Матриця Адамара розміром  $2n \times 2n$  формується з матриці розміром  $n \times n$  у такий спосіб:

$$W_{2n} = \begin{bmatrix} W_n & W_n \\ W_n & -W_n \end{bmatrix}. \quad (4.2)$$

Початковою матрицею в цьому рекурентному обчисленні виступає матриця розміром  $1 \times 1$ :  $W_1 = [1]$ . Таким чином, матриця Адамара розміром  $2 \times 2$

$$W_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

За аналогією матриця  $8 \times 8$  має вигляд:

$$W_8 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Можна переконатися, що якщо попарно перемножити елементи двох різних рядків матриці, а потім скласти результати, то вийде нуль. Це означає, що будь-яка пара рядків у матриці Адамара є ортогональною (зрозуміло, якщо немає взаємного зсуву). З іншого боку, кореляція рядка самого собою дає число 8, що очевидно. Якщо ж скорелювати рядок з його інверсним поданням, то результат дорівнюватиме  $-8$ . Таким чином, інформаційний "0" першого каналу можна передавати першим рядком матриці Адамара, а інформаційну "1" – першим рядком, але з ін-

версією; бінарному потоку другого каналу можна привласнити другий рядок і т.д. Оскільки рядки матриці ортогональні, то сигнали різних каналів можна розділити на приймальній стороні. Рядки матриці Адамара частіше називаються функціями Уолша.

Системи зв'язку, що базуються на кодовому поділі каналів порівнянно з іншими системами цифрового зв'язку, мають суттєві переваги:

- мають виняткову складність результуючих сигналів, тим самим підвищуючи конфіденційність передачі;
- мають малу спектральну щільність результуючого сигналу, що підвищує скритність системи;
- ефективно передають інформацію при багатопроменевому поширенні радіохвиль;
- стійкі до впливу як імпульсних, так і зосереджених за частотою завад;
- здійснюють близьку до когерентного обробку сигналів, тим самим доводячи заводостійкість до граничних значень;
- мають низький рівень споживаної потужності абонентської станції, що забезпечує її тривалу роботу без підзарядки;
- полегшують або повністю виключають необхідність частотного планування;
- гнучкі в розгортанні, легко адаптуються до вимог за наданими послугами у конкретній мережі користування.

Висока ефективність використання частотного ресурсу, висока заводо захищеність, скритність і конфіденційність привели до того, що сучасні системи, зокрема, мобільного зв'язку, орієнтовані на ті або інші варіанти CDMA.

## 4.2 Геометричне і математичне зображення широкопосмугових сигналів

У системах передачі дискретних сигналів кожному  $i$ -му повідомленню ставиться в однозначну відповідність сигнал  $U_i(t)$  з певної кінцевої безлічі сигналів. Для побудови цієї безлічі системі передачі виділяється смуга частот  $F$  і час  $T$ , обумовлений швидкістю передачі  $R_i = 1/T$ . Отже, для формування сигналів на частотно-часовій площині виділяється область, що обмежена прямокутником зі сторонами  $F$  і  $T$ .

Для формування широкопосмугових (складних) сигналів може використовуватися як вся область, так і її частина. Добуток  $F_c T_c$  є базою сигналу  $B_c = F_c T_c$ , значення якої,  $B_c \gg 1$ . Іноді ШСС називають складними сигналами у відмінності від простих з базою сигналу, рівною одиниці, тобто  $B_c = 1$ .

В системах зв'язку зі ШСС ширина спектра  $F_c$  завжди набагато більша ширини спектра початкового сигналу. Зазвичай, база ШСС досягає значень декількох сотень або навіть тисяч. Тому такі системи називають системами з розширеним спектром.



У загальному випадку складний сигнал можна подати у вигляді безлічі елементарних простих сигналів з тривалістю  $T_0$  кожний і зміщених за частотою на величину, кратну  $F_0 = 1/T_0$  (рис. 4.3).

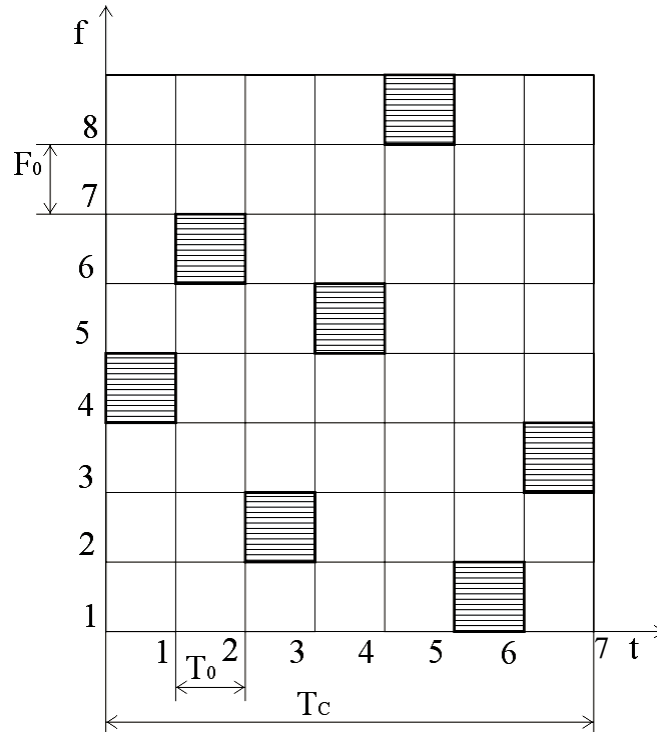


Рисунок 4.3 – Геометричне зображення ШСС

З рис. 4.3 видно, що інформаційний біт (розряд) розділений на 7 інтервалів тривалістю  $T_0$  кожний. Значення кожного з інтервалів (чіпів) передається на “своєїй” частоті (на рис. 5.3 їхні значення :  $4F_0$  ;  $6F_0$  ;  $2F_0$  ;  $5F_0$  ;  $8F_0$  ;  $1F_0$  і  $3F_0$  відповідно).

Кожний з елементарних сигналів з амплітудою  $A$ , розташований в  $k$ -й часовій смузі і  $m$ -ю частотою  $U_{km}$ , можна записати у вигляді

$$U_{km}(t) = Av(t - kT_0)\cos(2\pi mF_0t), \tag{4.3}$$

$$\text{де } v(t - kT_0) = \begin{cases} 1, & kT_0 \leq t \leq (k+1)T_0; \\ 0, & t < kT_0; \quad t > (k+1)T_0. \end{cases}$$

Співвідношення для складного сигналу, що складається з декількох елементарних, можна подати у вигляді:

$$U(t) = \sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^M Aa_m U_{km}(t), \tag{4.4}$$

де  $N$  і  $M$  – кількість часових і частотних інтервалів відповідно на частотно-часовій площині (частотно-часової матриці).

Підставивши співвідношення для  $U_{km}(t)$  у співвідношення для  $U(t)$  одержимо:

$$U(t) = \sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^M Aa_m v(t - kT_0) \cos(2\pi m F_0 t). \quad (4.5)$$

Зміна індексів  $k$  і  $m$  означає зсув елементарного сигналу в часі на  $kT_0$  і за частотою на  $mF_0$ . Наприклад,

$$U_{23}(t) = A v(t - 2T_0) \cos(2\pi 3 F_0 t).$$

За характером розподілу енергії на частотно-часовій площині сигнали розділяються на часові, частотні і частотно-часові.

Часові сигнали (сигнали з прямим розширенням спектра) не мають модуляції за частотою, тому  $\alpha_{km} = 0$  для всіх  $m \neq \mu$ . Тоді складний часовий сигнал (ЧС-сигнал) можна записати у такому вигляді:

$$U(t) = \sum_{k=1}^N Aa_k v(t - kT_0) \cos(2\pi \mu F_0 t). \quad (4.6)$$

Умовний розподіл енергії ЧС-сигналу на частотно-часовій площині наведено на рис. 4.4.

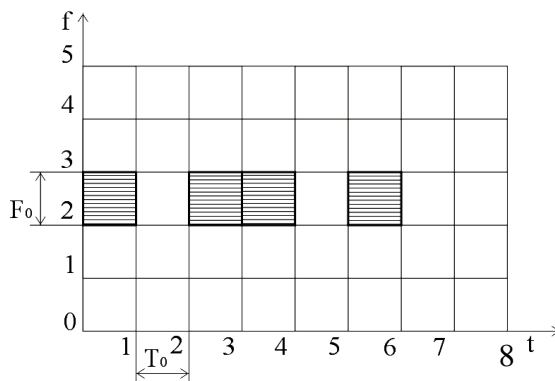


Рисунок 4.4 – Геометричне зображення складного часового сигналу

База кодування ЧС-сигналу

$$B_{\text{чс}} = F_0 T = F_0 N T_0 = N. \quad (4.7)$$

Частотні сигнали (сигнали зі стрибкоподібною перебудовою частоти) не мають модуляції в часі, тому  $a_{km} = 0$  для всіх  $k \neq \lambda$ .

Тоді складний частотний сигнал (Ч-сигнал) можна записати у вигляді:

$$U(t) = \sum_{m=1}^M Aa_m v(t - \lambda T_0) \cos(2\pi m F_0 t). \quad (4.8)$$

Умовний розподіл енергії Ч-сигналу на частотно-часовій площині наведено на рис. 4.5.

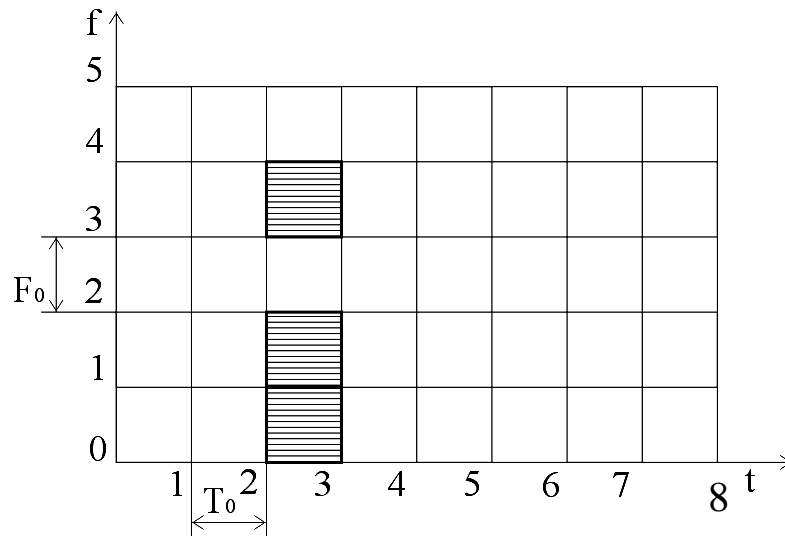


Рисунок 4.5 – Геометричне зображення складного частотного сигналу

База кодування складного Ч-сигналу

$$B_q = FT_0 = MF_0 T_0 = M. \quad (4.9)$$

Частотно-часові сигнали (ЧЧ-сигнали зі стрибкоподібною перебудовою частоти) мають модуляцію як за частотою, так і у часі, тому співвідношення для складного ЧЧ-сигнала має вигляд

$$U(t) = \sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^M Aa_m v(t - kT_0) \cos(2\pi m F_0 t). \quad (4.10)$$

Геометрична інтерпретація цього сигналу являє собою частотно-часову матрицю (рис. 4.6).

База кодування ЧЧ-сигнала

$$B_{qq} = FT = MF_0 N T_0 = MN. \quad (4.11)$$

Тобто вона дорівнює загальній кількості елементів, з яких складається складний сигнал.

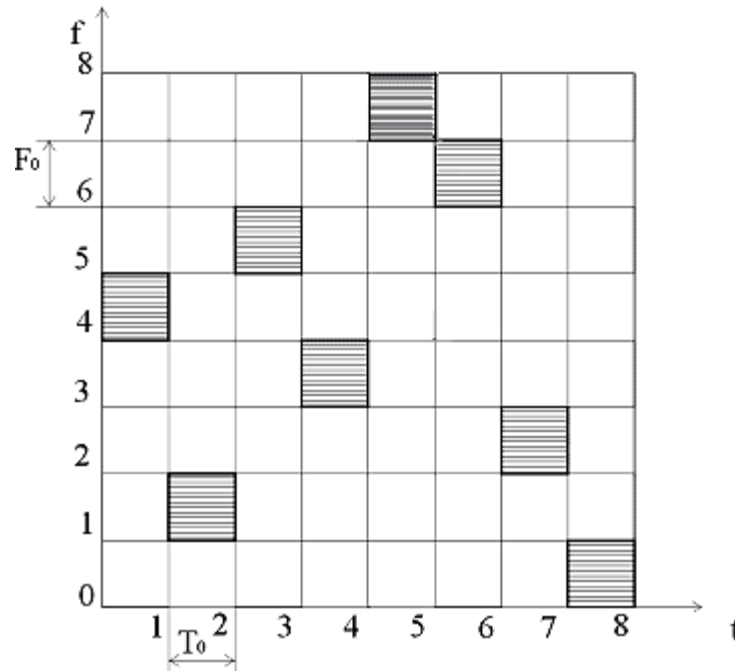


Рисунок 4.6 – Геометричне зображення складного частотно-часового сигналу

Порівняння систем складних сигналів необхідно проводити при однакових базах кодування і обсягах (кількості елементів) сигналів. Для забезпечення рівності баз сигналів  $B_{\text{ЧС}} = B_{\text{Ч}} = B_{\text{ЧЧ}}$  необхідно для ЧС-сигналів збільшити  $F_0$  в  $M$  разів, для Ч-сигналів збільшити  $T_0$  у  $N$  разів. Ця умова приводить до того, що з усіх можливих сигналів вибираються лише ті, які мають однакову енергію. Наприклад, якщо складний сигнал має  $N$  часових інтервалів (розрядів), то для формування систем складних сигналів необхідно вибирати лише ті, які мають однакове число “1” і “0”.

Через те, що в ширококугових системах (системах з кодовим поділом каналів) абоненти працюють одночасно у всій виділеній смузі частот, то виникають взаємні (структурні) завади. Рівень цих завад тим вище, чим більша кількість абонентів працює одночасно.

Найважливішою вимогою при виборі системи складних сигналів є однакова їхня завадостійкість при однаковій енергетиці. Для забезпечення однакової завадостійкості стосовно взаємних (структурних) завад необхідно, щоб адресні (абонентські) складні сигнали, які використовуються мали однакові взаємно кореляційні властивості.

Взаємно кореляційні властивості сигналів характеризуються взаємно кореляційною функцією (ВКФ) –  $R_{ij}(sT_0)$ . Безліч (сукупність) сигналів певного виду

(структури) із ВКФ, що не перевершує за модулем деяке максимальне значення, тобто  $R_{ij}(ST_0) = \min |R_{ij}(ST_0)_{\max}|$ , являє собою систему сигналів, а число сигналів, що відповідають зазначеній умові, називають обсягом системи сигналів.

Таким чином, система сигналів характеризується обсягом, ВКФ ( $R$ ) і базою сигналу ( $B_c$ ).

Для  $i$ -го і  $j$ -го сигналів ВКФ визначається співвідношенням

$$R_{ij}(ST_0) = \frac{1}{T} \int_0^T U_i(t) U_j(t + ST_0) dt, \quad S = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (4.12)$$

У порівнянні систем складних сигналів кращою з погляду завадостійкості стосовно структурних завад є та, котра забезпечує найменше з можливих максимальних значень ВКФ, тобто  $\min R_{\max}$ .

Співвідношення, що визначає ВКФ  $i$ -го і  $j$ -го частотно-часових сигналів у дискретних точках, має вигляд:

$$R_{qч} = R_{ij}(ST_0) = \frac{1}{N} \sum_k^N \sum_m^M a_{imk} a_{jm(k+S)}, \quad (4.13)$$

$$\text{де } N = \frac{T_c}{T_0}.$$

Для циклічного зсуву сигналу  $U_k(t)$  на дискретний інтервал  $\tau = ST_0$  необхідно визначити індекс  $k+S$  за модулем цілого числа  $T_c/T_0$ . З наведеного співвідношення випливає, що значення  $R_{ij}(ST_0)$  пропорційне числу співпадаючих за частотою і за часом елементів  $i$ -го і циклічно зсунутого на  $\tau = ST_0$   $j$ -го сигналу:

$$R_{qч} = R_{ij}(ST_0) = \frac{1}{N} [N - \text{dist}_S(i, j)], \quad (4.14)$$

де  $\text{dist}_S(i, j)$  – хемінгова відстань між  $i$ -м і циклічно зміщеним на  $\tau = ST_0$   $j$ -м сигналами (кількість незбіжних по частоті і за часом елементів цих сигналів). Відповідно до цього співвідношення максимум модуля ВКФ:

$$R_{qч \max} = \max_{i,s,S} \left[ \frac{N - \text{dist}_S(i, j)}{N} \right] = \frac{N - d_{\min}}{N}, \quad (4.15)$$

$d_{\min}$  – кодова відстань обраного часового коду;

де  $N$  – число часових інтервалів (розрядів).

З аналізу співвідношення для  $R_{qj}$  випливає, що, по-перше, при збільшенні надмірності (при збільшенні кодової відстані  $d_{\min}$ ) при незмінному числі часових інтервалів  $N$  величина ВКФ ( $R_{qj}$ ) зменшується. Зі збільшенням же  $N$  при незмінній величині  $d_{\min}$  величина ВКФ зростає. По-друге, аналіз показує, що синтез складних ЧЧ-сигналів зводиться до побудови кодів, інваріантних до циклічного зсуву. Системі ЧЧ-сигналів відповідає код, що зберігає мінімальну кодову відстань при будь-яких циклічних зсувах.

Співвідношення для ВКФ часових сигналів (ШСС з прямим розширенням спектра) має вигляд:

$$R_{qj} = R_{ij}(ST_0) = \frac{1}{N} \sum_m^M a_{i\mu k} a_{j\mu(k+S)}. \quad (4.16)$$

При амплітудній модуляції (АМ) елементів ШСС коефіцієнти  $a_{i\mu k}$  і  $a_{j\mu k(S+1)}$  приймають значення 0 або 1.

У цьому випадку ВКФ і максимум її модуля визначаються тими самими співвідношеннями, що і для ЧЧ-сигналів:

$$R_{q\max} = R_{ij}(ST_0) = \frac{1}{N} [N - dist_s(i, j)]. \quad (4.17)$$

$$R_{q\max} = \max_{i,s,S} \left[ \frac{N - dist_s(i, j)}{N} \right] = \frac{N - d_{\min}}{N}. \quad (4.18)$$

Системою часових АМ-сигналів є код, що зберігає мінімальну кодову відстань  $d_{\min}$  за будь-яких циклічних зміщень.

При фазовій модуляції елементів ШСС коефіцієнти  $a_{i\mu k}$  і  $a_{j\mu k}$  приймають значення 1 або -1. Тоді зі співвідношення для ВКФ Ч-сигналів випливає, що  $R_{ij}(ST_0)$  пропорційна різниці між кількістю співпадаючих і елементів, що розрізняються по фазі елементів  $i$ -го і циклічно зсунутого  $j$ -го сигналів:

$$R_{qj} = R_{ij}(ST_0) = \frac{1}{N} \{ [N - dist_s(i, j)] - dist_s(ST_0) \} = \frac{1}{N} [N - 2dist_s(i, j)], \quad (4.19)$$

де  $dist_s(ST_0)$  – кількість елементів, що розрізняються за фазою,  $i$ -го і на  $\tau = ST_0$  циклічно зсунутого  $j$ -го сигналів (хеммінгова відстань між цими сигналами). При цьому максимум модуля ВКФ:

$$R_{q_{\max}} = \max_{i,s,S} \left[ \frac{N - 2 \text{dist}_s(i, j)}{N} \right] = \max \left\{ \frac{N - 2d_{\min}}{N}; \frac{2d_{\max} - N}{N} \right\}, \quad (4.20)$$

де  $\{a, b\}$  – найбільша з величин  $a$  і  $b$ .

Значення цих величин передбачається позитивними, тому що в коді, як правило,  $d_{\min} < N/2, d_{\max} > N/2$ .

Таким чином, системою Ч-сигналів є код, що зберігає за будь-яких циклічних зсувів як максимальну, так і мінімальну кодову відстань.

Для частотних (Ч) сигналів співвідношення для ВКФ має вигляд:

$$R_q = R_q(ST_0) = \begin{cases} \frac{1}{N} \sum_m a_{im\lambda} a_{jm\lambda}, & \text{при } S = 0 \\ 0, & \text{при } S \neq 0. \end{cases} \quad (4.21)$$

Звідси випливає, що ВКФ дорівнює нулю при всіх часових інтервалах, крім нульового, між  $i$ -м і  $j$ -м сигналами. Максимальне значення ВКФ досягається тільки в точці  $S = 0 (\tau = 0)$ . Тому властивість кодів зберігати мінімальну або максимальну кодову відстань за будь-яких циклічних зсувів тут не потрібна. Для системи Ч-сигналів може бути використаний будь-який код.

Методика побудови системи складних сигналів полягає в наступному.

1. Необхідно вибрати метод модуляції, що визначає вид сигналу (ЧС, Ч або ЧЧ).

2. При заданій кількості абонентів  $N_a$  і наявної сукупності сигналів  $(N_{qC}, N_q, N_{q\text{ч}})$  необхідно вибрати  $N_a < N_i$  складних сигналів і визначити для кожної пари сигналів ВКФ.

3. Вибрати ті сигнали для системи складних сигналів, які задовольняють умові  $R(ST_0) = \min |R_{ij}(ST_0)_{\max}|$ .

Можна зробити висновок про те, що для одержання виграшу якості зв'язку під час використання кожного зі способів кореляційної обробки, необхідно, щоб ансамбль сигналів мав «добрі» автокореляційні властивості. Бажано, щоб сигнали мали єдиний автокореляційний пік, інакше можлива помилкова синхронізація за бічним пелюстком автокореляційної функції (АКФ). Важливо, що чим ширше спектр випромінюваних сигналів, тим більш вузький центральний пік (основний пелюсток) АКФ. Пари кодових послідовностей підбираються так, щоб взаємна кореляційна функція (ВКФ) мала мінімальне значення при їхній попарній кореляції. Це гарантує мінімальний рівень взаємних завад.

Отже, вибір оптимального ансамблю сигналів в CDMA зводиться до пошуку такої структури кодових послідовностей, у якій центральний пік АКФ має найбі-

льший рівень, а бічні пелюстки АКФ і максимальні викиди ВКФ за можливості мінімальні.

### 4.3 Види сигналів у системах з кодовим поділом сигналів

Як елементи складного сигналу найбільш часто використовуються:

- ортогональні сигнали (коди);
- псевдовипадкові послідовності.

Сигнал ортогональний на інтервалі  $(a, b)$  з вагою  $P(x)$ , якщо

$$\int_a^b P(x)\varphi_i(x)\varphi_j(x)dx = 0, \quad i \neq j. \quad (4.22)$$

Такі сигнали описуються функціями Бесселя, багаточленами Чебишева тощо. Але точне їхнє відтворення дотепер не досягнуте.

*Функції (коди) Уолша*

Коди Уолша – одні з ортогональних кодів, які можна використовувати для кодування і подальшого об'єднання декількох інформаційних сигналів. Коди Уолша, як було показано в п. 4.1, формуються з рядків матриці:

$$W_{2^i} = \begin{vmatrix} W_{2^{i-1}} & W_{2^{i-1}} \\ W_{2^{i-1}} & -W_{2^{i-1}} \end{vmatrix}, \quad (4.23)$$

де  $i = 1, 2, 3, \dots$

Особливість цієї матриці полягає в тому, що кожен її рядок ортогональний будь-якому іншому рядку.

При  $i = 1$   $W_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{vmatrix}$  (часто записують у вигляді  $\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$  або  $\begin{vmatrix} -1 & -1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix}$ ).

Відповідно до цього співвідношення для  $i = 2$

$$W_4 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{vmatrix}.$$

Набір функцій Уолша перших 8-ми порядків ( $i = 3$ ) можна подати у вигляді матриці





кових сигналів. Однак вони вигідно відрізняються від ортогональних послідовностей інваріантністю до часового зсуву. Існує кілька видів ПВП, які мають різні характеристики. Вибір псевдовипадкової кодової послідовності в радіотехнічній системі передачі інформації дуже важливий, оскільки при одній і тій самій довжині кодової послідовності параметри (зокрема, завадостійкість) системи можуть бути різними.

ПВП мають відповідати таким критеріям, як непередбачуваність і випадковість. При генерації ПВП необхідно забезпечити відповідність властивостей цієї послідовності чітко певним критеріям випадковості:

1) збалансованість: кількість одиниць ( $n_1$ ) і кількість нулів ( $n_0$ ) мають бути приблизно однаковими і рівними половині довжини ПВП ( $n_1 = n_0 + 1$ ). Наприклад, у ПВП виду 000111101011001 загальна кількість розрядів  $n=15$ , з них кількість одиниць  $n_1 = 8$ , кількість нулів  $n_0 = 7$ ;

2) серійність. Серією називається група з 0 або 1, що впливають підряд. Поява іншої цифри означає початок нової серії. Для ПВП характерно:

- довжина приблизно половини всіх серій дорівнює 1;
- довжина четвертої частини всіх серій – дорівнює 2 (групи з 2-х “1” або “0”);
- довжина 1/8 всіх серій – дорівнює 3 (групи з 3-х “1” або “0”);
- довжина 1/16 всіх серій – дорівнює 4 (групи з 4-х “1” або “0”) і т.д.

Наприклад, у ПВП виду 000 1111 0 1 0 11 00 1 загальна кількість серій з одиниць і нулів дорівнює восьми (кожна з серій підкреслена): видно, що з восьми чотирьох серій довжиною в один розряд (0; 1; 0; 1), дві серії (четверта частина з усіх восьми) два розряди (11 і 00), одна серія (одна восьма з усіх) трьох розрядна (000) і одна серія довжиною в чотири розряди (1111).

3) властивість кореляції – при порозрядному порівнянні послідовностей, що зсуваються циклічно, різниця кількості збігів і кількості розбіжностей не повинна перевищувати 1, тобто модуль автокореляційної функції (АКФ)  $R(S)$  не повинен бути більше  $1/N$ . Інакше кажучи, якщо значення розрядів ПВП (1 і 0) подані у вигляді +1 і -1 відповідно (що зазвичай має місце), то її автокореляційна функція

$$R(S) = \frac{1}{N} \sum_{s=0}^{N-1} a_k a_{k-s} \quad - \text{періодична, причому її значення при } S=0 \quad R(0)=1 \text{ і при } S \neq 0 \quad R(S) = \frac{1}{N}.$$

З числа псевдовипадкових послідовностей у системах з технологією CDMA широке застосування знаходять  $m$ -послідовності (МП), послідовності Голда, Касамі, широко використовуються функції (коди) Уолша, коди Баркера тощо.

### *M-послідовності*

Одним з найбільш відомих фазоманіпульованих сигналів є сигнали, кодові послідовності яких мають максимальну довжину, є  $m$ -послідовності. Для

$m$ -послідовностей зазвичай використовують регістри зсуву або елементи затримки заданої довжини. Довжина  $m$ -послідовності дорівнює  $2^k - 1$ , де  $k$  – число розрядів регістра зсуву. Різні варіанти підключення виходів розрядів до ланцюга зворотного зв'язку дають деякий набір послідовностей.

Розглянемо властивості МП ( $m$ -послідовностей) і способи їхнього формування.

1. Довжина МП (цикл, період МП) визначається співвідношенням  $L = 2^k - 1$ , де  $k$  – ступінь полінома,  $P(x)$ , на основі якого побудований формувач МП.

2. Верхня границя кількості різних МП визначається співвідношенням

$$N_{МП} \leq \frac{L-1}{k} = \frac{2^k - 2}{k}. \quad (4.24)$$

3. МП має властивість циклічності: порозрядна сума по mod2 МП та її циклічно зсунутої копії являє собою теж МП, але з іншим циклічним зсувом.

4. Будь-яка МП містить  $2^{k-l}$  одиниць і  $2^{k-l} - 1$  нулів (значення довжини МП – число непарне).

5. МП має раніше зазначену властивість випадковості – серійність.

6. Автокореляційна функція  $m$ -послідовності, у якій значення 1 і 0 замінені на +1 і -1 відповідно, є періодичною з періодом  $2^k - 1$ , а її значення визначається співвідношенням:

$$R(S) = \frac{1}{N} \sum_{s=0}^{N-1} a_k a_{k-s} = \begin{cases} 1 & \text{при } S = 0, N, 2N, \dots \\ -1/N & \text{при інших значеннях } S \end{cases}, \quad (4.25)$$

де  $N$  – розрядність  $m$ -послідовності (її довжина  $L$ );

$S$  – значення взаємного часового зсуву двох копій  $m$ -послідовності на інтервал  $ST_0$ .

На рис. 4.7 наведений графік автокореляційної функції  $m$ -послідовності для  $N = 7$ .

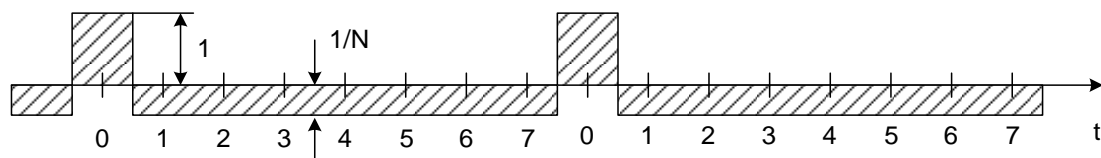


Рисунок 4.7 – Вид АКФ псевдовипадкової послідовності для  $N = 7$ .

Властивість періодичності автокореляційної функції має важливе значення при використанні  $m$ -послідовності для забезпечення циклової синхронізації. Крім того, два або більше незалежні сигнали можуть бути передані водночас в одній і

тій самій смузі і потім успішно виділені, якщо вони являють собою циклічні зміщення  $m$ -послідовностей більш, ніж на один символ.

Для визначення структури цифрового автомата необхідно знати відповідний багаточлен  $P(x)$  ступеня  $k$ .

З усіх можливих багаточленів ступеня  $k$  для синтезу цифрового автомата вибираються ті, що не розкладаються на співмножники. Крім того, багаточлен  $P(x)$  має бути примітивним (первісним), щодо двочлена  $x^2 + 1$ . Це означає, що двочлен  $x^2 + 1$  ділиться без залишку на  $P(x)$ . Вибір такого багаточлена  $P(x)$  ступеня  $k$  і побудова цифрового автомата (регістра зі зворотними зв'язками) відповідно до  $P(x)$  забезпечує формування ПВП з максимальним періодом  $L_{\max} = 2^k - 1$  (тобто формування МП). Якщо обрано інший (не примітивні) багаточлен  $P(x)$  ступеня  $k$ , то на його основі можна одержати ПВП з меншим періодом.

Щоб знайти період (цикл) ПВП  $L$ , необхідно біном  $x^z + 1$  ділити на  $P(x)$ , змінюючи  $z$  до величини, при якій розподіл здійснюється без залишку. Отримане значення  $z$  і визначає величину циклу  $L$  полінома  $P(x)$ .

Для формування МП використовується регістр зсуву зі зворотними зв'язками за  $\text{mod}2$ . Функціональна схема формування МП (генератора, цифрового автомата) представлена на рис. 4.8.

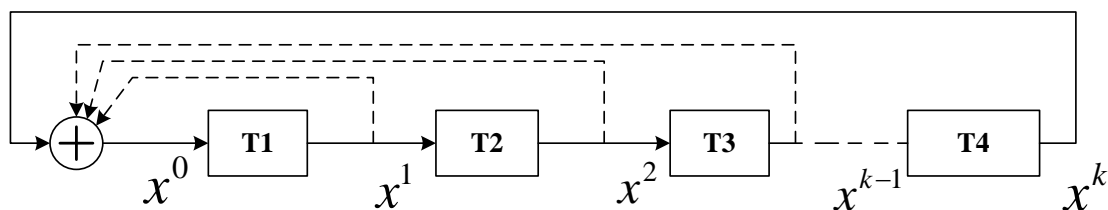


Рисунок 4.8 – Структурна схема цифрового автомата

Структура генератора  $m$ -послідовності визначається утворюючого багаточлена  $P(x)$ . У відповідності зі значенням ступеня полінома необхідно використовувати  $k$ -розрядний регістр зсуву. Регістр має містити тригери  $T_1 \dots T_k$ , з'єднані послідовно. Виходи тригерів, номери яких збігаються з ненульовими показниками ступеня членів полінома  $P(x)$ , з'єднуються з входами суматора по  $\text{mod}2$ , а вихід суматора підключається до входу регістра. Як вихідний сигнал (МП) можна використовувати вихідний сигнал будь-якого осередку (тригера) регістра. Ці МП розрізняються лише величиною зсуву.

Під час використання технології множинного доступу з кодовим поділом каналів може виникнути необхідність виділення кожному абонентові «своїї»  $m$ -послідовності із числа можливих, кількість яких обмежена. Інакше кажучи, може з'явитися недолік  $m$ -послідовностей, що виявляється в обмеженості їхньої кількості. Від цього недоліку певною мірою вільні послідовності Голда, кількість яких

значно перевищує кількість  $m$ -послідовностей, багато з яких мають добрі кореляційні властивості.

### Послідовності Голда

Коди Голда з періодом  $2^n - 1$  формуються на основі двох  $m$ -послідовностей з відбором так званих «кращих пар» (preferred pairs), що мають тризначну функцію автокореляції  $(-1, -\varphi(t), \varphi(t) - 2)$ , де

$$\varphi(t) = \begin{cases} 2^{(N+1)/2} + 1, & \text{де } N \text{ парне} \\ 2^{(N+2)/2} + 1 & \text{де } N \text{ непарне} \end{cases} \quad (4.26)$$

Коди Голда формуються шляхом посимвольного додавання за модулем 2 двох  $m$ -послідовностей (рис. 4.9).

Оскільки обидві МП, що використовуються для формування послідовності Голда, мають довжину  $L = 2^k - 1$ , та сформована послідовність Голда має таку саму довжину  $L = 2^k - 1$ , але не є послідовністю максимальної довжини ( $m$ -послідовністю). Крім того, бажані послідовності Голда можна сформувати тільки за допомогою кращих пар  $m$ -послідовностей, структура яких визначається відповідними алгоритмами.

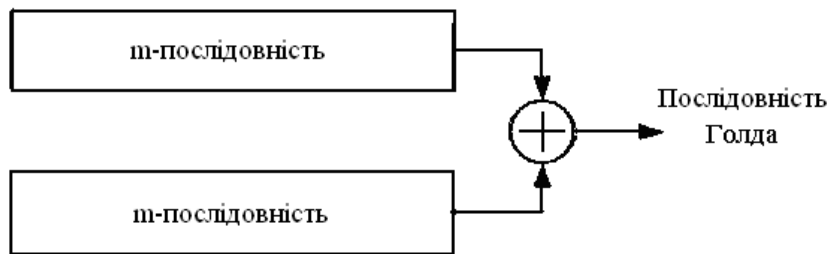


Рисунок 4.9– Генератор кодів Голда

Кількість різних послідовностей Голда, сформованих з двох МП, становить  $N_r = 2^k - 1$ , оскільки при новому циклічному зміщенні початкових умов генераторів  $m$ -послідовностей формується нова послідовність Голда. Загальна кількість послідовностей з урахуванням використовуваних двох МП для формування послідовностей Голда становить

$$N_{\Sigma} = 2^k - 1 + 2 = 2^k + 1 = L + 2. \quad (4.27)$$

При виборі відповідної пари МП можна одержати сукупність послідовностей Голда з «добрими» кореляційними властивостями. Так, наприклад, при  $k=13$  кількість МП дорівнює 630 і є пари таких МП, взаємна кореляційна функція яких  $R=703/L$ , тоді як серед послідовностей Голда можна вибрати пари з меншим значенням АКФ

$$R \leq \left( 2^{\frac{k+1}{2}} + 1 \right) / L = 129 / L. \quad (4.28)$$

### Послідовності Касами

Ще одним різновидом ПВП є послідовності Касами. Ці послідовності привабливі тим, що їх максимальна взаємна кореляційна функція для одного з варіантів послідовностей Касами (малий набір) становить  $R = (2^{k/2} - 1) / L$ , а для іншого варіанта (великий набір послідовності Касами)  $R \leq \left( 2^{\frac{k+1}{2}} + 1 \right) / L$ , де  $L$  – довжина послідовностей Касами, що дорівнює  $2^k - 1$ .

Послідовності Касами формуються для парних значень  $k$ . Принципи їхнього формування певною мірою аналогічні тим, які використовуються для послідовностей Голда з використанням процедур децимації вихідних  $m$ -послідовностей, комбінованої обробки послідовностей Голда і певних наборів уже сформованих послідовностей Касами. Сімейство кодів Касами містить  $2^k$  послідовностей з періодом  $2^{k-1}$ . Вони вважаються оптимальними в тому розумінні, що для будь-якої «кращої» пари забезпечується максимальне значення автокореляційної функції, що дорівнює  $2^k + 1$ . Кодові послідовності Касами реалізуються за допомогою трьох послідовно включених регістрів зсуву ( $u, v$  і  $w$ ) з різними зворотними зв'язками (рис. 4.10), кожний з яких формує свою  $m$ -послідовність.

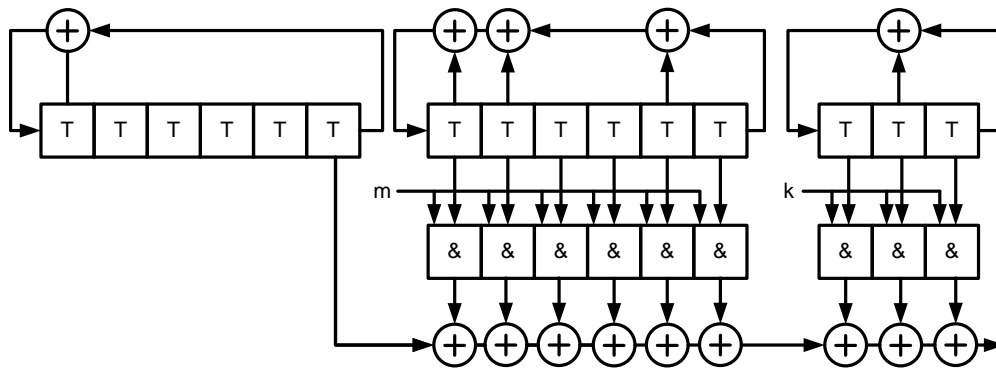


Рисунок 4.10 – Генератор послідовностей Касами типу kas(6, m, k), де  $m$  і  $k$  – циклічні зміщення

Щоб одержати кодові послідовності Касами із заданими властивостями, послідовності  $v$  і  $w$  повинні мати різні зсуви.

### Послідовності Баркера

Псевдовипадкові послідовності з малим значенням аперіодичної АКФ здатні забезпечити синхронізацію переданих і прийнятих сигналів за досить короткий

проміжок часу, зазвичай дорівнює довжині самої послідовності. Найбільшу популярність одержали послідовності Баркера.

Кодова послідовність сигналу Баркера складається з символів +1 і -1. Його АКФ має вигляд

$$R(ST_0) = \begin{cases} 1; & S = 0 \\ 0; & S = 2i + 1; \quad i = 1, 2, \dots, (N - 1); \\ \pm \frac{1}{N}; & S = 2i; \end{cases} \quad (4.29)$$

де  $N$  – число розрядів у сигналі Баркера. Знак в останньому рядку залежить від величини  $N$ .

У табл. 4.1 наведені відомі коди Баркера для  $N=3, 4, 5, 7, 11, 13$ . Для  $N > 13$  сигнали Баркера, які мають зазначену властивість АКФ не знайдені.

Таблиця 4.1 – Структура кодів Баркера

Розрядність коду Баркера $N$	Номери розрядів та їхні значення												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	1	1	-1										
4	1	1	-1	1									
5	1	1	1	-1	1								
7	1	1	1	-1	-1	1	-1						
11	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1		
13	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1

Приклад, що пояснює вигляд АКФ сигналу Баркера для  $N=5$ , поданий на рис. 4.11.

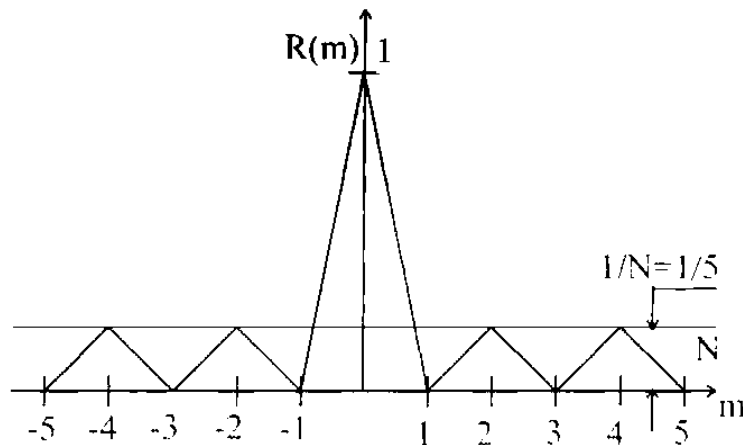


Рисунок 4.11 – Вид АКФ коду Баркера для  $N=5$

На рис. 4.12 і 4.13 наведені схеми пристроїв формування і прийому сигналів Баркера для  $N = 7$  (структура сигналу 111-1-11-1) відповідно.

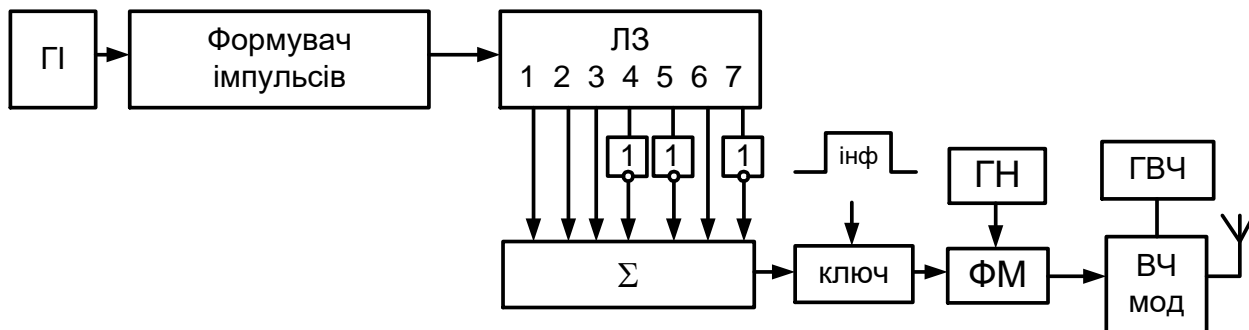


Рисунок 4.12 – Структурна схема формувача коду Баркера ( $N=7$ )

З виходу генератора імпульсів (ГІ) сигнали надходять на формувач, що формує імпульси необхідної форми й тривалості. Далі ці імпульси надходять на лінію затримки. З відводів лінії затримки сигнали подаються на суматор, а з його виходу сигнал Баркера надходить на модулятор.

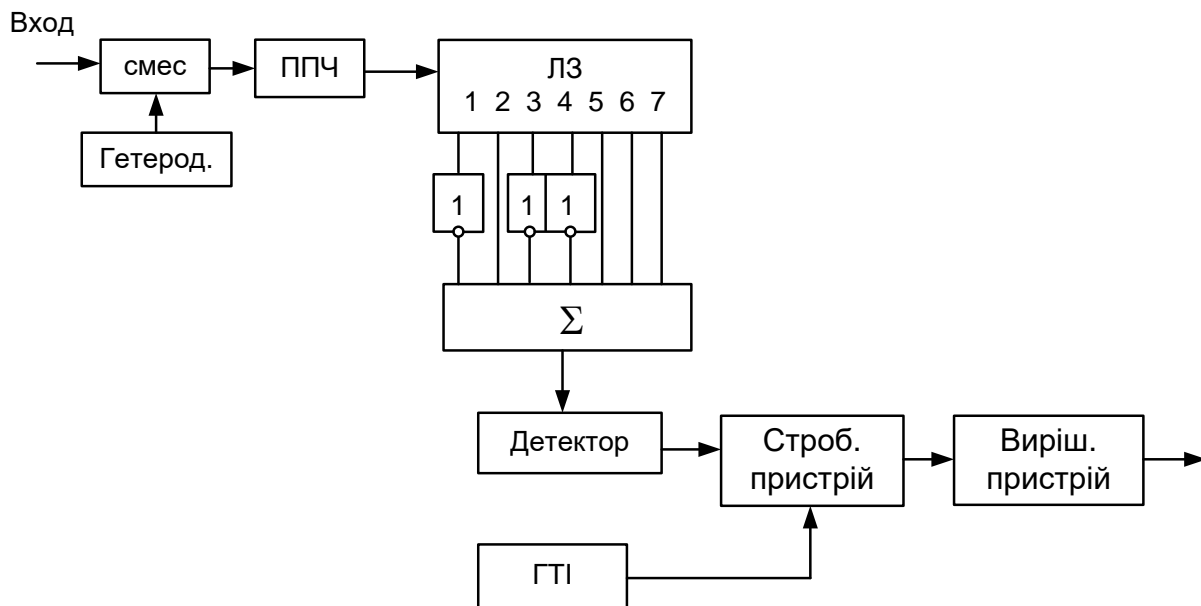


Рисунок 4.13 – Структурна схема приймача сигналів у коді Баркера ( $N = 7$ )

Прийом сигналів Баркера здійснюється пристроєм, що складається з вхідного фільтра і декодувального пристрою, що складається з суматора, лінії затримки і інверторів. Оскільки імпульсна характеристика фільтра збігається з IS-95 дзеркальним відбиттям сигналу, інвертори встановлені на виходах 1,3 і 4 лінії затримки.

Якщо сигнали Баркера передаються по кабелю, то немає необхідності в пристрої формування балансового модулятора і генератора ВЧ коливань.



Сигнали Баркера мають найкращі авто кореляційні властивості (АКФ). Тому їх найчастіше застосовують у якості синхросигналів для забезпечення циклової синхронізації.

### Контрольні запитання та завдання

1. Коди Уолша використовуються для різних задач у прямому і зворотньому каналах. Поясніть використання кодів Уолша в обох випадках.

2. Дано 7 логічних каналів CDMA з кодами Уолша  $w_1, w_2 \dots w_7$  ( $w_0$  - не використовуються) у яких передаються інформаційні біти 1,0,0,1,1,0,1 відповідно до каналів  $w_1, w_2 \dots w_7$ . Визначити структуру кодів Уолша. Визначити базу сигналу, сумарний сигнал, що передається: виділити з сумарного сигналу на приймальній стороні сигнал одного з каналів (1,2,3,4,5,6,7), вказаного викладачем.

3. Визначити взаємнокореляційну функцію двох ПВП, сформованих за допомогою регістрів, побудованих на основі поліномів  $P_1(x) = x^3 + x + 1$ ,  $P_2(x) = x^3 + x^2 + 1$ . Структуру ПВП знайти, використовуючи часову діаграму.

4. Визначити періодичну автокореляційну функцію ПВП, сформовану на основі полінома  $P_1(x) = x^3 + x^2 + 1$ ,  $P(x) = x^3 + x + 1$ . Структуру ПВП знайти використовуючи часову діаграму роботи регістра.

5. Загальне поняття про ШСС. Схема формування і прийому ШСС.

6. Геометричне і математичне уявлення ШСС.

7. Загальна методика синтезу системи складних сигналів.

8. М-последовності. Їх властивості, схема, що реалізує МП.

9. Визначити кількість можливих ШСС  $N_{ШСС}$ , якщо кількість часових інтервалів  $S = 8$ , кількість частотних інтервалів  $m = 7$ , кількість активних позицій  $n = 4$  (код з постійною вагою «4 з 8»). Визначити кількість раціональних адрес.

10. Наведіть геометричне подання часових, частотних і частотно-часових (Ч, ЧТ і ЧЧ) сигналів, що мають однакову базу  $B = 12$ .

11. Наведіть варіант схеми формування і прийому ШСС, якщо інформаційні елементи «1» і «0» подані кодовими комбінаціями вигляду 100110 («1») і 110001 («0»).

12. Відношення сигнал/завада на вході приймача ШСС дорівнює -20 дБ. Визначити базу ШСС для забезпечення відношення сигнал/взаємна завада на виході приймача 10 дБ.

13. Визначити ймовірність помилки  $P_{ном}$  під час прийняття повідомлення, що повторюється 5 разів ( $S = 5$ ) і приймається рішення за мажоритарною логікою "3 з 5". Ймовірність помилки при одноразовому прийомі повідомлення  $P_{ном1} = 10^{-2}$ . Визначити і мінімізувати бульеву функцію, яка визначає структуру мажоритарного елементу "2 з 3".

14. Закодувати 11 розрядну кодову комбінацію вигляду 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 манчестерським кодом. Визначити надмірність і швидкість передачі, якщо швидкість модуляції  $B = 2400$ Бод.

15. Кодові комбінації основного цифрового каналу ЦСП ( $B = 64$ кБіт/с) перетворені в ширококутний сигнал з базою  $B = 100$ . Визначити швидкість передачі ШСС.

16. Розрахувати максимальне значення взаємно-кореляційної функції (ВКФ)  $R$  частотно-часових сигналів, якщо кількість часових інтервалів  $N$  і хемінгова відстань коду  $dx$  задані:

$N = 5$ ,  $dx = 2$  (1-й варіант);

$N = 100$ ,  $dx = 5$  (2-й варіант);

$N = 100$ ,  $dx = 20$  (3-й варіант).

Порівняти і пояснити одержані результати.

17. Для формування  $M$ -послідовності використовується створюючий поліном  $P(x) = x^{10} + x^3 + 1$ . Необхідно записати двійковий код поліному  $P(x)$ , визначити довжину циклу  $M$ -послідовності, нарисувати схему цифрового автомата.

18. Заданий поліном  $P(x) = x^5 + x^3 + x + 1$ . Визначити цикл поліному  $P(x)$ ; зобразити схему цифрового автомата, що формує  $M$ -послідовність.

19. Схема цифрового автомата зображена на рис. 4.14. Визначити структуру створюючого полінома, його двійковий код, розрядність послідовності, що формується.

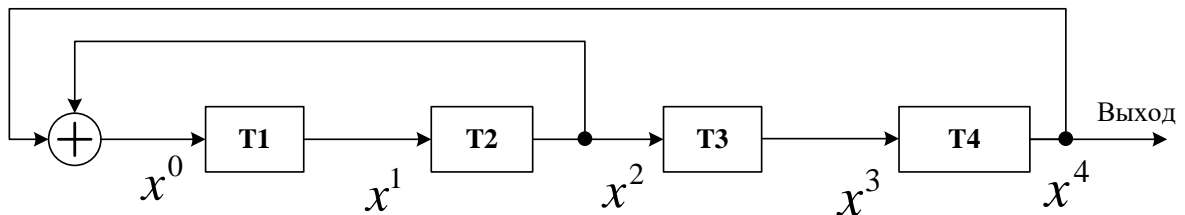


Рисунок 4.14 – Схема цифрового автомата.

20. Визначити АКФ коду Баркера для  $N = 7$  (його структура 111-1-11-1). Зобразити графік АКФ.

21. Зобразити схеми формування і прийому сигналів коду Баркера з  $N = 7$  (його структура 111-1-11-1).

22. Визначити максимальну кількість абонентів, які можуть обслуговуватися, якщо значення бази  $B = 128$ , допустиме відношення сигнал/взаємна завада (захищеність сигналу)  $P_c/P_{B3} = 6$ дБ, коефіцієнт  $\alpha = 1,2$ .

23. На рис. 4.15 зображена спрощена схема кодування і декодування CDMA сигналів, що надані. Використовується сім логічних каналів, у кожному з яких застосовується 7 бітовий код розширення. Всі джерела даних синхронізовані. Якщо всі сім джерел водночас передають один інформаційний біт у вигляді 7 розрядної послідовності імпульсів, на вхід приймача надходить комбінований сигнал. При

збігу двох позитивних або негативних чисел сигнал посилюватиметься, два протилежні числа взаємно знищуватимуться. Для декодування даних певного каналу приймач умножує одержаний комбінований сигнал на відповідний цьому каналу код розширення, підсумовує одержані результати, після чого позитивному числу ставитися у відповідність двійковий символ 1, а негативному – двійковий символ 0.

Необхідно:

- а) знайти коди розширення всіх каналів;
- б) знайти вихідні сигнали всіх семи каналів;
- в) знайти взаємну кореляцію каналу 1 і решти шести каналів, використовуючи знайдені значення кодів розширення.

На рис. 4.15 наведено вирішення задачі визначення вихідного сигналу першого каналу. Отримане позитивне число 9 вказує на те, що прийняте позитивне значення символу 1. Наведіть вирішення задачі усіх інших варіантів.

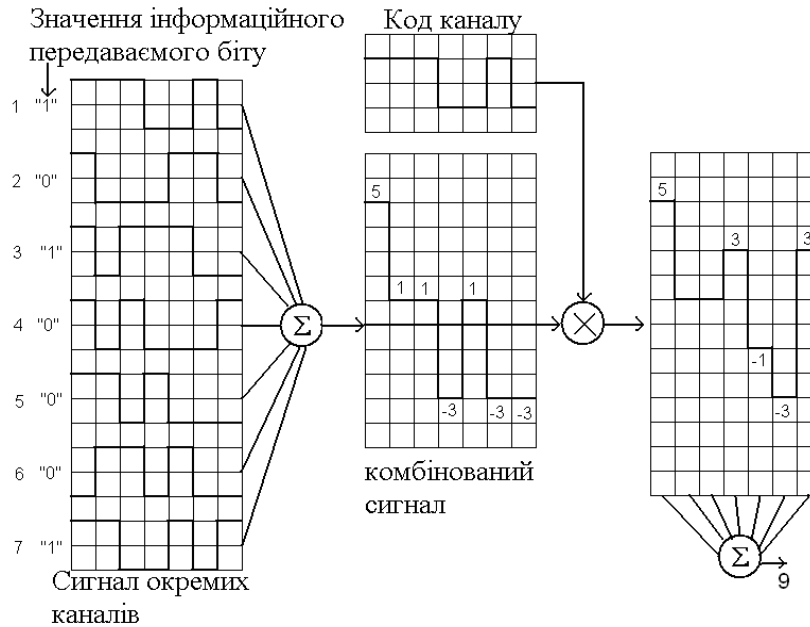


Рисунок 4.15 – Спрощена схема кодування і декодування CDMA сигналів

25. Доведіть, що коди Уолша матриці Адамара 8x8 взаємно ортогональні.

26. У системі CDMA користувачі А і В застосовують коди Уолша (-1 1 -1 1 -1 1 -1 1) і (-1 -1 1 1 -1 -1 1 1) відповідно. Необхідно визначити значення вихідного сигналу приймача якщо:

а) користувач А передає інформаційний символ (біт) 1, а користувач В не передає даних;

б) користувач А передає інформаційний символ (біт) 0, а користувач В не передає даних;

в) користувачі А і В водночас передають біти 1. Вважайте, що потужність сигналів, одержаних від А і В, однакова;

г) користувач А передає біт 0, а користувач В передає біт 1. Вважайте, що потужність сигналів, одержаних від А і В, однакова;

д) користувач А передає біт 1, а користувач В передає біт 0. Вважайте, що потужність сигналів, одержаних від А і В, однакова;

е) користувачі А і В водночас передають біти 0. Вважайте, що потужність сигналів, одержаних від А і В, однакова;

ж) користувачі А і В водночас передають біти 1. Вважайте, що потужність сигналу, одержаного від В, вдічі перевищує потужність сигналу А. Відміну потужності сигналів можна подати так: компоненти сигналу А записуються як (+1, -1), а компоненти сигналу В – як (+2, -2).

27. Наданий створюючий поліном для кодування циклічним кодом має вигляд  $P(x) = x^4 + x^3 + 1$  Необхідно:

а) зобразити функціональну схему кодуючого пристрою;

б) закодувати послідовність бітів даних 10011011100;

в) припустивши, що один з бітів (будь-який) закодованої послідовності на вході приймача (декодера) спотворений, покажіть, що при декодуванні помилка буде знайдена.

28. Визначити втрати при розповсюдженні радіохвиль (в дБ) на відстані 25км від базової станції, що працює:

а) в частотному діапазоні 450МГц;

б) в частотному діапазоні 900МГц,

якщо висота антени базової станції  $h_{BC} = 70$ м, а висота антени мобільної станції  $h_{AC} = 1,5$ м. Передбачається робота у міському районі. Для визначення втрат необхідно використовувати модель Окамури-Хата.

29. Поясніть різницю між видами модуляції BPSK і DQPSK.

30. Опишіть відмінності між методами багатостанційного (множинного) доступу частотного, часового і кодового доступу. Поясніть їх основні властивості.

31. Порівняйте схожість і відмінності в основних концепціях систем з прямим розширенням спектра і переналаштування робочої частоти.

32. Поясніть принцип наявності виграшу під час обробки сигналів у системах з розширенням спектра. Визначте поняття виграшу при обробці.

33. Які функції виконують псевдовипадкові послідовності у системах з CDMA?

34. Завада «ближній – дальній» являє серйозну проблему у стільникових системах з CDMA. Яка причина цього?

35. Адаптивне управління потужністю є рішенням проблеми «ближній – дальній» у системах CDMA. Опишіть два методи управління потужністю у системах CDMA.

## 5 СИСТЕМА МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ CDMA СТАНДАРТУ IS-95

### 5.1 Загальна характеристика системи мобільного зв'язку стандарту IS-95

Система зв'язку стандарту IS-95 призначена для роботи в діапазонах частот 824-849 МГц (зворотний канал) і 869-894 МГц (прямий канал) з дуплексним рознесенням 45 МГц. Загальна смуга частот, що займана в ефірі – 1,25 МГц, тобто системі для роботи призначається один з 20 можливих частотних каналів.

Передача мови і даних за стандартом IS-95 здійснюється кадрами тривалістю 20 мс. При цьому швидкість передачі в межах сеансу зв'язку може змінюватися від 1,2 до 9,6 кбіт/с, але протягом одного кадру вона залишається незмінною. Якщо кількість помилок у кадрі перевищує допустиму норму, то спотворений кадр усувається.

У стандарті IS-95 інформацію кожного з абонентів, що передається, кодується своїм кодом і отриману послідовність перетворюють на шумоподібний широкопосмуговий сигнал (ШСС). Внаслідок цього можна виділити знову, тільки маючи у розпорядженні свій код на приймальній стороні. При цьому, водночас у широкій смузі частот можна передавати і приймати досить велику кількість сигналів, які не заважають один одному.

Базова станція може водночас забезпечувати передачу по 64 каналах CDMA (кодових каналах), з яких 2 використовуються для синхронізації, 7 – для виборчого виклику АС, 55 – для передачі мовних повідомлень абонентів (канали прямого трафіка).

На абонентській станції організується канал доступу і канал зв'язку (канал зворотного трафіка).

Основні технічні характеристики системи IS-95 наведені у табл. 5.3, де вказано, що кожен з піддіапазонів частот по 25 МГц із дуплексним рознесенням 45 МГц розділений на 20 частотних каналів (несучих) по 1,25 МГц у кожному. Для роботи системи IS-95 виділяється один частотний дуплексний канал.

У системі IS-95 канали передачі від БС до АС є прямими, а канали для передачі від АС до БС – зворотними. Оскільки кодовий поділ сигналів дозволяє використовувати однакову несучу частоту в усіх комірках системи, то це в виключає необхідність частотного планування. На базових станціях можуть використовуватися антени з круговою або секторною (зазвичай  $120^\circ$ ) діаграмою спрямованості.

### 5.2 Склад і призначення обладнання системи мобільного зв'язку стандарту IS-95

На рис.5.1 наведено узагальнену структурну схему СМЗ стандарту IS-95, основні елементи якої є базові станції (BTS), контролер базових станцій (BSK), центр комутації рухомого зв'язку (MSK), центр управління та обслуговування (ОМС),

база даних (ДВ) про абонентів та обладнання аналогічні тим, які використовуються у СМЗ із МДЧР (FDMA) і МДЧВР (TDMA). Основна відмінність полягає в тому, що до складу мережі із МДКР (CDMA) включені пристрої оцінки якості і вибору кадрів (SU). Для реалізації процедури м'якого режиму "естафетної передачі" між БС, які управляються різними контролерами (BSC), вводиться лінія передачі між BSK і SU.

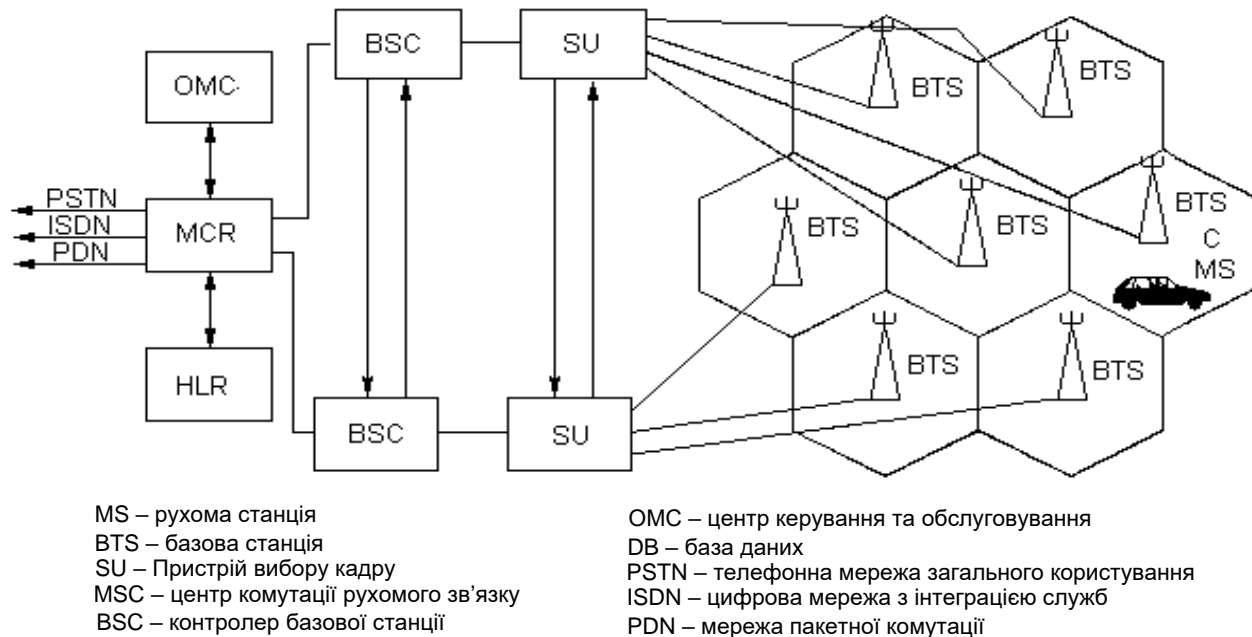


Рисунок 5.1 – Узагальнена структурна схема обладнання СМЗ стандарту IS-95

М'який режим "естафетної передачі" відбувається за рахунок взаємодії абонентської станції (АС) з двома або трьома БС. Транскодер, що входить до складу основного обладнання (ЦКРЗ) оцінює якість прийому від двох БС послідовно кадр за кадром, як показано на рис. 5.2.

Процес вибору кращого кадру призводить до того, що сигнал, отриманий внаслідок може бути сформований у процесі безперервної комутації (безперервних перемикань з однієї БС на іншу) і наступного "склеювання" кадрів, прийнятих від різних БС, що беруть участь в "естафетній передачі". М'яке переключення забезпечує високу якість прийому мовних повідомлень і усуває перерви в сеансі зв'язку, що має місце в СМЗ інших стандартів.

У системах IS-95 забезпечується формування і прийом широкосмугових сигналів. Результуючий виграш у відношенні сигнал/шум на виході приймача є функцією відношення ширини смуг широкосмугового та інформаційного сигналів: чим більше розширення спектра, тим більше виграш. У часовій області – це є функція відношення швидкості передачі цифрового потоку в радіоканалі до швидкості

передачі базового інформаційного сигналу. У стандарті IS-95 відношення складає 128 разів, або 21 дБ.

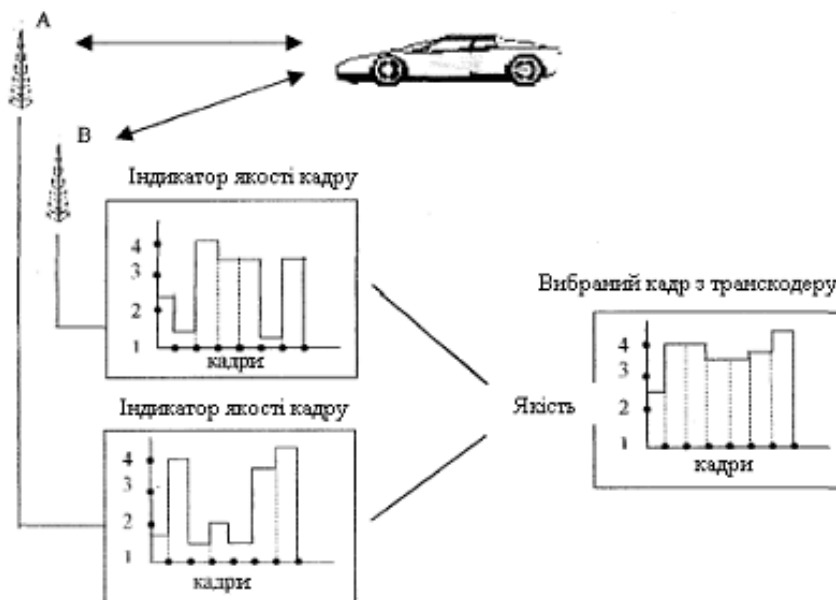


Рисунок 5.2– Послідовність вибору кадрів, що надходять від двох БС

Це дозволяє системі працювати при рівні інтерференційних завад, що перевищують рівень корисного сигналу на 18 дБ, оскільки обробка сигналу на виході приймача вимагає перевищення рівня сигналу над рівнем завад лише на 3 дБ. У реальних умовах рівень завад значно менший.

### 5.3 Принципи обробки сигналів у мобільній системі зв'язку стандарту IS-95

Для модуляції сигналу в системі зв'язку стандарту IS-95 використовуються три види функцій: «коротка» і «довга» псевдовипадкові послідовності (ПВП) і функції Уолша порядків від 0 до 63. Всі вони є загальними для базових і мобільних станцій, проте мають різне призначення.

Типи кодів та їх функції в стандарті IS-95 наведені у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Типи кодів та їх функції в стандарті IS-95

Тип сигналу	Довжина коду	Функції, що виконуються	
		Базова станція	Мобільна станція
Код Уолша	64	Кодове ущільнення або розподіл 64 каналів CDMA	Завадостійке кодування
Короткий код	32768	Розподіл сигналів базових станцій за величиною циклічного	Код з однаковим фіксованим циклічним зсувом – як опор-

		зсуву	ний сигнал скремблера
Довгий код	$2^{42} \cdot 1$ ( $4.4 \times 10^{12}$ )	Проріджений довгий код – як опора послідовність скремблера	Довгий код з різними циклічними зсувами – як адресна послідовність

Розглянемо питання обробки сигналів у мобільній системі зв'язку стандарту IS-95 більш детально.

У системі IS-95 кодовий поділ сигналів (кодових каналів) у прямому частотному каналі (від АС до БС) реалізований на основі використання 64 видів послідовностей, які формуються за законом функцій Уолша. У кожному з кодових каналів для модуляції сигналів, що передаються, використовується одна з 64 функцій Уолша. Для передачі інформаційної послідовності по кожному з кодових каналів використовується відповідна функція Уолша (рядок матриці Уолша-Адамара, що відрізняються від функцій Уолша заміною нулів на мінус одиниці), причому, при зміні знака біта інформаційного повідомлення фаза послідовності Уолша змінюється на  $180^\circ$ . Послідовності Уолша взаємно ортогональні, тому взаємні завади між кодовими каналами базової станції відсутні. Завади по кодових каналах БС створюють лише сусідні базові станції, які працюють у тій самій смузі частот. Для синхронізації роботи мережі використовуються сигнали, що приймаються з радіонавігаційних супутників GPS за допомогою спеціальних приймачів, які входять до складу БС.

Розширення спектра забезпечується за рахунок модуляції сигналу короткою псевдовипадковою послідовністю (ПВП) з частотою символів (чіпів) 1,23 МГц. Більш точно ця частота складає 1,2288 МГц, причому  $1228,8 = 9,6 \times 128$ , так що при швидкості передачі інформаційної бітової послідовності 9,6 кбіт/с тривалість одного біта відповідає 128 символам (чіпам) псевдовипадкової модулюючої послідовності, тобто база сигналу дорівнює 128. Смуга сигналу з розширеним спектром за рівнем 3 дБ складає 1,25 МГц.

Відмінність сигналів різних БС забезпечується за рахунок використання для розширення спектра сигналу на всіх базових станціях однакових “коротких” ПВП, але із зсувом, кратним 64 чіпам для кожної з БС. Тобто адреси базових станцій розрізняються величиною зсуву короткої ПВП Довжина “короткої” ПВП дорівнює  $2^{15} - 1 = 32767$  символів (чіпів). За рахунок додавання до “короткої” ПВП “0” її довжина зростає до  $2^{15} = 32768$  символів (чіп), що забезпечує можливість призначення індивідуальних кодів  $512 \left( \frac{32768}{64} = 512 \right)$  базовим станціям.

Використання довгої ПВП забезпечує шифрування сповіщень. Крім того, на довгу ПВП накладається маска (код, адреса) АС.

Отже, у прямому каналі (від БС до АС) у процесі модуляції сигналу використовуються:

- функції Уолша для розрізнення різних фізичних каналів даної БС;
- довга ПВП для шифрування повідомлень;



– коротка ПВП для розширення спектра сигналу і розрізнення сигналів різних БС.

Послідовність обробки сигналів у передавальному тракті базової станції наведена на рис. 5.3.

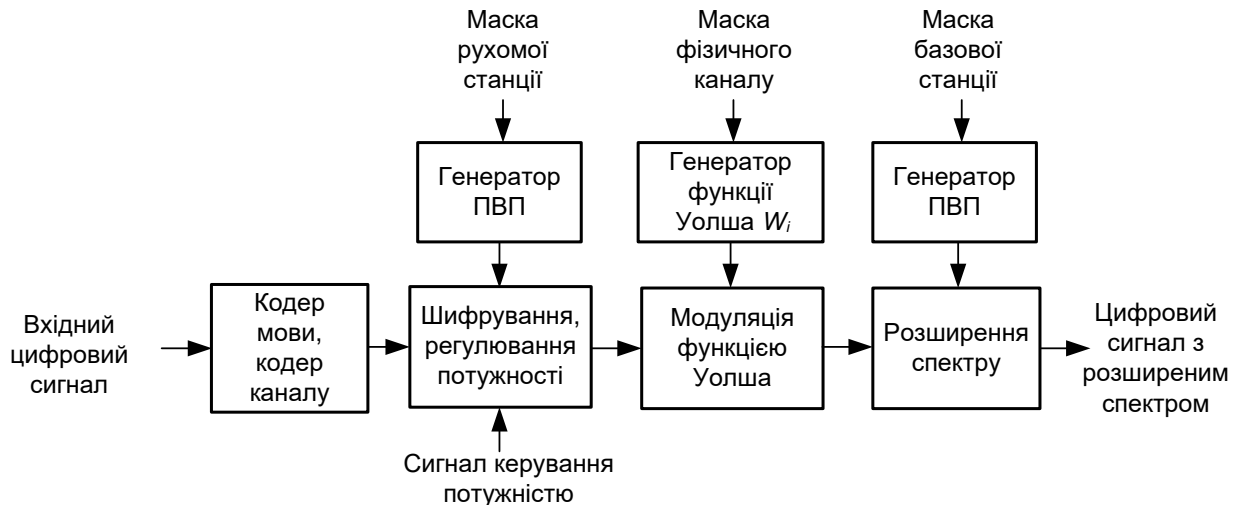


Рисунок 5.3 – Схема обробки сигналів в передавальному тракті базової станції

Для управління потужністю сигналу АС передбачена передача відповідного сигналу управління.

Для синхронізації роботи мережі використовуються сигнали, що прийняті з радіонавігаційних супутників GPS за допомогою спеціальних приймачів, які входять до складу БС.

На АС теж застосовуються ортогональні коди Уолша, але не для ущільнення кодових каналів (як на БС), а для підвищення завадостійкості. З цією метою вхідний потік даних із швидкістю 28,8 кбіт/с поділяється на пакети по 6 біт, і кожному з них однозначно ставиться у відповідність одна з 64 послідовностей Уолша. Внаслідок цього швидкість кодованого потоку на вході модулятора зростає до 307,2 кбіт/с ( $28,8 \times 64 / 6 = 307,2$ ). Це кодування однаково для всіх фізичних каналів. На приймальному кінці використовуються 64 паралельні декодери (дешифратори), кожен з яких налаштований на свою функцію Уолша, і ці декодери (дешифратори) розпізнають (декодуєть) прийняті 6-бітові символи.

Сигнали від різних АС розрізняються на БС за рахунок того, що кожен з них має адресу, за якою використовується однакова “довга” ПВП, але з різним циклічним зсувом для різних АС. Швидкість передачі “довгої” ПВП дорівнює 1,2288 Мчп/с. Використання довгої ПВП забезпечує кодування фізичного каналу (маски, адреси АС) і шифрування сповіщень.

Розширення спектра сигналу абонентських станцій здійснюється за рахунок модуляції (шляхом скремблювання) сигналу, як і на базових станціях, короткою псевдовипадковою послідовністю (ПВП).

Для регулювання рівня сигналу, що приймається з БС, формується і передається на БС сигнал управління потужністю.

Послідовність обробки сигналів в передавальному тракті абонентській станції наведена на рис. 5.4.

Передача повідомлень у СМ3 стандарту IS-95 здійснюється кадрами тривалістю 20 мс. Швидкість передачі може змінюватися від 1,2 до 9,6 кбіт/с, але в межах одного кадру вона незмінна.

Для захисту інформації від помилок використовуються завадостійкі коди (циклічний, згортковий). Якщо в прийнятому кадрі виявлена неприпустимо велика кількість помилок, то цей кадр стирається.

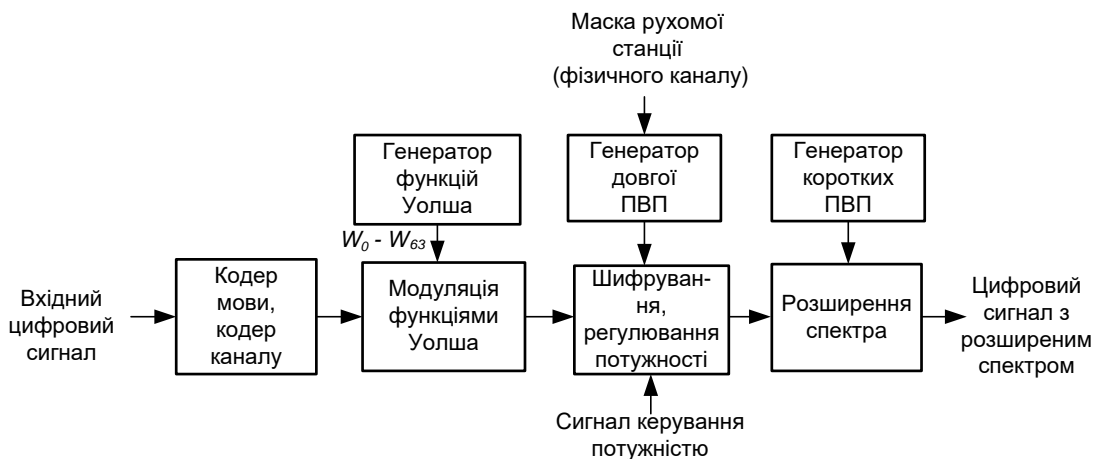


Рисунок 5.4 – Схема обробки сигналів у передавальному тракті абонентської станції

Максимальна швидкість перетворення мовного сигналу у кодері становить 9,6 кбіт/с. Після завадостійкого кодування і розширення спектра сигналу швидкість передачі інформації на одній несучій становить 1228,8 кбіт/с, що визначає базу сигналу  $B_C = 1228,8/9,6 = 128$ .

У зворотному каналі, як і у прямому, для захисту від помилок використовуються завадостійке кодування (згортковий код) і перемеження на інтервалі 20 мс. Внаслідок кодування швидкість в інформаційному каналі збільшується до 28,8 кбіт/с.

На рис. 5.5 наведена спрощена структурна схема, що пояснює принцип роботи системи стандарту IS-95. Інформаційний сигнал кодується кодом Уолша, потім змішується з несучою, спектр якої заздалегідь розширюється перемноженням з сигналом генератора псевдовипадкового шуму (ПВП). Кожному інформа-

ційному сигналу призначається свій код Уолша, потім усі сигнали об'єднуються в передавачі, пропускаються через фільтр, і загальний шумоподібний сигнал випромінюється антеною, яка передає.

На вхід приймача надходять корисний сигнал, фоновий шум, завади від БС сусідніх осередків і від АС інших абонентів. Після ВЧ-фільтрації сигнал надходить у корелятор, де відбувається стиснення спектра і виділення корисного сигналу в цифровому фільтрі за допомогою заданого коду Уолша. Спектр завад розширюється, і вони з'являються на виході корелятора у вигляді шуму. На практиці в АС використовується декілька кореляторів для прийому сигналів з різним часом розповсюдження в радіотракті або сигналів, що передаються різними БС.

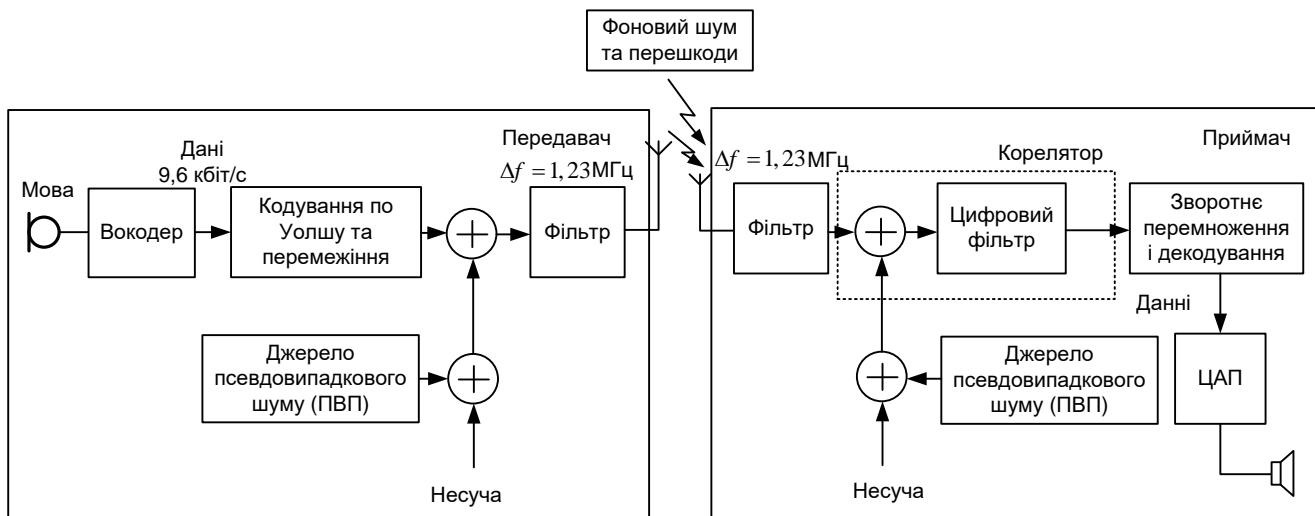


Рисунок 5.5 – Спрощена структурна схема системи стандарту IS-95

Як відомо, у системах, що використовують метод CDMA, можна використовувати один і той самий відрізок смуги частот для роботи в усіх осередках мережі. Таке 100%-не використання доступного частотного ресурсу – один з основних чинників, що визначають високу абонентську місткість мережі стандарту CDMA. Системи на базі CDMA мають динамічну абонентську ємність. І хоча існує 64 коди Уолша (64 кодових каналів), ця теоретична межа не досягається в реальних умовах, оскільки абонентська ємність системи обмежується внутрішньо-системною інтерференцією, що викликається одночасною роботою рухомих і базових станцій сусідніх осередків.

Кількість абонентів у системі CDMA (пропускна здатність) залежить від рівня взаємних завад. Злагоджені фільтри БС вельми чутливі до ефекту «ближній-дальній», коли АС, що розташована поблизу БС, працює на великій потужності, створюючи неприпустимо високий рівень завад при прийомі інших, «віддалених» сигналів, що приводить до зниження пропускної здатності системи в цілому. Ця проблема існує у всіх СМРЗ, проте найбільші спотворення сигналу виникають

саме в CDMA-системах, що працюють у загальній смузі частот, в яких використовуються ортогональні шумоподібні сигнали. Якби в цих системах було відсутнє регулювання потужності, то вони істотно поступалися б за характеристиками мобільним мережам на базі TDMA. Тому важливою ключовою проблемою в CDMA-системах можна вважати індивідуальне управління потужністю кожної станції.

Пропускна здатність систем стандарту CDMA і IS-95 зокрема обмежується завадами, які створюють на вході приймача АС інші АС і БС (системні завади). Для зменшення рівня взаємних завад у стандарті IS-95 здійснюється регулювання рівня потужності, що випромінюється кожною АС. Це забезпечує можливість прийому сигналів з однаковим рівнем потужності від АС, віддалених від БС на різні відстані. Чим нижче рівень потужності сигналів від АС на вході БС, тим вище ємність системи. Необхідність вирівнювати і зменшувати рівень потужності сигналів від АС на вході БС є недоліком системи IS-95.

Сигнали у зворотному каналі не синхронізовані, тому вплив завад, що створюються іншими абонентськими станціями та базовими станціями, призводить до обмеження пропускної здатності мережі стандарту CDMA.

Кількість активних абонентів ( $M$ ), які одночасно працюють у комірці мережі CDMA, визначається співвідношенням

$$M = \frac{B_c}{E_c/N_0} + 1,$$

де  $B_c$  – база сигналу (дорівнює 128 у системі IS-95);

$E_c$  – енергія біта інформаційного сигналу;

$N_0$  – спектральна потужність шуму.

$E_c/N_0$  – становить порядку 7-8 дБ. При цьому, в трьох-секторній чарунці може одночасно обслуговуватися до 60 абонентів.

Застосування (як у стандарті GSM) системи переривчастої передачі мови призводить до зниження рівня завад, і, як наслідок, до збільшення пропускної здатності. Поліпшенню завадостійкості сприяє формування цифрового мовного сигналу з різними швидкостями з подальшим їхнім вирівнюванням шляхом повторної передачі. У стандарті IS-95 використовується роздільна обробка відбитих сигналів, що приходять з різними затримками, і подальше їхнє вагове додавання, що не тільки усуває негативний вплив ефекту багатопроменевості, а навпаки, поліпшує якість прийому (підвищує співвідношення сигнал/шум з потужності).

Цифрова форма сигналів, передача в широкій смузі частот, захист інформації (її шифрування) для кожного абонента забезпечують якість і таємність зв'язку в системі IS-95 більш високими, ніж в інших системах.

## 5.4 Організація каналів у системах стандарту IS-95

Для організації дуплексного зв'язку у стандарті CDMA використовуються два піддіапазони частот: 869-894 МГц для передачі інформації від БС до АС (прямі канали) і 824-849 МГц – від АС до БС (зворотні канали). Для організації дуплексного зв'язку в зазначених піддіапазонах виділяється по одній несучій (частотні канали шириною 1,25 МГц). У кожному з напрямків передача інформації всіх абонентів здійснюється водночас на одній несучій.

У системах стандарту IS-95 розрізняють фізичні й логічні канали.

Фізичні канали характеризуються несучою частотою (частотним каналом) і кодовою послідовністю (кодним каналом – каналом CDMA).

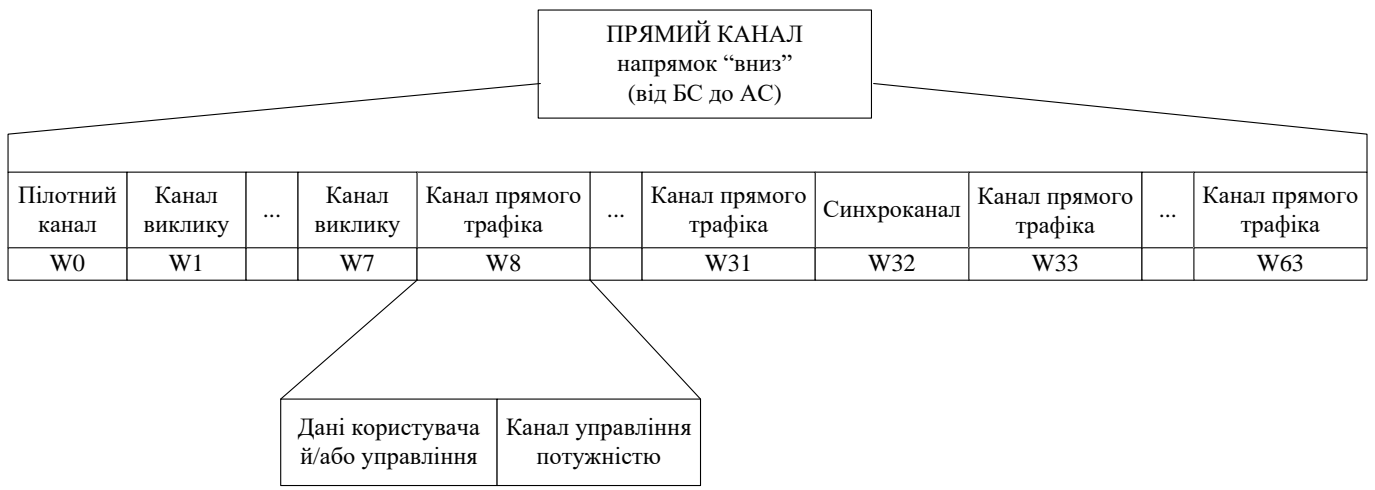
Логічні канали визначаються своїм призначенням і поділяються на інформаційні канали (канали трафіка) і канали управління. Канали трафіка забезпечують передачу мовної інформації і даних, а також сигналів управління (сигналізації) між БС і АС. У системі передбачено чотири швидкості передачі інформації: 9,6; 4,8; 2,4; 1,2 кбіт/с (1; 1/2; 1/4 і 1/8). Режим роботи зі змінною швидкістю не є обов'язковим. До каналів управління належать пілотний канал, канал синхронізації, канал персонального виклику (пейджинговий канал) і канал доступу. В системі IS-95 передача сигналів управління (сигналізація) здійснюється шляхом заміщення всього або частини пакета мови (даних). До сигналізації належить і канал управління потужністю АС.

Структура дуплексного радіоканалу для обох напрямків зв'язку показана на рис. 5.6. Всі канали напрямку «вниз» (прямі канали) розміщені на одній несучій, канали напрямку «вверх» (зворотні канали) – на іншій.

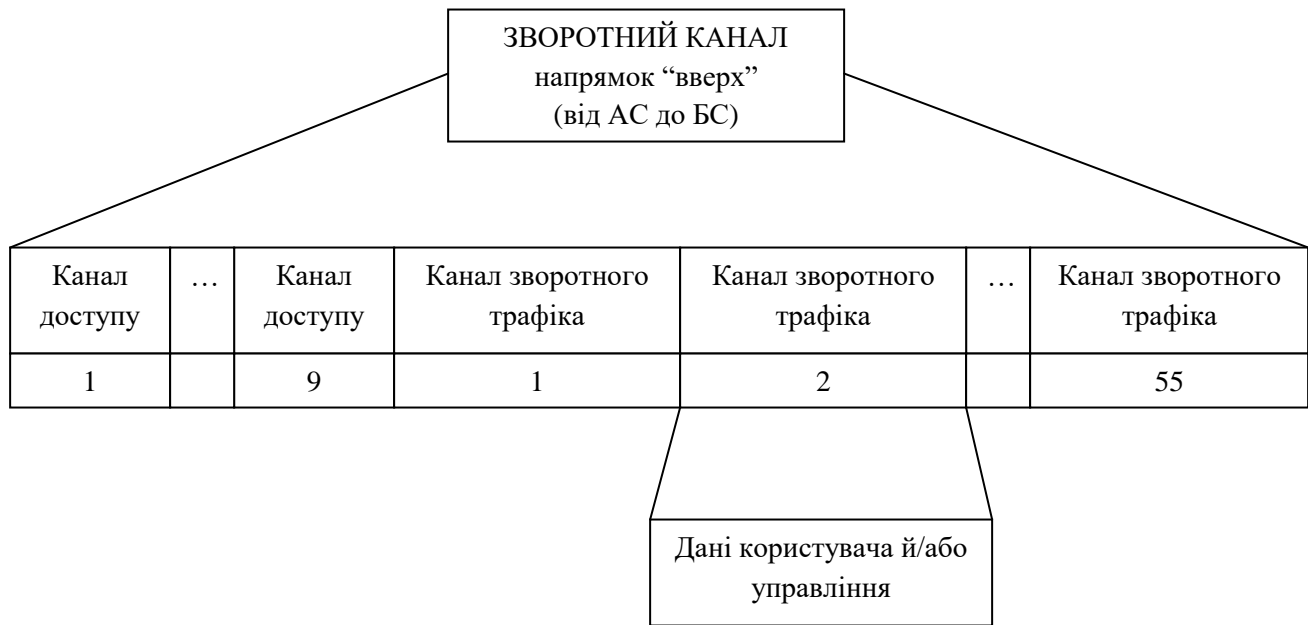
У прямому каналі реалізований синхронний варіант кодового поділу каналів.

Пілотний канал призначений для початкової (тактової) синхронізації АС. Потужність сигналу в пілотному каналі зазвичай на 4...6 дБ перевищує потужність сигналу в каналі трафіка, що забезпечує високу надійність процесу синхронізації. Пілотному каналу відведена нульова функція Уолша  $W_0$ , тобто послідовність з одних нулів (поданих у вигляді «-1»). Інформаційні дані за пілотним каналом не передаються. АС використовує пілот-сигнал для захоплення несучої частоти, після чого оцінює його фазу і виділяє опорне коливання, необхідне для когерентної обробки сигналів БС під час прийняття. Вимірюючи потужність пілот-сигналів базових станцій, абонентська станція може використовувати отримані дані під час естафетної передачі, а також під час регулювання потужності передавача.

Канал синхронізації (32-я функція Уолша) забезпечує ідентифікацію БС, визначення рівня випромінювання пілот-сигналу, а також для кадрової синхронізації.



а)



б)

Рисунок 5.6 – Структура дуплексного радіоканалу:  
а) прямий канал зв'язку; б) зворотний канал зв'язку

Канали синхронізації всіх БС використовують єдину функцію Уолша  $W_{32}$  і забезпечують синхронізацію абонентських станцій з мережею. Швидкість передачі даних каналом синхронізації становить 1200 біт/с, а довжина кадру дорівнює періоду повторення короткого коду (26,66 мс). Оскільки канал синхронізації жорстко зв'язаний за тактовою частотою та за зрушенням циклічного коду з пілотним кана-

лом, АС отримує доступ до синхроінформації тієї БС, на пілотний канал якої вона налаштована.

Повідомлення каналу синхронізації містить дані про точний час у системі, циклічний зсув короткого коду даної БС, інформацію ідентифікації БС і АС, потужність сигналу в пілотному каналі, параметри довгого коду, швидкість передачі даних у каналі персонального виклику.

Канал виклику використовується для виклику АС. Після прийому сигналу виклику АС передає на БС сигнал підтвердження, після чого каналом виклику на АС передається інформація про встановлення з'єднання і призначення їй каналу зв'язку. Швидкість передачі по каналу виклику становить 4,8 або 9,6 кбіт/с.

Канал трафіка призначений для передачі мовної інформації і даних, а також інформації сигналізації від БС до АС. Дані в прямому каналі групуються в пакети (кадри) тривалістю 20 мс. Швидкість передачі каналом трафіка може становити 9,6; 4,8; 2,4; 1,2 кбіт/с. Ці швидкості передбачені режимом RS1. У режимі RS2 підтримується швидкість до 14 кбіт/с. Значення швидкості передачі вибирається залежно від мовної активності абонента.

У прямому каналі трафіка організований безперервний підканал управління потужністю шляхом заміщення декількох біт мовних даних зі швидкістю 800 біт/с (1 біт на кожні 1,25 мс). Передача «0» означає, що на АС необхідно збільшити рівень середньої вихідної потужності на 1 дБ, а передача «1» – зменшити на 1 дБ.

У зворотному каналі зв'язку реалізований асинхронний варіант кодового поділу в комбінації з некогерентним прийомом сигналів від БС. Завдяки цьому відпадає необхідність у пілотному каналі і каналі синхронізації. Внаслідок цього на АС використовуються лише два логічних канали: канал доступу і канал зворотного трафіку.

Канал доступу забезпечує з'єднання АС з БС на час, поки АС не настроїться на призначений їй канал зворотного трафіку. Процес вибору каналу доступу випадковий. Швидкість передачі даних каналом доступу становить 4,8 кбіт/с.

Канал зворотного трафіка забезпечує передачу мовної інформації і даних абонента, а також управляючої інформації БС, коли АС зайняла виділений фізичний канал. Підтримуються швидкості передачі 9,6; 4,8; 2,4; 1,2 кбіт/с.

## **5.5 Формування сигналу в прямому каналі трафіка**

Процес обробки сигналу в каналі трафіка здійснюється у такій послідовності: аналого-цифрове перетворення, кодування мови; каналне кодування, модуляція довгою ПВП (крім адресації АС забезпечує шифрування) модуляція функцією Уолша, модуляція короткою ПВП (розширює спектр і забезпечує адресацію БС). Структурна схема прямого каналу трафіка подана на рис. 5.7.

Аналого-цифрове перетворення забезпечує перетворення аналогового сигналу з виходу мікрофона в цифрову форму. Вся подальша обробка проходить з

цифровим сигналом. На приймальній стороні здійснюється цифро-аналогове перетворення прийнятого цифрового сигналу в аналоговий, котрий надходить на динамік, що перетворить його у звуковий сигнал.

Відповідно до теореми Котельникова, мовний сигнал дискретизується з частотою 8 кГц і кожен відлік (дискрета) кодується 8-розрядним двійковим кодом. На виході АЦП швидкість інформаційного потоку становить 64 кбіт/с.

Далі оцифрований сигнал піддається перетворенню за допомогою одного з трьох типів вокодерів: 8 кбіт/с (QCELP), 13,25 кбіт/с (CELP) з постійною швидкістю або 8 кбіт/с (EVRC) зі змінною швидкістю. Далі матимемо на увазі сигнал зі швидкістю передачі 8 кбіт/с, що формується вокодером QCELP. Мовний кодер аналізує по 160 відліків дискретизованого мовного сигналу на інтервалі тривалістю 20 мс (що становить  $64 \cdot 10^3 \times 20 \cdot 10^{-3} = 1280 \text{ біт} / 20 \text{ мс}$ ). Залежно від активності мови кодер формує 172, 80, 40 або 16 біт на інтервалі 20 мс. При цьому нижча з чотирьох можливих швидкостей (зі швидкостей 8,6; 4,0; 2,0 і 0,8 кбіт/с) використовується, як правило, в паузах мови.

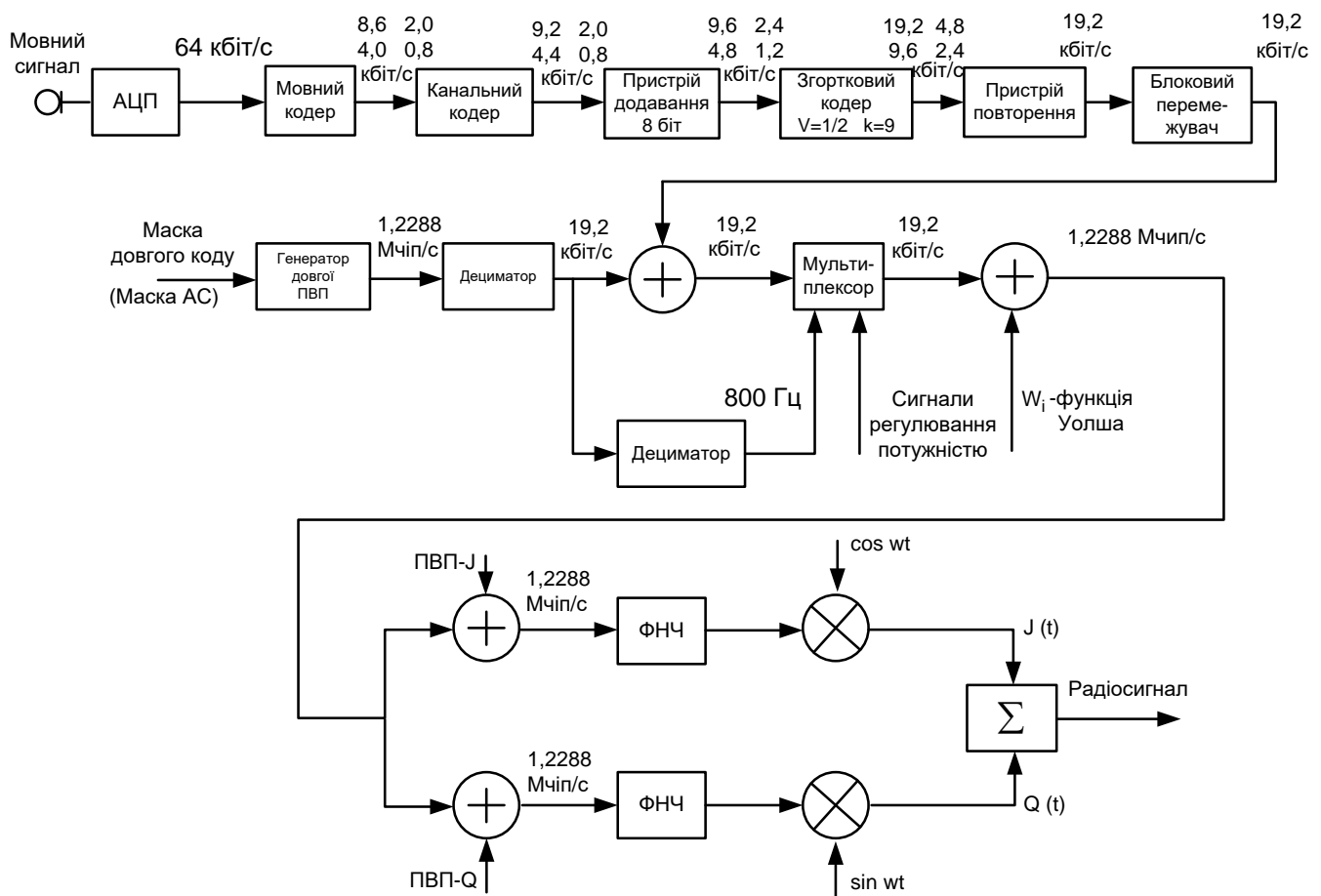


Рисунок 6.7 – Структурна схема каналу прямого трафіка



Далі здійснюється кодування блоковим циклічним кодом сигналів зі швидкостями 8,6 і 4,0, внаслідок чого швидкості зростають до значень 9,6 і 4,4 кбіт/с. Після додавання «хвостових» 8 біт для згорткового кодування сигналів з усіма можливими швидкостями швидкості збільшуються до значень 9,6; 4,8; 2,4 і 1,2 кбіт/с. На цьому процес кодування мовного сигналу закінчується.

В процесі канального кодування згортковим кодом швидкості передачі збільшуються (швидкість кодування на БС  $V=1/2$ , кодове обмеження  $k=9$ ) і досягають одного із значень 19,2; 9,6; 4,8 і 2,4 кбіт/с. Пристрій повторення здійснює вирівнювання швидкостей: потік даних з максимальною швидкістю проходить повторювач без зміни, а всі швидкості (9,6; 4,8 і 2,4 кбіт/с) вирівнюються до значення 19,2 кбіт/с за рахунок побітового повторення 2, 4 і 8 разів. Отже, за рахунок вирівнювання швидкостей на інтервалі 20 мс розміщується 384 біта, що забезпечує формування рівномірного потоку зі швидкістю 19,2 кбіт/с незалежно від швидкості вхідного потоку. Вирівнювання швидкостей призводить до зниження рівня внутрішньосистемних завад. Поліпшення завадової обстановки досягається зниженням випромінюваної потужності, пропорційним кількості повторення символів.

Після посимвольного повторення цифровий інформаційний потік піддається блоковою перемеженню. Процес перемеження біт здійснюється в межах кожного блока тривалістю 20 мс, що містить при швидкості 19,2 кбіт/с 384 біта. Біти записуються в матрицю розміром 24 рядка  $\times$  16 стовпчиків відповідно до розміщення біт, що визначається записаною у пам'яті таблицею, а потім зчитуються стовпчик за стовпчиком зі швидкістю запису.

По закінченні канального кодування цифрова послідовність скремблюється прорідженою (децимірованою) довгою ПВП, період якої дорівнює  $2^{42} - 1$ .

Утворюючий поліном, що визначає структуру довгої ПВП, має вигляд

$$P(x) = x^{42} + x^{35} + x^{33} + x^{31} + x^{27} + x^{26} + x^{25} + x^{25} + x^{22} + x^{21} + \\ + x^{19} + x^{18} + x^{17} + x^{16} + x^{10} + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x + 1$$

Скремблювання довгою ПВП забезпечує шифрування (конфіденційність) даних. Крім, того проріджена довга ПВП разом з 42-розрядною маскою АС використовується для ідентифікації АС, тобто індивідуальна кодова маска довжиною 42 біта спільно з однією з довгих ПВП визначають адресу АС.

Довга ПВП формується 42-розрядним регістром. При швидкості 1,2288 Мбіт/с код повторюється приблизно через 41 добу.

Скрембловані дані мультиплекуються з сигналом регулювання потужності передавача АС. Потік сигналів управління потужністю, що має швидкість 800 біт/с, вводиться в дані, які передаються зі швидкістю 19,2 кбіт/с, шляхом заміни одного з 24-х бітів коду. Такими «захопленими» бітами передаються сигнали або-

нентській станції, по яких АС має збільшити, зменшити або залишити незмінним поточний рівень потужності сигналу.

Далі сигнал кожного з каналів модулюється (кодується) однією з 64 функцій Уолша, що генеруються зі швидкістю 1,2288 Мбіт/с. Внаслідок зазначених перетворень після закінчення каналного кодування забезпечується розподіл інформаційних сигналів каналами CDMA, їхня шифрація і визначення коду АС. Кожна АС отримує унікальну модифікацію довгого коду із зсувом по фазі і у часі. У прорідженому коді використовується тільки кожен 64-й біт (чіп) послідовності, що не впливає на унікальність коду.

Закодований сигнал (цифрова послідовність) надходить на пристрій прямого розширення спектра, в якому здійснюється модуляція двома ПВП – синфазною ПВП – J і квадратурною ПВП – Q. Утворюючи поліноми, що визначають структуру ПВП – J і ПВП – Q, мають вигляд  $P_1(x) = x^{15} + x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^5 + 1$ ;  $P_2(x) = x^{15} + x^{12} + x^{11} + x^8 + x^5 + x^4 + x^3 + 1$ . Всі абоненти одного осередку або сектора використовують ту саму пару ПВП (адреса БС). У відповідності із поліномами  $P_1(x)$  і  $P_2(x)$  довжина ПВП (M-послідовностей, величина їхнього циклу) дорівнює  $2^{15} - 1 = 32767$ . Довжина кожної з m-послідовностей збільшується на 1 біт (додаванням “0”) до 32768. При швидкості проходження бітів (чіпів) 1,2288 Мбіт/с зазначені ПВП повторюються 75 разів за  $2c \left( \frac{12288 \cdot 10^6 \text{ біт/с}}{32768 \text{ біт}} \cdot 2c = 75 \right)$ . Період ПВП дорівнює 26,66мс.

Послідовності ПВП для різних осередків або секторів розрізняються часовим зсувом відносно ПВП із нульовим зрушенням. Мінімальна величина зсуву дорівнює 64 біта, що забезпечує можливість ідентифікувати 512 базових станцій (осередків /секторів).

Таким чином, код Уолша забезпечує ортогональність (незалежність) абонентських сигналів (каналів CDMA) в осередку; короткий код забезпечує остаточне пряме розширення спектра і незалежність сигналів абонентів різних осередків (адреси БС різні); довгий код забезпечує незалежність сигналів АС і конфіденційність зв'язку.

Далі сигнал у кожному з підканалів I і Q фільтрується, після чого здійснюється квадратурна фазова модуляція QPSK. Однакові кодовані сигнали присутні в синфазному (I) і квадратурному (Q) підканалах, однак через різні ПВП після скремблювання вони відрізняються один від одного. Використання двох ПВП підвищує завадостійкість сусідніх базових станцій (зменшує їхній взаємний вплив), які можуть використовувати (і, як правило, використовують) той самий частотний канал зі смугою 1,25 МГц.

Отриманим цифровим широкосмуговим сигналом модулюється несуча частота ВЧ передавача. У прямому радіоканалі використовується квадратурна фазова модуляція QPSK.

Процес формування сигналу в каналі зворотного трафіка на деяких етапах збігається, а на деяких істотно відрізняється від формування сигналу в каналі прямого трафіка.

### 5.6 Формування сигналу у зворотному каналі трафіка

Процес формування сигналу в каналі зворотного трафіка на деяких етапах збігається, а на деяких істотно відрізняється від формування сигналу в каналі прямого трафіка. Структурну схему каналу зворотного трафіка наведено на рис. 5.8.

Усі перетворення до згорткового кодування в каналі зворотного трафіка практично однакові з аналогічними у каналі прямого трафіка. Відміни починаю із згорткового кодування.

Згортковий кодер зворотного каналу має швидкість кодування  $V = 1/3$ , кодове обмеження  $k = 9$ . Швидкість цифрового потоку на виході згорткового кодера дорівнює 28,8 кбіт/с незалежно від швидкості вхідного потоку. Побітове перемежування даних відбувається на інтервалі 20 мс, на якому розміщується 576 біт. Значення бітів записується в матрицю 32x18 (32 стовпчика і 18 рядків). Запис здійснюється послідовно за стовпчиками, а зчитування здійснюється порядково.

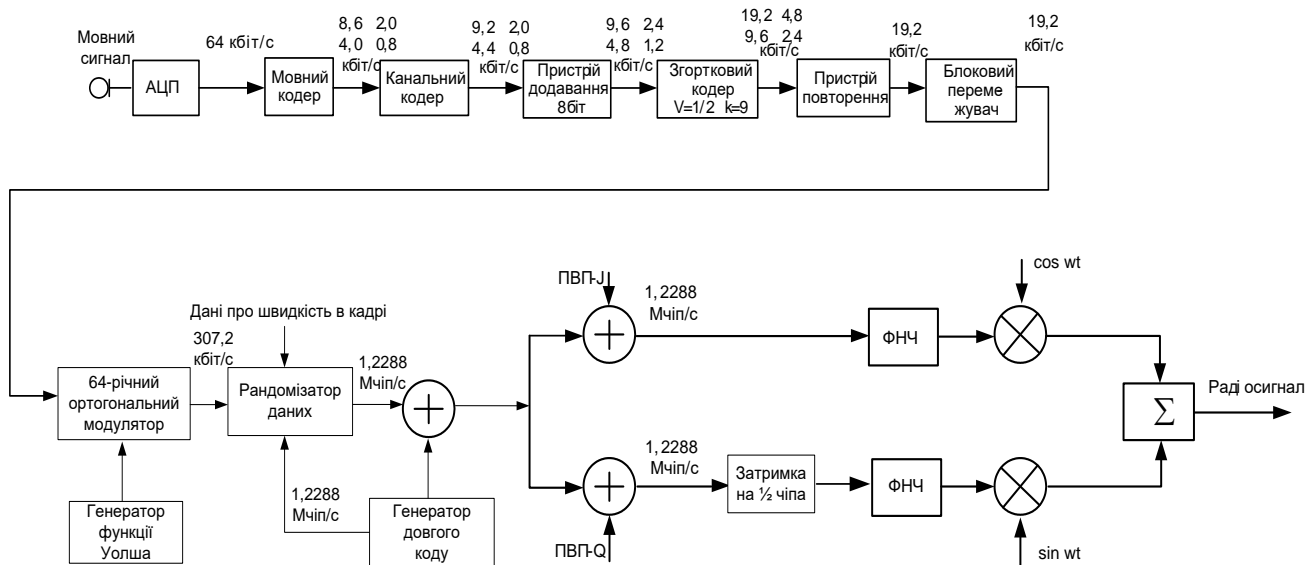


Рисунок 5.8 – Структурна схема каналу зворотного трафіка

Цифровий потік, швидкість якого 28,8 кбіт/с, з виходу перемежувача поділяється на блоки по 6 біт і кожен такий блок заміщається однією з 64 функцій Уолша. Внаслідок швидкість передачі даних на виході 64-го ортогонального модулятора збільшується в 64/6 разів, тобто до  $28,8 \cdot 64/6 = 307,2$  кбіт/с, що відповідає швидкості передачі 6-бітових символів коду Уолша  $28,8 \cdot 10^3/6 = 4800$  симв/с. Модуляція

функціями Уолша в даному варіанті використовується для підвищення завадостійкості зворотного каналу.

Потік даних, закодованих функціями Уолша, піддається скремблюванню довгої ПВП ( $2^{42} - 1$ ) зі швидкістю 1,2288 Мчп/с (на один символ функції Уолша в прорідженому потоці припадає чотири чіпи псевдовипадкової послідовності довгого коду). Скремблювання забезпечує шифрування інформації, яка передається. Для зменшення інтерференції між АС кожній з них задається маска, яка забезпечує формування довгих ПВП з різними циклічними зрушеннями. Це дозволяє ідентифікувати АС на БС, тобто здійснювати кодовий розподіл абонентів.

Наступні операції прямого розширення спектра і модуляції аналогічні таким самим операціям у прямому каналі. Відмінність полягає в тому, що у зворотному каналі застосовується квадратурна фазова модуляція зі зсувом (DQPSK). Тому в підканалі Q модулятора введена затримка на тривалості 0,5 чіпа ( $813,8/2=406,9$  нс). Застосування DQPSK зменшує глибину небажаних провалів огинаючої сигналу. Модуляція DQPSK у прямому каналі не використовується, оскільки БС передає ущільнений сигнал 64 каналів.

Структура каналу доступу та процедури формування сигналів, за рідкісним винятком, аналогічні каналу зворотного трафіка. Зокрема, на відміну від прямого каналу в каналі доступу відсутній рандомізатор, швидкість передачі даних фіксована і дорівнює 4,8 кбіт/с.

## **5.7 Обслуговування викликів у мережах стандарту CDMA**

Загальні принципи обслуговування викликів у мобільних системах зв'язку стандарту CDMA аналогічні раніше розглянутим.

АС може перебувати в одному з чотирьох станів: 1) ініціалізації; 2) чергування; 3) доступу і 4) активному стані.

У стані ініціалізації АС відшукає пілотний канал. Виявивши його, на 32-й функції Уолша вона знаходить канал синхронізації. З повідомлення, що передається по каналу синхронізації, АС одержує дані про конфігурацію системи і її часову структуру.

На наступному етапі АС переходить до режиму чергування, виявляє пейджинговий канал (канал виклику) і здійснює безперервний контроль за повідомленнями, що надходять. Ці повідомлення від БС можуть містити всі необхідні дані, щоб ініціювати виклик або прийняти його від іншого абонента.

Якщо відбувся вхідний або вихідний виклик, АС переходить у стан доступу. При цьому обмін необхідними даними з БС відбувається каналами доступу і пейджинговому.

При успішній спробі доступу АС входить в активний стан. У цьому стані підтримується мовний зв'язок із БС по інформаційному каналу і по ньому ж здійснюється сигналізація.

Під час організації вхідного з'єднання АС передає на БС каналом доступу сигнал виклику. Після прийняття сигналу виклику АС базова станція по каналу виклику передає на АС повідомлення про призначення їй одного з кодових каналів трафіка (їх у системі 55). Після цього АС переходить у режим прийому-передачі мовної інформації. Більш детально процедура встановлення вхідного з'єднання подана на рис. 5.9.

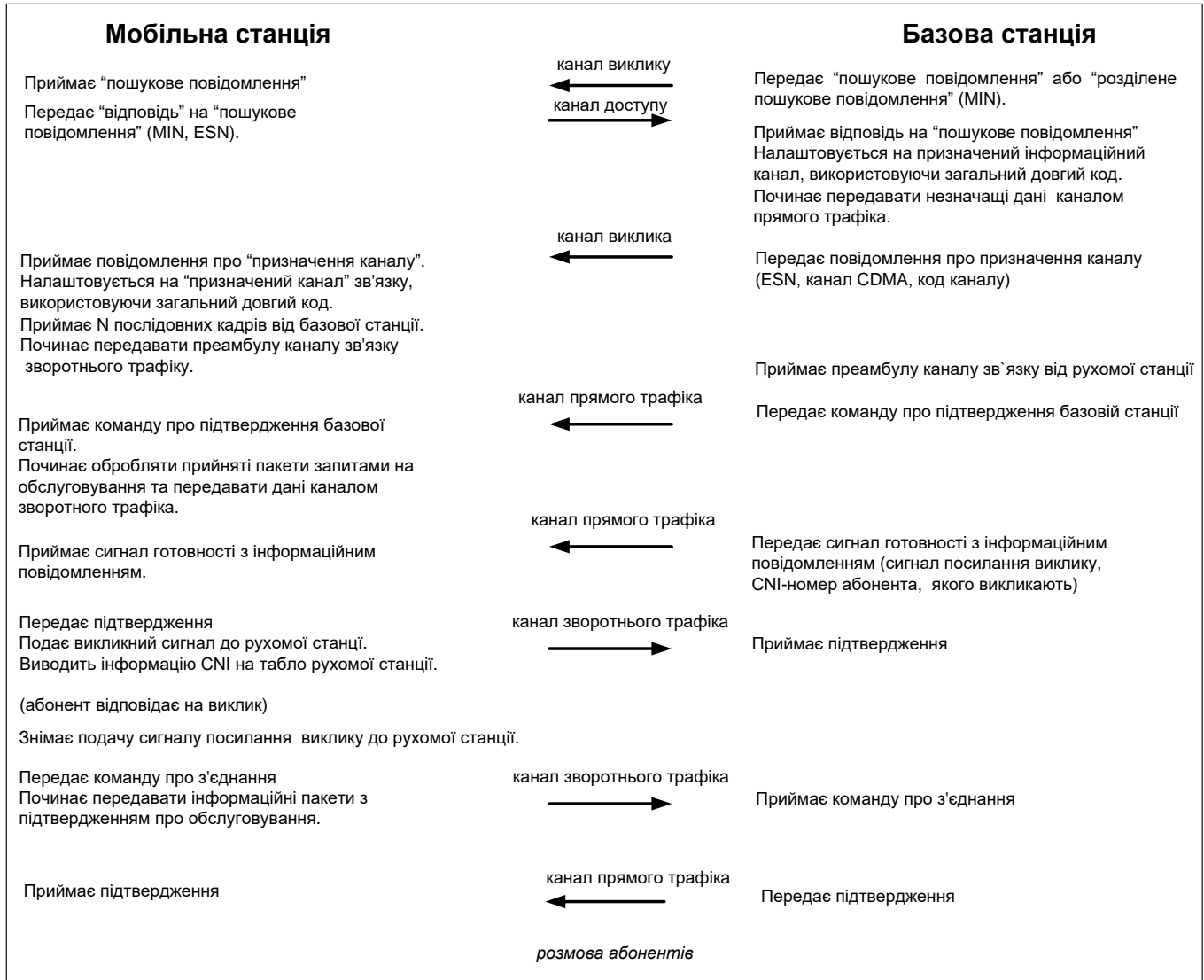


Рисунок 5.9 – Процедура встановлення вхідного з'єднання

Для організації вхідного з'єднання БС каналом виклику передає на АС сигнал виклику. У відповідь на цей сигнал АС каналом доступу передає підтвердження. Отримавши підтвердження, БС направляє на АС каналом виклику повідомлення про призначення їй каналу трафіка, після чого АС переходить у режим прийому-передачі інформації.

Процедура встановлення вихідного з'єднання наведена на рис. 5.10.

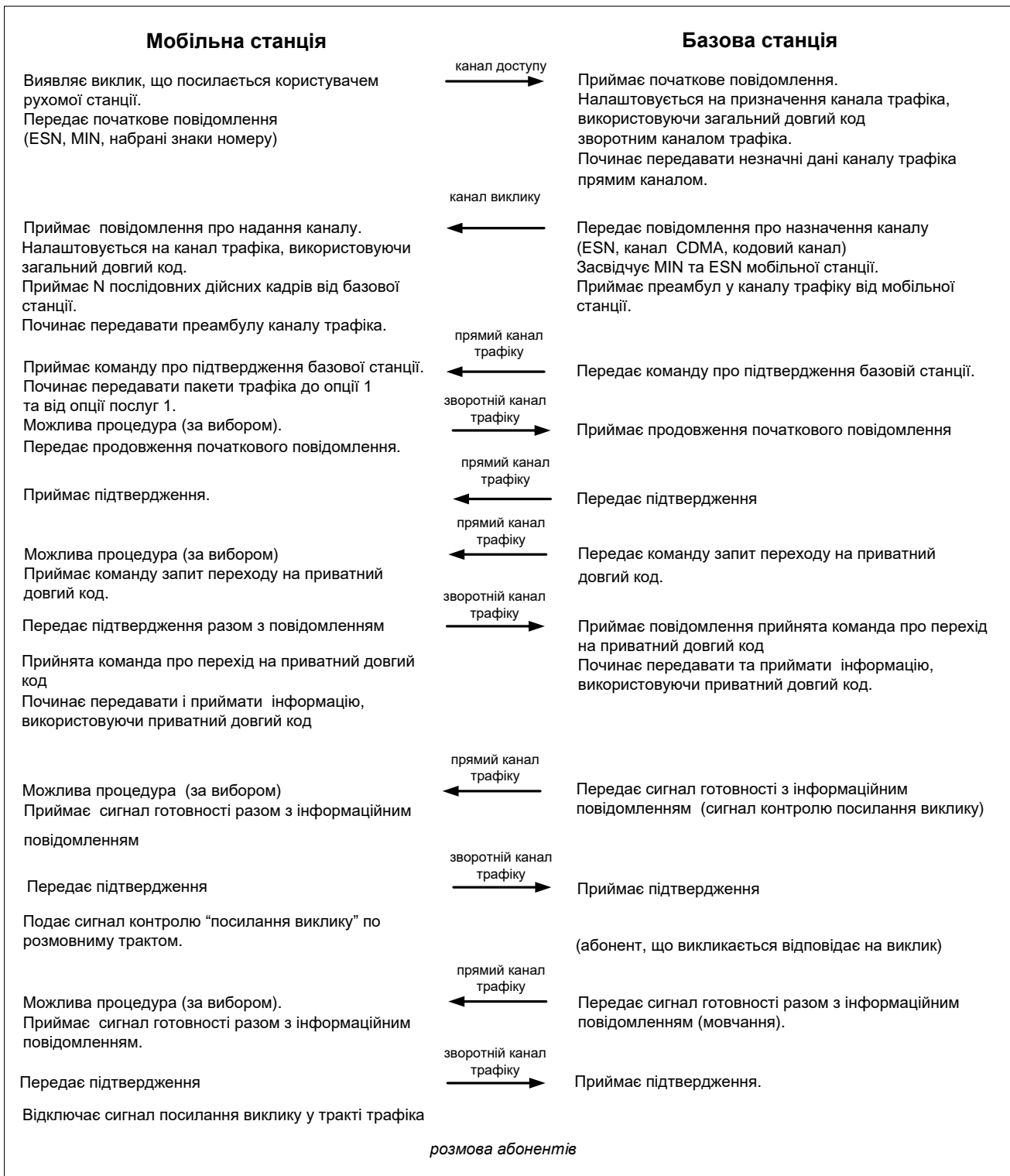


Рисунок 5.10 – Процедура встановлення вихідного з'єднання

У прямому каналі організований безперервний підканал управління потужністю шляхом заміщення декількох біт мовних даних зі швидкістю 800 біт/с (1 біт

кожні 1,25 мс). Передача «0» означає, що АС має збільшити рівень своєї середньої вихідної потужності на 1 дБ, а передача «1» – зменшити на 1 дБ. Максимально можлива швидкість зміни потужності  $\pm 16$  дБ на інтервалі одного кадру тривалістю 20 мс.

## 5.8 Управління потужністю

Ємність мобільної системи зв'язку і якість зв'язку, що забезпечуються системою CDMA, залежить переважно від рівня інтермодуляційних завад від базових станцій, розміщених в інших кластерах осередках. Абонентські системи CDMA IS-95 оптимізуються регулюванням потужності сигналу, що випромінюється кожним абонентським терміналом, до необхідного рівня для отримання прийнятної ймовірності помилки.

Управління потужності у стандарті IS-95 має такі особливості:

- у мобільних станціях MS використовується тільки мінімальний рівень потужності, необхідний для забезпечення надійного зв'язку з BTS;
- у IS-95 встановлено 8 класів BTS і 5 класів MS за рівнем потужності передавачів (табл. 5.2)

Таблиця 5.2 – Рівні потужності BTS і MS різних класів

Клас потужності	BTS, Вт	MS, Вт
1	320	20
2	160	8
3	80	5
4	40	2
5	20	0,8
6	10	-
7	5	-
8	2,5	-

Потужність передавача BTS регулюється дискретно з кроком, рівним 2дБ. Потужність передавача BTS може бути зменшена до мінімального значення, що дорівнює -13дБм (20мВт). Діапазон вихідної потужності MS має 15 рівнів з кроком 2дБ (тобто від 2 до 30дБ). Будь-яка зміна на один крок в 2дБ виконується за час, що дорівнює одному слоту (577мкс).

Динамічний діапазон сигналу, що приймається BTS, сягає 116дБ.

У системі передбачено три механізми регулювання потужності:

- у зворотному каналі;
- у прямому каналі – розімкнута петля (відкритий цикл) – повільне управління потужністю;

– у прямому каналі – замкнута петля (замкнутий цикл) швидке управління потужністю.

Команди повільного управління передаються кожні 20 мс.

Повільне управління потужністю забезпечує еквівалентне вирівнювання відстаней від мобільних терміналів до базової станції.

Команди швидкого управління посилають зі швидкістю 800 біт/с (кожні 1,25 мс). Без швидкого управління потужністю завмирання сигналу призвели б до значного погіршення характеристик системи.

Процес регулювання потужності у зворотному каналі відбувається в такий спосіб.

Кожна мобільна станція безупинно передає інформацію про рівень помилок у прийнятому сигналі. На підставі цієї інформації базова станція розподіляє випромінювану потужність між абонентами так, щоб у кожному випадку забезпечити прийнятну якість мови. Абоненти, на шляху до яких радіосигнал витримує більше згасання, отримують можливість випромінювати сигнал більшої потужності. Основна мета регулювання потужності у зворотному каналі – оптимізація площі комірки. Регулювання потужності як у прямому, так і у зворотному каналі впливає і на термін служби акумуляторів мобільних станцій.

У системі передбачене повільне управління потужністю і швидке.

Процес регулювання потужності в прямому каналі відбувається дещо інакше. У ньому, як було вказано раніше, можливі два варіанти регулювання:

- за відкритим циклом (розімкнута петля);
- за замкнутим циклом (замкнута петля).

Розглянемо відкритий цикл регулювання потужності (з повільним управлінням, менш точний) у прямому каналі.

Мобільна станція після увімкнення відшуковує сигнал базової станції. Після синхронізації на мобільній станції вимірюється потужність прийнятого сигналу та обчислюється потужність переданого сигналу, необхідних для забезпечення з'єднання з базовою станцією. Обчислення ґрунтуються на тому, що сума рівнів передбачуваної потужності випромінюваного сигналу і потужності прийнятого сигналу має бути постійна і дорівнювати – 73 дБ. Якщо рівень прийнятого сигналу, наприклад, дорівнює -85 дБ, то рівень випромінюваної потужності необхідно змінити на +12 дБ. Цей процес повторюється кожні 20 мс, проте він не забезпечує бажаної точності регулювання потужності, оскільки прямий і зворотний канали працюють у різних частотних діапазонах (рознесення частот 45 МГц) і, отже, мають різні рівні згасання при поширенні і по-різному піддаються впливу завад.

Розглянемо процес регулювання потужності при замкнутому циклі (зі швидким управлінням). Механізм регулювання потужності при цьому дозволяє більш точно регулювати потужність сигналу, що передається.

Базова станція постійно оцінює ймовірність помилки в кожному прийнятому сигналі. Якщо вона перевищує програмно заданий поріг, то базова станція дає ко-



манду відповідній мобільній станції збільшити потужність випромінювання. Регулювання здійснюється з кроком 1 дБ. Цей процес виконується з частотою 800кГц (повторюється кожні 1,25 мс). Мета такого процесу регулювання полягає в тому, щоб кожна мобільна станція випромінювала сигнал мінімальної потужності, достатньої для забезпечення сприйняття якості мови.

За рахунок того, що всі мобільні станції випромінюють сигнали необхідної для нормальної роботи потужності, і не більше, їхній взаємний вплив мінімізується, і абонентська ємність системи зростає. Мобільні станції мають забезпечувати регулювання вихідної потужності в широкому динамічному діапазоні – до 85 дБ. Такі фактори, як кількість користувачів і відстань до них від базової станції впливають на значення максимальної випромінюваної потужності. Беручи це до уваги, можна сказати, що вимоги до лінійності передатної функції підсилувача потужності, що працює при зміні рівня вхідного сигналу і межах 20 дБ, надзвичайно високі. Лінійність передатної функції підсилувача – фактор, критичний при забезпеченні бажаних характеристик системи. Необхідну лінійність забезпечують складні і дорогі методи лінеаризації.

Високі вимоги до регулювання рівня потужності сигналу мобільної станції можна віднести до недоліку системи IS-95. Іншим недоліком системи IS-95 є необхідність використання однакових за розміром комірок на всій мережі, у протилежному випадку виникають взаємні завади від сигналів мобільних станцій, які знаходять у сусідніх комірках різного розміру. У цьому випадку також виникає проблема "естафетної передачі", сутність якої описана раніше.

У системі IS-95 застосовуються квадратурна фазова маніпуляція (QPSK) на базових та зміщена фазова маніпуляція (DQPSK) на мобільних станціях. При цьому інформація вилучається шляхом аналізу зміни фази сигналу, тому фазова стабільність системи – критичний фактор при забезпеченні мінімальної ймовірності появи помилки в повідомленнях. Застосування DQPSK дозволяє знизити вимоги до лінійності підсилувача потужності мобільної станції, оскільки амплітуда вихідного сигналу при цьому виді модуляції змінюється значно менше. До того, як інтерференційні завади мають бути приглушені методами цифрової обробки сигналів, вони повинні пройти через високочастотний тракт приймача і не викликати насичення малошумового широкосмугового підсилувача (МШП) і змішувача. Це змушує розробників системи шукати баланс між динамічними і шумовими характеристиками приймача.

## **5.9 Боротьба із впливом багатопроменевості**

У стандарті IS-95 використовується роздільна обробка відбитих сигналів, що приходять з різними затримками, і подальше їхнє вагове додавання, що значно знижує негативний вплив ефекту багатопроменевості. Під час роздільної обробки променів у кожному каналі прийому на базовій станції використовується 4 пара-

лельно і незалежно працюючих корелятори, а на мобільній станції – 3 корелятори. Приймач з декількома каналами прийому й обробки сигналу має назву Rake-приймача. Він має 4 канали прийому, у трьох каналах водночас обробляються три найбільш сильні сигнали, у четвертому каналі постійно здійснюється пошук сигналу з більш високим рівнем. При цьому опорний сигнал на різні корелятори подається з невеликим зсувом у часі, порівняним з різницею за часом при проходженні радіохвиль по різних траєкторіях. Вихідні сигнали кореляторів підсумовуються. Отже, якщо рівень сигналу згортки від одного з багатопромених сигналів на даний момент часу виявляється рівним нулю, то згортка від затриманого сигналу буде відмінною від нуля. У такий спосіб у системі з кодовим поділом каналів реалізується метод часового рознесення прийому. Багатопроменеve поширення радіосигналів у системах з FDMA і TDMA є небажаним фактором, на противагу цьому в системах стандарту CDMA цей фактор є корисним. У випадку побудови фіксованих мереж багатопроменеve відбиття дозволяють знизити вимоги до рівня сигналу, що приходить до абонентської станції.

### **5.10 Організація естафетної передачі управління**

Особливості естафетної передачі АС у системі IS-95 були розглянуті в п. 5.2. У випадку мобільного зв'язку в системах стандарту CDMA абонентська станція може водночас приймати й обробляти сигнали декількох базових станцій. Це дозволяє здійснювати м'яку естафетну передачу абонентської станції між базовими станціями. Перевага м'якої передачі полягає в тому, що виключається можливість втрати зв'язку під час руху АС уздовж границі комірок, коли має місце ефект «пінг-понгу». Транскодер, що входить до складу основного обладнання, проводить оцінку якості прийому сигналів від двох базових станцій послідовно кадр за кадром, як показано на 5.2. Процес вибору кращого кадру призводить до того, що сигнал, отриманий внаслідок може бути сформований у процесі безперервної комутації і подальшого "склеювання" кадрів, прийнятих різними базовими станціями, які беруть участь в "естафетній передачі". М'яке перемикання забезпечує високу якість прийому мовних повідомлень і усуває перерви в сеансах зв'язку, що має місце в мобільних мережах зв'язку інших стандартів. Недоліком такого процесу управління є одночасне використання двох базових станцій.

### **5.11 Забезпечення безпеки у стандарті IS-95**

Стандарт IS-95 забезпечує високий рівень інформаційної безпеки. Насамперед він має більш складний, ніж у GSM, радіоінтерфейс. Передача повідомлень здійснюється кадрами з використанням каналного кодування і перемеження з подальшим кодовим розподілом сигналів (каналів) і розширенням спектра сигналів за

допомогою послідовностей Уолша і псевдовипадкових послідовностей з кількістю елементів  $2^{15} - 1$  і  $2^{42} - 1$ .

Безпека зв'язку забезпечується також застосуванням процедур аутентифікації та шифрування повідомлень.

Процедура аутентифікації у стандарті IS-95 відповідає процедурі аутентифікації стандарту D-AMPS (IS-54B). У мобільній станції зберігається один ключ А та один набір загальних секретних даних, які використовуються під час роботи як у режимі з частотним поділом каналів, так і в режимі CDMA стандарту IS-95. Мобільна станція може передавати "цифровий підпис" для аутентифікації, що складається з 18 біт. Ця інформація передається на початку повідомлення (у відповіді мобільної станції на запит мережі під час пошуку станції), додається до реєстраційного повідомлення або пакета даних, переданих каналом доступу. Передбачається можливість відновлення загальних секретних даних у мобільній станції.

## 5.12 Стисла характеристика обладнання стандарту IS-95

Нині у системах IS-95 існують дворежимні мобільні станції, які підтримують зв'язок з існуючими мережами аналогових стандартів із частотною модуляцією (AMPS). Ця обставина дає значні переваги абонентам системи IS-95, оскільки дозволяє використовувати свій радіотелефон там, де існуючі аналогові мобільні мережі забезпечують радіопокриття.

Основна відмінність між абонентськими станціями CDMA IS-95 та існуючими станціями аналогових стандартів полягає в додаванні до складу мобільних станцій CDMA IS-95 функцій цифрової обробки сигналів, які реалізовані на трьох СБИС.

Ці три інтегральні схеми конструктивно поєднуються в одному пристрої.

Базові станції стандарту IS-95 використовують антени із круговою або секторною ДСА (зазвичай 120-градусні).

На рис. 5.11 показана типова структурна схема базової станції (BTS) для комірок з круговою ДСА із цифровим обладнанням, до складу якого входять каналні блоки. Кожен каналний блок може бути сконфігурований як для інформаційного каналу, так і для службового каналу. Для синхронізації мережі використовується приймач GPS (глобальна система місцевизначення).

Прийомопередавач перетворює сигнали проміжної частоти, що сформовані у блоці цифрової обробки, у радіочастотний сигнал на несучій частоті і забезпечує зворотне перетворення прийнятого сигналу на проміжну частоту. В напрямку передачі сигнал проходить від прийомопередавача через підсилювач потужності і радіочастотний фільтр до передавальної антени. У зворотному напрямку тракт прийому складається із приймальних антен, радіочастотного фільтра, підсилювача з низьким коефіцієнтом шуму. Потім у прийомопередавачі сигнал перетворюється на проміжну частоту і надходить у блок цифрової обробки.

Слід зазначити, що передавальний і приймальний тракти підключаються безпосередньо до своїх антен, що дозволяє виключити дорогі суматори потужностей і втрати потужності при додаванні.

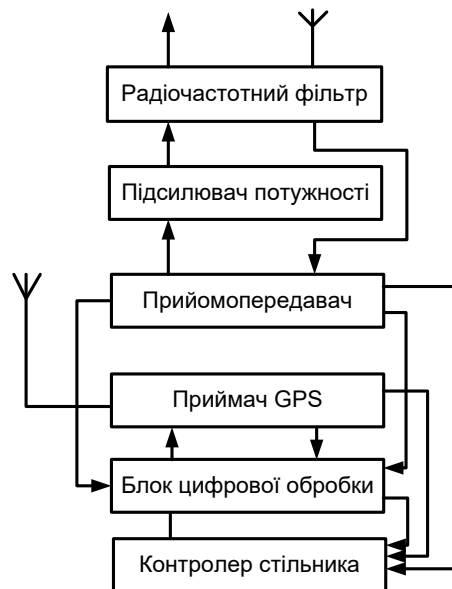


Рисунок 5.11 – Типова структурна схема базової станції системи IS-95

Управління режимами роботи цифрового обладнання та прийомо-передавача здійснюється контролером комірки. Контролер забезпечує необхідні режими роботи обладнання в середині комірки, призначає та конфігурує ресурси BTS для обслуговування навантаження і викликів, формує статистичну інформацію про роботу комірки, контролює розподіл сигналів опорних частот. Він також управляє об'єднанням портів каналних блоків для передачі повідомлень у цифрову лінію до контролера мережі (BSC) і центру комутації мобільного зв'язку (MSC).

Фірмою Motorola для мереж зв'язку CDMA IS-95 розроблені комплекси мережного обладнання SC 9600 і SC 2400 для створення систем зв'язку з "суперстільниковою" (SC) архітектурою, що поєднує нові та існуючі технології мобільного зв'язку і відкриває широкі можливості по вдосконалюванню управління обладнанням і функціями зв'язку. Об'єднання і централізація управління компонентами різних мереж у сукупності зі створенням уніфікованого гнучкого прийомо-передавального обладнання визначає перспективність нового мережного обладнання Motorola SC 9600 і SC 2400.

Обладнання SC 9600 призначене для роботи в смугах частот 869-894 МГц (передача від базової станції), 824-849 МГц (передача від мобільної станції) і складається з радіочастотного модема (SIF), що забезпечує формування сигналів з різними протоколами зв'язку, лінійного підсилювача потужності (LPA) і підсистеми діагностики.

До складу радіочастотного модема може входити до 80 CDMA каналних плат і 16 CDMA прийомопередавачів, які можуть забезпечити підтримку 320 CDMA IS-95 каналів. Для D-AMPS, AMPS, N-AMPS обладнання SC 9600 може містити до 96 прийомопередавачів мовних повідомлень і сигнальної інформації.

До складу BTS може входити до трьох лінійних підсилювачів потужності. Кожен підсилювач обслуговує всі виходи передавачів, що працюють на одну антену, і забезпечує дистанційне настроювання під конкретні частоти.

Підсистема діагностики забезпечує контроль і підтримку працездатності обладнання BTS разом із центром управління радіо-підсистемою (ОМС-R).

Між SC 9600 і центром комутації мобільного зв'язку підтримується відкритий інтерфейс, що забезпечує сумісність цього обладнання з центрами комутації різних виробників.

В цілому, обладнання SC 9600 забезпечує можливість обслуговування абонентів у стандартах CDMA IS-95, AMPS, N-AMPS і D-AMPS.

Подальшим розвитком сімейства обладнання SC Motorola є створення комплексу SC 2400, призначеного для мереж з малими і середнь-розмірними комірками. Комплекс SC 2400 являє собою базу для створення та розвитку систем мобільного радіозв'язку з підвищеною ефективністю, низькою вартістю, можливістю дистанційного управління у двох діапазонах частот – 800 МГц і 2 Гц. Комплекс SC 2400 підтримує CDMA, AMPS, N-AMPS, D-AMPS.

Обладнання комплексу SC 2400 компактне, має модульну структуру, забезпечує економічний розвиток ємності мережі, має єдиний радіочастотний модем для різних радіо-інтерфейсів.

Загальна ємність: 48 фізичних каналів для СМЗ аналогових стандартів і 160 фізичних каналів для цифрових.

Зараз досить широко використовується версія стандарту IS-95A. Використовуються також версії стандарту IS-95B і IS-95C. Ці версії базуються на об'єднанні декількох каналів CDMA у напрямку від БС до АС.

Швидкість передачі в системі IS-95B може сягати до 28,8 кбіт/с (за рахунок об'єднання двох каналів 14,4 кбіт/с), або до 115,2 кбіт/с (8 каналів по 14,4 кбіт/с). Для забезпечення пакетної передачі до контролера БС необхідно додавати маршрутизатор. У версії стандарту IS-95B передбачено поліпшення характеристик обслуговування за рахунок зменшення збитків при переміщенні абонента від однієї БС до іншої, а також збільшення точності контролю потужності сигналу до 0,25дБ, організація каналів пріоритетного доступу тощо.

Система стандарту IS-95C забезпечує підвищення частотної ефективності і збільшення ємності телефонної мережі вдвічі. У стандарті IS-95C передбачено додатковий частотний канал з ортогональним зсувом несучої, в якому може формуватися повний набір кодових каналів (тобто 64 кода Уолша), такий самий, як і у стандартному каналі. Системи стандарту IS-95C сумісні з системами IS-95A і IS-95B. Швидкість передачі в системі IS-95C зростає до 144 кбіт/с.

Нова модифікація IS-95-HDR забезпечує зростання швидкості передачі по прямому каналу до 1МГбіт/с і навіть більше. У зворотному каналі швидкість передачі з порівнянням з IS-95C не змінюється. Послуги, які надає система IS-95-HDR, насамперед орієнтовані на спільну роботу з системами, які мають асиметричний трафік.

### **5.13 Переваги і недоліки мобільних систем зв'язку з кодовим розподілом каналів**

До переваг систем з кодовим розподілом каналів належать:

- наявність виграша у відношенні сигнал/завада, що забезпечує в сукупності з ширококутовим характером сигналу можливість повного повторного використання частоти (коефіцієнт повторення рівний 1) у різних стільникових осередках системи (тобто частота повторно використовується в кожному осередку/секторі). У свою чергу ця властивість забезпечує високу ефективність використання спектру;

- за рахунок сумісного використання багатьма користувачами однієї і тієї ж самої ширококутової несучої для зв'язку завади при множинному доступі від численних користувачів системи усереднюються, і це в свою чергу приводить до підвищення пропускної здатності порівняно з системами, де під час планування необхідно орієнтуватися на завади для гіршого випадку;

- висока завадозахищеність стосовно вузькокутових завад або завмирання;

- слабка чутливість до багатопроменевих завмирань, оскільки затримки сигналу (відбитого) можуть бути більш тривалими, ніж інтервал елементарного сигналу (чіпа). Тому затриманий сигнал не взаємодіє з основним. Більш того, затримані сигнали можна використовувати (складати) для збільшення основного;

- конфіденційність зв'язку, оскільки кожен абонент (адреса абонента, канал CDMA) має свій код;

- поступове зниження ефективності функціонування системи. У системах з частотним і часовим розподілом каналів (ЧРК і ЧвРК) водночас може працювати фіксована кількість абонентів. У СМЗ з кодовим доступом в міру збільшення кількості абонентів тільки знижується якість обслуговування;

- ефективніше використовується смуга частот (відсутнє поняття кластера. Кожна БС використовує всі кодові канали системи).

Недоліками є :

- самозаглушення. За відсутності синхронізації адреси каналів будуть не ортогональними, що призведе до збільшення взаємної кореляції, і, як наслідок, до збільшення взаємних завад і зменшення пропускної здатності системи. На відміну від систем CDMA у системах FDMA і TDMA існують частотні або часові захисні проміжки;

- проблема достатньо точного регулювання потужності (вирівнювання потужності сигналів на вході приймача БС від АС, віддалених на різні відстані);
- м'яка естафетна передача управління АС. АС входить у новий осередок, а потім залишає старий. Процес складніший ніж аналогічний в системах з FDMA і CDMA.

### Контрольні запитання та завдання

1. Надайте загальну характеристику мобільної системи зв'язку стандарту IS-95.
2. Наведіть склад і призначення обладнання мобільної системи зв'язку стандарту IS-95.
3. Які загальні принципи обробки сигналів реалізовані в системі зв'язку стандарту IS-95?
4. Наведіть класифікацію каналів у системах стандарту IS-95.
5. Як здійснюється формування сигналу в прямому каналі трафіку?
6. Як здійснюється формування сигналу у зворотному каналі трафіку?
7. Яке обслуговування викликів у мережах стандарту CDMA?
8. Управління потужністю.
9. Організація естафетної передачі управління.
10. Боротьба із впливом багатопроменевості.
11. Забезпечення безпеки у стандарті IS-95.
12. Наведіть стислу характеристику обладнання стандарту IS-95.
13. Наведіть типову структурну схему базової станції системи IS-95.
14. Поясніть, як система розширеного спектра розшифровує сигнали, «приховані» у шумах.
15. Поясніть принципи ідентифікації у системі стандарту CDMA: каналів CDMA; базових станцій; абонентських станцій.
16. Які особливості забезпечення «естафетної передачі» в системі IS-95?
17. Що уявляють собою види модуляції BPSK і QPSK?
18. Поясніть принципи ідентифікації у системі стандарту CDMA: каналів CDMA; базових станцій; абонентських станцій.
19. Визначити максимальну кількість абонентів, які одночасно обслуговуються в системі CDMA, якщо швидкість передачі даних  $V_c = 14,4$  кбіт/с, швидкість передачі ШСС  $V_c = 3,68$  Мчп/с, відношення потужності сигналу до завад  $h^2 = 6$  дБ.
20. Назвіть переваги та недоліки мобільних систем зв'язку з кодовим розподілом каналів.

### 6 МОБІЛЬНІ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ТРЕТЬОГО ПОКОЛІННЯ (3G)

## **6.1 Загальна характеристика стандартів мобільних систем зв'язку третього покоління**

Сучасний етап розвитку телекомунікацій характеризується не тільки безпервним збільшенням кількості користувачів, але і зростаючими вимогами до спектра послуг зв'язку. У цей час зросла необхідність у забезпеченні високошвидкісного інформаційного обміну між абонентами без обмеження свободи їхнього переміщення, забезпеченні передачі інформації будь-якого формату: звичайні телефонні розмови, комп'ютерні файли, факсимільні, мультимедійні та аудіовізуальні повідомлення, Internet-пакети, електронна пошта тощо. Зростання кількісного та якісного рівня послуг, які запитуються абонентами, неможливо забезпечити без значного підвищення швидкості передачі з одночасним підвищенням спектральної ефективності систем мобільного зв'язку.

Мобільні системи перших двох поколінь вже не здатні повною мірою задовольняти цим вимогам. Виділені смуги частот мобільним системам зв'язку виявляються вже недостатніми для обслуговування реальної кількості абонентів, незважаючи на багаторазове повторне використання частот на базових станціях, віддалених одна від одної на захисні відстані. Підвищення абонентської ємності шляхом зменшення радіуса дії комірок до 0,1...0,3 км, побудова мережі на основі малорозмірних кластерів, перехід до динамічного розподілу каналів, напівшвидкісному режиму передачі призводить до збільшення кількості базових станцій, ускладнює управління мережею, знижує такі якісні показники мережі, як ймовірність і надійність.

Відзначені труднощі збільшуються великої кількості стандартів і їхньою несумісністю. Існування великої кількості роз'єднаних мобільних мереж на фоні тенденції до економічної інтеграції вимагали створення єдиного стандарту, здатного забезпечити абонентам свободу переміщення і збереження обслуговування в будь-якій мережі незалежно від місця її розгортання. Основна вимога – різноманітність послуг і функцій. Передумовами стали – освоєння діапазону 2000 МГц, розробка ефективних протоколів наземних і супутникових систем, створення універсальних інтерфейсів. Важливою вимогою була сумісність, оскільки ставилося завдання побудови глобальної системи мобільного зв'язку.

За пропозицією ІТУ-Р (МСЕ) з 1985 р. було почато обговорення проекту створення наземної системи мобільного зв'язку загального користування майбутнього (FPLMTS). Нова концепція в рамках FPLMTS була прийнята в 1997 р. за назвою ІМТ-2000 (International Mobile Telephone). Проект ІМТ-2000 – це довгострокова програма розробки, стандартизації і сприяння впровадженню національних, регіональних і міжнародних телекомунікаційних систем, які реалізують повний набір послуг в інтересах наземного і супутникового мобільного зв'язку.

Терміном 3G прийнято позначати наступне покоління мобільних систем і їхніх можливостей (підвищена ємність і функціональність, що позначає новітні



послуги і додатки, які включають мультимедіа). Системи третього покоління (3G) відрізняються від систем другого покоління (2G), таких як, наприклад, GSM, і перехідного покоління (2,5G), таких як, наприклад, GPRS, EDGE – набагато більшою швидкістю передачі даних, а також більш широкою і більш високою якістю надання послуг. Ці системи забезпечують симетричну й асиметричну передачу даних, підтримку каналної і пакетної комутації для забезпечення таких сервісів як Internet Protocol (IP) і Real Time Video, високу ефективність використання спектра частот, можливість глобального роумінгу. Серед найважливіших вимог ІМТ-2000 визначають:

- глобальний роумінг;
- поєднання каналної комутації даних і комутації пакетів;
- ефективне використання спектра;
- передача мови, даних і мультимедійних послуг;
- якість мови, порівняна з провідним;
- висока швидкість передачі даних;
- поетапне підвищення швидкості передачі даних до 2 Мбіт/с;
- високий ступінь захисту інформації;
- взаємозв'язок із супутниковими системами.

Вже на перших етапах розвитку системи 3-го покоління мають забезпечувати певні значення швидкості передачі для різних ступенів мобільності абонента (тобто різних швидкостей його руху) залежно від величини зони покриття:

- до 2048 кбіт/с у мікро- і пікосотах;
- до 348 кбіт/с – для пішоходів;
- до 144 кбіт/с при високій мобільності (до 120 км/год) і широкій зоні покриття;
- до 64 кбіт/с при глобальному роумінзі (супутниковий зв'язок).

Спочатку в рамках ІМТ-2000 планувалося створення єдиного стандарту універсальної системи мобільного зв'язку, проте, згодом сукупність географічних, історичних і комерційних причин призвела до того, що було висунуто декілька концепцій системи 3G. Тим більш, що зараз створення мобільної станції, що працює в декількох стандартах, не є проблемою.

Дотепер для реалізації систем 3G запропоновано декілька проектів.

На вибір радіоінтерфейсу для систем ІМТ-2000 значно вплинули успіхи систем другого покоління стандарту GSM у європейському регіоні і стандартів IS-136 і IS-95 у північноамериканському регіоні.

У рамках власної програми розробки систем 3G в Європі прийняті стандарти:

- UTRA (W-CDMA – високошвидкісні і мультимедійні послуги зв'язку та сумісність, що забезпечує CDMA, з GSM). Цей європейський стандарт, розроблений ETSI, багато в чому збігається з W-CDMA (ARIB);
- DECT EP – розширений стандарт мікро-стільникової системи;

– SW-CDMA – для супутникового зв'язку на базі технології UTRA/FDD.

В США розроблені власні стандарти для систем мобільного зв'язку:

– UWC-136 (Universal Wireless Communications – універсальна бездротова мережа), яка використовує TDMA і має у своїй основі стандарт IS-136 (D-AMPS);

- cdma-2000, що є розвитком стандарту IS-95. У стандарті cdma-2000 передбачене використання в прямому каналі (передача від БС до АС) режиму з декількома несучими. У каналі із шириною смуги частот 5 МГц розміщуються три несучі. Сигнал, переданий на кожній з несучих, за своїми параметрами відповідає вимогам стандарту IS-95.

Японія висунула свій високотехнологічний стандарт W-CDMA (ARIB).

Південна Корея запропонувала три стандарти:

– CDMA-I – синхронної DS-CDMA на базі 3,6884 Мбіт/с;

– CDMA-II – асинхронний DS-CDMA на базі 4,096 Мбіт/с;

– SAT-CDMA – для супутникового зв'язку.

Китай розробив свій проект TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA).

Загальна архітектура систем 3-го покоління (рис. 6.1) містить у собі дві частини: мережі радіо-доступу (стандарти радіо-інтерфейсу) і базові мережі.

В IMT-2000 пропонується використовувати три типи магістральних базових мереж: GSM MAP (Європа), ANSI-41 (США) і універсальні мережі з IP-протоколом. Глобальний роумінг між трьома мережами має здійснюватися через міжмережний інтерфейс NNI. Для реалізації глобального роумінгу необхідні багаторежимні термінали, а мережі мають містити конвертори або міжмережні шлюзи.

В IMT-2000 пропонується використовувати три типи магістральних базових мереж: GSM MAP (Європа), ANSI-41 (США) і універсальні мережі з IP-протоколом.

Глобальний роумінг між трьома мережами має здійснюватися через міжмережний інтерфейс NNI. Для реалізації глобального роумінгу необхідні багаторежимні термінали, а мережі мають містити конвертори або міжмережні шлюзи.

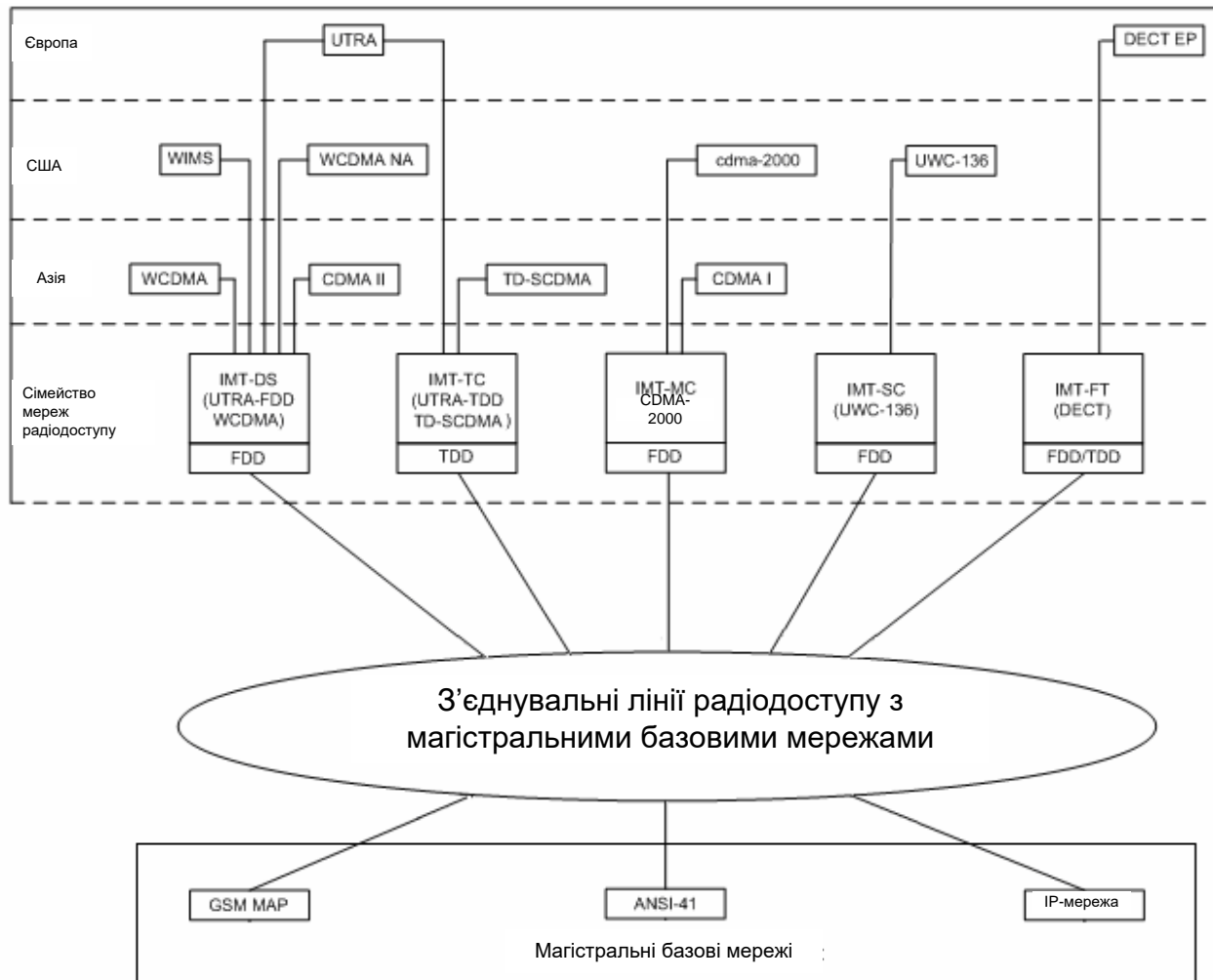


Рисунок 6.1 – Архітектура систем мобільного зв'язку 3-го покоління

Нині до складу сімейства мереж радіодоступу входять п'ять стандартів:

- IMT DS, відомий як ширококутовий CDMA, або WCDMA (UTRA FDD);
- IMT TC, відомий як UTRA TDD або TD-SCDMA;
- IMT MC, відомий як cdma-2000;
- IMT SC, відомий як UWC-136 або EDGE;
- IMT FT, відомий як DECT.

Три з п'яти стандартів (IMT-DS, IMT-TC, IMT-MC) засновані на технології CDMA, а два (IMT-SC, IMT-FT) – на технології TDMA.

Відповідно до концепції IMT-2000 у системах 3-го покоління передбачається використовувати два методи дуплексного рознесення: FDD для застосування в парних смугах частот і TDD – у непарних. У режимі FDD як базовий варіант обраний метод радіодоступу WCDMA, а в режимі TDD – метод TD-CDMA (пропозиція UTRA TDD). При чіповій швидкості 3,84 Мбіт/с (базова швидкість) мінімально

необхідна смуга для роботи системи 3-го покоління дорівнює 2x5 МГц (FDD) і 5 МГц (TDD).

Технічні характеристики радіоінтерфейсів IMT-2000 наведені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Характеристики радіоінтерфейсів IMT-2000

Характеристики радіоінтерфейсів	Радіоінтерфейси				
	IMT-DS	IMT-TC	IMT-MC	IMT-SC	IMT-FT
Базова технологія	UTRA FDD, WCDMA	UTRA TDD	cdma-2000	UWC-136	DECT-EP
Метод доступу	DS-CDMA	TDMA/CDMA	MC-CDMA	TDMA	MC-TDMA
Дуплексне рознесення	FDD	TDD	FDD	FDD	FDD/-TDD
Чіпова швидкість, Мбіт/с	3,84	3,84/1,288	3,6864	-	-
Швидкість передачі, кбіт/с.	-	-	-	384; 2048	1152; 2304; 3456
Вид модуляції	QPSK; BPSK	QPSK; BPSK; HPSK	QPSK; BPSK	QPSK; 8PSK; BOQAM; QOQAM	GFSK; DPSK; DQPSK; D8PSK
Довжина кадру, мс	10	10	5 або 20	4,6	10
Глибина перемеження, мс	10/20/40/80	10/20/40/80\10-130	3/20	0/20/40/140/240	без перемеження
Кількість слотів на кадр	15	15	немає	6/8/16/64	12/24/48
Довжина суперкадру, мс	720	720\720	немає	720/640	160

Розглянемо їх загальну характеристику.

Радіоінтерфейс IMT-DS (IMT-2000 DS) створений на базі проектів WCDMA (UTRA FDD) з прямим розширенням спектра (DS-CDMA) і частотним дуплексним рознесенням (FDD) для застосування у парних смугах частот (об'єднана пропозиція UTRA-FDD і W-CDMA). Близькими за принципами побудови і параметрами до радіоінтерфейсу IMT-DS є стандарти WIMS, WCDMA NA (США), WCDMA (Японія) і CDMA II (П. Корея).

Радіоінтерфейс ІМТ-ТС (ІМТ-2000 ТС) являє собою стандарт на комбіновану систему з багатостанційним доступом TDMA/CDMA з часовим дуплексним рознесенням (TDD) для застосування у непарних смугах частот (об'єднана пропозиція UTRA TDD та TD-SCDMA). TD-SCDMA – китайський проект системи 3-го покоління, розроблений на основі багатостанційного доступу із синхронним кодовим поділом каналів.

Радіоінтерфейс ІМТ-МС створений на основі стандартів cdma-2000 (США) і CDMA-I (П. Корея), які передбачають еволюційний перехід від існуючого стандарту cdma-Опа (IS-95) і його модифікацій до широкосмугової багаточастотної CDMA системи. Модульовані символи ущільнюються на декількох несучих з шириною спектра 1,25 МГц на кожній з них. Базова смуга частот 3,75 (3x1,25) МГц, а чіпова – 3,6864 (3x1,2288) МГц/с. Отже, у системах стандарту ІМТ-МС використовується комбінований доступ з частотно-кодовим розподілом каналів, при якому високошвидкісний потік даних розбивається на декілька потоків зі зниженою швидкістю, кожен з яких передається на своїй несучій з кодовим розподілом каналів (з прямим розширенням спектра).

Радіоінтерфейс ІМТ-SC створений на базі стандарту IS-136 (D-AMPS) і передбачає його еволюційний розвиток. Передбачено три етапи розвитку цього стандарту:

- IS-136+ (GPRS) – без розширення смуги частот каналу 30 кГц;
- IS-136 HS O/V – з шириною смуги частот каналу 200 кГц;
- IS-136 HSI – з шириною смуги каналу 1600 кГц.

Використання смуги частот 200 кГц у поєднанні з багаторівневою модуляцією (8PSK) дозволяє забезпечити передачу зі швидкостями 144 і 384 кбіт/с, а використання смуги 1600 кГц – передачу зі швидкістю до 2 Мбіт/с.

Радіоінтерфейс ІМТ-FT (ІМТ-2000 Frequency Time) – це нова аббревіатура системи радіодоступу DECT-EP. Стандарт DECT (цифрова вдосконалена бездротова мережа) прийнятий ETSI у 1995 р. Стандарт DECT описує технологію організації мікро-стільникових мереж для зон з високою щільністю абонентів (порядку 100 тис. абонентів/км<sup>2</sup>). Одна з важливих переваг стандарту – він не вимагає частотного планування. Вибір робочої частоти проходить у процесі регулярного сканування всіх доступних частот, при цьому вільні робочі канали вибираються в динамічному режимі. У стандарті ІМТ-FT на мікро-стільникову систему DECT передбачене використання комбінованого частотно-часового дуплексного рознесення як у парних, так і в непарних смугах частот. У варіанті ІМТ-FT запропоновані три градації швидкостей передачі: 1,152; 2,034 і 3,456 Мбіт/с. Така можливість реалізується за рахунок використання методів модуляції  $\pi/2$ -DPSK;  $\pi/4$ -DQPSK і  $\pi/8$ -D8PSK.

Європейські оператори і виробники устаткування для систем мобільного зв'язку прагнуть забезпечити плавний перехід від систем 2-го покоління до систем 3-го покоління шляхом еволюції систем GSM. У цьому випадку вибір радіоінтер-

фейса зводиться до вибору смуги радіочастот, методів модуляції, завадостійкого кодування, типів каналів, структури кадрів, протоколів доступу, алгоритмів управління. Роботи в цьому напрямку зосереджені в Європейському інституті стандартизації в області телекомунікацій (ETSI).

Розглянемо еволюцію систем з технологіями TDMA і CDMA.

## 6.2 Еволюція систем з технологією TDMA

У процесі еволюції технології радіо-інтерфейсів систем 1G/2G зазнає істотних змін. Стратегія переходу до систем 3-го покоління на базі технології TDMA наведена на рис. 6.2.

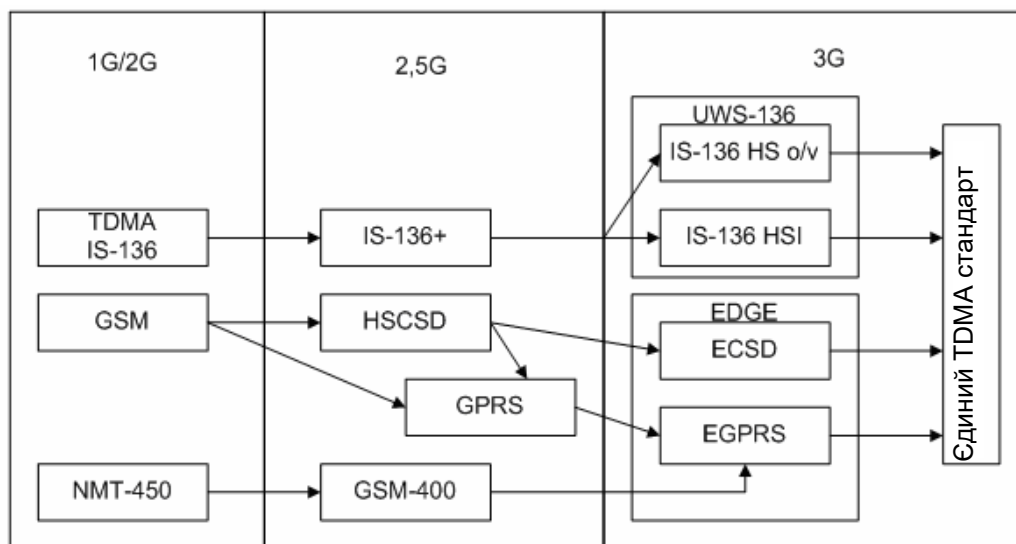


Рисунок 6.2 – Стратегія переходу до систем 3-го покоління на базі TDMA

Проектами переходу систем 3-го покоління на базі TDMA є американський UWC-136 (IMT-SC) і європейський проект EP DECT (IMT-FT).

Проект UWC-136 передбачає перехід до систем TDMA 3-го покоління шляхом еволюції стандарту IS-136 (D-AMPS).

Стандарт D-AMPS (IS-136) уже сьогодні задовольняє багатьом істотним вимогам IMT-2000. D-AMPS є єдиним стандартом, що забезпечує дворезимний “безшовний” роумінг, який автоматично переключає абонентів з аналогових каналів на цифрові без переривання обслуговування.

Можливі такі етапи розвитку цього стандарту на шляху до 3G (три версії проекту стандарту UWC-136RTT):

- IS-136+GPRS без розширення смуги частот каналу 30 кГц;
- IS-136 HS o/v – з шириною смуги частот каналу 200 кГц;
- IS-136 HIS з шириною смуги каналу 1600 кГц.

Проект UWC-136 передбачає можливість реалізації радіо-інтерфейсів в широкому діапазоні частот – від 450 МГц до 2,5 Гц. Типи частот зазначених стандартів UWC-136 наведені на рис. 6.3.

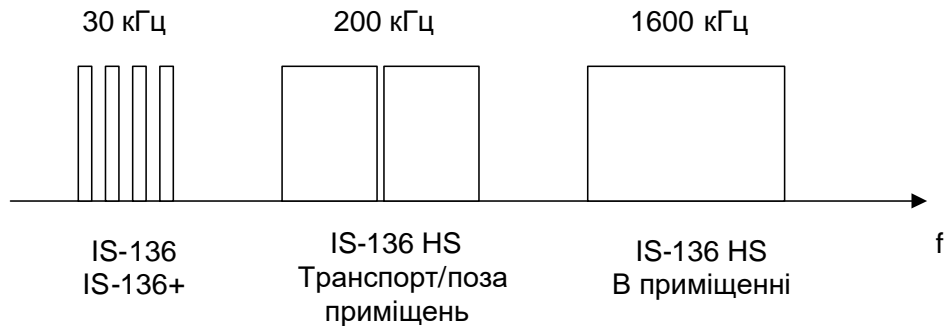


Рисунок 6.3 – Типи частот стандарту UWC-136

В усіх варіантах UWC-136 передбачене використання спектрально ефективних технологій, які розрізняються як за шириною смуги каналу, так і за використанням видом модуляції ( $\pi/4DQPSK$ ,  $QPSK$ ,  $8PSK$ ,  $GMSK$ , різні варіанти QAM).

Використання смуги 200 кГц у поєднанні з багаторівневою модуляцією (8PSK) дозволяє забезпечити передачу зі швидкістю 144 і 384 кбіт/с, а використання смуги 1600 кГц – передачу зі швидкістю до 2 Мбіт/с.

Завдяки використанню трьох типів каналів зі смугою 30, 200 і 1600 кГц можливе нарощування можливостей існуючих мереж TDMA/AMPS з урахуванням зростаючих вимог у середовищі послуг.

На першому етапі без розширення смуги каналу 30 кГц програмним способом реалізується стандарт GPRS (IS-136+), заснований на принципі комутації даних. При цьому підтримуються діапазони 850 і 1900 МГц, використовується метод модуляції 8PSK. Забезпечується швидкість передачі 19,2 кбіт/с на часовий слот і 45 кбіт/с на радіоканал 30 кГц. Можливе збільшення швидкості передачі шляхом використання декількох каналів GPRS.

На другому етапі здійснюється перехід до стандарту EDGE, що відповідає рекомендаціям IMT-2000 і поєднаний зі стандартом GPRS. Стандарт EDGE являє собою широкосмугову версію GPRS, сумісну з IS-136. При використанні смуги 200 кГц забезпечується швидкість передачі до 384 кбіт/с.

На третьому етапі здійснюється перехід до стандарту IS-136 HS (від High Speed – висока швидкість), або Double EDGE (подвійний EDGE). Під час використання смуги 200 кГц (EDGE) забезпечується швидкість передачі 144 кбіт/с для транспортних засобів і 384 кбіт/с – для пішоходів, а при використанні несучої шириною 1,6 МГц (широкопсмуговий EDGE) забезпечується швидкість передачі до 2 Мбіт/с. Порівняльні характеристики трьох версій проекту стандарту UWC-136 RTT наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Основні характеристики трьох версій стандарту UWC-136RTT

Найменування характеристики	Найменування проекту		
	IS-136+	IS-136 HS (Outdoor/Vehicular)	IS-136 HS (Indoor)
Мінімальна смуга, необхідна для розгортання системи	90кГцх2 (1сота,3-х секторна антена)	3х200=600 кГц	2х1600 кГц FDD 1600 кГцTDD
Метод доступу/дуплексування	TDMA/FDD	TDMA/FDD	TDMA/FDD, TDMA/TDD
Канальне рознесення, кГц	30	200	1600
Модуляція	$\pi/4$ -DQPSK (136); QPSK (136+); 8PSK (136+)	QOQAM BOQAM GMSK	QOQAM BOQAM
Швидкість передачі, кбіт/с	28,8	до 65,2	-
Швидкість передачі в радіоканалі	48,6 кбіт/с	722,2 кбіт/с (QOQAM) 381,1 кбіт/с (BOQAM) 270,8 кбіт/с (GMSK)	5,2 Мбіт/с (QOQAM) 2,6 М біт/с (BOQAM)
Довжина кадру, мс	40 (1944біт, QPSK) 40 (2832 біт, 8PSK)	4,615	4,615
Кількість інтервалів на кадр	6 по 6,67мс	8 по 576,92 мкс	64 по 72 мкс 16 по 288 мкс

Під час розробки і запровадження в дію стандарту GSM вважалося, що його можливостей буде достатньо на довгострокову перспективу. Однак дотепер можливості стандарту GSM не повною мірою задовольняють зростаючі вимоги у сфері телекомунікаційних послуг.

Види модуляції, що використовуються:

QOQAM – квадратурна АМ з четвірковим зміщенням;

BOQAM – квадратурна АМ з двійковим зміщенням;

GMSK – гаусова модуляція з мінімальним частотним зсувом.

Зокрема, сучасні мережі передачі даних GSM мають низьку швидкість передачі даних – до 9,6 кбіт/с. Ця швидкість достатня для організації роботи електронної пошти та передачі коротких повідомлень (служба SMS) довжиною 160 символів. Маршрутизація даних у системі GSM здійснюється шляхом комутації каналів. У цих умовах забезпечити вимоги ІМТ-2000 неможливо.

З метою підвищення можливостей стандарту GSM у напрямку ІМТ-2000 окреслилося декілька напрямків розвитку:



– інтеграція з іншими мережами радіодоступу (DECT і вузлом доступу до Internet);

– впровадження нових технічних рішень, які забезпечують високошвидкісну передачу даних з комутацією пакетів і взаємодія з мережами ТМЗК, АТМ і ISDN;

– створення інтегрованих мереж GSM-900/1800 та в перспективі GSM-400.

Модернізовані мережі GSM надаватимуть послуги системам 3-го покоління і матимуть потенційно більшу абонентську базу.

Дотепер вдосконалювання мереж на базі стандарту GSM йде шляхом використання різних систем і технологій:

– використання технології високошвидкісної передачі даних з комутацією каналів HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) зі швидкістю передачі 64 кбіт/с;

– використання технології пакетної радіопередачі GPRS (General Packet Radio Service), що забезпечує швидкість передачі до 128 кбіт/с;

– EDGE – забезпечує підвищення швидкості передачі за рахунок використання модуляції 8PSK, що в свою чергу забезпечує спектральну ефективність вдвічі-втричі вищу, ніж у GPRS,

– впровадження системи GSM-400 для зв'язку в сільських і малонаселених районах.

EDGE – останній етап розвитку стандарту GSM.

Системи стандарту EDGE зможуть забезпечувати передачу зі швидкостями (теоретично) до 473 кбіт/с, використовуючи інфраструктуру стандарту GSM.

Швидкість передачі даних мереж GSM, що використовують технологію HSCSD, дорівнює 19,2 кбіт/с (два часових інтервали по 9,6 кбіт/с) або 28,8 кбіт/с (2x14,4 кбіт/с). Впровадження HSCSD вимагає переважно модифікації програмних засобів, при цьому інфраструктура діючої мережі GSM залишається незмінною. Планується подальше збільшення швидкості передачі за рахунок об'єднання 4-х часових каналних інтервалів до величини 38,4 (4x9,6) кбіт/с або 57,6 (4x14,4) кбіт/с. Технологія HSCSD підтримує трафік мереж з комутацією каналів, що є її недоліком.

Важливим кроком на шляху еволюції мереж GSM до UMTS є впровадження передачі даних від абонента до абонента в пакетному режимі по IP протоколу з підвищенням швидкості передачі до 115,2 кбіт/с. Модернізовані мережі GSM (GPRS) здатні надавати користувачам послуги 3-го покоління. Термінали мережі GPRS здатні підтримувати режим багатоканальної (багатослотової) роботи, забезпечуючи при цьому максимальну швидкість передачі на каналний інтервал 21,4 кбіт/с. Кожному абоненту може виділятися від 1 до 8 каналних інтервалів (слотів).

Радіоінтерфейс EDGE, створений на основі стандарту GSM, забезпечує плавний перехід до 3-го покоління, дозволяючи збільшити швидкість передачі до 384 кбіт/с на несучу. В процесі подальшого розвитку планується підвищити швидкість передачі до 2048 кбіт/с. Радіоінтерфейс EDGE надбудовується над існуючою схе-

мою радіодоступу GSM і не вимагає створення нових мережних елементів. Одною з важливих переваг EDGE є використання спектрально ефективної модуляції – 8-позиційної фазової модуляції (8PSK).

Радіоінтерфейс стандарту EDGE забезпечує автоматичне розпізнавання типу модуляції, що використовується в радіолінії, і подальший перехід у необхідний режим.

В існуючих програмах модернізації аналогового стандарту NMT-450 у цифровий розглядаються три варіанти:

-GSM-400 (більш рання назва GSM-450), заснований на технології GSM-900/1800;

-CDMA-450, заснований на технологічних рішеннях IS-95B і cdma-2000;

-D-NMT, що являє собою комбінацію систем GSM і TETRA.

Одна з переваг варіанта GSM-400 – використання існуючої інфраструктури мереж GSM і можливість організації глобального роумінгу. Діапазон 450 МГц забезпечує покриття більших територій. Дальність зв'язку для GSM-400 практично вдвічі більше, ніж у GSM-900, що особливо важливо для організації зв'язку в сільській (значною мірою відкритої) місцевості.

### 6.3 Еволюція систем з технологією CDMA

У США і в деяких інших країнах основним стандартом систем 3-го покоління є стандарт cdma-2000. Цей стандарт являє собою широкосмугову версію стандарту cdma-One (IS-95). Його характеристики наведено в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Основні характеристики стандарту cdma- 2000

Найменування характеристик	Значення
Ширина смуги частот	3,75 МГц (Nx1,25 МГц, де N=1,3,6,9,12)
Чіпова швидкість	3,6864 Мчп/с (Nx1,2288, де N=1,3,6,9,12)
Рознесення несучих у режимі FDD	45 МГц (стільникові), 80 МГц (PCS)
Технологія багатостанійного доступу	MC-CDMA, DS-CDMA
Метод дуплексування	FDD і TDD
Швидкість передачі інформації	від 1,2 кбіт/с до 2 Мбіт/с
Завадостійкі коди	Згортковий код, турбокод
Метод синхронізації базових станцій	синхронний
Метод пошуку осередків	за пілот-сигналом

Еволюція стандарту cdma-One у стандарт cdma-2000 має пройти за декілька етапів.

Першим етапом еволюції до cdma-2000 є базова станція Metro Cell.

На другому етапі шляхом модифікації програмного забезпечення реалізується стандарт IS-95B. Цей стандарт покоління 2,5G, що забезпечує швидкість пе-

редачі даних зі швидкістю 64 кбіт/с у режимі комутації каналів і 115,2 кбіт/с у режимі комутації пакетів. Крім того, стандарт IS-95B забезпечує ряд додаткових функцій, яких не було в IS-95 (АОН з видачею імені тому, хто дзвонить, можливість призначати пріоритети дзвінкам тощо).

Еволюція стандарту cdma-One у стандарт cdma-2000 має пройти за декілька етапів.

Першим етапом еволюції до cdma-2000 є базова станція Metro Cell.

На другому етапі шляхом модифікації програмного забезпечення реалізується стандарт IS-95B. Цей стандарт покоління 2,5G, що забезпечує швидкість передачі даних зі швидкістю 64 кбіт/с у режимі комутації каналів і 115,2 кбіт/с у режимі комутації пакетів. Крім того, стандарт IS-95B забезпечує ряд додаткових функцій, яких не було в IS-95 (АОН з видачею імені тому, хто дзвонить, можливість призначати пріоритети дзвінкам тощо).

На третьому етапі базова станція стає дворежимною за рахунок додавання модуля проміжного стандарту 1xHDR/IS-2000 – прискореного вузькосмугового cdma-2000. Цей проміжний стандарт забезпечує пакетну передачу, одночасну передачу мови і даних, удвічі збільшує ємність порівняно з IS-95 при тій самій чіповій швидкості 1,2288 Мчп/с.

Четвертим етапом стає багаторежимна станція, яка водночас підтримує стандарти IS-95, cdma-2000 (3xHDR/IS-2000) з чіповою швидкістю 3,6864 Мчп/с (до 2 Мбіт/с). Ємність такої базової станції буде вдвічі вище ємності станції Metro Cell при повній сумісності зверху вниз.

Дотепер в Європі вироблена єдина політика переходу до систем 3G на основі базового стандарту UMTS з технологією доступу WCDMA (UTRA IMT-DS). В Україні розгортання загальної мережі радіодоступу систем 3G також передбачає використання радіотехнології WCDMA (UTRA IMT-DS). Визнана доцільною побудова транспортної мережі системи 3G шляхом об'єднання діючих мереж мобільного зв'язку 2-го покоління з використанням протоколів АТМ та ін.

Хоча концепція створення систем майбутнього – систем 4-го покоління, ще не сформована, однак проблеми і можливі шляхи розвитку технологій обговорюються на міжнародному рівні. При переході до систем 4G буде необхідна розробка глобальних високошвидкісних базових мереж (у 3G передбачається тільки їхня модернізація), створення нових інтерфейсів у діапазоні частот від 5 до 60 ГГц, оснащення практично всіх професійних і побутових приладів вбудованими засобами радіозв'язку, забезпечення мобільного доступу до баз даних (довідково-інформаційних, медичних, географічних), а також реалізація послуг телемовлення в інтересах мобільних користувачів.

## 6.4 Загальна характеристика мобільних систем зв'язку UMTS

У 1997 р. Європейський комітет радіозв'язку ERC ухвалив рішення щодо резервування частотних смуг у діапазоні 2 ГГц для експлуатації UMTS з 2002 р. у таких смугах частот:

-1920...1980 і 2110...2170 МГц – для наземних мереж UMTS, що працюють із частотним дуплексним рознесення (FDD) у парних смугах частот;

-1900...1920 і 2010...2025 МГц – для наземних мереж UMTS, що працюють із часовим дуплексним рознесення (TDD) у непарних смугах частот;

-1980...2010 і 2170...2200 МГц – для супутникових мереж UMTS.

Універсальна система мобільного зв'язку UMTS заснована на складеному радіоінтерфейсі UTRA: на спарених смугах частот використовується частотний дуплекс – технологія FDD (W-CDMA) для передачі мови і даних на швидкостях до 384 кбіт/с; на неспарених смугах частот використовується часовий дуплекс TDD і технологія кодо-часового поділу (TD-CDMA) для асиметричної передачі даних на швидкостях до 2 Мбіт/с.

Радіоінтерфейс UTRA системи UMTS, як і всі радіо-інтерфейси систем 3-го покоління, побудовані на базі технології CDMA, передбачає використання смуги частот 5 МГц і більше. Вибір такої смуги (5 МГц) обумовлений рядом причин.

Першою з них є необхідність забезпечення системами 3-го покоління високих швидкостей передачі – до значень 144; 384 кбіт/с і більше – до 2,048 Мбіт/с, що значно перевищує швидкості передачі в системах другого покоління (GSM-900/1800/1900, CDMA-IS-95 тощо), максимальне значення яких не перевищує 30 кбіт/с. Для досягнення зазначених високих швидкостей передачі при прийнятній ємності мережі цілком достатньою є смуга частот 5 МГц.

Другою причиною, що дозволяє обмежитися смугою частот 5 МГц, є дефіцит вільних смуг радіоспектра у випадках, коли нові системи займають діапазони частот, в яких вже працюють системи другого покоління.

Третьою причиною достатності смуги частот 5 МГц є те, що вже при використанні цієї смуги істотно збільшується ступінь розходження кількості компонентів багатопроменевого сигналу, що у свою чергу підвищує якість прийому порівняно з використанням смуги частот меншої величини.

У режимі FDD смуга частот, виділена в діапазоні 1920...1980 МГц, використовується для передачі від АС до БС (лінія “вверх”, зворотний частотний канал), а інша, виділена в діапазоні 2110...2170 МГц, використовується для передачі від БС до АС (лінія “вниз”, прямий частотний канал).

Поряд із частотним дуплексом (FDD) стандартом передбачений часовий дуплекс (TDD) для роботи у непарних смугах частот. При часовому дуплексі частина часового кадру виділяється для передачі повідомлення від БС до АС, а інша використовується для передачі у зворотному напрямку. Для роботи в режимі TDD ви-

ділені непарні смуги частот 5 МГц у діапазонах 1900...1920 і 2010...2025 МГц. Режим TDD є оптимальним для систем з асиметричним трафіком.

UMTS підтримує роботу асинхронних базових станцій, так що на відміну від синхронної системи IS-95 відсутня необхідність у глобальній прив'язці до часу, наприклад до GPS. Розгортання базових станцій в середині приміщень і мініатюрних базових станцій (для пікосот) відбувається простіше, коли не вимагається одержувати сигнал GPS.

UMTS використовує когерентний прийом для систем CDMA у висхідному і низхідному каналах на основі застосування пілот-символів або загальних пілот-сигналів. Хоча когерентний прийом вже використовується в каналі “вниз” в IS-95, його застосування в каналі “вверх” є новим для систем CDMA загального користування і приведе до збільшення загальної зони обхвату і пропускної здатності висхідного каналу.

Повітряний інтерфейс UMTS побудований так, що оператор мережі може використовувати перспективні концепції побудови приймачів CDMA, наприклад, розрахований на багатокористувальницький прийом і застосування інтелектуальних адаптивних антен як спосіб підвищення пропускної здатності і/або зони обхвату. У більшості систем другого покоління відсутні можливості використання таких концепцій побудови приймача, внаслідок чого вони або не можуть застосовуватися, або можуть застосовуватися лише з великими обмеженнями і дають лише незначне поліпшення експлуатаційних показників.

UMTS призначена для використання разом з GSM. Тому підтримуються естафетні передачі управління (хендовери) між GSM і UMTS для того, щоб мати нагоду використовувати зону дії GSM для впровадження UMTS. Основні параметри UMTS наведені в табл. 6.4. При передачі мови із швидкістю 12,2 кбіт/с виграш за рахунок розширення спектру складає 25 дБ.

Таблиця 6.4 – Основні параметри UMTS

Метод множинного доступу	DS-CDMA
Дуплексне рознесення каналів	Дуплекс з частотним розділенням/ дуплекс з часовим розділенням
Синхронізація базової станції	Асинхронна робота
Швидкість передачі чіпів	3,84 Мчп/с
Тривалість фрейма	10 мс
Мультиплексування при обслуговуванні	Безліч послуг з різними вимогами за якістю обслуговування
Концепція багатошвидкісної передачі	Змінний коефіцієнт розширення і мультикоди
Прийом	Когерентний з використанням пілот-символів і загального пілот-сигналу
Розрахований на багато користувальницький прийом, інтелектуальні антени	Підтримується стандартом, необов'язковим у реалізації

У системі UMTS для передачі мови  $E_b/N_0$  співвідношення сигнал/шум зазвичай, складає порядку 5,0 дБ. Тому відношення широкосмугового сигналу до завади буде рівне 5,0 дБ мінус вигреш при обробці. При швидкості передачі інформації 12,2 кбіт/с і чіповій швидкості 3,84 Мчіп/с вигреш на виході приймача складає  $5-25=20,0$  дБ. Іншими словами, потужність сигналу може бути на 20 дБ нижче за потужність завади і теплового шуму, а приймач WCDMA все ще буде здатний приймати сигнал.

Відношення широкосмугового сигналу до завади називається також відношенням сигнал/завада  $P_c/P_{зав}$  на частоті несучої. Завдяки розширенню і стисненню С/І в WCDMA може бути нижчим, ніж, наприклад, у GSM. Мовний трафік у GSM вимагає відношення сигнал/завада  $P_c/P_{зав} = 9 \div 12$  дБ.

Слід зазначити, що у будь-якій заданій ширині смуги частот каналу (швидкості передачі чіпів) має місце більший вигреш під час обробки для нижчих швидкостей передачі даних користувача, ніж для вищих. Зокрема, для швидкості передачі даних користувача 2 МГц вигреш під час обробки складає менше 2  $(3,84\text{Мчіп/с})/(2\text{Мбіт/с})=1,92$ , що відповідає 2,8 дБ.

Слід також зазначити, що саме по собі розширення/стиснення спектра сигналу не забезпечує будь-якого поліпшення сигналу для бездротових застосувань. Насправді, вигреш у відношенні сигнал/завада під час обробки виходить за рахунок збільшеної ширини смуги частот при передачі (помноженої на величину вигрешу під час обробки).

## 6.5 Архітектура системи стандарту UMTS

Система UMTS складається з ряду логічних елементів мережі, кожен з яких виконує певні функції.

За своїми функціями елементи мережі групуються в мережу радіодоступу (RAN, UMTS територіального рівня – UTRAN), яка оперує всіма функціями, що належать радіозв'язку, в базову мережу (CN), яка забезпечує комутацію і маршрутизацію викликів і канали передачі даних у зовнішні мережі. До складу архітектури систем UMTS входить також устаткування користувача (UE) і радіоінтерфейс (Uu). Архітектура системи UMTS високого рівня показана на рис. 6.4.

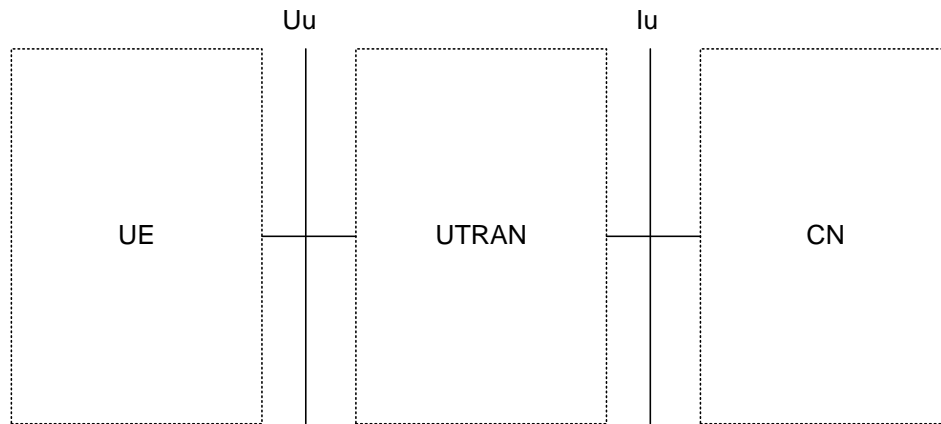


Рисунок 6.4 – Архітектура системи UMTS високого рівня

Абонентне устаткування (UE) і радіоінтерфейс (UTRAN) побудовані на технології радіозв'язку WCDMA.

Побудова базової мережі (CN) взята з GSM. Це дає системі з новою технологією радіозв'язку глобальну базу з відомої і випробуваної технології CN, що сприяє прискоренню її впровадження і дозволяє використовувати як глобальний роумінг.

Система UMTS є модульною в тому значенні, що можливо мати декілька елементів мережі одного і того самого типу. У принципі, мінімальною вимогою для того, щоб мережа працювала і забезпечувала всі свої функціональні можливості, є наявність, принаймні, одного логічного елемента мережі кожного типу (зазначимо, що деякі функції і, отже, деякі елементи мережі є необов'язковими). Можливість мати декілька об'єктів одного й того самого типу дозволяє ділити систему UMTS на підмережі, що працюють або самостійно, або разом з іншими підмережами, і які є тотожними один одному. Така мережа називається UMTS PLMN (наземна мобільна мережа загального користування). Зазвичай, одна PLMN експлуатується одним оператором і з'єднується з іншими PLMN також, як і з іншими типами мереж, наприклад, ISDN, PSTN, Інтернет тощо. На рис. 6.5 показані елементи PLMN і для того, щоб проілюструвати внутрішні з'єднання, – також і зовнішні мережі.

До складу UE входять такі елементи:

- рухоме устаткування (ME);
- радіотермінал, використовуваний для радіозв'язку через інтерфейс Uu;
- модуль ідентифікації абонента UMTS (USIM), що реалізує алгоритм аутентифікації і шифрування, і деякі дані про послуги, якими має право користуватися абонент.

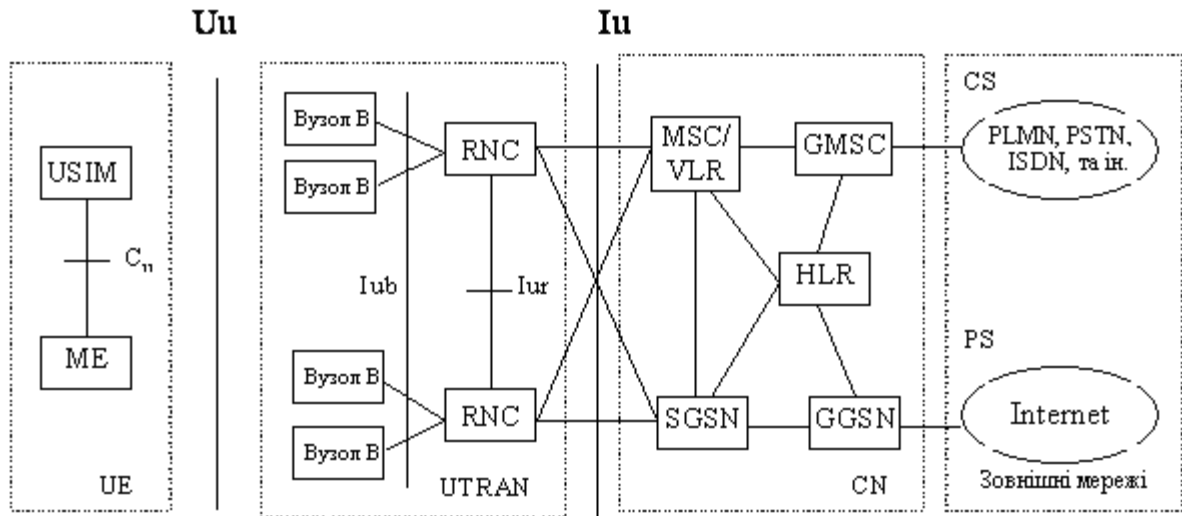


Рисунок 6.5 – Елементи мережі в UMTS.

До складу UTRAN входять два елементи:

- вузол В, що перетворює потік даних між інтерфейсами Iub і Uu. Він також бере участь в управлінні радіоресурсами. (Зазначимо, що термін «Вузол В» з відповідних специфікацій 3GPP означає те саме, що термін «Базова станція»);
- контролер радіомережі (RNC) володіє і управляє радіоресурсами у своїй області (до неї підключені вузли В). RNC є точкою доступу до сервісу для всіх послуг, які UTRAN надає CN, наприклад, управління з'єднаннями з UE.

Контролер RNS забезпечує раціональне використання радіоресурсів і здійснює хендвер. До кожного контролера RNS через інтерфейс Iub підключені один або декілька логічних вузлів В. До складу кожного з вузлів В входять одна або декілька базових станцій.

Основними елементами базової мережі GSM, що використовуються в UMTS, є такі:

- HLR (регістр домашнього місцезнаходження, за місцем реєстрації). Це – база даних, яка зберігає інформацію про послуги, що надаються абоненту, заборонених районів роумінга і додаткову сервісну інформацію, наприклад, про можливість переключення телефонного виклику і номера телефону, на який відбувається переадресація;
- MSC/VLR – комутатор (MSC) і база даних. Функція MSC використовується для комутації повідомлень з мережі CS, функція VLR забезпечує обслуговування гостювача, а також інформацію про місцезнаходження абонентного терміналу в системі обслуговування;
- GMSC (шлюзовий MSC) – він погоджує UMTS PLMN із зовнішніми мережами CS. Всі вхідні і вихідні з'єднання CS проходять через GMSC.



- SGSN (вузол із забезпечення послуг GPRS), функції якого подібні функціям MSC/VLR, але зазвичай використовується для забезпечення послуг з комутацією пакетів;
- GGSN (вузол із забезпечення міжмережного переходу GPRS) функціонально близький до GMSC, але пов'язаний з наданням послуг.

Зовнішні мережі поділяються на дві групи:

- мережі CS. Вони забезпечують з'єднання з комутацією каналів, як це має місце в існуючому нині телефонному зв'язку;
- мережі PS. Вони забезпечують з'єднання з комутацією пакетів даних. Одним з прикладів мережі PS служить Інтернет.

У стандарті UMTS визначені такі основні відкриті інтерфейси:

- інтерфейс Ci. Це – інтерфейс між інтелектуальною платою (смарт-карткою) USIM (модуль ідентифікації абонента мережі UMTS) і радіо терміналом (ME);
- інтерфейс Uu. Це – інтерфейс, через який UE має доступ до стаціонарної частини системи, і тому є найважливішим інтерфейсом у UMTS;
- інтерфейс Iu. Він поєднує UTRAN з базовою мережею CN.

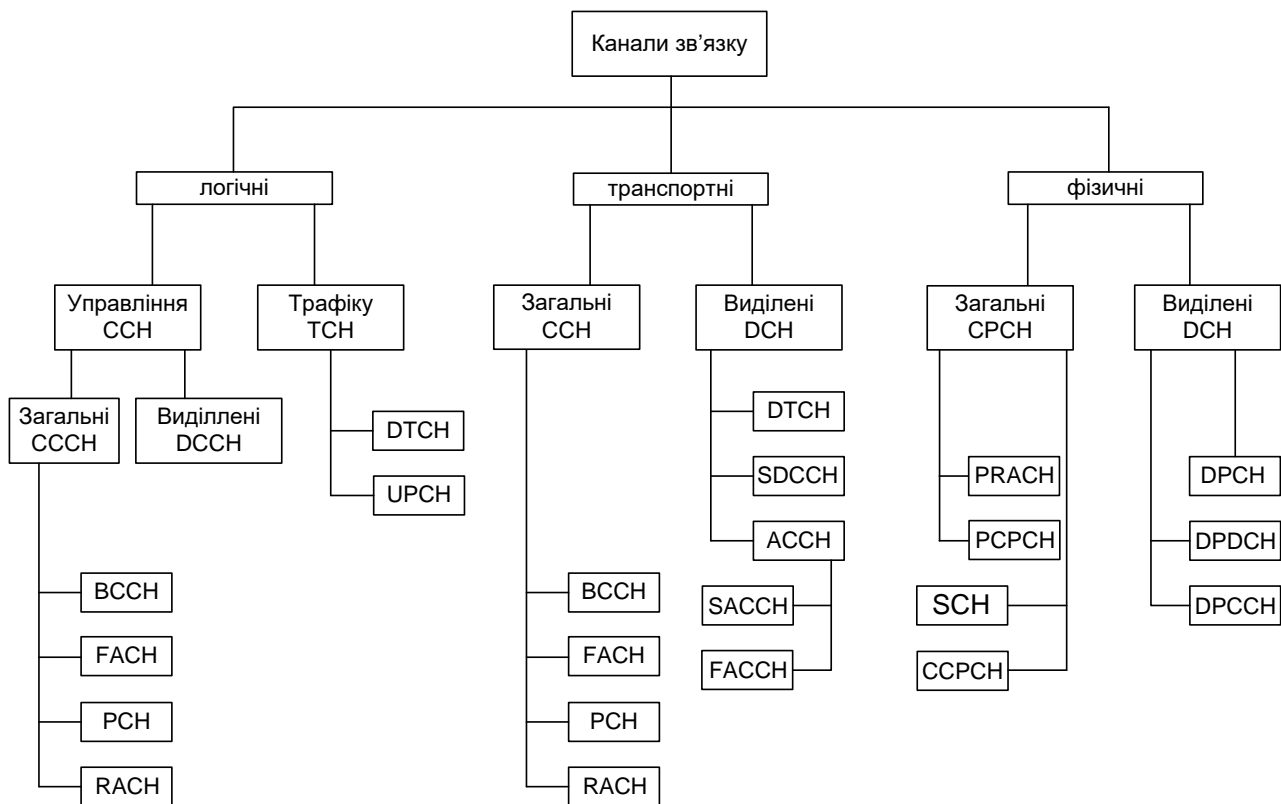
Інтерфейс Iu забезпечує за допомогою відповідного протоколу всі процедури взаємодії між базовою мережею і мережею радіодоступу UTRAN. Передача повідомлень між базовою мережею і абонентним устаткуванням здійснюється без проміжної обробки в радіомережі UTRA4;

- інтерфейс Iur. Інтерфейс Iur дозволяє здійснювати м'який хендовер між RNC від різних виробників і тому він доповнює відкритий інтерфейс Iu. Інтерфейс Iur визначає характер взаємодії між обслуговуючою і пасивною підсистемами RN. Інформаційні пакети мають кадри даних, поточні оцінки якості послуг, синхропараметри тощо. Потоки сигналізації містять повідомлення про виключення/додавання стільника в пасивну RNS, про використані радіоресурси тощо;

- інтерфейс Iub, який поєднує вузол B і RNC. Інтерфейс Iub регламентує характеристики стику між контролером RNS і вузлом B. Через інтерфейс Iub передаються потоки сигнальної інформації (додавання або вилучення комірок, контрольованих вузлом B, дані радіообміну в лініях “вниз” і “вгору”, оцінка якості каналів “вверх” і синхропараметри).

## 6.6 Організація каналів у стандарті UTRA FDD

У системі UTRA IMT-DS передбачене використання каналів трьох видів: логічних, фізичних і транспортних. Структура каналів системи стандарту UTRA наведена на рис. 6.6.



DCCH – виділені канали управління;  
 CCCH - загальні канали управління;  
 BCCH - широковещальний канал управління;  
 FACH - прямиий канал доступу;  
 PCH - канал персонального виклику;  
 RACH - канал довільного (випадкового) виклику;  
 DTCH - виділений канал трафіку;  
 UPCH - канал передачі абонентських пакетів;  
 SDCCH - автономний виділений канал управління;  
 ACCH - поєднаний канал управління;  
 SACCH - низькошвидкісний виділений канал управління;  
 FACCH - високошвидкісний виділений канал управління;  
 PRACH - фізичний канал довільного доступу;  
 SCH - синхроканал;  
 CCPCH - загальний фізичний канал управління;  
 DPDCH - виділений фізичний загальний канал (дані);  
 DPCCH - виділений фізичний загальний канал (управління);  
 DPCH - виділений фізичний канал.

Рисунок 6.6 – Структура каналів стандарту UTRA

Як відомо, поняття “логічний канал” відображає зміст даних, призначених для передачі. “Фізичний канал” визначається частотою і кодовою послідовністю, які забезпечують з'єднання АС і БС. Поняття “транспортний канал” належить способу і формату даних, переданих по фізичному каналу. З метою підвищення швидкості передачі даних транспортний канал може відображатися паралельно на де-

кілька (до шести) фізичних каналів. Такий спосіб передачі отримав назву “мультикодова передача”.

Всі зазначені види каналів поділяються на загальні та виділені. Загальні канали ССН доступні групі АС, тобто зв'язок організується водночас між БС і декількома АС. В цьому режимі не потрібна ідентифікація АС у робочій смузі частот. За загальними каналами між БС і АС передається управляюча інформація, інформація про конфігурацію мережі та її параметри.

За виділеними каналами ДСН здійснюється зв'язок між БС та однією з АС.

Логічні канали поділяються на дві групи: канали трафіка (ТСН) і канали управління (ССН). Канали трафіка призначені для передачі інформаційних потоків між абонентами, канали управління забезпечують передачу сигналів виклику і службових повідомлень, команд управління.

В свою чергу канали управління поділяються на загальні (СССН) і виділені (ДССН) канали управління. Загальні канали управління призначені для передачі управляючої інформації, адресованої всім АС даної комірки (широковещальний канал управління ВССН), сигналів виклику (канал персонального виклику РСН) від БС до всіх АС, сигналів виклику від АС до БС (канал доступу РАСН), команди управління від БС на АС, місце розташування якої відомо на БС (канал FACH).

Виділені канали управління (ДССН) і канали трафіка (ДТСН і UРСН) забезпечують організацію двостороннього радіозв'язку між БС і АС. Основне розходження між різними каналами в тому, що вони призначені для передачі різного роду інформації. Так, інформація управління передається каналом ДССН, трафік мереж з комутацією каналів – по ДТСН, а пакетна передача – каналом UРСН.

Як було зазначено вище, загальні транспортні канали призначені для передачі інформації про конфігурацію мережі та її параметрів. Виділені транспортні канали (по одному на кожного користувача) забезпечують передачу даних між конкретним споживачем і мережею, а також сигналів управління.

У системі UTRA використовуються чотири типи загальних транспортних каналів управління (ВССН, FACH, РСН, РАСН) і три типи виділених (ДТСН, ДССН, АССН). Каналом РАСН передається управляюча інформація від БС до АС (сигнали управління діаграмою спрямованості антени, управління потужністю, запит ідентифікації АС). Призначення загальних транспортних каналів (ВССН, РСН, FACH) відповідає призначенню аналогічних логічних каналів.

Виділений сполучений канал АССН використовується для передачі управляючої інформації разом з потоком даних. Канал АССН складається із двох підканалів – SACСН і FACСН. Підканал SACСН (низькошвидкісний) використовується для управління потужністю (БС передає на АС команди зміни потужності передавача АС, а від АС на БС – дані зміни рівня вхідного сигналу приймача АС). Підканал FACСН (високошвидкісний) призначений для переключення частоти при переході АС з однієї комірки в іншу, якщо базові станції сусідніх комірок працюють на різних частотах.

Виділені канали DTCH і SDCCN призначені для передачі інформаційних повідомлень (даних) і сигналів управління відповідно.

До складу загальних фізичних каналів у лінії “вверх” входять канал випадкового доступу RACH і канал пакетної передачі PCPCH. Канал RACH призначений для організації доступу АС до мережі і для передачі коротких пакетних повідомлень, основний же пакетний зв'язок між АС і мережею здійснюється каналом PCPCH.

У напрямку “вниз” (від БС до АС) загальними фізичними каналами є канал синхронізації SCH і канал управління CCPCH. Канал CCPCH складається з двох підканалів – первинного і вторинного. Первинний використовується для передачі загальної інформації (пілот-сигнала, даних). Вторинний загальний канал використовується для передачі сигналів виклику і службових сигналів (PCH і FACH).

У лінії “вгору” організовується два типи виділених фізичних каналів: канал даних DPDCH і канал управління DPCCN. Канал даних DPDCH використовується для передачі даних виділеного транспортного каналу, а канал DPCCN забезпечує передачу від АС до БС службової інформації: бітів пілот-сигналу, інформації, що необхідна для управління потужністю сигналу, що випромінюється БС та ін. Для передачі службової інформації від АС до БС використовується один канал. З метою підвищення швидкості передачі даних транспортний канал може відображатися паралельно на декілька (до шести) фізичних каналів.

У лінії “вниз” (від БС до АС) організується один виділений фізичний канал DPCH. Цей канал від кадру до кадру може використовуватися декількома абонентами.

Крім розглянутих загальних і виділених каналів організовується маркерний канал (PARCH). Цей канал по своєму призначенню аналогічний пілотному каналу, але з розширеними можливостями. Використовується базовою станцією в широкомовному режимі. Маркерний канал складається з трьох мультиплексованих у часі частин.

У першій частині каналного інтервалу (0,6666 мкс) розміщується пілот-сигнал, що використовується для встановлення синхронізації АС із БС.

У другій частині каналного інтервалу розміщуються дані про логічні канали, що використовуються.

У третій частині розміщуються пошукові коди, за допомогою яких АС може ідентифікувати БС. Два різні немодульовані пошукові коди поєднуються у груповий сигнал, що дозволяє використовувати ортогональні кодові послідовності Голда.

Преревага структури маркерного каналу – висока швидкодія. Недоліком є зниження частки випромінюваної енергії пілот-сигналу, оскільки він займає лише частину каналного інтервалу.

Інформація в мережі стандарту UTRA-IMT-DS передається пакетами. Короткі пакети передаються по загальному фізичному каналу, а довгі – по виділеному.

Пакети, довжина яких перевищує припустиме значення, поділяються на декілька коротких пакетів. Передана інформація розміщується у кадрах тривалістю 10 мс.

Передача по лінії “вниз” (від БС до АС) здійснюється по виділеному каналу DPDCH, що може по черзі (від кадру до кадру) використовуватися декількома абонентами.

Передача по лінії “вверх” здійснюється по двох каналах DPDCH і DPCCCH, перший з яких забезпечує передачу даних, а другий – управляючої інформації (пілот-сигналу, команд управління потужністю (TPC) і покажчика транспортного формату (TF1)). Покажчик TF1 використовується для сповіщення приймача про поточний стан і параметри транспортних каналів, переданих у DPDCH.

### **6.7 Структура кадрів, мультиплексування каналів**

У системі UTRA-IMT-DS з 72-х кадрів (K1, K2,...K72) тривалістю кожного кадра 10 мс (38400 чіпів) утворюється суперкадр тривалістю 720 мс. Канальна швидкість становить 3,84 Мчіп/с.

Кожен кадр складається з 15-канальних інтервалів (слотів K11...K15) тривалістю 666,6 мкс кожен. Розподіл даних між слотами та в межах слота може змінюватися залежно від типу фізичного каналу і поточної швидкості передачі даних.

Структура кадрів у лініях передачі “вниз” та “вверх” різна. Основне розходження полягає у поділі каналів даних (DPDCH) та управління (DPCCCH). В напрямку “вниз” використовується часовий поділ цих каналів, а в напрямку “вверх” – кодовий. Використання часового ущільнення каналів в лінії “вверх” недоцільне. Справа в тому, що дані можуть передаватися не завжди, тобто у певні проміжки часу канал трафіка DPDCH може бути просто вимкненим. При цьому передача команд управління по DPCCCH не припиняється, тому при часовому ущільненні каналів DPDCH і DPCCCH випромінювання набуває переривчастого характеру, що створює чутливі завади близько розміщеним радіоелектронним приладам. Для БС цей фактор не має істотного значення, оскільки поблизу антени БС не можуть знаходитися пристрої, настільки чутливі до переривчастого випромінювання, чим і пояснюється такий вибір мультиплексування в лінії “вверх”. Структура кадрів для прямого (від БС до АС) і зворотного (від АС до БС) каналів подана на рис. 6.7, а та б.7, б відповідно.

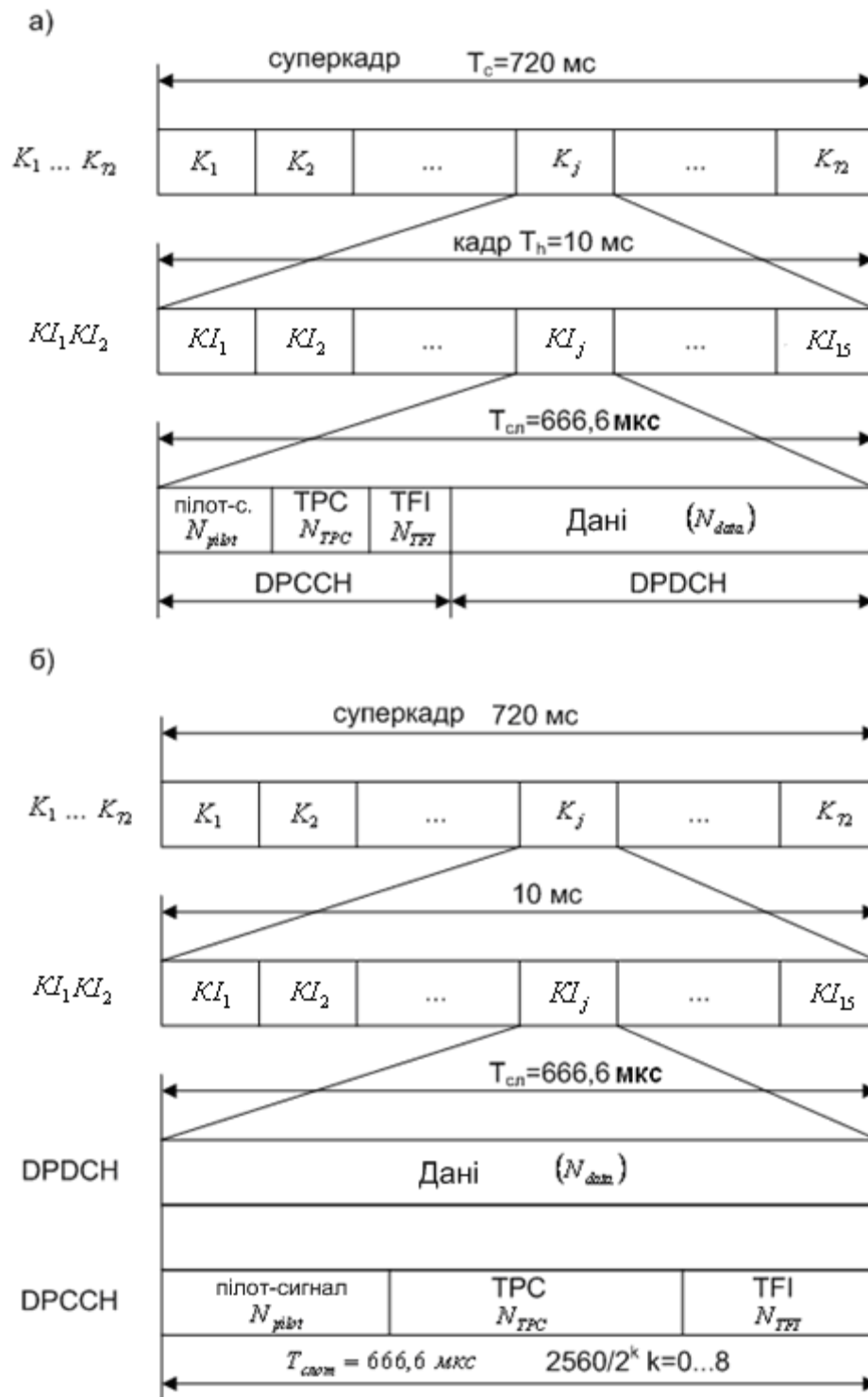


Рисунок 6.7 – Структура кадру системи UTRA-IMT-DS  
 а) для прямих каналів DPDCH/DPDCCCH (“вниз”)  
 б) для зворотних каналів DPDCH/DPCCCH (“вверх”)

Передача сигналів управління в лінії “вверх” здійснюється каналом управління DPCCCH. Цей канал мультиплексується (кодове ущільнення) з каналами да-

них DPDCH (від 1-го до 6-ти). Мультиплексування відбувається у квадратурному модуляторі, причому, сигнали каналу DPDCH надходять у синфазну (I) гілку модулятора, а сигнали каналу управління надходять у квадратурну (Q) гілку модулятора (рис. 6.8).

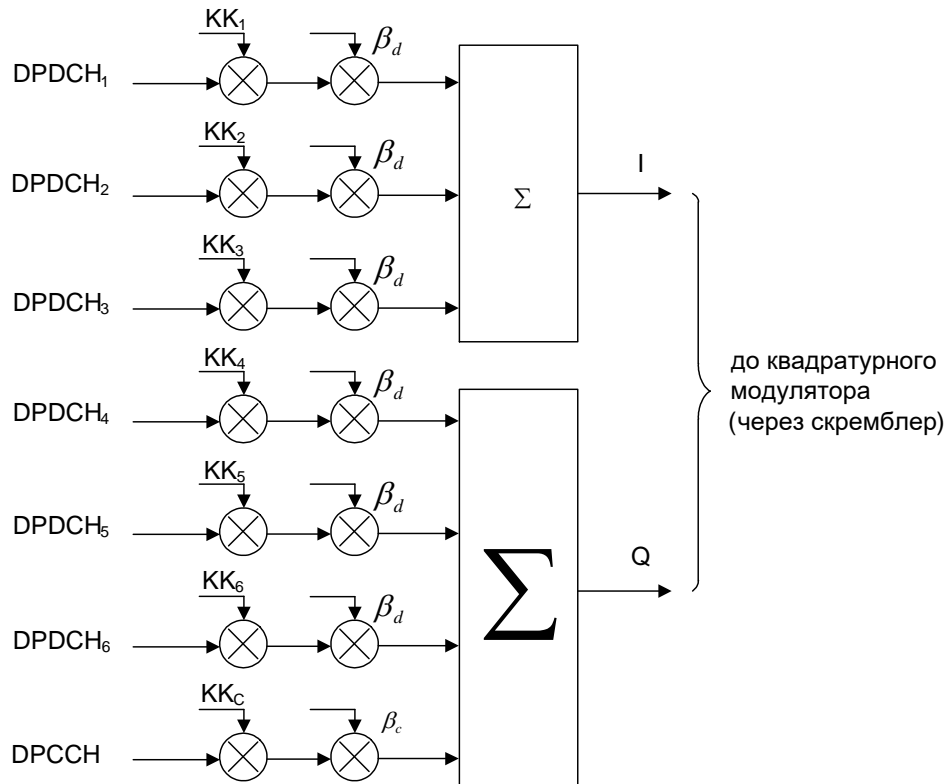


Рисунок 6.8 – Мультиплексування каналів даних  $DPDCH_i$  ( $i=1\dots6$ ) і управління DPCCCH

Попередньо сигнали кожного з каналів перемножуються зі своїм каналостворюючим кодом ( $KK_i$ ), а потім зважуються відповідними помножувачами ( $\beta_d$  для DPDCH,  $\beta_c$  для DPCCCH) для того, щоб потужності каналних сигналів відповідали заданим вимогам щодо якості прийому повідомлень і службової інформації. Максимальна величина кожного із множників  $\beta_d$  і  $\beta_c$  дорівнює одиниці. Величина множника відключеного каналу дорівнює нулю, зміна ваг може відбуватися від кадру до кадру. Під час використання більше одного каналу DPDCH для передачі даних тому самому споживачеві (БС) всі вони зважуються тим самим множником  $\beta_d$ , що забезпечує рівноправність діючих каналів DPDCH.

Мультиплексування каналів даних DPDCH і каналів управління DPCCCH в лінії “вниз” засновано не на кодовому (як в лінії “вверх”), а на часовому ущіль-

ненні: кожен слот розділений на декілька вікон, кожне з яких відведене для передачі або даних, або команд управління (пілот-сигналу, команд управління потужністю TPC і покажчика транспортного формату TF1).

## 6.8 Формування сигналу в системі UTRA

Формування сигналу в системі UTRA з технологією CDMA передбачає такі операції, як каналне кодування, перемеження, узгодження швидкостей, формування каналостворюючих кодів, розширення спектра і модуляцію.

В системі UTRA передбачене використання чотирьох варіантів кодування: згорткове кодування, каскадне кодування (код Ріда-Соломона+зовнішнє перемеження+згорткове кодування), турбокодування та спеціальне кодування. Застосування того або іншого варіанта кодування визначається вимогами до припустимої ймовірності помилки на біт (BER). Можливі варіанту кодування наведено на рис. 6.9.

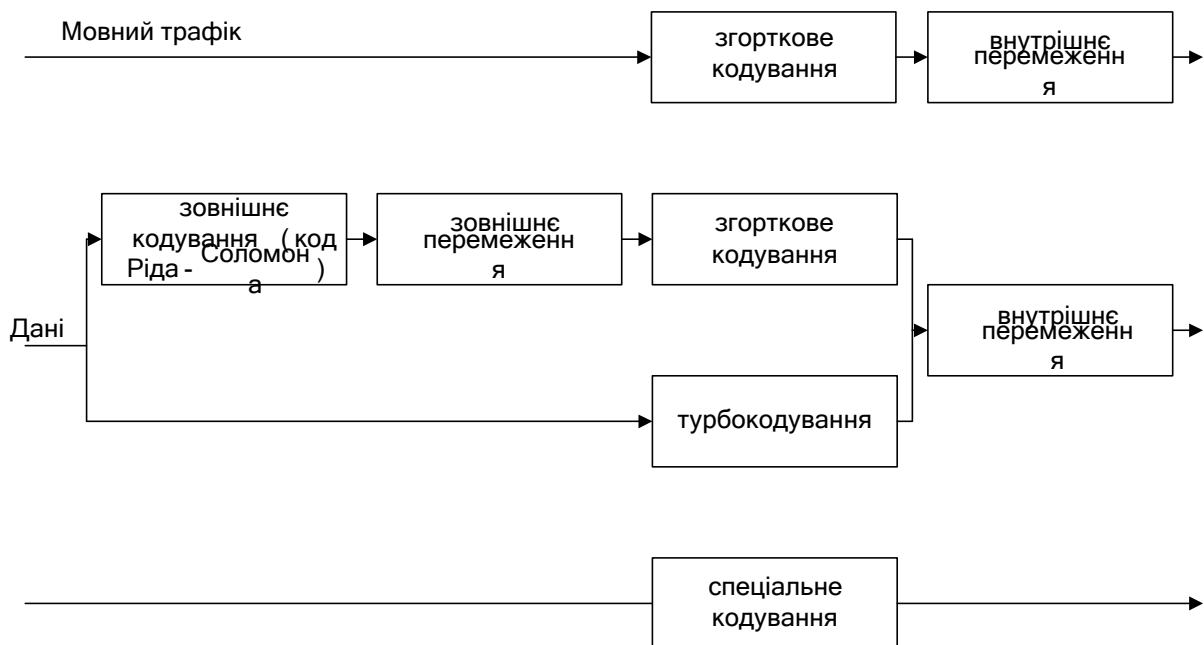


Рисунок 6.9 – Варіанти кодування в системах 3G

При передачі мовного трафіка необхідне значення ймовірності помилки не більше  $10^{-3}$ . Таку ймовірність помилки можна забезпечити з використанням згорткового кодування зі швидкістю  $R=1/3$  в низькошвидкісних каналах і зі швидкістю  $R=1/2$  у каналах управління з кодовим обмеженням  $k=9$  в усіх варіантах.

При передачі даних припустима величина ймовірності помилки не більше  $10^{-6}$ . Для забезпечення цієї вимоги застосовується каскадне кодування, в якому використовується згорткове кодування у поєднанні з кодом Ріда-Соломона та перемеженням.



Значення коефіцієнтів, що визначають структуру багаточленів згорткового коду у вісімковій формі для  $R = 1/2$  має вигляд, відповідно:

$$P_1(x) = 561; P_2(x) = 753;$$

а для  $R = 1/3$

$$P_1(x) = 557; P_2(x) = 663; P_3(x) = 711.$$

Турб кодування вважається доцільним використовувати у високошвидкісних каналах зі швидкістю передачі 32 кбіт/с і бітовою ймовірністю помилки не більше  $10^{-6}$ .

Спеціальне кодування забезпечує різний ступінь захисту від помилок для різних повідомлень (пакетів). Спеціальне кодування реалізується шляхом зміни надмірності у переданих даних. Таке кодування забезпечує різний ступінь захисту переданих повідомлень. Так, наприклад, для деяких типів кодерів мовний потік поділяється на пакети, кожен з яких передається з різним ступенем захисту.

Глибина перемерення в транспортних каналах у межах одного кадру може приймати значення 10 мс, 20 мс, 40 мс і 80 мс залежно від вимог до затримки інформації.

Зовнішнє перемерення здійснюється на ширину блока, обумовленого довжиною коду Ріда-Соломона. Глибина поблочного перемерення змінюється в межах від 20 до 150 мс.

Узгодження швидкостей передбачає два режими: статичне узгодження і динамічне узгодження.

Статичне узгодження здійснюється щоразу, коли транспортний канал додається в мережу або вилучається з мережі і має на меті змінити швидкість транспортного каналу для забезпечення вимог до якості обслуговування за мінімальних ресурсів системи. Технічно статичне узгодження реалізується шляхом  $n$ -кратного повторення символів або періодичного виключення  $j$ -го символу. Статичне узгодження здійснюється до мультиплексування каналів.

Динамічне узгодження швидкостей виконується після мультиплексування каналів і забезпечує узгодження миттєвої швидкості групового транспортного каналу із пропускнуою здатністю фізичного каналу.

Оскільки на АС для передачі можуть використовуватися декілька виділених каналів даних DPDCH (мультикодова передача), то передбачені заходи, що забезпечують їхній поділ.

Поділ каналів даних DPDCH у лінії “вверх” здійснюється на основі синхронізованих між собою ортогональних каналостворюючих кодів зі змінним розширенням спектра сигналу (OVSF). Алгоритм формування таких кодів розглянутий раніше і подається у вигляді двійкового кодового дерева. На кожній ітерації кодова послідовність, що отримана на попередньому кроці ( $C_i$ ), перетворюється на дві нові подвоєної довжини. Причому, (відповідно до алгоритму формування кодів

Уолша) одна з послідовностей є дворазовим повторенням попередньої ( $C_i C_i$ ), а друга – повторенням попередньої та її інвертованого значення ( $C_i - C_i$ ). За  $K$  ітерацій можна отримати  $2^k$  послідовностей (кодів, функцій) Уолша довжиною  $L=2^k$  кожна. Параметр (коефіцієнт розширення) в лінії “вверх” може приймати значення від 2-х до 8-ми, тобто слід зазначити, що отримані при цьому кодові послідовності являють собою функції Уолша. Таким чином, мінімальна довжина кодової комбінації Уолша дорівнює 4-м розрядам, а максимальна – 256. Зміною довжини кодових слів здійснюється управління швидкістю передачі (її зміна). Оскільки тривалість одного чіпа фіксована (незмінна), то зміна тривалості біта (зміна швидкості передачі інформаційних символів) автоматично змінює співвідношення між тривалістю біта і чіпа, тобто бази ШСС (англомовна аббревіатура SF – spread factor – коефіцієнт розширення спектра). Мінімальна величина коефіцієнта розширення SF=4, що відповідає швидкості передачі  $C = (3,84/4)10^6 = 0,96$  Мбіт/с.

Якщо, крім того, необхідно збільшити швидкість передачі, то АС може передавати інформацію по декілька (до 6) паралельним каналам DPDCH з однаковими і рівними значеннями коефіцієнта розширення спектра SF. При SF=4 досягається максимальна швидкість передачі каналом DPDCH.

Як відомо, зменшення коефіцієнта SF (бази  $B$ ) зменшує вираш у співвідношенні сигнал/шум за потужністю  $\rho_{вих}$  на виході приймача  $\rho_{вих} = B \cdot \rho_{вх}$ . Можливе використання ШСС із невеликою базою (4, 8,...) передбачено у випадках, коли взаємні (системні) завади практично відсутні (у мікростільниках у середині приміщення). Наводяться й інші припущення, в яких вказується на можливість використання на БС так названого багатокористувальницького приймача, що забезпечує більш високу швидкість захищеності сигналу від інтермодуляційних завад, ніж кореляційний приймач, що використовується.

У лінії “вниз” для поділу каналів використовуються такі самі каналостворюючі коди, як і в лінії “вверх” з діапазоном можливого розширення спектра від 4 до 512. Слід зазначити, що під час роботи з різними швидкостями в різних каналах доводиться використовувати каналостворюючі коди з різним коефіцієнтом розширення спектра FT (з різною базою сигналу). Разом з тим, функції (коди) Уолша різної довжини зберігають ортогональність на мінімальній з довжин, якщо жодна з них не є складовою частиною іншої, більш довгої. Ця обставина ускладнює процес присвоєння кодових послідовностей Уолша фізичним каналам в лінії “вниз”. Дійсно, кожна АС може використовувати будь-яку послідовність Уолша із загальної кількості, тому що абонентська станція відрізняється від будь-якої іншої АС даної комірки маскою – унікальним кодом скремблювання. В лінії ж “вниз” скремблюючий код для всіх АС даної комірки такий самий і призначений для поділу сигналів лише між різними БС. Таким чином, мобільна ємність повністю залежить від каналоутворюючих кодів. Саме цей фактор істотно ускладнює управління кодовим ресурсом в лінії “вниз”. Завдання управління виявляється складним завданням

динамічного управління кодовим ресурсом, що зважається на рівні координації мережі в цілому.

Для розширення спектра сигналу в системі стандарту UTRA використовуються довгі й короткі скремблюючі коди  $\dot{C}(t)$ . Кодові послідовності  $\dot{C}(t)$  можуть бути подані у вигляді комплексної послідовності  $\dot{C}(t) = C_i(t) + jC_o(t)$ .

У першому випадку довгі коди послідовності  $\dot{C}(t) = C_i(t) + jC_o(t)$  являють собою відповідним чином сформовані послідовності Голда. Послідовності Голда формуються на основі двох М-послідовностей, структура яких визначається поліномами  $P_1(x) = x^{25} + x^3 + 1$  і  $P_2(x) = x^{25} + x^3 + x^2 + x + 1$ .

В лінії “вгору” скремблювання мультиплексованого сигналу АС відбувається послідовністю Голда довжиною  $L = 2^{25} - 1$ , зменшеної до 38400 чіпів, тобто до довжини одного кадру. Ця послідовність (довгий код) є ідентифікатором АС. Усікання довжини послідовності Голда погіршує її кореляційні властивості. Однак простота формування великого їхнього числа (до  $2^{25} + 1$ ) виправдовує використання послідовностей Голда. Кожна скремблююча послідовність чітко синхронізована з часовою шкалою АС, так що початок кадру збігається з першим символом послідовності Голда, що повторюється в кожному кадрі.

Операція скремблювання здійснюється у квадратурному модуляторі шляхом перемноження комплексного сигналу зі скремблюючим довгим кодом.

Сигнал, що скремблюється, поділяється на два потоки: потік непарних і потік парних розрядів. Один з них надходить у синфазний, а другий – у квадратурний підканал модулятора. Внаслідок цього сигнал, що скремблюється, можна подати у комплексному вигляді, що містить синфазну (дійсну) частину  $S_i(t)$  і квадратурну (уявну) частину  $S_o(t)$ , тобто  $\dot{S}(t) = S_i(t) + jS_o(t)$ . Припустимо, що скремблюючий сигнал також можна подати у вигляді комплексного –  $\dot{C}(t) = C_i(t) + jC_o(t)$ . Тоді добуток комплексних сигналів визначається співвідношенням

$$\dot{S}(t)\dot{C}(t) = [S_i(t)C_i(t) - S_o(t)C_o(t)] + j[S_i(t)C_o(t) + S_o(t)C_i(t)].$$

Структурну схему пристрою, що реалізує комплексне скремблювання, наведено на рис. 6.10.

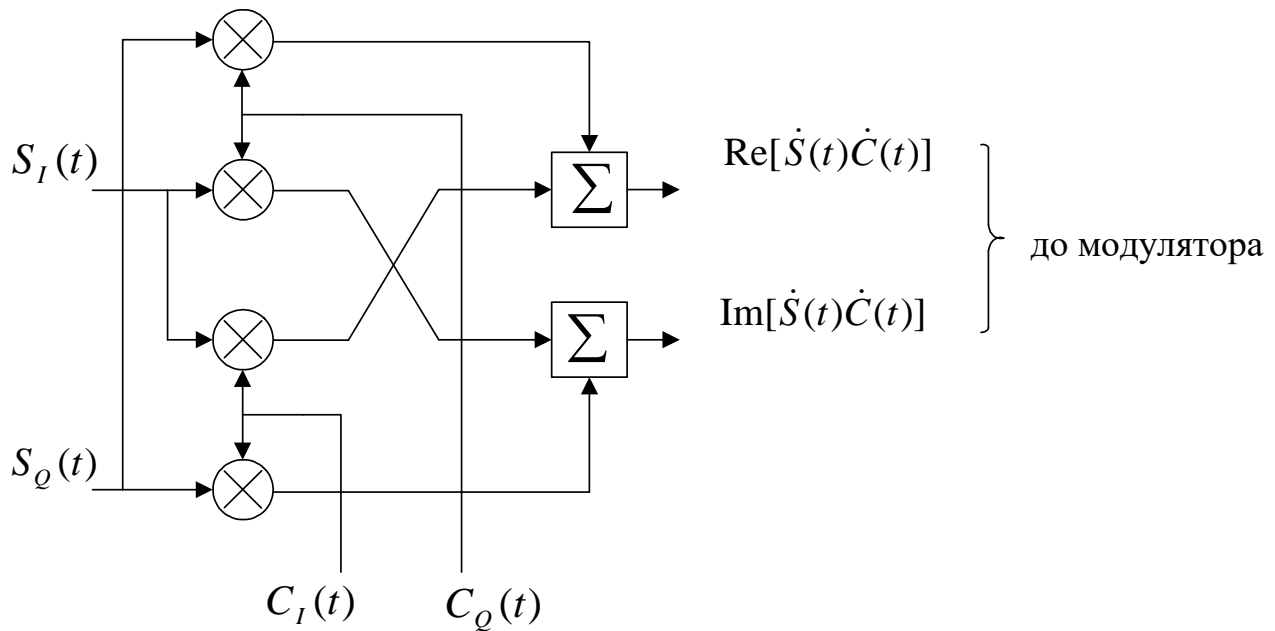


Рисунок 6.10 – Структурна схема пристрою, що реалізує комплексне скремблювання

В комплексному скремблюючому коді  $\hat{C}(t)$  як дійсна частина  $C_I(t)$  використовується усічена до 38400 чіпів послідовність Голда. Та сама вихідна послідовність Голда (не усічена) зсувається на 16777 216 чіпа, після чого її довжина зменшується до 38400 чіпів. Потім всі непарні чіпи замінюються на інверсії попередніх парних чіпів. Добуток отриманого результату з дійсною частиною  $C_I(t)$  й використовується як уявна частина скремблюючого коду. Така побудова скремблюючого коду вдвічі зменшує частоту переходу QPSK-сигналу у протилежний стан, що полегшує енергетичний режим передавача.

Окрім довгих скремблюючих кодів у лінії “вверх” можуть використовуватися короткі скремблюючі коди у вигляді розширених послідовностей Касамі довжиною 256 символів. Використання коротких скремблюючих кодів передбачається у випадках застосування більш просунутих багатокористувальницьких приймачів. Використання довгих скремблюючих кодів призвело б до істотного ускладнення структури приймача.

Скремблюючі коди забезпечують не тільки ідентифікацію АС (поділ сигналів різних АС), але й відділяють один від одного канали загального користування (PCDCH, PRACH) від виділених каналів (DPDCH, DPCCCH). Формування скремблюючих кодів, їхня структура, алгоритми забезпечення відповідності конкретних послідовностей тим або іншим каналам визначені відповідними специфікаціями.

Скремблюючі коди в лінії “вниз” забезпечують поділ сигналів різних БС. Як скремблюючі коди використовуються послідовності Голда, побудовані на основі M-послідовностей однакової довжини, структура яких відповідає поліномам

$$P_1(x) = x^{18} + x^7 + 1 \text{ і } P_2(x) = x^{18} + x^{10} + x^7 + x^5 + 1.$$

Після поелементного складання за модулем “2” двох М-послідовностей, зсунутих одна від одної на деяку величину, отримується одна з послідовностей Голда довжиною  $L = 2^{18} - 1 = 262143$ . Загальна кількість послідовностей Голда (крім вихідних М-послідовностей)  $N_{\Sigma} = L = 2^{18} - 1 = 262143$ . З цієї кількості послідовностей Голда використовуються  $2^{13} = 8192$  послідовностей. Далі довжина кожної послідовності зменшується до 38400 символів, нулі замінюються на +1, а одиниці – на -1. Ці послідовності використовуються як дійсна (синфазна) частина комплексного скремблюючого коду. Як уявна (квадратурна) частина скремблюючого коду використовуються ті самі зсунуті на 13072 символа послідовності Голда.

Всі 8192 скремблюючі коди розділені на 16 множин по 512 кодів, кожне з яких розділене на 64 групи по 8 кодів у кожній групі. Кожній БС привласнюється тільки один код. Групування кодів забезпечує більш швидкий пошук комірок, особливо при входженні в синхронізм.

## 6.9 Особливості стандарту UTRA TDD

Системи стандарту UTRA TDD передбачені для тих регіонів, у яких сформований розподіл частот у діапазоні 2 ГГц не дозволяє організувати частотне рознесення напрямків передачі “вниз” і “вверх”. В Європі для систем стандарту UTRA TDD регламентовані непарні ділянки спектра 1900...1920 МГц і 2010...2025 МГц, а в США – 1850...1910 МГц і 1930...1990 МГц.

Деякі технічні характеристики стандарту UTRA TDD аналогічні характеристикам UTRA FDD: швидкість проходження розширюючих кодів дорівнює 3,84 Мчп/с; тривалість кадрів 10 мс (38400 чіпів); кожен кадр складається з 15 часових каналів (слотів) по 2560 чіпів у кожному.

Істотною відмінністю TDD від FDD різновиду стандарту UTRA є те, що системи UTRA TDD не є системами із суто кодовим поділом сигналів (каналів). В обох напрямках передачі поділ сигналів здійснюється на основі комбінації TDMA і CDMA. Передані дані розподіляються за часовими каналами (слотами) послідовних кадрів, тому дані від БС, що адресовані конкретній АС, передаються в деяких певних слотах деяких певних кадрів. Така послідовність слотів і кадрів іменується пачкою – burst. При передачі пачки повторюються з кожним суперкадром, що складається з 72 кадрів. У кожному слоті використовуються каналостворюючі коди у вигляді функцій Уолша, порядок яких не перевищує 16-ти. У такий спосіб за рахунок кодового поділу утворюється не більш ніж, 16 кодових каналів, інші канали реалізуються за рахунок часового ущільнення шляхом індивідуального призначення слотів і кадрів.

Часовий дуплекс здійснюється виділенням частини слотів кадру лінії “вниз”, а частини, що залишилася, слотів кадру – лінії “вверх”. На рис. 6.11 показана послідовність кадрів: 1-й АС надані трійки слотів у парах суміжних кадрів, що повторюються з періодом, рівним 12-ти кадрам, причому лінії “униз” виділені перший, другий і третій слоти, а лінії “уверх” – восьмий, дев'ятий і десятий.

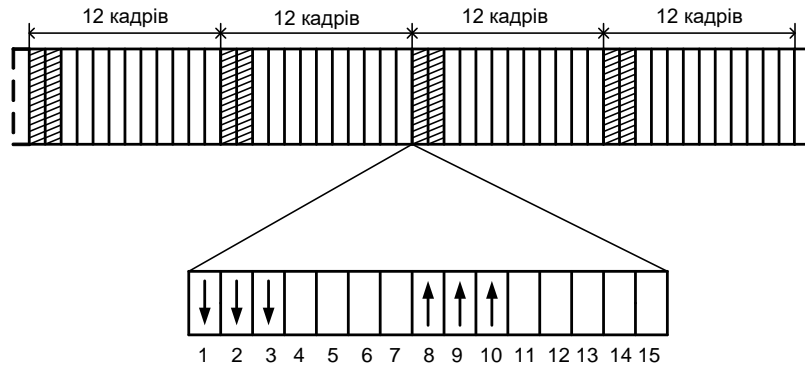


Рисунок 6.11 – Кадри та слоти, виділені  $i$ -ї АС в лініях “вниз” та “вверх”

З розглянутого принципу формування каналів можна зробити висновок про те, що в радіоінтерфейсі TDD можливі три варіанти управління швидкістю передачі в обох напрямках:

- зміна кількості слотів у кадрі, виділених користувачеві;
- зміна коефіцієнта розширення (кількість чіпів на інформаційний символ);
- використання паралельних кодових каналів (мультикодова передача).

Іншою особливістю радіоінтерфейсу TDD є квазісинхронність лінії “вверх”. Базова станція постійно контролює затримку сигналу від АС, що посиляється у відповідь на запит БС, і передає абонентській станції команду на випередження для того, щоб сигнали від різних АС були за можливості синхронними на вході приймача БС. При цьому припустима похибка синхронізму сигналів абонентських станцій установлена в межах чотирьох довжин чіпа. При таких часових зсувах функції Уолша одного порядку (періоду) втрачають ортогональність, тому за рахунок кодового поділу доводиться тільки чотири канали. Шляхом збільшення точності поєднання на вході приймача БС сигналів від різних АС до часток чіпа можна забезпечити однакові можливості лінії “вверх” та “вниз” у плані застосування синхронного кодового поділу.

## 6.10 Загальна характеристика CM3 стандарту CDMA-450

Варіант CDMA-450 є перспективним і конкурентоспроможним як для міських, з високою абонентською щільністю, так і для сільських абонентів, які розподілені на великій території. Розширення покриття мережі мобільного зв'язку в сільських районах залишається проблемою через низьку щільність абонентів, внаслідок чого кількість доступів до мережі невелика, а отже, й прибутковість мобі-

льного зв'язку низька. Тому міські зони багаторазово перекриваються декількома операторами мобільного зв'язку, в той час, як сільські райони зазвичай обслуговує один єдиний оператор, або немає жодного взагалі.

Технологія CDMA-450 є по суті технологією 3-го покоління cdma-2000, що використовує діапазон 450 кГц. Використання більш низької несучої частоти та кращих умов розповсюдження радіохвиль дозволяє збільшити дальність зв'язку, а отже, зменшити необхідну кількість комірок. Орієнтовне правило – подвоєння частоти призводить до збільшення кількості базових станцій (кількості комірок) вчетверо. У табл. 6.5 наведено типові радіуси для різних частот, що рекомендовані ІТУ для мобільного зв'язку.

Таблиця 6.5 – Залежність радіуса комірки від частоти

Частота (МГц)	Радіус чарунки (км)	Площа чарунки (км <sup>2</sup> )	Число чарунок
450	48,9	7521	1
850	29,4	2710	2,8
900	26,9	2269	3,3
1800	14,0	618	12,2
1900	13,3	553	13,3
2500	10,0	312	24,1

Структура мережі, а також апаратно-програмне забезпечення аналогічні тим, що використовуються в будь-якій мережі cdma-2000, за винятком радіоінтерфейсів базових та абонентських станцій, що працюють у діапазоні 450 МГц.

Технології CDMA властивий ефект динамічного стиску комірки. Цей ефект виявляється, коли зростає кількість активних абонентів – ефективний розмір комірок зменшується. Збільшення кількості активних абонентів у комірці призводить до збільшення взаємних завад при прийомі. Це компенсується збільшенням потужності сигналу від кожної АС до тих пір, доки не встановиться певне співвідношення сигнал/шум у приймачі БС, необхідне для задовільної роботи. Але оскільки є границя потужності АС, то зі збільшенням кількості користувачів зменшується максимальна дальність зв'язку між АС і БС.

Ефект стискання комірки не дозволяє забезпечувати системі одночасно максимальну ємність і максимальний розмір комірки. Але необхідність одночасного забезпечення високої ємності та великого розміру комірки трапляється дуже рідко. У сільських районах з низькою щільністю абонентів визначаючим фактором є площа обслуговування, оскільки система ніколи повністю не використовує свою потенціальну ємність. У міських умовах, навпаки, визначаючим фактором є ємність системи, тому розміри комірок можуть ставати дуже малими, щоб реалізувати максимальну ємність.

Отже, технологія CDMA забезпечує компроміс між ємністю мережі та площею покриття за рахунок механізму управління потужністю: якщо не потребується максимальна ємність – збільшується дальність зв'язку, при меншій дальності – збільшується ємність. У CDMA-450 завдяки кращим умовам розповсюдження радіохвиль діапазону 450 МГц цей компроміс може бути реалізований на значно більших відстанях, що робить CDMA-450 ідеальною системою для забезпечення зв'язком великих районів з низькою щільністю абонентів.

### **6.11 На шляху до четвертого покоління мобільних систем зв'язку (4G)**

У мобільному зв'язку зміна поколінь здійснюється значно швидше, ніж, скажімо, в індустрії персональних комп'ютерів або іншої подібної техніки. За останні три десятиріччя були розроблені й діяли системи мобільного зв'язку декількох поколінь: системи першого покоління (1G) – це аналоговий зв'язок (стандарту NMT, AMPS, TAKS та ін.), другого покоління (2G) – покоління цифрового зв'язку з комутацією каналів (стандарту GSM і CDMA), системи третього покоління (3G) — (стандарт UMTS), в яких передбачається разом з комутацією каналів і пакетна передача даних. Мобільний зв'язок 3G зараз вважається як символ прогресу. Але вже зараз вперед виривається наступне покоління мобільного зв'язку, іменоване 4G.

До сімейства 4G, як правило, належать технології, які дозволяють передавати дані в мобільних мережах зі швидкістю вище 100 Мбіт/с. У широкому розумінні 4G — це ще й технології бездротової передачі інтернет-даних Wi-Fi (швидкісні варіанти цього стандарту) і WiMAX (у теорії швидкість може перевищувати 1 Гбіт/с.). У найпоширенішому зараз у світі стандарті мобільного зв'язку GSM/EDGE (2G) межа швидкості передачі даних складає лише 240 кбіт/с. В мережах третього покоління (3G), розгорнутих зараз в Європі, США і деяких країнах Азії (Японія, Тайвань, Сінгапур), швидкість складає до 7-14 Мбіт/с.

Головна відмінність мереж четвертого покоління від попереднього, третього, полягає в тому, що технологія 4G повністю заснована на протоколах пакетної передачі даних, тоді як 3G поєднує в собі передачу як голосового трафіка, так і пакетів даних. Міжнародний союз телекомунікацій визначає технологію 4G як технологію бездротової комунікації, яка дозволяє досягти швидкості передачі даних до 1 Гбіт/с в умовах руху джерела або приймача і до 100 Мбіт/с в умовах обміну даними між двома мобільними пристроями. Пересилання даних у 4G здійснюється за протоколом IPv6 (IP версії 6). Це помітно полегшує роботу мереж, особливо якщо вони різних типів. Для забезпечення необхідної швидкості використовуються частоти 40 і 60 GHz. У приймально-передавальному устаткуванні для систем 4G застосована технологія мультиплексування з ортогональним розподілом частот OFDM. Така методика маніпулювання сигналом дозволяє значно «ущільнити» дані без взаємних завад і спотворень. При цьому відбувається розбиття за частотами



з дотриманням ортогональності: максимум кожної несучої хвилі припадає на той момент, коли сусідні мають нульове значення. Цим виключається їхня взаємодія, а також ефективніше використовується частотний спектр — не потрібні захисні «протиінтерференційні» смуги. Для передачі сигналу застосовується фазова модуляція (PSK і її різновиди), при якій пересилається більше інформації за відрізок часу, або квадротноамплітудна модуляція (QAM), більш сучасна, що дозволяє забезпечити максимальну пропускну здатність каналу. Конкретний тип модуляції вибирається залежно від необхідної швидкості й умов прийому. Сигнал розбивається на певну кількість паралельних потоків при передачі і збирається при прийомі.

Для впевненого прийому і передачі на надвисоких частотах планують застосовувати так звані адаптивні антени, які зможуть підстроюватися під конкретну базову станцію. Але в умовах міста таким антенам у визначенні правильного напрямку можуть завадити завмиранням сигналу — його спотворення, що виникають в процесі розповсюдження. Тут виручає ще одна особливість OFDM — стійкість до завмирань (для різних типів модуляції є свій запас на завмирання).

Найбільш технічно розвинені країни зараз активно переходять на використання 3G, а в багатьох мережах вже застосовується технологія, що одержала позначення 3,5G. Але, на думку аналітиків телекомунікаційної індустрії, ряд країн, де нещодавно дійшли необхідності впроваджувати мережі третього покоління, тепер вважатиме за краще «перескочити» на покоління вперед, почавши часткову експлуатацію 4G.

В Європі вже функціонує мережа мобільного зв'язку четвертого покоління. Про свою участь у проєкті LTE (Long-Term Evolution) заявили європейські оператори T-Mobile International, Orange і Vodafone Group, а також виробники мобільного устаткування Alcatel-Lucent, Nokia Siemens Networks, Nortel Networks і Ericsson. Тестовий запуск LTE почався у травні 2007 року. Експерти вважають, що до цього терміну можна розвернути мережі 4G, але покриття базових станцій буде швидше «осередковим». Фахівці також впевнені, що наврядчи послуги 4G стануть популярними серед європейських абонентів найближчими роками. Адже навіть зараз після запуску перших мереж третього покоління 3G в Європі вони використовуються менше, ніж на половину своїх можливостей. Аналітики пов'язують це із завищеними тарифами на послуги зв'язку третього покоління.

Отже, важливу роль в успіху 4G виконуватиме цінова політика європейських операторів. Адже, насправді, далеко не всі користувачі зацікавлені у високошвидкісному мобільному Інтернеті і пов'язаними з ним послугам — більшості потрібен звичний голосовий зв'язок. Враховуючи проблеми 3G, вплив технологій зв'язку четвертого покоління на ринок телекомунікаційних послуг в Європі стане помітним лише до 2015 року.

Зараз у США оператор мобільного зв'язку Nextel розглядає можливість відмовити від 3G на користь системи 4G компанії Flarion. «Перевірка життєздатності

4G охопить 150 базових станцій у найбільших містах півдня Америки», — повідомляє Nextel, розширюючи область тестування.

Послуги 4G сьогодні в Україні надаються саме за технологією Mobile WiMAX. Решта технологій з'явиться на ринку лише в 2011-2015 роках».

Нові можливості у передачі величезних обсягів даних, які надаються технологією 4G, вже зараз примушують операторів мобільного зв'язку задуматися про розширення свого бізнесу. Якщо сьогодні основним товаром на цьому ринку є мелодії і простенькі ігри, то поява 4G зробить набагато актуальнішим мобільне телебачення, video-on-demand (VOD — «відео за запитом»), «просунуті» ігри і тощо. Крім того, завдяки 4G стануть можливі мобільні відеоконференції (відео чати) і мобільні peer-to-peer-мережі. За прогнозами дослідницької компанії Screen Digest, до 2012 року у всьому світі налічуватиметься щонайменше 140 млн. підписчиків сервісів мобільного телебачення. Щорічний сукупний дохід цього ринку через п'ять років досягне показника в 4,7 млрд євро. Аналітики вважають, що потенційно сервіси мобільного ТБ можуть приносити набагато більший прибуток, ніж ігри і музика для мобільних апаратів.

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Дайте загальну характеристику стандартів мобільних систем зв'язку третього покоління.
2. Охарактеризуйте еволюцію систем з технологією TDMA.
3. Обґрунтуйте тенденцію розвитку систем мобільного зв'язку з технологією CDMA.
4. Дайте загальну характеристика системи мобільного зв'язку UMTS.
5. Наведіть архітектуру системи стандарту UMTS.
6. Поясніть організацію каналів у стандарті UTRA FDD.
7. Наведіть структуру кадрів, процедуру мультиплексування каналів.
8. Як здійснюється формування сигналу в системі UTRA. Які особливості стандарту UTRA TDD?
9. Дайте загальну характеристику CM3 стандарту CDMA-450.
10. Визначте перспективи впровадження четвертого покоління мобільних систем зв'язку (4G).

## 7 ТРАНКІНГОВІ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

### 7.1 Загальні принципи побудови транкінгових систем

Транкінговим системам зв'язку (ТСЗ) виділені діапазони частот 160, 450 і 900 МГц із дуплексним рознесенням між каналами передачі та прийому 4,6; 10,0; 45,0 МГц відповідно. Частоти передачі базової станції вибирають більш високими, ніж частоти передачі абонентської станції. Залежно від діапазонів (160; 450; 900 МГц) радіуси зон обслуговування становлять величину 20; 10...15 і 5...10 км відповідно.

У залежності від навантаження в ТСЗ використовується обладнання, що складається з апаратури декількох каналів, максимальна кількість яких може досягати 32-х. Узагальнену структурну схему ТСЗ наведено на рис. 7.1.

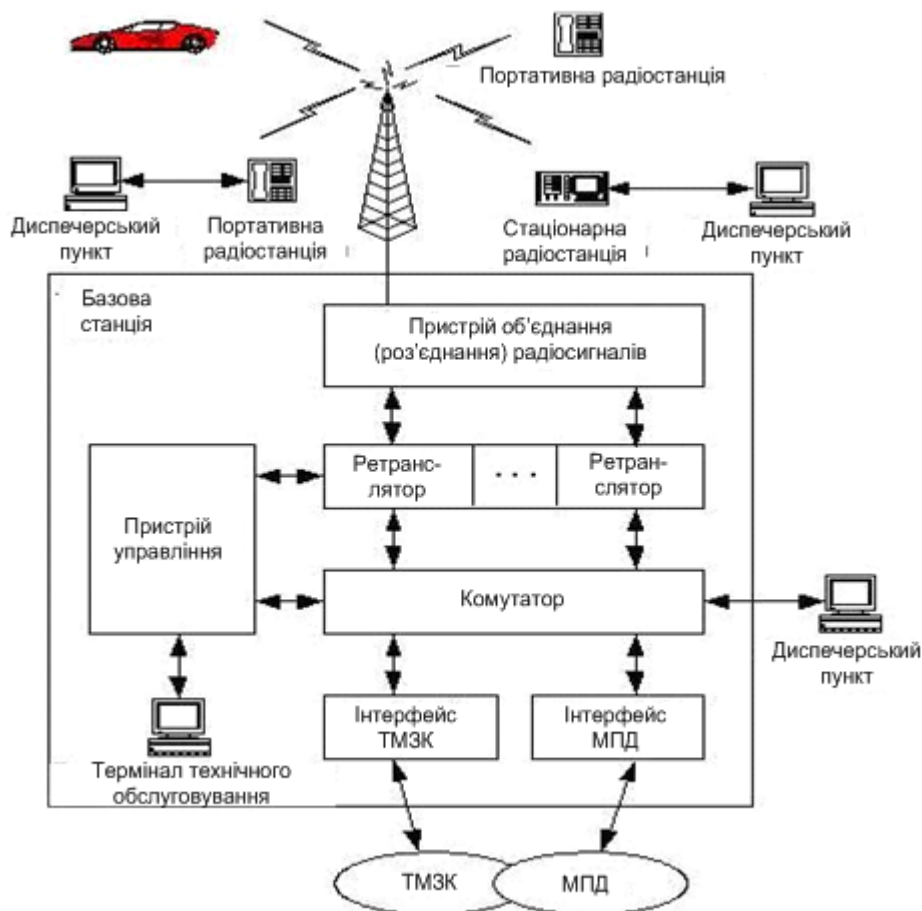


Рисунок 7.1 – Узагальнена структурна схема транкінгової системи зв'язку

До складу ТСЗ входять базова станція й абонентські станції. У свою чергу до складу базової станції входять декілька (від 2 до 16) каналних прийомо-передавачів (ретрансляторів), пристрій об'єднання (роз'єднання) каналних радіо-

сигналів, антена, пристрій управління, комутатор та інтерфейси ТМЗК і мережі передачі даних (МПД).

Абонентські станції можуть бути стаціонарними, автомобільними, портативними, вони можуть використовуватися в напівдуплексному або дуплексному режимах.

Ретранслятором є прийомо-передавач, що працює на одній парі несучих частот одного каналу. У дуплексному режимі роботи несучі рознесені на величину від 3-х до 45-ти МГц. У кожному частотному каналі шляхом часового ущільнення може бути організовано від 2-х до 4-х часових каналів. Для збільшення дальності зв'язку антену із круговою діаграмою спрямованості розміщують на найбільш високому місці зони обслуговування, використовують передавачі з потужністю 20...50 Вт.

При розташуванні базової станції на краю зони застосовуються спрямовані антени. Базова станція може мати в розпорядженні як єдину приймально-передавальну антену, так і роздільні антени для прийому та передачі. Для зменшення впливу багатопроменевого поширення радіохвиль на базовій станції може використовуватися рознесений прийом.

Пристрій управління забезпечує взаємодію всіх вузлів базової станції. Він також обробляє виклики, здійснює аутентифікацію абонентів (перевірку "свій-чужий"), ведення черг викликів і внесення записів у бази даних погодинної оплати. У деяких системах управління регулює максимально припустиму тривалість з'єднання з телефонною мережею.

Комутатор обслуговує весь потік вхідних і вихідних викликів (весь трафік системи).

Інтерфейс ТМЗК у різних ТСЗ реалізується по дводротовій лінії або по чотиридротовій лінії з використанням цифрової системи передачі (ЦСП). Крім з'єднання із ТМЗК в умовах зростаючих потоків даних організовується інтерфейс із мережею передачі даних.

Термінал технічного обслуговування та експлуатації забезпечує контроль за станом системи, діагностику несправностей, облік тарифікаційної інформації, внесення змін у базу даних. Транкінгові системи призначені, насамперед, для створення мереж диспетчерського радіозв'язку. Тому характерною рисою ТСЗ є наявність у них диспетчерських пультів. Справа в тому, що транкінгові системи використовуються передусім тими споживачами, чия робота не можлива без диспетчера. Це служби охорони правопорядку, швидка медична допомога, пожежна охорона, транспортні компанії, муніципальні служби.

Диспетчерські пульти можуть включатися до системи з абонентських радіоканалів, або підключатися по виділених лініях безпосередньо до комутатора базової станції. В рамках однієї транкінгової системи може бути організовано декілька незалежних мереж зв'язку, кожна з яких може мати свій диспетчерський пульт.

Абонентське обладнання транкінгових систем містить у собі широкий набір пристроїв. Найбільш численними з них є напівдуплексні радіостанції, тому що саме вони найбільшою мірою підходять для роботи в замкнених групах. Здебільшого це радіостанції з обмеженою кількістю функцій. Їхні користувачі, як правило, мають можливість зв'язуватися лише з абонентами усередині своєї робочої групи, а також надсилати екстрені виклики диспетчерові. Втім, цього цілком достатньо для більшості споживачів послуг зв'язку транкінгових систем.

У транкінгових системах, особливо розрахованих на комерційне використання, застосовуються також дуплексні радіостанції, які скоріше нагадують мобільні телефони, але володіють значно більшою функціональністю порівнянно з останніми. Дуплексні радіостанції транкінгових систем забезпечують користувачам повноцінне з'єднання із ТМЗК. Як напівдуплексні, так і дуплексні транкінгові радіостанції випускаються як у портативному, так і в автомобільному виконанні. Як правило, вихідна потужність передавачів автомобільних радіостанцій у 3-5 разів вище, ніж у портативних.

Відносно новим класом пристроїв для транкінгових систем є термінали передачі даних. В аналогових транкінгових системах термінали передачі даних – це спеціалізовані радіомодеми, які підтримують відповідний протокол радіоінтерфейсу. Для цифрових систем більш характерне вбудовування інтерфейсу передачі даних у абонентські радіостанції різних класів. До складу автомобільного терміналу передачі даних іноді включають і супутниковий навігаційний приймач системи GPS (Global Positioning System), призначений для визначення поточних координат і подальшої передачі їхньому диспетчерові на пульт.

У транкінгових системах використовуються також стаціонарні радіостанції, переважно для підключення диспетчерських пультів. Вихідна потужність передавачів стаціонарних радіостанцій приблизно така сама, як і в автомобільних радіостанціях.

## **7.2 Класифікація транкінгових систем**

Транкінгові системи розрізняються за такими ознаками:

- метод передачі мовних сигналів;
- кількість зон;
- метод об'єднання базових станцій у багатозонові системи;
- тип багатостанційного доступу;
- спосіб пошуку і призначення каналу;
- тип каналу управління;
- спосіб утримання каналу.

*За методом передачі мовних сигналів* розрізняють аналогові й цифрові ТСЗ.

В аналогових системах для передачі мовних сигналів використовується частотна модуляція. Ширина смуги частотного каналу – 12,5 кГц або 25 кГц. У цифрових системах використовуються перетворювачі мови (вокодери), які перетворюють звуковий сигнал у цифровий і забезпечують швидкість передачі 4,8 кбіт/с і 9,6 кбіт/с. Потрібне перевищення рівня сигналу над шумом складає 16...20 дБ. Завадостійкість аналогових систем нижча, ніж у цифрових. У цифрових ТСЗ використовують завадостійке кодування, перестановки (перемеження) розрядів, просторове і частотне рознесення, тому необхідне співвідношення сигнал/шум може становити 10...16 дБ.

По кількості зон ТСЗ поділяються на однозонові та багатозонові. Більшість сучасних ТСЗ – багатозонові. Організація багатозонової структури здійснюється через інтерфейс ТМЗК. Крім того, базові станції можуть бути з'єднані безпосередньо лініями зв'язку.

Базові станції у багатозонових системах можуть поєднуватися за допомогою загального для всіх базових станцій єдиного комутатора (системи із централізованою комутацією) або з'єднуватися одна з одною безпосередньо, або через мережі загального користування (системи з розподіленою комутацією).

У переважній більшості в ТСЗ використовується спосіб доступу МДЧР. У цифрових системах використовується змішаний спосіб МДЧР/МДЧВР, при якому на кожній несучій організовується частотний канал, а в кожному частотному каналі організовується 2...4 часових.

За способом пошуку та призначення каналу розрізняють системи з децентралізованим і централізованим управлінням. У системах з децентралізованим управлінням пошук вільного каналу виконує абонентська станція, що здійснює послідовний пошук (сканування) вільного каналу у виділеному діапазоні частот. У системах із централізованим управлінням пошук і призначення вільного каналу виконує базова станція. У цих системах органівуються канали двох типів – робочі (ПК) і управління. Канали управління (КУ) використовуються для організації вхідних і вихідних з'єднань між абонентами. У всіх транкінгових системах каналами управління передається цифрова інформація.

Розрізняють системи з виділеним каналом управління та системи з розподіленим каналом управління. У системах першого типу передача управляючої інформації здійснюється за спеціально виділеними каналами управління, а в системах другого типу передача управляючої інформації здійснюється водночас з мовною тим самим каналом шляхом його частотного ущільнення.

За способом утримання каналу розрізняють транкінг повідомлень і транкінг передачі. Перший спосіб передбачає утримання виділеного каналу на весь час розмови. Цей спосіб використовується у всіх випадках під час організації дуплексного зв'язку при з'єднанні з абонентами ТМЗК. Другий спосіб передбачає використання каналу тільки на час вимови абонентом фраз розмови. У паузах розмови передавач вимикається. Канал, що звільнився, може використовуватися для передачі

фраз розмови іншого абонента. Таким чином, окремі фрази розмови абонента можуть передаватися різними каналами. Недоліком такого способу є зниження чіткості звуку при підвищенні навантаження. Переваги – висока ефективність використання каналу.

### 7.3 Методи організації зв'язку в транкінгових системах

Організація зв'язку в ТСЗ із децентралізованим управлінням практично аналогічна організації зв'язку в ТСЗ із централізованим управлінням за винятком того, що в перших службові (управляючі) сигнали передаються робочими каналами, а в других – службові сигнали передаються спеціально виділеними каналами управління. І головне: у системах з децентралізованим управлінням пошук вільного радіоканалу здійснює абонентська станція, а в системах із централізованим управлінням пошук і надання робочого радіоканалу забезпечує базова станція.

Розглянемо спрощений протокол організації вхідного виклику в ТСЗ із централізованим управлінням (рис. 7.2).

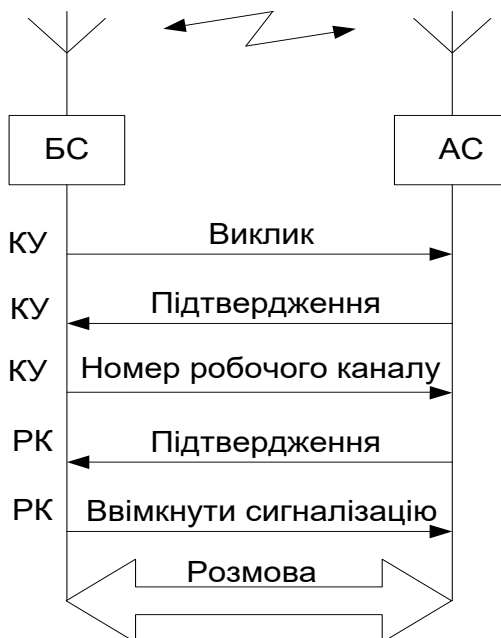


Рисунок 7.2 – Спрощений протокол організації вхідного виклику

На абонентській (АС) і базовій (БС) станціях здійснюються такі процедури:

- АС у черговому режимі настроюється на канал управління і очікує сигнал виклику від БС, що може надійти цим каналом;
- якщо каналом управління надходить сигнал виклику, АС підтверджує його прийом передачею на БС відповідного сигналу підтвердження;

- БС приймає сигнал підтвердження і надає АС робочий канал;
- АС настроюється на зазначений робочий канал, сповіщує про це БС цим (робочим) каналом;
- БС після прийому сигналу підтвердження про настроювання АС передає на АС команду на включення сигналізації, після чого організує наскрізний розмовний тракт.

Розглянемо спрощений протокол вихідного виклику в ТСЗ із централізованим управлінням (рис. 7.3 ).

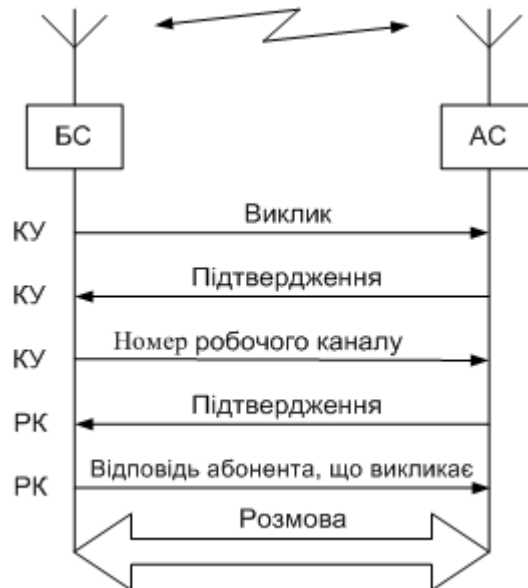


Рисунок 7.3 – Спрощений протокол організації вихідного виклику

Відповідно до цього протоколу на АС і БС здійснюються такі процедури:

- АС каналом управління передає на БС сигнал виклику (номер абонента, що викликається і свій номер);
- БС після прийому виклику надає АС один з вільних робочих каналів;
- АС настроюється на робочий канал і сповіщає про це БС;
- БС приймає підтвердження і організовує наскрізний розмовний тракт.

У ТСЗ із децентралізованим управлінням БС безупинно передає всіма вільними каналами спеціальний (маркерний) сигнал, а іншими (зайнятими) каналами передає розмовні або службові сигнали (сигнали виклику, інформацію про зайняття каналу, про закінчення сеансу зв'язку). Пошук вільного каналу виконує АС.



## 7.4 Служби транкінгових систем

Транкінгові системи зв'язку характеризуються широкою розмаїтістю служб, які забезпечують роботу різного обладнання, а також підтримку мереж зв'язку в середині цих систем.

До числа найчастіше використовуваних служб належать:

- внутрішні виклики;
- пріоритетні виклики;
- доступ до телефонної мережі загального користування (ТМЗК);
- роумінг;
- передача даних;
- режим безпосереднього зв'язку;
- тарифікація (білінг);
- віддалене управління абонентськими радіостанціями .

Внутрішні виклики. Найбільш важливою і часто використовуваною службою транкінгових систем є служба внутрішніх викликів. Транкінгові мережі надають абонентам можливість робити різні типи викликів у середині системи: індивідуальний (персональний) і груповий (диспетчерський). У першому випадку виклик направляється тільки одному абоненту, у другому – декільком.

Основним типом виклику в транкінгових системах є груповий виклик у рамках однієї групи (рис. 7.4).

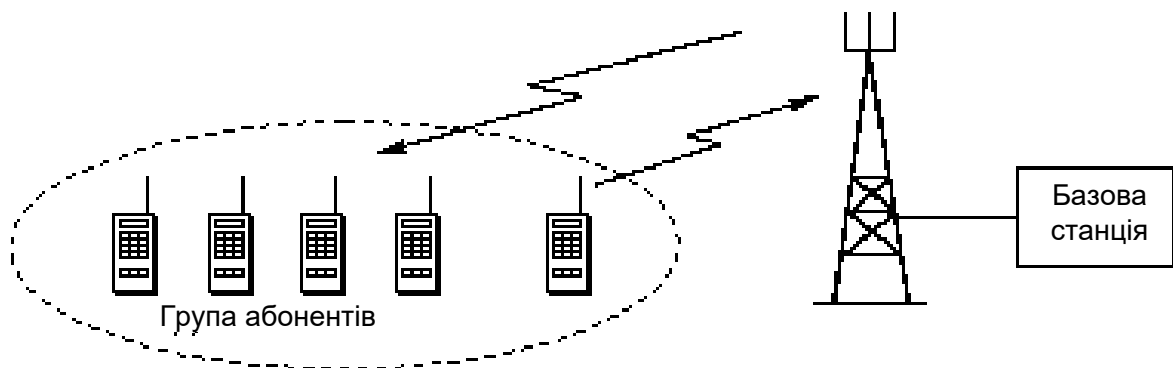


Рисунок 7.4 – Виклик довільно обраної групи

Груповий виклик принципово може бути виконано тільки в напівдуплексному режимі. Поки абонент, який здійснює виклик, говорить і його радіостанція перебуває в режимі передачі, всі інші члени групи приймають повідомлення цього абонента.

У ході наступного радіообміну репліка кожного члена групи автоматично стає чути всім учасникам групи. Груповий виклик може виконуватися з найпростішої (а, отже, недорогої) напівдуплексної радіостанції – для цього користувачеві достатньо лише натиснути на кнопку "Передача". Вхідження у зв'язок зі "своєю" групою абонентів проходить автоматично. Якщо слід зв'язатися з абонентами інших груп, необхідно спочатку набрати на клавіатурі радіостанції номер потрібної групи. Груповий виклик забезпечують усі відомі транкінгові системи.

У більшості існуючих транкінгових систем передбачена можливість одночасного виклику абонентів декількох груп або відразу всіх абонентів мережі (All Call). У деяких системах використовується ієрархічне вкладення груп і передбачаються відповідні типи викликів: багаторівневий, багатогруповий тощо. Зазвичай, право робити настільки складні виклики надається тільки диспетчерові. Деякі системи забезпечують можливість з'єднання з довільно обраною групою не тільки для абонентів транкінгової системи (рис. 7.5), але й для абонентів телефонної мережі загального користування (рис. 7.6).

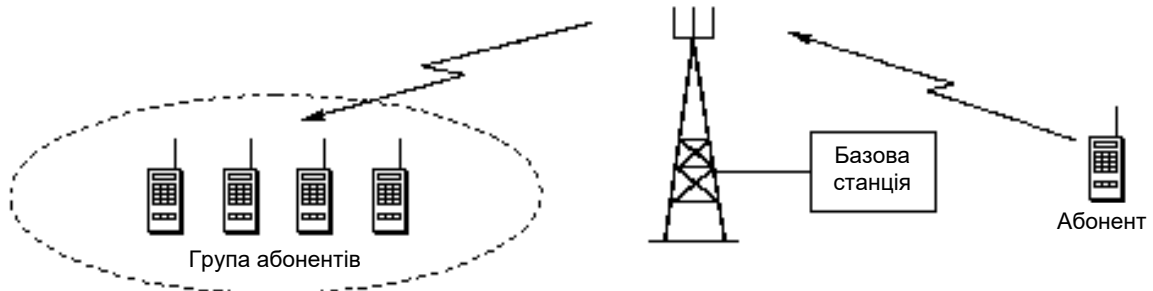


Рисунок 7.5 – Виклик довільно обраної групи

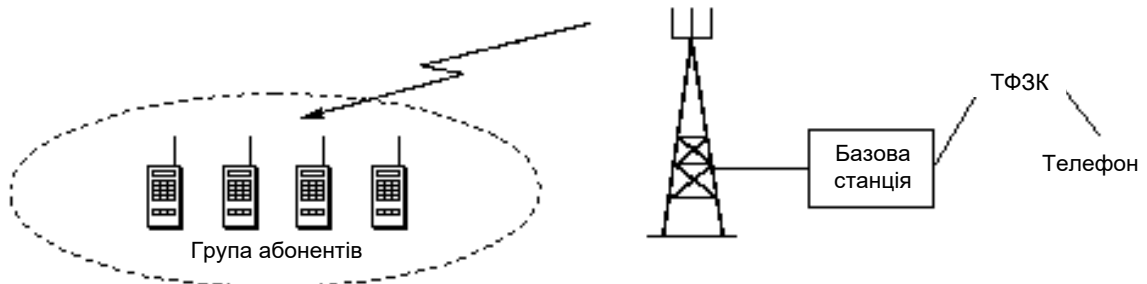


Рисунок 7.6 – Виклик групи із ТМЗК

Персональний внутрішній виклик (рис. 7.7) є більш привілейованим типом виклику. Для його посилання користувач повинен використати радіостанцію із цифровою клавіатурою. Персональний внутрішній виклик може бути зроблений не тільки в напівдуплексному, але і у дуплексному режимі (зрозуміло, якщо обидві абонентські радіостанції є дуплексними).

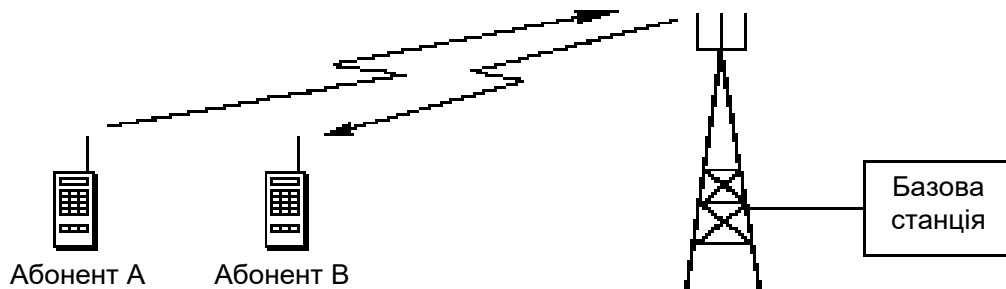


Рисунок 7.7 – Персональний виклик

Існує ще один специфічний різновид внутрішніх викликів – статусні повідомлення. Вони належать, скоріше, до області передачі даних і є заміною тривіальним реплікам, таким як "вас зрозумів", "повторіть" тощо. Замість мовної відповіді абонент може натиснути відповідну функціональну кнопку, яка викличе передачу короткого цифрового повідомлення. Застосування статусних повідомлень дозволяє істотно зменшити завантаження системи, оскільки в умовах диспетчерського зв'язку і групової роботи такі репліки вживаються дуже часто.

*Пріоритетні виклики.* Багато транкінгових систем передбачають обробку викликів з декількома рівнями пріоритету. Так, у системі DigiStar передбачено 10 рівнів пріоритету, у системі EDACS – 8 рівнів. Розмежування пріоритетів може використовуватися в різних цілях: надання привілеїв окремим абонентам або групам, а також оптимізація обробки трафіка. Щоразу, вплив пріоритетної обробки викликів починає позначатися тільки при високому завантаженні системи.

*Доступ до ТМЗК.* Як правило, доступ до телефонної мережі загального користування (ТМЗК) повинні мати лише деякі абоненти транкінгових систем.

*Роумінг.* У багатозонових транкінгових системах здійснюється відстеження поточного розташування абонентів. При переміщенні абонента з однієї зони в іншу забезпечується реєстрація і призначення нових каналів доступу. У системах з розподіленою комутацією кожна базова станція самостійно здійснює комутацію вступників викликів. У системах із централізованою комутацією роумінг більш надійний, а швидкість обробки міжзональних викликів вище.

Для більшості ТСЗ характерне переривання зв'язку при переміщенні абонента з однієї зони обслуговування в іншу, пов'язане з відсутністю механізму естафетної передачі (ЕП). Для продовження розмови абонент змушений повторювати виклик. При напівдуплексному режимі роботи, коли кожна нова репліка передається за допомогою окремого виклику, міжзональний перехід практично непомітний. Оскільки вимоги користувачів ТСЗ зростають, у новітніх цифрових системах TETRA і EDACS ProtoCALL забезпечується естафетна передача.

Особливий аспект роумінгу в транкінгових системах – обслуговування багатозональних групових викликів. Відслідковуючи переміщення абонентів, система при надходженні групового виклику забезпечує його доведення до всіх членів групи, в якій би зоні вони не перебували.

*Передача даних.* У транкінгових системах передача даних є додатковою послугою, тому до останнього часу вона не отримувала розвинених засобів підтримки. Швидкість передачі даних у всіх аналогових системах знаходиться у межах 0,6 – 4,8 кбіт/с. Як правило, аналогові транкінгові системи лише надають канали для передачі даних, не забезпечуючи мережну маршрутизацію. Водночас для цифрових транкінгових систем передача даних є значно більше рідною службою.

Цифрові транкінгові системи надають сервіс не тільки канального, але й мережного рівня, а в ряді випадків і транспортного. Можлива підтримка накладених мереж, наприклад IP-мереж. Користувальницька швидкість передачі даних для цифрових систем може варіюватися в широких межах. Так, новітній стандарт TETRA передбачає швидкість до 28,8 кбіт/с. Під час проектування власних мереж передачі даних на базі цифрових транкінгових систем користувачеві надається, як правило, можливість вибору параметрів протоколу канального і транспортного рівня.

Обладнання базових станцій або центрального комутатора цифрових транкінгових систем здійснює також функції шлюзу із зовнішніми мережами передачі даних, тобто мережами з комутацією пакетів. До функцій шлюзу входить конвертування протоколів, включаючи взаємне перетворення адрес внутрішньої і зовнішньої мереж, а також підтримка накладеної мережі.

Найважливіша область застосування служб передачі даних – організація в рамках транкінгових систем мереж дистанційного моніторингу і контролю місця розташування рухомих об'єктів.

*Режим безпосереднього зв'язку.* У деяких транкінгових системах передбачена можливість безпосереднього зв'язку абонентів без участі ретранслятора. Цей режим використовується в тому випадку, якщо один або декілька абонентів вийшли із зони дії всіх ретрансляторів системи (рис. 7.8), або при аварії транкінгових контролерів та обриві ліній зв'язку в зоні обслуговування базової станції.

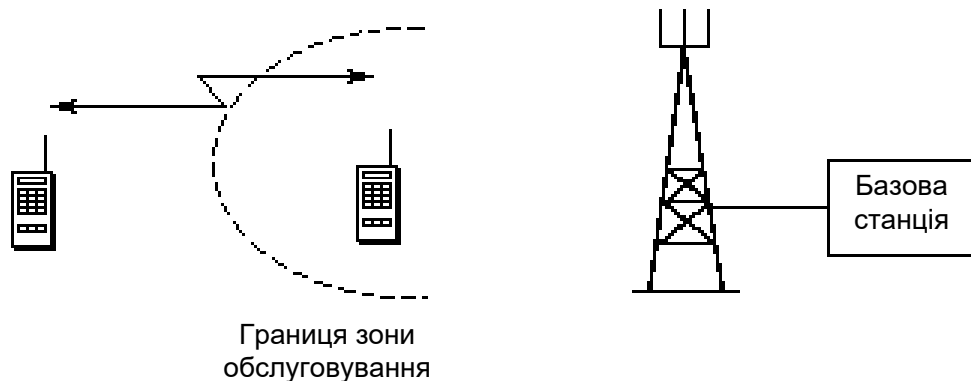


Рисунок 7.8 – Режим безпосереднього зв'язку

*Тарифікація (білінг).* Обладнання транкінгових систем дозволяє вести облік і тарифікацію з'єднань із одержанням докладної інформації з кожного з'єднання. До даних по обліку і тарифікації можуть входити такі параметри: ідентифікатори абонентів, які викликають та яких викликають, час і дата початку встановлення з'єднання, тривалість з'єднання, тип виклику (індивідуальна або груповий), категорія пріоритету (звичайний, високий тощо).

У транкінгових системах можуть задаватися декілька тарифних періодів для різних днів тижня і часу доби. Дані тарифікації можуть використовуватися для документування зв'язку і надання рахунків абонентам, а також для виявлення спроб несанкціонованого доступу.

*Віддалене управління абонентськими радіостанціями.* У ряді транкінгових систем надається можливість оперативної зміни параметрів доступу абонентських радіостанцій. Можна дистанційно перепрограмувати мережний ідентифікатор, частоти каналів, а також переконфігурувати групи абонентів. Віддалене управління використовується також з метою боротьби зі спробами несанкціонованого доступу, що особливо важливо у випадку розкрадання абонентського обладнання. Зокрема, в системах протоколу SmartTrunk II є так званий "радіокілер": при посилянні спеціальної команди в украденій абонентській радіостанції відбуваються необоротні зміни, що перетворюють її в марну іграшку. Аналогічні функції є і в більш складних транкінгових системах. Нині в експлуатації знаходиться велика кількість різновидів ТСЗ. Розглянемо деякі із сучасних ТСЗ.

## 7.5 Загальна характеристика аналогових транкінгових систем зв'язку

Серед аналогових транкінгових систем найбільше розповсюдження мають системи Smart Trunk II і MPT 1327.

Транкінгова система зв'язку Smar Trunk II розроблена в 1992 році і стала широко використовуватися під час створення недорогих транкінгових мереж зв'язку. За короткий час ця система пройшла декілька модифікацій від аналогового варіанта до цифрового (Smar TrunkII) і продовжує розвиватися.

Система працює в діапазоні 146...174 МГц і 403...470 МГц. Відомі також розробки системи Smar Trunk у діапазоні 33...48 МГц. Обсяг бази даних досягає 4096, що дозволяє реєструвати абонентів не тільки основної зони обслуговування, але й абонентів, які прибули з інших місць (населених пунктів) і тимчасово перебувають в основній зоні обслуговування. У складі однієї системи може використовуватися від 2-х до 16-ти дуплексних радіоканалів, які забезпечують обслуговування від 50 до 1000 абонентів. Індикація зайнятості каналу здійснюється за наявності в ньому несучої.

Абонентські станції – це напівдуплексні або дуплексні радіостанції із частотною модуляцією, які обладнані додатковими логічними модулями.

У системі передбачене дистанційне вимикання абонентських радіостанцій сигналами з диспетчерського пульта у випадку їхньої крадіжки, а також для запобігання доступу в систему незареєстрованих користувачів. Структурну схему системи Smar Trunk наведено на рис. 7.9.

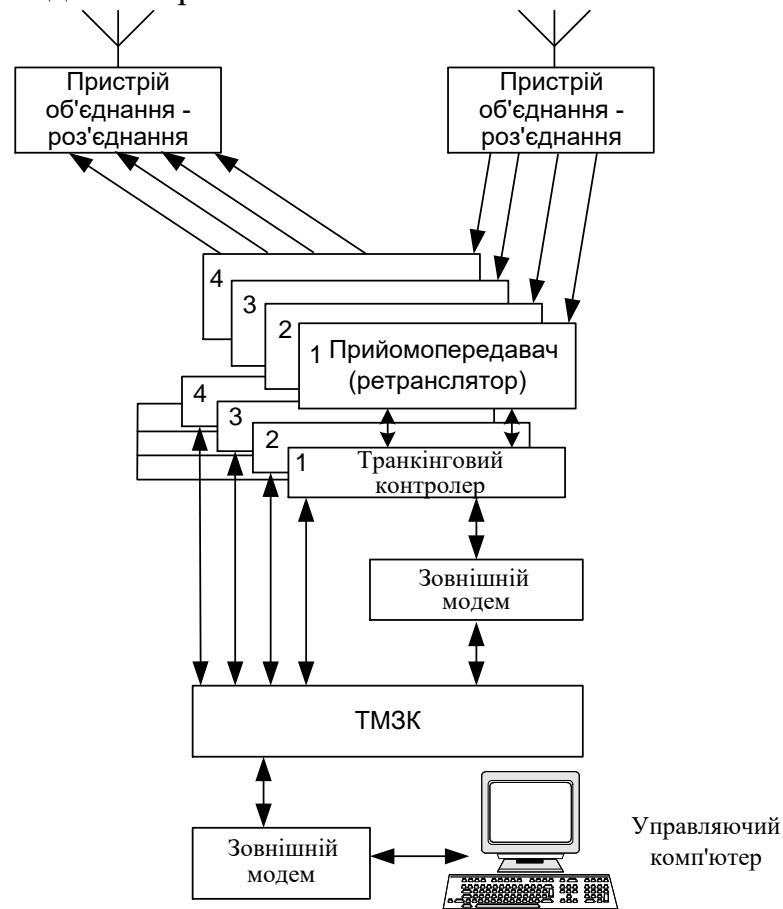


Рисунок 7.9 – Структурна схема транкінгової системи зв'язку SmarTrunkII

До складу кожної БС входять транкінгові контролери, ретранслятори, фільтри та антенно-фідерні пристрої.

Центральним елементом системи є транкінговий контролер, підключений до ретранслятора робочого каналу. Він забезпечує завантаження каналу, формує всі керуючі сигнали, визначає, чи має право абонент користуватися даним каналом, який в абонента пріоритет. Всі каналні контролери зв'язані між собою, що забезпечує їхню взаємодію в процесі роботи.

Керуючий комп'ютер підключений до одного з контролерів БС. Зв'язок з іншими контролерами тієї самої БС здійснюється за загальною шиною даних. Комп'ютер може підключатися до контролера як безпосередньо, так і через зовнішній модем. Дистанційне управління контролерами БС здійснюється через ТМЗК з використанням другого абонентського модему, підключеного до керуючого комп'ютера.

Кожен контролер допускає підключення до двох абонентських телефонних ліній.

Організація зв'язку в системі Smar Trank забезпечується відповідно до принципів, які описані раніше.

Через низьку надійність і захищеність Smar Trank з'явилася вдосконалена система Smar Trank II. Вся робота ведеться через ретранслятор – свій для кожного дуплексного каналу.

Найбільше поширення отримали аналогові транкінгові системи на основі групи стандартів Міністерства пошти і телекомунікацій Великобританії (MPT – Ministry of Posts and Telecommunications). Центральним у цій групі виступає стандарт MPT 1327 (A Signalling Standard for Trunked Private Land Mobile Radio Systems) – «Стандарт сигналізації приватних наземних систем транкового мобільного радіозв'язку». Він був опублікований у 1986 році і остаточно затверджений у 1987 році. Зазначимо, що хоча аналогові транкінгові мережі на основі стандартів MPT і називають системами стандарту MPT 1327, проте вимоги до них містяться і в інших стандартах групи MPT. Зокрема, специфікація MPT 1347 описує інтерфейс системного радіообладнання та контролери транкінгового зв'язку, MPT 1343 – інтерфейс абонентського радіообладнання, MPT 1317 – формат коду синхронізації тощо. Оскільки аналогові транкінгові мережі стандарту MPT 1327 – найпоширеніші у світі (окрім, мабуть, США, де лідирують системи стандарту LTR), зупинимося на ньому дещо докладніше.

Розглянемо транкінгові системи стандарту MPT 1327.

Мережі стандарту MPT1327 завжди розроблялися як багатозонові. У кожній зоні індивідуальні виклики обробляються незалежно. У випадку обриву міжзонових зв'язків базова станція продовжує працювати, але вже без обробки міжзонових викликів. Час з'єднання при внутрішньозонових викликах не перевищує 0,5 з, при міжзонових – 1-2,5 с.

Теоретично мережа на базі MPT 1327 може обслуговувати до 1036 800 абонентів і складатися з 1024 зон по 24 канали в кожній. Проте навіть найбільш великі мережі MPT 1327 далекі від таких показників. Так, одна з найбільших мереж Chekker Network компанії Deutsche Telekom в 1998 році нараховувала приблизно 900 каналів у 160 зонах і обслуговувала близько 62 тис. абонентів. В цілому ж транкінгові системи MPT 1327 включають 3-5 базових станцій з 4-8 каналами кожна і обслуговують 1-2 тис. абонентів.

У системі MPT 1327 кожна станція має свій унікальний номер, що привласнюється виробником – ESN (Electronic Serial Number). Для роботи в мережі потрібна початкова реєстрація станції і подальша аутентифікація на підставі раніше зареєстрованого номера.

Характерна риса мереж стандарту MPT 1327 – наявність виділеного каналу управління, яким відбувається обмін керуючою інформацією між базовими і абонентськими станціями. Фізично це один із частотних каналів базової станції. Інші канали призначені для обміну мовною інформацією і даними. При великому завантаженні системи канал управління також можна використовувати для передачі мовних повідомлень або даних, хоча й із втратою деяких функцій. Канал управління може автоматично переноситися з одного частотного каналу на інший (наприклад, з появою значних завад).

Обмін сигнальною інформацією відбувається зі швидкістю 1200 біт/с за допомогою так званої швидкої частотної маніпуляції (FFSK – fast frequency-shift keying). Несучої із частотою 1200 Гц відповідає логічна «1», логічному «0» – 1800 Гц. Управляюча інформація передається пакетами, що містять інтервал для включення передавача (тривалістю 5 мс), синхропослідовність (1010... 10 – усього 16 біт), власно інформаційне повідомлення (64 біта) і останній біт узгодження, значення якого залежить від останнього біта поля повідомлення. Саме повідомлення складається з кодового синхронізуючого синхрослова (C4D7i6 для каналу управління, інверсне йому – для каналу зв'язку), ознаки адреса/дані (1/0), власно інформації (47 біт) і перевіркової послідовності (16 біт). Для управління використовується набір з 32 команд довжиною 5 біт кожна. Абонентські радіостанції постійно приймають і аналізують повідомлення в керуючому каналі і, виявивши в них власну адресу, виконують запропоновані командою дії. Цей процес відбувається незалежно від того, підтримує абонентська станція в цей момент сеанс чи ні. По керуючому каналу можлива передача не тільки командних повідомлень, але й коротких (до 184 біт) і розширених (736 біт) інформаційних повідомлень (пейджингові повідомлення, дані GPS тощо).

Приймально-передавальне обладнання стандартом MPT 1327 не специфікуються. Для цього було розроблено стандарт MPT 1347. Відповідно до нього, інтервал між несучими сусідніх каналів має становити 12,5 кГц, рознесення дуплексних каналів (спадний/висхідний) – 8 МГц, робочий діапазон висхідних/спадних



каналів – 201,2125-207,4875 і 193,2125-199,4875 МГц відповідно. При передачі мови передбачається фазова модуляція, для передачі даних – FFSK.

Мережі МРТ 1327 дозволяють передавати не тільки мовні повідомлення, але й дані зі швидкостями до 1200 біт/с.

Бурхливий розвиток технологій цифрового радіозв'язку та успішна їх реалізація призвели до появи цифрових транкінгових систем.

Переваги, які дозволяє отримати перехід від аналогової до цифрової транкінгової системи:

- по-перше, поліпшення секретності радіопереговорів. Для прослуховування цифрових радіопереговорів прості аналогові сканери непридатні, що забезпечує захист від широкого кола "радіоаматорів" навіть без вживання спеціальних заходів із закриття каналів зв'язку;

- по-друге, шифрування мови в цифрових системах реалізується у вигляді цифрової обробки низькошвидкісного потоку даних, що дозволяє використовувати складні алгоритми з високою криптостійкістю, причому, якість відновленої мови не погіршується;

- по-третє, цифрові системи загалом дозволяють більш ефективно використовувати радіочастотний спектр, тобто збільшити кількість розмовних каналів у відведеній смузі частот. Цей ефект забезпечується завдяки поєднанню сильної компресії мовного потоку і складної модуляції несучої частоти.

Крім того, у цифрових системах забезпечується вирівнювання якості мовного радіообміну по всій зоні обслуговування ретранслятора. Для аналогових систем характерне значне погіршення якості передачі мови при віддаленні від базової станції. В умовах міста, коли має місце багатопроменеве поширення, якість помітно змінюється навіть при пересуванні усередині одного кварталу. Застосування цифрових сигналів у поєднанні із завадостійким кодуванням дозволяє істотно поліпшити якість передачі мови в межах всієї зони обслуговування.

## **7.6 Загальна характеристика транкінгової системи зв'язку TETRA**

Система стандарту TETRA (транс європейська система транкінгового зв'язку) являє собою сукупність специфікацій, розроблених ETSI. Стандарт на цифрову транкінгову систему базується на технічній ідеології GSM. Стандарт TETRA використовує весь корисний досвід GSM з урахуванням специфіки корпоративного сектора ринку. TETRA – цифрова транкінгова система, що забезпечує абонентам широкий набір послуг. Стандарт TETRA містить у собі дві специфікації: TETRA Voice + Data (TETRA V+D) і TETRA Packet Data Optimized (TETRA PDO). TETRA V+D – це стандарт на інтегровану систему передачі мови і даних. TETRA PDO – стандарт орієнтований тільки на ПД. Склад системи TETRA типовий: центр комутації, базові станції, диспетчерські пульти, термінали обслуговування й експлуа-

тації, абонентські станції. Стандартом TETRA передбачене використання АС як ретранслятора для розширення зони обслуговування.

Для систем стандарту TETRA можуть використовуватися діапазони від 150 МГц до 900 МГц.

У стандарті TETRA використовується доступ МДЧВР із чотирма часовими каналами (вікнами) в одному частотному. Ширина смуги частотного каналу 25 кГц.

Стандарт передбачає дистанційне (із БС) управління потужністю сигналу, що випромінюється АС.

Інформація передається пакетами довжиною 510 біт, з яких 432 інформаційні і 78 – службові.

Загальна швидкість передачі мовного сигналу після його перетворення з аналогової форми в цифрову, подальші його кодування, перемеження та формування пакетів становить 36 кбіт/с.

Стандарт TETRA передбачає можливість дистанційного включення абонентської станції на передачу, що забезпечує прослуховування обставин в абонента, що, зокрема, дозволяє виявляти неординарні ситуації (наприклад, напад на співробітників охоронної служби, служби суспільної безпеки тощо).

У стандарті TETRA передбачається прямий зв'язок між АС, а також використання АС як ретранслятора для розширення зони обслуговування.

## **7.7 Режими роботи системи TETRA**

Система стандарту TETRA може функціонувати у таких режимах: транкінгового зв'язку; з відкритим каналом; безпосереднього зв'язку.

В режимі транкінгового зв'язку територія, що обслуговується, перекривається зонами дії БС. Стандарт TETRA дозволяє будувати як системи з виділеним частотним КК, так і з розподіленим. Під час роботи мережі зв'язку з виділеним КК прийомо-передаючі станції надають абонентам декілька частотних каналів, один з яких (КК) спеціально призначається для обміну службовою інформацією. Під час роботи мережі з розподіленим КК службова інформація передається або у спеціально виділеному часовому каналі (одному з 4-х каналів, що організуються на одній частоті), або в контрольному кадрі мультикадра (одному з 18).

Канали передачі повідомлень можуть виділятися відповідно з нижче переліченими способами.

1. Транкінг повідомлень. Канал привласнюється на початку сеансу зв'язку і звільняється по його закінченню.

2. Транкінг передач. Канал привласнюється тільки на час однієї транзакції (періоду передача/прийому), після чого він звільняється. Для наступної транзакції може бути виділений новий канал.

3. Квазітранкінг передач. Канал так само, як і у транкінгу передач, звільняється після транзакції, проте з деякою затримкою, що дозволяє знизити кількість сигналів управління.

У режимі з відкритим каналом група користувачів має можливість встановлювати з'єднання "крапка – багато крапок" без установчої процедури. Будь-який абонент, приєднавшись до групи, може в будь-який момент використати цей канал. У цьому режимі РС працюють у двочастотному симплексі.

У режимі безпосереднього (прямого) зв'язку між терміналами встановлюються дво- і багатоточкові з'єднання по радіоканалах, не пов'язаних з КК мережею, без передачі сигналів через БС.

У системах стандарту TETRA мобільні станції можуть працювати в режимі "подвійного спостереження" (Dual Watch), при якому забезпечується прийом повідомлень від абонентів, що працюють як у режимі транкінгового, так і прямого зв'язку.

У системах стандарту TETRA підтримуються передача мови і даних.

При цьому мова і дані можуть передаватися водночас з одного терміналу різними логічними каналами.

Для передачі мови використовуються служби мовного зв'язку, які забезпечують такі режими:

- мовний зв'язок з індивідуальним викликом абонентів (що комутує двоточкове з'єднання між двома мобільними абонентами (МА) або між МА і стаціонарним терміналом для забезпечення прямого двостороннього зв'язку в режимі дуплекса або двочастотного симплекса):

- багатобічний мовний зв'язок, який передбачає груповий виклик абонентів (що комутують багатопунктові двонаправлені з'єднання між стороною, що здійснює виклик і декількома викликуваними абонентами при використанні симплексного режиму зв'язку);

- циркулярний зв'язок із широкомовним викликом (однобічна передача мовної інформації від сторони, що здійснює виклик декільком абонентам, що викликаються).

Всі режими мовного зв'язку передбачають можливість передачі як відкритої мовної інформації, так і мови, захищеної за допомогою певних алгоритмів шифрування. У стандарті можливі такі види передачі даних (ПД):

- ПД з комутацією ланцюгів. Даний вид має режими передачі, аналогічні мовному обміну (двоточкове та багатоточкове з'єднання, широкомовна передача). Швидкість обміну визначається кількістю часових інтервалів, виділених для зв'язку, і класом захисту від помилок;

- пакети даних, що комутуються. Транслюються віртуальними ланцюгами або у вигляді дейтаграм. У першому випадку можливі тільки двоточечні з'єднання, у другому – багатоточкові і широкомовна передача;

- короткі повідомлення (до 2048 біт). Передаються оперативно незалежно від передачі мови і даних.

## 7.8 Архітектура мережі стандарту TETRA

До складу мережі стандарту TETRA входять такі основні елементи:

- базова прийомо-передаюча станція (BTS) – забезпечує зв'язок у певній зоні (осередку). БС виконує основні функції, пов'язані з передачею радіосигналів: поєднання з МС, шифрування ліній зв'язку, просторово-рознесений прийом, управління вихідною потужністю мобільних радіостанцій управління радіоканалами;

- пристрій управління БС (BCF) – елемент мережі з можливостями комутації, що керує декількома БС і забезпечує доступ до зовнішніх мереж ISDN, PSTN, PDN;

- контролер БС (BSC) – елемент мережі з більшими порівняно з пристроєм BCF комутаційними можливостями, що дозволяє обмінюватися даними між декількома BCF. Так само, як і BCF, забезпечує доступ до зовнішніх мереж. BSC має гнучку модульну структуру, що дозволяє використовувати велику кількість інтерфейсів різного типу. У мережах TETRA контролери БС можуть виконувати функції поєднання з іншими мережами TETRA й управління централізованими БД;

- ДП – пристрій, що підключає до контролера БС по провідній лінії і забезпечує обмін інформацією між оператором (диспетчером мережі) та іншими користувачами мережі;

- мобільна станція (MS);

- стаціонарна радіостанція (FRS – Fixed Radio Station) – РС, яка використовується абонентом у певному місці;

- термінал ТОЕ – термінал, що підключає до УУ базову станцію BCF і призначений для контролю за станом системи, проведення діагностики несправностей, обліку тарифікаційної інформації тощо. За допомогою таких терміналів реалізується функція управління ЛС (LNM – Local Network Management).

Завдяки модульному принципу розробки обладнання, ТСЗ стандарту TETRA можуть бути реалізовані з різними ієрархічними рівнями і різною географічною довжиною (від локальних до національних). Функції управління БД і комутації розподіляються по всій мережі, що забезпечує швидку передачу викликів і збереження обмеженої працездатності мережі навіть при втраті зв'язку з її окремими елементами.

На національному або регіональному рівні структура мережі може бути реалізована на основі порівняно невеликих підмереж TETRA, з'єднаних один з одним за допомогою міжсистемного інтерфейсу ISI для створення загальної мережі. Під підмережею зазвичай розуміють автономну мережу та мережу, що самоузгоджується. При цьому можливо централізоване управління мережею. Варіант побудови такої мережі наведено на рис. 7.10.

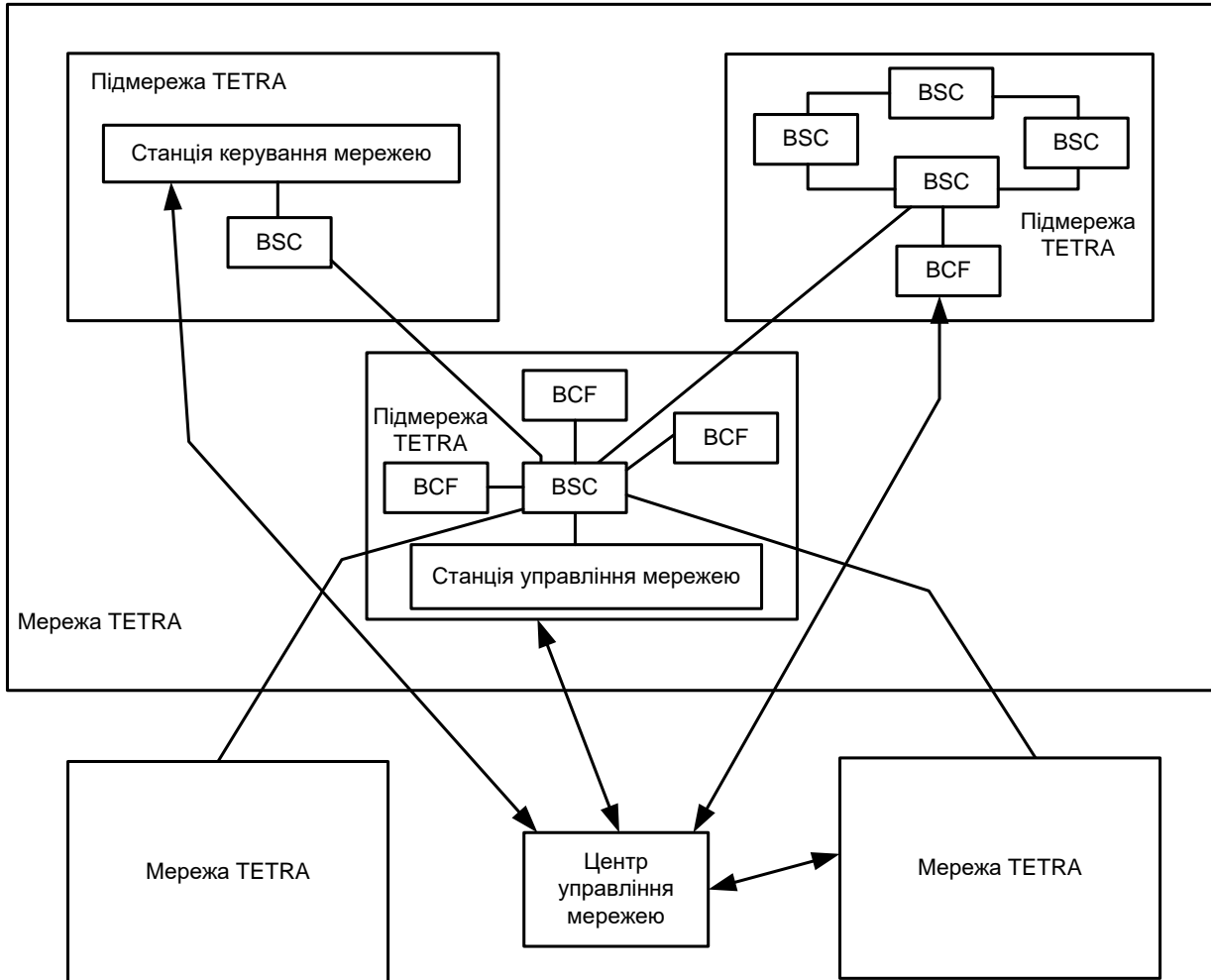


Рисунок 7.10 – Структура мережі національного або регіонального рівня

Кожна підмережа TETRA виконує свої функції управління й комутації, а також надає можливість для централізованого управління мережею більш високого рівня. Структура підмережі залежить від трафіка, а також від вимог до ефективності встановлення зв'язку. Варіант складної конфігурації підмережі стандарту TETRA наведено на рис. 7.11.

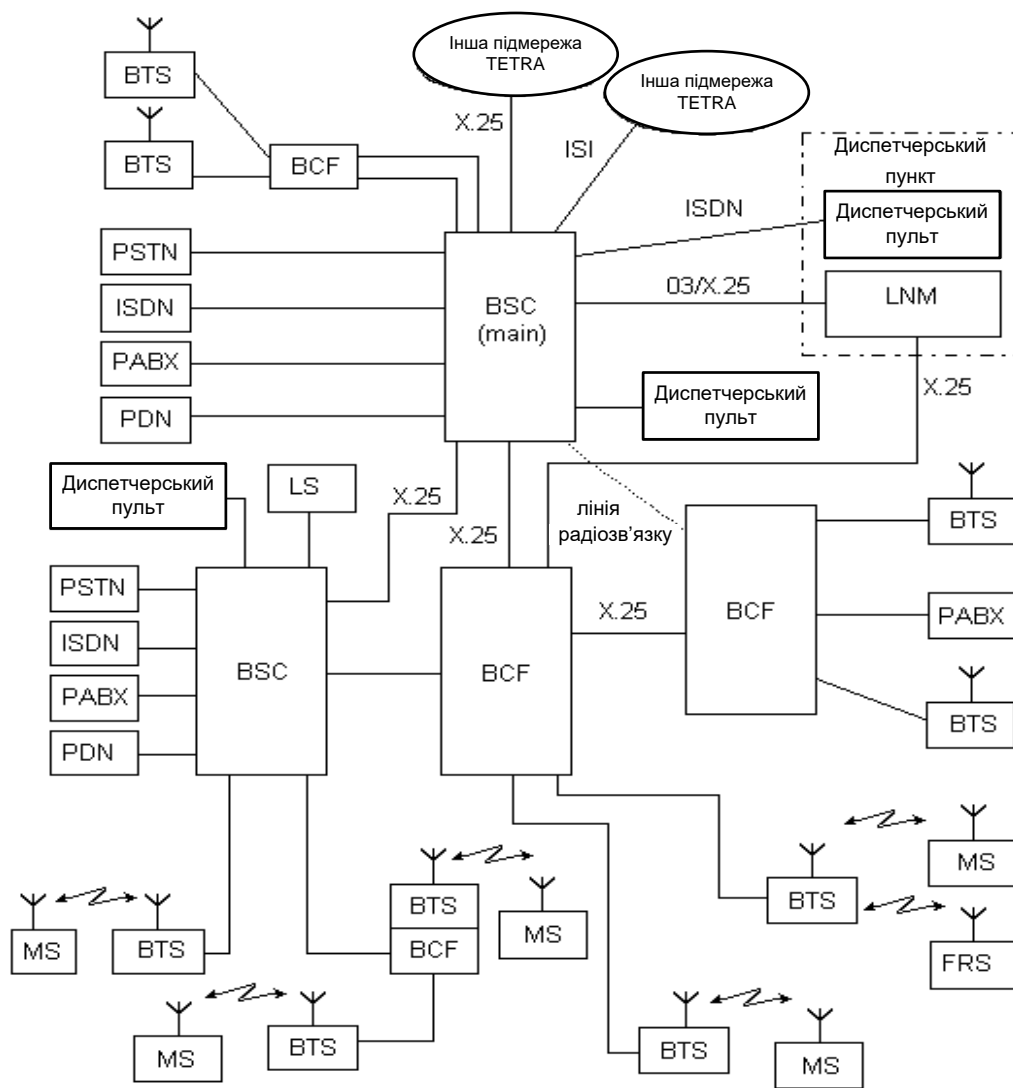


Рисунок 7.11 – Конфігурація підмережі стандарту TETRA

У ТС3 стандарту TETRA передбачаються різні способи забезпечення відмовостійкості, що дозволяють у випадку відмови окремих елементів мережі зберігати повну або часткову працездатність, можливо, з погіршенням ряду параметрів, таких як час встановлення з'єднання тощо. Для мереж національного рівня, як правило, використовується декілька альтернативних маршрутів з'єднання мереж регіонального рівня, шляхом з'єднання контролерів БС. Крім цього, для регіональних мереж передбачається взаємне копіювання БД у контролерах БС.

У випадку, якщо не потрібне резервування каналів, можливе і достатнє створення підмережі за конфігурацією зірки (рис. 7.12).

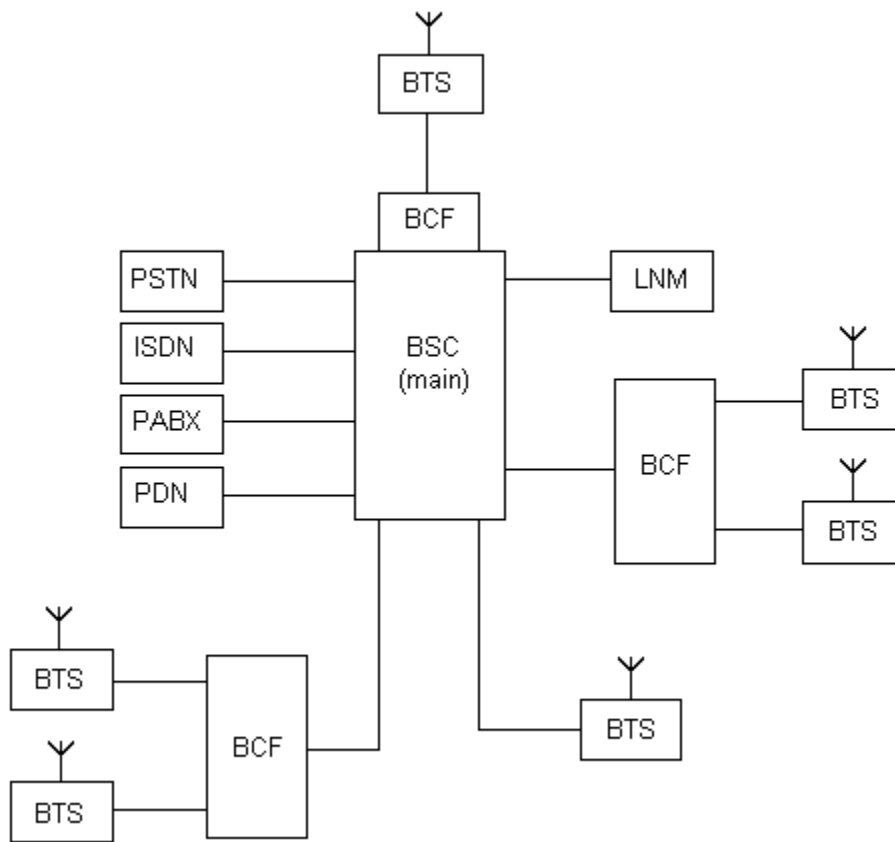


Рисунок 7.12 – Підмережа TETRA, побудована за конфігурацією зірки

Під час використання лінійних трактів підмережа TETRA може бути реалізована у вигляді довгої лінії (ланцюга). У цьому випадку кожен модуль УУ базової станції BCF (Base Station Control Function) поряд з необхідною дальністю зв'язку забезпечує локальний доступ до зовнішніх мереж (рис. 7.13).

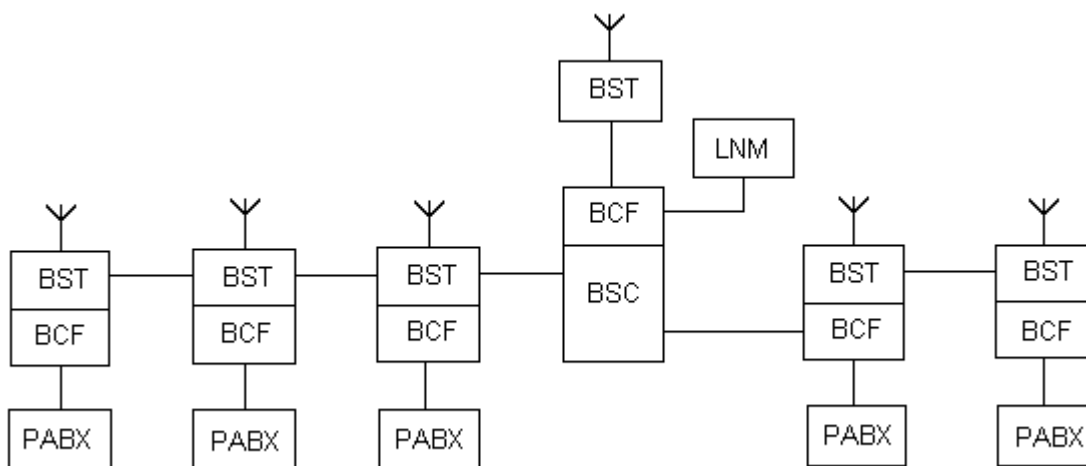


Рисунок 7.13 – Конфігурація підмережі стандарту TETRA у вигляді ланцюга  
 Найпростіша конфігурація підмережі TETRA (рис. 7.14 ) включає тільки один модуль BCF.

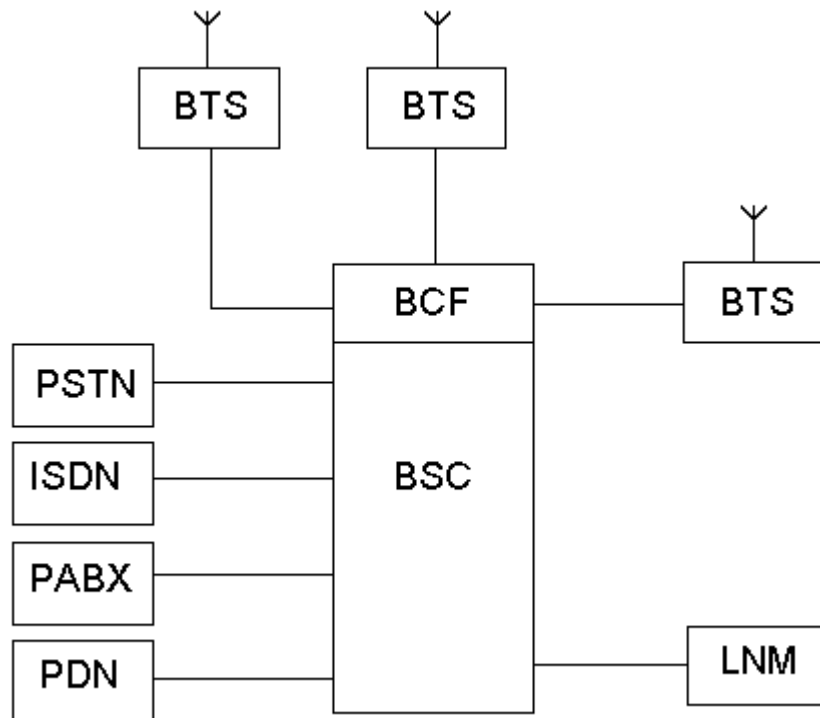


Рисунок 7.14 – Конфігурація TETRA з одним модулем BCF

Крім того, для з'єднання мереж TETRA застосовується і стандартний міжсистемний інтерфейс (ISI). Структура підмережі залежить від трафіка та вимог до ефективності й доступності. Тому в одних випадках вона може бути простою, в інших, коли елементи мережі зв'язані один з одним численними каналами зв'язку, – порівняно складною. Якщо не потрібне резервування каналів, оптимальна конфігурація зірки. При використанні лінійних трактів найкраще рішення – структура ланцюга. У цьому випадку кожен модуль пристрою управління базовою станцією забезпечує як необхідну дальність радіозв'язку, так і локальний доступ до зовнішніх мереж (телефонні мережі загального користування, АТС закладів). Найпростіша конфігурація мережі включає лише один такий модуль.

## 7.9 Структура радіоінтерфейсу системи TETRA

TETRA являє собою транкінгову систему зв'язку, засновану на технічних рішеннях і рекомендаціях стандарту GSM. Радіоканали рознесені з інтервалом 25 кГц. Дуплексне рознесення радіоканалів для передачі і прийому – 10 МГц. У сис-



темі використана технологія часового поділу каналів (TDMA) – в одній частотній смузі послідовно приділяється час для передачі чотирьох логічних каналів. Структуру часових каналних інтервалів наведено на рис. 7.15. Ці чотири каналних інтервали (слоти) утворюють TDMA-кадри. Повідомлення передаються мультикадрами тривалістю 1,02 с. Мультикадр містить 18 TDMA-кадрів, один з яких – контрольний. TDMA-кадр складається з чотирьох часових пакетів по 510 біт кожний. 432 біта в пакеті (два блоки по 216 біт) належать до інформаційного повідомлення. У середині пакета – синхропослідовність SYNCH для синхронізації і навчання адаптивного каналного еквалайзера у приймачі. Крім того, пакети у висхідному каналі містять інтервал PA (Power Amplifier), призначений для установки потужності випромінювання. У цьому випадку наприкінці пакета розміщується захисний інтервал GP (Guard period) тривалістю 0,167 мс (еквівалентно часу передачі 6 біт), що виключає перекриття сусідніх пакетів.

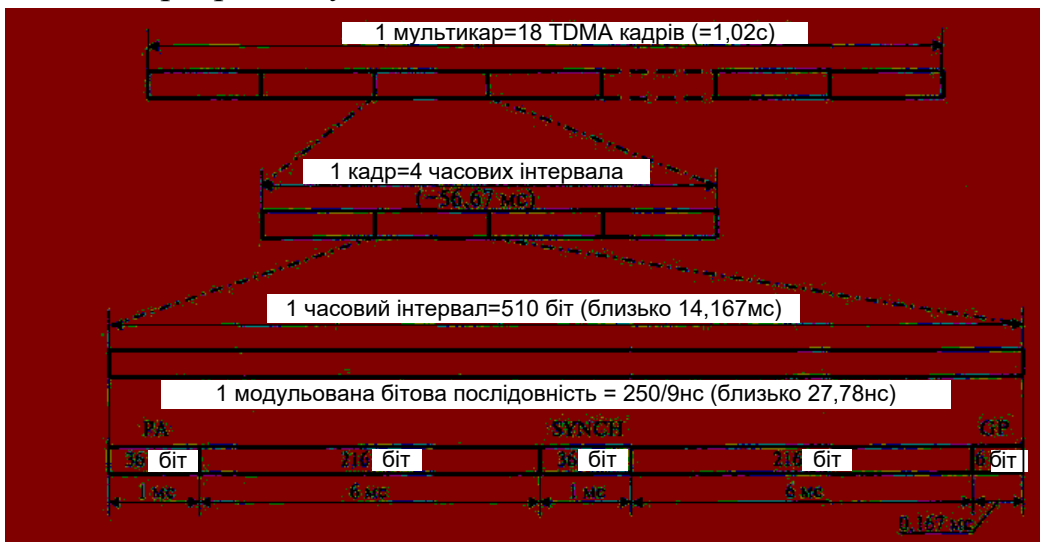


Рисунок 7.15 – Структура часових каналних інтервалів

Передачу чотирьох мовних каналів у смузі 25 кГц забезпечує низькошвидкісний кодер мови з алгоритмом CELP. Швидкість потоку на виході кодера 4,8 кбіт/с. У стандарті TETRA застосовується цифрова дворазова відносна фазова модуляція QPSK (ДОФМ), що дозволило знизити швидкість передачі з 36 кбіт/с до 18 кбіт/с. Зниження швидкості передачі вдвічі пояснюється тим, що кожен з елементів сигналу з ДОФМ містить два біти інформації (використовується алфавіт із чотирьох символів:  $\pm\pi/4$ ,  $\pm 3\pi/4$ , кожному з яких відповідають два біти: 00, 01, 10 або 11). Для перетворення мови у стандарті TETRA V+D використовується кодек з алгоритмом CELP. Швидкість цифрового мовного потоку на виході кодека становить 4,8 кбіт/с. До надходження на вхід модулятора, до мовного потоку додається корегувальний код, після чого робиться міжблокове перемеження. Загальна швидкість цифрового потоку даних після кодування і включення службової інформації

– 36 кбіт/с. Однак завдяки застосовуваній у системі  $\pi/4$  QPSK модуляції (диференціальна квадратурна фазова модуляція) частота модуляції кожної несучої вдвічі менше – 18 кбіт/с.

### **7.10 Послуги, що надаються системою TETRA**

У системах стандарту TETRA інформаційний обмін забезпечується за допомогою телесервісних служб. Підтримуються передача мови і даних. При цьому мова й дані можуть передаватися водночас з одного терміналу різними логічними каналами.

#### *Режими передачі мовної інформації*

Передбачено такі режими мовного зв'язку: мовний зв'язок з індивідуальним викликом (ВЕРБ) абонентів; багатобічний мовний зв'язок, що передбачає груповий виклик (ГВ) абонентів; широкомовна передача мови. Всі режими мовного зв'язку передбачають можливість передачі як відкритої мовної інформації, так і мови, захищеної за допомогою певних алгоритмів шифрування.

Індивідуальний виклик передбачає встановлення з'єднання, що комутує, між двома МА або між МА і стаціонарним терміналом для забезпечення прямого двостороннього зв'язку. ВЕРБ може бути ініційований будь-яким користувачем TETRA і спрямований будь-якому абоненту, зареєстрованому в даній системі з певною адресою, включаючи абонентів ТФОП, зовнішніх УАТС тощо.

Груповий виклик (ГВ) передбачає встановлення комутованого двонаправленого з'єднання між стороною, яка здійснює виклик і декількома абонентами, що викликаються. Обмін мовною інформацією після ГВ виконується тільки в режимі двочастотного симплекса. При цьому обмін повідомленнями між членами групи здійснюється в режимі "кожен чує кожного". ГВ може бути ініційований або МА, або диспетчером мережі.

Широкомовний виклик (ШВ) призначений для організації однобічної передачі мовної інформації від сторони, що здійснює виклик декільком абонентам, що викликаються, ШВ і подальша передача мовної інформації виконується в симплексному режимі. Він може бути ініційований або МА, або диспетчером мережі за допомогою ЛТ.

#### *Додаткові послуги*

Вони забезпечуються допоміжними службами стандарту TETRA і надаються абонентам при включенні до списку доступних послуг, які зберігаються в його терміналі і мережі.

Додаткові послуги можна розділити на 2 класи:

- спеціалізовані (введені в стандарт за заявкою служб суспільної безпеки і правоохоронних органів);
- стандартні (призначені для всіх користувачів, включаючи комерційних операторів мереж).

Даний розподіл носить досить умовний характер, тому що послуги, введені в стандарт за заявками служб суспільної безпеки, можуть використовуватися і комерційними організаціями за згодою між ними і операторами мереж стандарту TETRA.

До спеціалізованих послуг належать такі:

- виклик, санкціонований диспетчером;
- пріоритетний виклик;
- пріоритетний доступ;
- виборне прослуховування;
- дистанційне прослуховування;
- динамічне перегрупування;
- ідентифікація сторони, яка здійснює виклик.

Виклик, санкціонований диспетчером, реалізує можливість здійснення прямих з'єднань між певними категоріями абонентів (наприклад, зв'язок рухомих абонентів із ТФОП, УАТС тощо) тільки із санкції диспетчера мережі. Якщо робиться виклик, що вимагає санкціонованого з'єднання, він направляється диспетчеру, який або переадресує його абонентові, що викликається або перериває виклик.

**Пріоритетний виклик.** Забезпечує можливість кращого обслуговування викликів деяких абонентів, які мають більш високий статус порівняно з іншими. У системі може бути декілька рівнів пріоритетів. Пріоритетний виклик може бути переданий на будь-який АТ.

**Пріоритетний доступ.** Дозволяє у випадку перевантаженості мережі припинити з'єднання з більш низьким пріоритетом, надаючи ресурси, що вивільнюються, більш пріоритетному виклику.

**Вибіркове прослуховування.** Дана послуга дозволяє несанкціонованому для даного виклику користувачеві прослуховувати розмову. Як правило, така можливість надається диспетчеру мережі, хоча допускається організація прослуховування переговорів будь-яким абонентом мережі. При прослуховуванні диспетчер може або вступити в розмову, або припинити ведення розмови. Стандарт допускає можливість одночасного прослуховування декількох переговорів. Вибір абонентів, що користуються даною службою, є прерогативою оператора мережі.

**Дистанційне прослуховування.** Забезпечує можливість включення за певною командою АС у режим передачі без дозволу на це її користувача. Даний режим може застосовуватися для акустичного прослуховування обстановки в конкретного абонента.

**Динамічне перегрупування.** Забезпечує можливість створення, модифікації і видалення груп користувачів у процесі роботи в мережі зв'язку, тобто можливість вилученого управління АС. Абонент, що має право на проведення динамічного перегрупування, направляє відповідний запит в інфраструктуру, в якому вказує новий номер, що присвоєний, групи і список індивідуальних ідентифікаторів,

яким має бути привласнений цей ГН. Після цього інфраструктура розсилає всім зазначеним абонентам новий ГН.

**Ідентифікація сторони, яка здійснює виклик.** Надає користувачам мережі (диспетчерові і МА) можливість отримання інформації про персональний ідентифікатор абонента, який здійснює виклик (фактично зробити аутентифікацію абонента). При цьому сторона, яка здійснює виклик не може заборонити даний режим.

До стандартних послуг належать: вибір зони; ідентифікація номера абонента; повідомлення про виклик; зміна маршруту проходження виклику; виклик з використанням списку абонентів; адресація з використанням коротких номерів; очікування виклику; утримання виклику; завершення виклику для зайнятого абонента; передача управління груповим з'єднанням; підключення виклику; обмеження встановлення виклику; збереження виклику; підключення до з'єднання протягом сеансу зв'язку; інформація про оплату.

**Вибір зони.** Дозволяє абоненту задавати зону, в якій має бути встановлено з'єднання. При цьому до абонентів, які знаходяться поза межами обраної зони, виклик не надходить. Обрані зони маршрутизації виклику можуть обмежуватися одним осередком або включати декілька осередків.

**Ідентифікація номера (ИН) абонента.** У стандарті визначені такі 4 незалежні служби ИН: ИН абонента, який здійснює виклик; обмеження ИН абонента, який здійснює виклик; ИН абонента, що викликається; обмеження ИН абонента, що викликається.

ИН абонента, який здійснює виклик, дозволяє абонентові, що викликається, визначити ідентифікаційний номер користувача мережі, від якого отриманий виклик. Можливість визначення ИН абонента, який здійснює виклик може бути блокована за допомогою служби обмеження ИН абонента, який здійснює виклик, що призначається абонентом, що викликається.

Служба ИН абонента, що викликається, надає абоненту, який здійснює виклик, можливість одержання додаткових відомостей про точну адресу абонента, що викликається. Можливість визначення номера абонента, якому надсилається виклик, може бути блокована службою обмеження ИН викликуваного абонента, що призначається викликуваним абонентом.

**Повідомлення про виклик.** Надає абоненту, який здійснює виклик, можливість інформувати іншого абонента про свій виклик і залишити йому свій номер для здійснення зворотного з'єднання.

**Зміна маршруту проходження виклику.** У стандарті визначені такі 4 допоміжні служби переадресації: безумовної переадресації виклику; при зайнятості абонента; за відсутності відповіді від абонента; під час знаходження абонента поза зоною зв'язку.

Всі служби переадресації дозволяють МА перенаправляти вступні виклики (всі або від певної групи абонентів) до іншого користувача мережі (за іншим но-

мером). Переадресація може виконуватись як за будь-якої ситуації (1 служба), так і залежно від певних умов (2...4 служби). Активізація даних служб не забороняє абонентів, що викликається, самому ініціювати виклики.

**Виклик з використанням списку абонентів.** Дозволяє користувачеві визначити список номерів, які можуть бути викликані послідовно. Цей список може містити в собі індивідуальні або групові номери. При ініціалізації процедури виклику за списком виклик направляється до першого абонента в списку. Якщо виклик проходить, виконується з'єднання з ним і процедура припиняється. У випадку зайнятості першого абонента або його неприступності виклик перенаправляється другому абоненту в списку і т.д. доти, поки не будуть встановлені з'єднання або не закінчиться список. По закінченні списку процес пошуку не відновлюється. У службі зберігається пріоритетність викликів. Якщо виклик за списком направляється групі абонентів, зайнятий веденням переговорів, то абонент, який здійснює виклик, може бути приєднаний до поточного ГС.

**Адресація з використанням коротких номерів.** Забезпечує користувачам мереж стандарту GPRS можливість здійснювати виклик шляхом передачі скороченого номера замість повного, здійснюваною інфраструктурою. При цьому користувачі не мають можливості змінювати короткі номери, тобто призначення цього номера є функцією оператора мережі.

**Очікування виклику.** Забезпечує сповіщення користувача, що веде переговори, про надходження іншого виклику. Визначається і відображається на індикаторі тип виклику та ідентифікаційний номер абонента, який здійснює виклик. Викликуваний абонент може або відповісти, або ігнорувати виклик. Кількість викликів, що очікують, не може перевищувати 1.

**Утримання виклику.** Дозволяє користувачеві перервати поточне з'єднання, підключитися до виклику, що очікує, а потім повторно встановити перерване з'єднання. Служба призначається тільки за наявності в АС індикації режиму утримання виклику.

**Завершення виклику для зайнятого абонента.** Дозволяє користувачеві автоматично завершити виклик у випадку зайнятості абонента на момент початкової спроби встановлення з'єднання. При зайнятості абонента та отриманні запиту на автоматичне завершення виклику інфраструктура мережі ставить даний виклик у чергу, аналізує стан абонента, що викликається, а після припинення його з'єднання направляє йому затриманий виклик.

**Передача управління груповим викликом.** Визначається як дозвіл на відключення з'єднання. У будь-який час ініціатор ГС (абонент, що викликає) має можливість відключитися від з'єднання і передати функцію управління ним іншому абоненту в межах групи. Після цього даний абонент стає контролером групи і одержує право на відключення ГС.

**Підключення виклику.** Можливе включення режиму, при якому один користувач, взаємодіючий з іншим, може зробити учасником виклику третього абонен-

та. При цьому місцезнаходження абонента, що підключає до з'єднання, не обмежується межами тих зон, у яких перебувають абоненти, що ведуть переговори. Можлива кількість абонентів, що підключають протягом з'єднання, визначається оператором мережі.

**Обмеження встановлення виклику.** Дозволяє користувачеві блокувати певні категорії вхідних або вихідних викликів. При блокуванні вхідних викликів абоненту, який здійснює виклик, передається повідомлення про накладені на даний виклик обмеження.

**Збереження групового з'єднання при пріоритетному виклику.** Надає можливість збереження ГС при надходженні пріоритетного виклику до одного з членів групи. Для індивідуального з'єднання надходження пріоритетного виклику автоматично перериває сеанс зв'язку. У випадку ГС і за наявності доступних ресурсів мережі, пріоритетний виклик не припиняє сеанс зв'язку в цілому, а тільки відключає абонента, що викликається, від ГС. Якщо абонент, що викликається, є ініціатором (контролером) ГС, його функції щодо завершення сеансу зв'язку передаються іншому абоненту.

**Підключення до з'єднання протягом сеансу зв'язку.** За допомогою служби абонент має можливість приєднатися до ГС після моменту початкового встановлення зв'язку, у процесі ведення переговорів у групі. У випадку ГВ із підтвердженням абоненту, який здійснює виклик, надається інформація про номер нового абонента та час його приєднання.

**Інформація про оплату.** Надає користувачеві відомості про вартість розмови на початку, протягом або по закінченні розмови.

Більшість додаткових послуг, забезпечуваних допоміжними службами, доступні користувачам мереж стандарту TETRA в усіх режимах передачі мовної інформації, проте деякі з них мають обмеження щодо використання у певних режимах. Доступність використання допоміжних служб наведена в табл. 3.1.

## **7.11 Забезпечення інформаційної безпеки в системах TETRA**

Захист інформації – найважливіший аспект побудови системи TETRA, оскільки однією з основних груп користувачів є служби суспільної безпеки, для яких високий рівень захисту – обов'язкова вимога. До стандарту увійшли тільки добре перевірені методи захисту, передусім із систем GSM і DECT. Це механізми аутентифікації мобільного терміналу, забезпечення конфіденційності радіоканалу (GSM), а також взаємна аутентифікація терміналу з мережею і функції управління ключами кодування (DECT).

Один з основних елементів системи управління захистом – ключові послідовності (ключі). Вони застосовуються під час процедур аутентифікації та шифрування інформації.

Аутентифікаційний ключ використовується для взаємного впізнання мобільного терміналу і базової станції. Застосовуються три види таких ключів:

- користувальницький аутентифікаційний ключ (UAK) довжиною 128 біт, збережений у пам'яті мобільної станції або Smart-карти;
- аутентифікаційний код, що вводиться користувачем вручну;
- комбінація UAK та ідентифікаційного номера (персонального PIN - коду).

Під час передачі повідомлень захистом від несанкціонованого прослуховування є шифрування. Шифрувальні ключі можна формувати, розподіляти, вибирати і скасовувати при встановленні зв'язку між абонентами. Використовують чотири види шифрувальних ключів:

- виведені ключі застосовуються для двоточкового зв'язку і генеруються під час процедури аутентифікації;
- статичні ключі являють собою набір фіксованих кодових послідовностей (до 32), які можуть використовуватися без попередньої аутентифікації;
- загальний ключ використовується для шифрування при передачі групових викликів, формується з використанням виведеного ключа для кожної мобільної станції, діє у чітко визначеній зоні і періодично змінюється;
- груповий ключ, пов'язаний з певною групою користувачів, генерується системою і передається мобільним станціям заданої групи. Він застосовується для шифрування викликів групи як у початковому вигляді, так і після модифікації за допомогою загального ключа.

## **Контрольні запитання та завдання**

1. Дайте загальну характеристику аналогових транкінгових систем зв'язку.
2. Назвіть загальні принципи побудови транкінгових систем.
3. Наведіть класифікацію транкінгових систем.
4. Назвіть і поясніть методи організації зв'язку у транкінгових системах.
5. Назвіть основні служби, що реалізовані у транкінгових системах.
6. Дайте загальну характеристику транкінгової системи зв'язку TETRA.
7. Вкажіть основні режими роботи системи TETRA.
8. Наведіть архітектуру мережі стандарту TETRA.
9. Що являє собою структура радіоінтерфейсу системи TETRA?
10. Які послуги, що надаються системою TETRA, ви знаєте?
11. Як здійснюється забезпечення інформаційної безпеки у системах TETRA?

## 8 СИСТЕМИ ПЕРСОНАЛЬНОГО РАДІОВИКЛИКУ

### 8.1 Принципи побудови систем персонального радіовиклику

Персональний радіовиклик (пейджинг) – послуга електрозв'язку, що забезпечує односторонню бездротову передачу інформації в межах зони, що обслуговується. В основі роботи пейджингової системи лежить положення про те, що найчастіше немає необхідності організувати двосторонній зв'язок, а достатньо передати тільки стислу інформацію або виклик. Це завдання вирішується шляхом використання радіопередавача за наявності у кожного абонента невеликого приймача, названого пейджером.

На самому початку свого розвитку СПРВ забезпечувало передачу на пейджер сигналу виклику, після одержання якого абонент має подзвонити по заздалегідь відомому номеру телефону. Схема, що пояснює принцип роботи найпростішої СПРВ, наведена на рис. 8.1.

За необхідності передати викличний сигнал на пейджер, абонент ТМЗК телефонує на пейджинговий центр через міську АТС. Оператор центру приймає інформацію про номер пейджера, на який необхідно передати сигнал виклику. За допомогою клавіатури пристрою перетворення сигналів оператор набирає номер пейджера, що викликається.

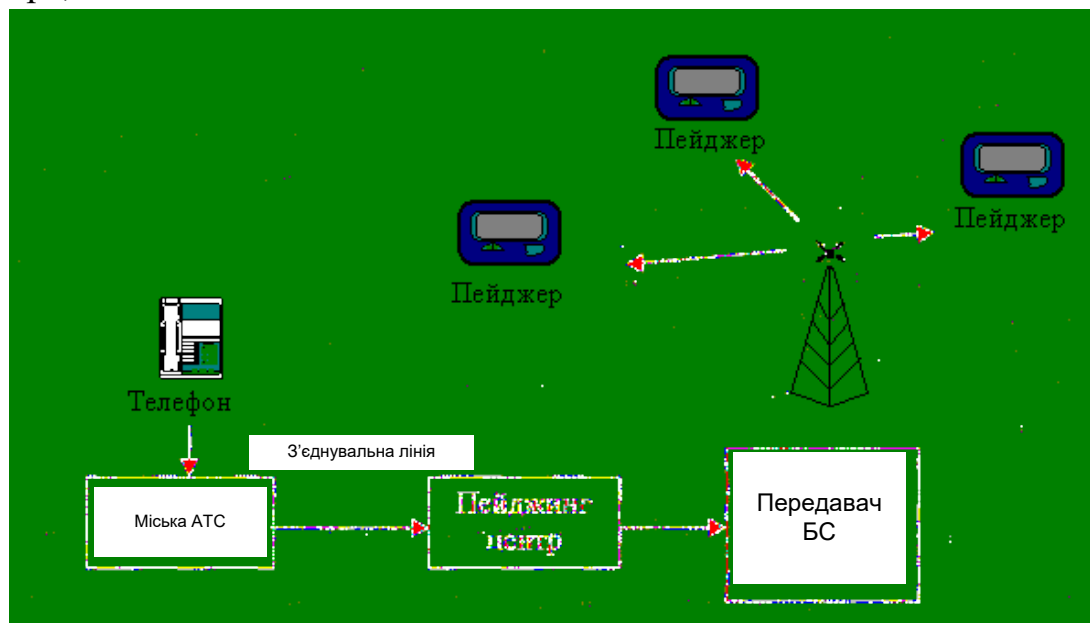


Рисунок 8.1 – Схема найпростішої СПРВ

Після відповідних перетворень це повідомлення (номер пейджера) у вигляді електричного сигналу, що модулює, надходить на передавач базової станції (базової радіостанції – БС). Антена БС випромінює сформований ВЧ-сигнал, який і



приймається пейджером. Згодом з'явилася можливість поряд із сигналами виклику передавати цифрові або алфавітно-цифрові повідомлення. Останнім часом з'явилася можливість приймати на пейджер мовні повідомлення, відтворені динаміком пейджера. Крім того, у знову розроблюваних СПРВ може бути організований контроль за фактом і правильність доставки повідомлення на пейджер. Звісно, для забезпечення такого контролю необхідний вже дуплексний зв'язок між БС і пейджером. У цей час пейджер за своїми можливостями і за своєю популярністю мало поступається мобільному телефону. Застосування у пейджингових системах зв'язку кодування та ущільнення переданих сигналів дозволяє використовувати один радіоканал для забезпечення декількох тисяч абонентів. Крім того, малі розміри й вага пейджера, доступні ціни, порівняно з цінами мобільних і транкінгових систем, роблять пейджинговий зв'язок все більш привабливим.

За своїм призначенням СПРВ можна поділити на відомчі і загального користування.

Відомчі СПРВ забезпечують передачу повідомлень на обмеженій території або у локальних зонах в інтересах окремих груп користувачів. Як правило, передача повідомлень у таких СПРВ здійснюється з пульта управління диспетчерами без взаємодії з телефонною мережею загального користування (ТМЗК). Відомчі (локальні) пейджингові мережі побудовані за радіальним принципом і використовуються в рамках підприємства для забезпечення оперативного зв'язку керівництва зі співробітниками. Основними особливостями таких мереж є обмежена кількість абонентів і порівняно невеликий радіус дії (до 5 км). Типові області застосування таких мереж: великі промислові підприємства, аеропорти, вокзали, лікарні тощо. Варіант відомчої пейджингової мережі наведено на рис. 8.2.

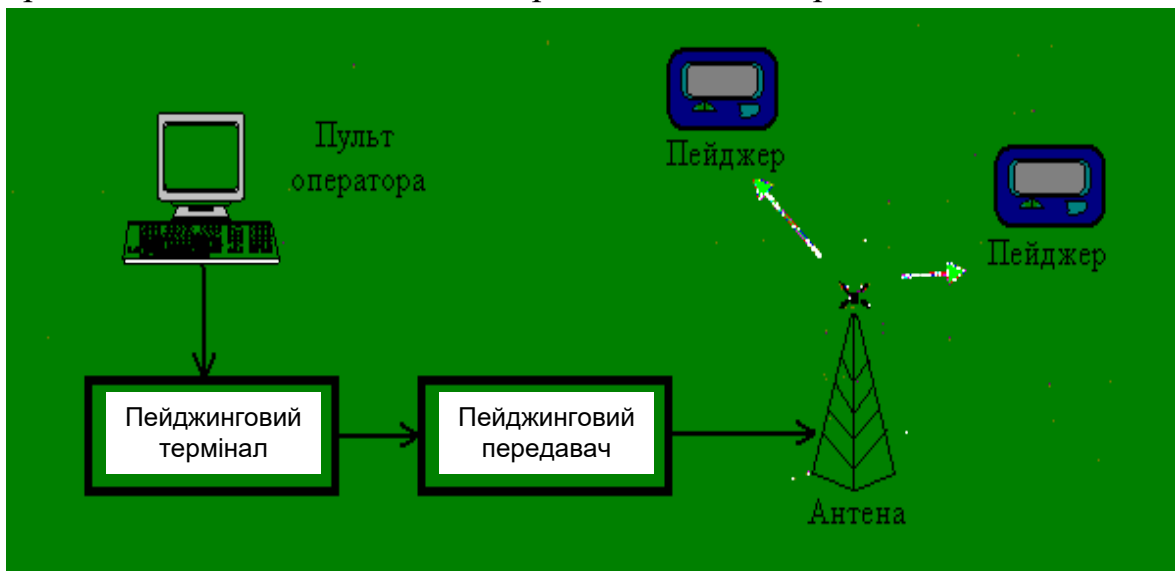


Рисунок 8.2 – Відомча мережа СПРВ

Одним з основних пристроїв цієї системи є пейджинговий термінал. Він перетворює передані повідомлення у спеціальні сигнали та керує малопотужним (до 5 Вт) передавачем. Іноді термінал і передавачі об'єднані в одному корпусі. У найпростіших терміналах повідомлення, які необхідно передати, вводяться оператором за допомогою клавіатури. У більш сучасних системах до терміналу підключається персональний комп'ютер (ПК).

Під системою персонального радіовиклику загального користування (СПРВ-ЗК) розуміють сукупність технічних засобів, через які за допомогою ТМЗК відбувається передача в радіоканал повідомлень обмеженого обсягу.

## 8.2 Склад і призначення основних засобів СПРВ-ЗК

До складу сучасних СПРВ-ЗК (рис. 8.3) входять засоби збору повідомлень від відправника, засоби обробки повідомлень, засоби передачі повідомлень на пейджер і засоби сервісних підсистем.

Повідомлення у СПРВ можуть надходити з міського телефону, ПК із модемом, ПК і радіопередаючого пристрою, зі спеціалізованих пристроїв. Повідомлення можуть надходити каналами ТМЗК, радіоканалами і каналами розподільних мереж.

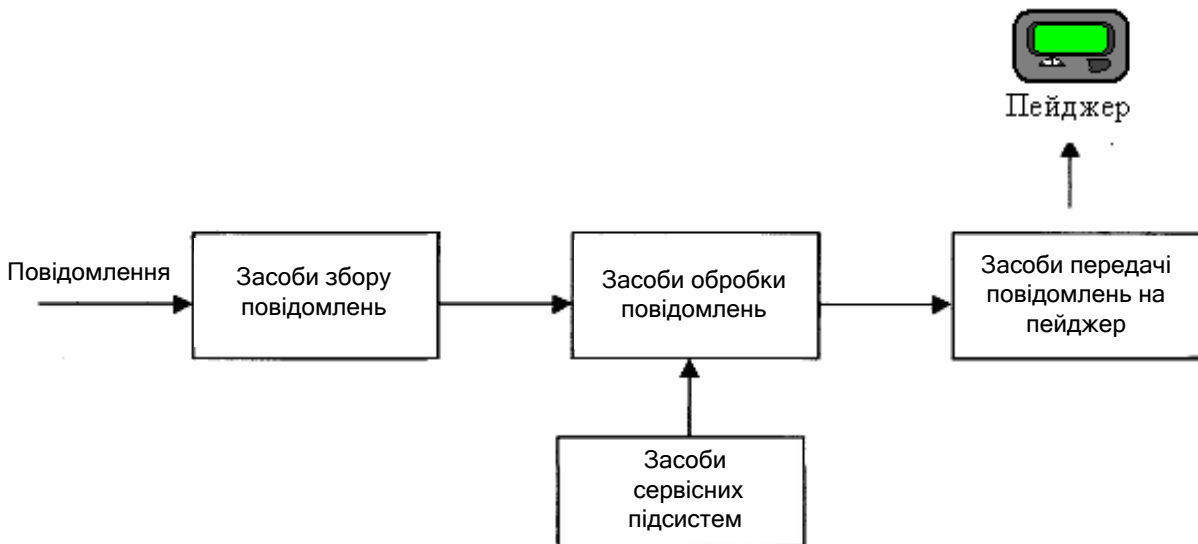


Рисунок 8.3 – Склад засобів СПРВ-ЗК

Найчастіше до пейджинг-центру надходять повідомлення від відправників за телефоном. Абонент-відправник телефонує, називає оператору пейджинг-центру номер абонента-одержувача і диктує повідомлення. Далі повідомлення об-

робляється і передається в ефір. Як приклад на рис. 8.4 наведено варіант схеми міської пейджингової мережі, на якій зображені засоби СПРВ.

Всі повідомлення, які отримані від відправників за телефоном, радіотелефоном або із ПК через модем надходять на пульти операторів пейджингової мережі (пейджинг-центру). Пульти операторів обладнані навушниками, мікрофонами та органами управління (регулятор гучності, клавіші "Відповідь на дзвінок" і "Лінія зайнята").

Іноді виникає необхідність у створенні локальної мережі віддалених робочих місць операторів. У цьому випадку ця мережа (на рис. 8.4 не показана) з'єднується з основною системою по виділеному каналу зв'язку ТМЗК з використанням модема, або по каналах СПД. Ця мережа будується на основі декількох персональних комп'ютерів із працюючими на них операторами та програмним забезпеченням пейджингової системи. Персональні комп'ютери з'єднані в локальну мережу, що підключена до пейджингового сервера. Пейджинговим сервером називають спільно працюючі ПК і пейджинговий термінал.

Основним пристроєм кожної пейджингової системи є пейджинговий термінал. Він отримує повідомлення, передані абонентам, від системи збору інформації, формує сигнал, що модулює, на передавач відповідно до конкретного пейджинговим протоколом і керує пейджинговим передавачем або їхньою системою по каналах зв'язку.

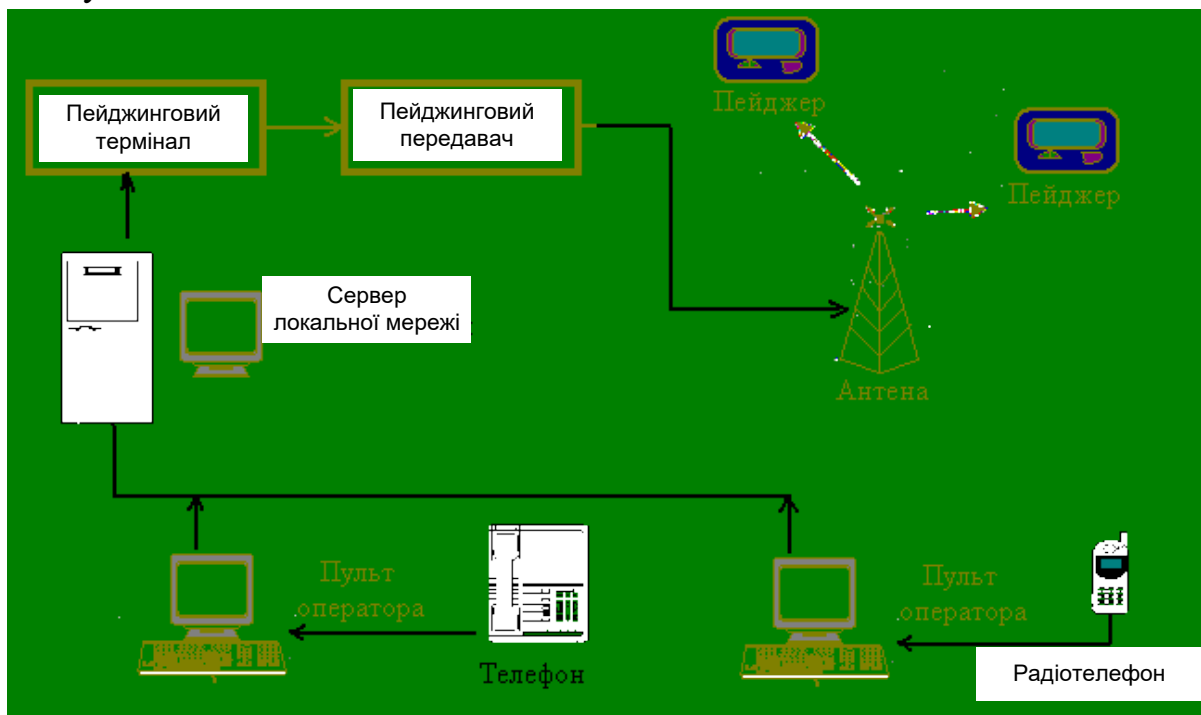


Рисунок 8.4 – Міська пейджингова мережа

У сучасних СПРВ передача здійснюється блоками (кадрами), структура і розмір яких відповідають прийнятому стандарту СПРВ. Формування блоків здійснює пейджинговий термінал. У складі переданих кадрів передбачена передача послідовностей для циклової і тактової синхронізації, адреси абонентів, повідомлення абонентам, надлишкові біти для підвищення правильності передачі інформації.

Пейджинг-термінал може бути виконаний у вигляді автономного спеціалізованого пристрою, спеціалізованої плати, вмонтованої в персональний комп'ютер, або у вигляді спеціалізованого програмного забезпечення, що функціонує на стандартному персональному комп'ютері.

У пейджинг-терміналі можуть використовуватись різні інтерфейси для управління зовнішнім передавачем і трансляції на нього сформованих даних. Отримавши від терміналу сигнали управління і сигнал, що модулює, передавач передає повідомлення на робочій частоті.

Для передачі повідомлення по радіоканалах передавальні (базові) станції СПРВ можуть використовувати метровий і дециметровий діапазони (від десятків до сотень МГц). Конкретні значення номіналів частот залежать від умов використання СПРВ, від виду переданих повідомлень (мовні, дані тощо). Оскільки радіохвилі метрового діапазону загасають меншою мірою, ніж дециметрового діапазону, то часто перевагу віддають метровому діапазону. Найпоширенішим є діапазон 160 МГц. Для зв'язку в міських умовах переважніше дециметровий діапазон (більша проникність усередину приміщень і транспортних засобів). Тому в більшості СПРВ використовується діапазон частот 450 і 900 МГц.

У СПРВ застосовуються частотне (ЧР) і частотно-часовий (ЧР/ЧР) поділ каналів. Ширина смуги частотного каналу в більшості СПРВ дорівнює 25 кГц. У деяких з них СПРВ – 50 кГц.

Передача повідомлень на пейджер здійснюється в цифровому вигляді ("0" і "1") з використанням частотної модуляції.

### **8.3 Однозонові і багатозонові СПРВ**

Важливою характеристикою СПРВ є кількість і розмір робочих зон. Відомчі і міські СПРВ найчастіше однозонові. Для передачі повідомлень може використовуватися один передавач (БС). Радіус зони обслуговування визначається, в основному, висотою установки передавальної антени. У невеликих СПРВ потужність передавача 2...5 Вт, радіус зони обслуговування 5...10 км. Кількість абонентів, що обслуговують – до 1000. Основна відмінність міських СПРВ від відомчих – більший радіус дії (десятки кілометрів) і більша кількість абонентів, що обслуговують, (декілька тисяч). Вихідна потужність передавача БС становить 150...300 Вт, антена з круговою діаграмою спрямованості встановлюється на щоглах або на високих будовах.

При побудові більших систем для обслуговування абонентів у масштабах регіону і країни в цілому використовується стільниковий принцип побудови багатозонової мережі. При цьому виникають проблеми, пов'язані із взаємним впливом БС, що працюють на однакових частотах. Більші системи відрізняються від попередніх не тільки розмірами території обслуговування, кількістю зон і кількістю абонентів, що обслуговують, (десятки тисяч), але й кількістю та якістю послуг (автоматичний прийом повідомлень з телефону, з персонального комп'ютера, забезпечення роумінгу, передача повідомлень про одержання повідомлень тощо).

#### 8.4 Основні стандарти СПРВ

У 1969 р. європейська конференція пошти і зв'язку провела стандартизацію СПРВ, скоординувавши діапазон частот і структуру використовуваних кодових посилянь, формування яких здійснювалося тоновими сигналами. Ця система одержала назву ЄВРОСИГНАЛ. Згодом виникла необхідність у створенні більш сучасної системи стандартизації верб 1978 р. вона була створена за назвою РОССА. Ця система забезпечувала передачу літерно-цифрових повідомлень зі швидкістю 512 Бод. Пізніше її величина була доведена до 1200 Біт/с і 2400 Біт/с. У цей час більшість СПРВ використовує цей стандарт.

Зростаючі вимоги до СПРВ, необхідність збільшення швидкості передачі, доцільність об'єднання національних мереж СПРВ у транснаціональні призвели до створення в 1992 р. загальноєвропейського стандарту ЕКМЕ.

Основні переваги цього стандарту:

- загальна мережа для всіх європейських країн і загальноєвропейський роумінг;
- загальний радіоінтерфейс, що забезпечує високу ємність мережі під час передачі різних видів повідомлень, включаючи текстові, у вузькій смузі частот;
- загальна специфікація на приймач персонального виклику.

Основною перевагою цього протоколу є висока швидкість передачі даних – 1600, 3200 і 6400 Біт/с, що дозволило забезпечити високу пропускну здатність СПРВ (50-80 тис. абонентів порівняно з 15-20 тис. абонентів у СПРВ стандарту РОССА при однозоновій побудові).

У цей час існує декілька стандартів СПРВ. Перелік основних з них і їхніх характеристик наведені в табл. 8.1.

Таблиця 8.1– Характеристики основних стандартів пейджингового зв'язку

Найменування стандарту	Використовувані діапазони частот, МГц	Швидкість передачі, Бод	Ширина смуги частотного каналу, кГц
POCSAG	будь-які	512, 1200	25

	пейджингові	2400	
ERMES	169,425... 169,8	6250	25
ELEX	будь-які пейджингові	1600, 3200 6400	25
ReFLEX25	929... 931	1600	25 або 50
-передача на пейджер	940... 941	3200	
-прийом з пейджерів	901... 902	6400	
ReFLEX0	930... 931	до 25600	50
-передача на пейджер	940... 942		
-прийом з пейджерів	901... 902		

Як видно з табл. 9.12, у деяких СПРВ останніх модифікацій організуються двосторонні зв'язки між БС і пейджером. Для цього пейджери обладнуються малопотужними передавачами, що дозволяє передавати сигнал повідомлення про одержання повідомлення та правильності його прийому.

Незважаючи на появу таких пейджерів, більшість з них здатні працювати тільки на прийом повідомлень від БС.

## 8.5 Стисла характеристика пейджерів

Пейджер являє собою високочутливий малогабаритний приймач. Вбудована в пейджер антена забезпечує прийом сигналів з усіх напрямків.

Нині використовуються десятки типів пейджерів. За способом прийому і відображення пейджери поділяються на тонові, цифрові, алфавітно-цифрові й голосові.

Тонові пейджери повідомляють власнику пейджера тільки сам факт виклику – звуковим сигналом або вібрацією. Кількість різних тонових сигналів у сучасних пейджерах – від одного до чотирьох. Кожен з цих сигналів визначає зміст виклику (наприклад, подзвони додому, подзвони на роботу тощо). Більшість пейджерів однотонові.

Цифрові та алфавітно-цифрові пейджери сповіщають власника пейджера про отримання виклику звуковим сигналом, вібрацією або світловою індикацією, а самі повідомлення виводять на рідкокристалічний екран. Цифрові пейджери можуть приймати та виводити на екран повідомлення, що складаються тільки з цифр і декількох допоміжних символів (наприклад, пробіл). Повідомлення, прийняті алфавітно-цифровими пейджерами, можуть містити, крім цифр, текстову інформацію алфавіту тієї або іншої мови залежно від моделі пейджера.

Голосові пейджери приймають і відтворюють прийняті закодовані на передачі мовні повідомлення.

Крім своєї основної функції з прийому та відображення повідомлень, пейджери можуть виконувати ряд додаткових функцій (вбудовані годинники, будильник, записна книжка, до якої записуються і зберігаються декілька прийнятих повідомлень). Різні типи пейджерів відрізняються один від одного розмірами, обсягом пам'яті, кількістю адрес і таблицями кодування.

Розвиток СПРВ йде шляхом широкого застосування цифрових способів обробки й передачі викликів (адрес) і повідомлень у літерно-цифровому вигляді, підвищення пропускну здатності та завадостійкості цих систем, мініатюризації електроенергії приймачами персонального радіовиклику.

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Вкажіть загальні принципи побудови систем персонального радіовиклику.
2. Які основні стандарти системи персонального радіо виклику?
3. Наведіть склад і призначення основних засобів системи персонального радіовиклику загального користування (СПРВ-ЗК).
4. Однозонові та багатозонові системи персонального радіовиклику.
5. Дайте стисло характеристику пейджерів.

## ГЛОСАРІЙ:

**Автокореляційна функція** – ступінь подоби сигналу зі своєю копією, що зміщена на інтервалі часу.

**Аутентифікація** – процедура перевірки достовірності ідентифікатора пред'явленого користувачем інформаційної взаємодії.

**Базова станція (BTS)** – станція, що забезпечує прийом і передачу радіосигналів, управління потужністю випромінювання мобільних станцій.

**Багатостанційний доступ з кодовим розділенням (CDMA)** - технологія доступу користувачів до ресурсів мережі, що заснована на застосуванні сигналів сформованих на базі псевдовипадкових послідовностей.

**Багатопроміневість** – розповсюдження радіохвиль між передаючим і приймальним пристроями по декількох траєкторіях.

**Відстань повторного використання частот** - відстань між центрами двох видалених комірок, починаючи з якої допускається повторне використання частот

**Взаємно кореляційна функція** – ступінь подоби двох сигналів.

**Гауссова маніпуляція з мінімальним фазовим зрушенням (GMSK)** - вид маніпуляції в якому імпульси вхідної послідовності згладжуються за допомогою фільтру нижніх частот і приводяться до форми гауссової кривої

**Естафетна передача** – перемикання мобільної станції з одного робочого (частотного) каналу на інший при її перетинанні з однією комірки в іншу.

**Ідентифікація** – процедура тотожності невідомого об'єкту відомому на підставі збігу ознак (ідентифікаторів).

**Канал трафіку** – канал зв'язку призначений для передачі інформації між рухомою і базовою станцією.

**Канал доступу** – забезпечує зв'язок мобільної станції з базовою, коли мобільна станція ще не використовує канал трафіку.

**Кластер розмірності  $N$**  – група з  $N$  комірок, у яких є базові станції, що використовують весь виділений системі мобільного зв'язку діапазон частот і працюють на різних частотних каналах.

**Коди Баркера** – послідовності біт з малим значенням аперіодичної автокореляційної функції здатні забезпечити синхронізацію переданих і прийнятих сигналів за досить короткий проміжок часу, зазвичай дорівнює довжині самої послідовності.

**Критерії ефективності системи мобільного зв'язку** – показники якості функціонування системи (ймовірність відмови в обслуговуванні абонента, ймовірність помилки передачі інформації, частотна ефективність і ін.)

**Ортогональні коди Уолша** – сигнали взаємно кореляційна функція яких дорівнює нулю на всьому відрізьку визначення зсуву на інтервалі часу .



**Перемеження** - зміна позицій блоків інформації щодо один до одного, яке дозволяє рознести символи, що стоять поряд і які належать одному і тому ж повідомленню.

**Псевдовипадкова послідовність** – послідовність біт, що була сформована за деяким певним математичним правилом, але має всі властивості випадкової послідовності

**Роумінг** - послуга надання зв'язку при переміщенні абонента в зону обслуговування іншого оператора

**Система мобільного зв'язку** – сукупність технічних засобів (радіоустаткування, комутаційних пристроїв, сполучних ліній і систем передачі), за допомогою яких забезпечується зв'язок рухомих абонентів, як між собою, так і з абонентами інших мереж.

**Територіальне планування** – розподіл території на зони обслуговування з урахуванням повторного використання частотних каналів.

**Ширококутові сигнали** – сигнали, у яких добуток ширини спектра сигналу помножений на його тривалість набагато більше одиниці.

**Управління потужністю** - процес, що підтримує рівень потужності мобільної станції, який забезпечує характеристики якості обслуговування.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Тамаркин В. М., Громов В.Б. и др. Транкинговые системы радиосвязи. – М.: Эко-Трендз, 1997.
2. Громаков Ю. А. Стандарты системы подвижной радиосвязи / Ю.А. Громаков. – М.: Эко-Трендз, 1998. – 239 с.
3. Ратынский М.В. Основы сотовой связи/М.В. Ратынский.– М.:Радио и связь, 2000.– 248 с.
4. Андрианов В.И., Соколов А.В. Средства мобильной связи / В.И. Андрианов, А.В. Соколов. – СПб.: ВНУ Санкт-Петербург, 1998. –256 с.
5. Туляков, Ю.М. Системы персонального радиовызова / Ю.М. Туляков. – М.: Радио и связь, 1988.
6. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ/ Под ред. У.К. Джейкса. – М.:Связь,1979. – 520с.
7. Столлингс, В. Беспроводные линии связи и сети: пер. с англ.– М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.
8. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. – М.:Мир, 1976.
9. Системы мобильной связи: Учеб. пособие для вузов. / В.П. Ипатов и др.; под ред. В.П. Ипатова. – М.:Горячая линия, Телеком, 2003. – 272 с.
10. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ.- М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
11. Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Раскаев Ю.Н. Сети и системы.–М.: Эко-Трендз, 2005. – 384с.
- 12.Карташевский В.Г.,Семенов С.Н., Фирсова Т.В. Сети подвижной связи. – М.: Эко-трендз, 2001. – 299 с.
13. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения. – М: Связь и бизнес. 2000 – 208 с.
- 14.Маковеева М.М. и др. Системы связи с подвижными объектами. – М.: Радио и связь, 2002. – 257с.
15. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: Пер. с англ. /Под ред. В.И. Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.

Навчальне видання

Конспект лекцій

з дисципліни «Системи зв'язку з рухомими об'єктами»

для студентів усіх форм навчання напряму

6.050903-Телекомунікації

Упорядники:	Плотніков Микола Дмитрович Москалець Микола Вадимович
Відповідальний випусковий	В. В. Поповський
Редактор	О. Г. Троценко
Комп'ютерна верстка	

План 2010 (друге півріччя), поз.41

Підп. до друку 25.06.10      Формат 60×84 1/16      Спосіб друку –ризोगрафія

Умов. друк. арк.      Облік-вид. арк.      Тираж 75

Зам. 1-41      Ціна договірна

---

ХНУРЕ, 61166, Харків, просп. Леніна, 14

---

Віддруковано в навчально-науковому видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ,  
61166, Харків, просп. Леніна, 14