

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ,  
ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ  
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТА РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ**

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Роман ОДАРЧЕНКО  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА  
РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР**

**Тема:** «Система мобільного зв'язку»

**Виконавець:** \_\_\_\_\_ Андрій МОЛДОВАН  
(підпис)

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Олексій ЗУЄВ  
(підпис)

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ Денис БАХТІЯРОВ  
(підпис)

**Київ 2023**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій  
Кафедра телекомунікаційних та радіоелектронних систем  
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
Освітньо-професійна програма «Телекомунікаційні системи та мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

Роман ОДАРЧЕНКО  
“ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ на виконання кваліфікаційної роботи

Молдована Андрія Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Система мобільного зв'язку»  
затверджена наказом ректора від «29» березня 2023 р. № 421/ст
2. Термін виконання роботи: з 22.05.2023 р. по 25.06.2023 р.
3. Вихідні дані до роботи: функціональна та структурна схема мобільного радіозв'язку.
4. Зміст пояснювальної записки: вступ, аналіз та огляд систем мобільного радіозв'язку, цифрова стільникова система рухомого радіозв'язку стандарту GSM, базова станція GSM, обґрунтування та вибір функціональної та принципової схем приймального пристрою БС, висновки, список використаних джерел.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: структурна схема стільникової системи стандарту GSM, структурна схема базової станції стандарту GSM, принципова схема тракту прийому БС.

## 6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Розробити деталізований зміст розділів кваліфікаційної роботи	22.05.2023- 24.05.2023	Виконано
2	Вступ	25.05.2023	Виконано
3	Аналіз та огляд систем мобільного радіозв'язку	26.05.2023- 29.05.2023	Виконано
4	Цифрова стільникова система рухомого радіозв'язку стандарту GSM	30.05.2023- 07.06.2023	Виконано
5	Базова станція стандарту GSM. Обґрунтування та вибір функціональної та принципової схем приймального пристрою БС	08.06.2023- 14.06.2023	Виконано
6	Усунення недоліків та захист кваліфікаційної роботи	15.06.2023- 25.06.2023	Виконано

7. Дата видачі завдання: “19” травня 2023 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Олексій ЗУЄВ

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_  
(підпис випускника)

Андрій МОЛДОВАН

(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Система мобільного зв'язку» містить 67 сторінок, 16 рисунків, 3 таблиці, 32 використаних джерел.

Ключові слова: СМР - система мобільного радіозв'язку, БС – базова станція, підсилювач, приймальний пристрій базової станції.

Об'єкт дослідження - система мобільного радіозв'язку.

Предмет дослідження – базова станція, приймальний пристрій БС.

Мета кваліфікаційної роботи - аналіз мереж рухомого оперативного радіозв'язку та розробка приймача базової станції.

Метод дослідження – теоретичний, аналітичний.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати при вдосконаленні приймальних пристроїв БС.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	7
ВСТУП .....	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ.....	12
1.1. Системи рухомого зв'язку.....	12
1.2. Мережі транкінгового зв'язку.....	13
1.2.1. Наземний транкінговий радіозв'язок (TETRA).....	19
1.3. Цифрові системи стільникового зв'язку.....	22
1.3.1. Стільникові мережі GSM.....	22
1.3.2. Стільникові мережі стандарту D-AMPS.....	24
1.3.3. Стільникові мережі стандарту JDC.....	24
1.3.4. Стільникові мережі стандарту CDMA.....	25
1.4. Мережі супутникового зв'язку.....	28
РОЗДІЛ 2. ЦИФРОВА СТІЛЬНИКОВА СИСТЕМА РУХОМОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ GSM.....	34
2.1. Характеристики стандарту GSM.....	34
2.2. Структурна схема стільникової системи стандарту GSM.....	36
2.3. Мережеві і радіо інтерфейси GSM.....	43
2.3.1. Інтерфейси із зовнішніми мережами.....	43
2.3.2. Внутрішні GSM – інтерфейси.....	44
2.3.3. Інтерфейси між мережею GSM із зовнішнім устаткуванням.....	46
2.4. Структура служб у стандарті GSM.....	46
2.5. Обслуговування виклику в мережах стандарту GSM.....	52
РОЗДІЛ 3. БАЗОВА СТАНЦІЯ СТАНДАРТУ GSM.....	55
3.1. Загальні положення.....	55
3.2. Структурна схема базової станції стандарту GSM.....	56

РОЗДІЛ 4. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМ ПРИЙМАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ БС.....	61
4.1. Обґрунтування та вибір функціональної схеми приймача БС стандарту GSM...	61
4.2. Обґрунтування та вибір принципової схеми приймального тракту БС GSM.....	63
ВИСНОВКИ .....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	66

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

AUC - центр аутентифікації  
BS - базова станція  
BSC - контролер базових станцій  
BSS - підсистема базових станцій (BSC+TCE+BTS)  
BTS - базова прийомопередавальна станція  
CTM - стільникові телефонні мережі  
CDMA - доступ з кодовим розділенням каналів  
D-AMPS - цифрова вдосконалена мобільна служба  
DID - апаратура прямого набору номера  
DTX - система переривистої передачі мови  
EIR - реєстр ідентифікації устаткування  
FB - підстроювання частоти  
FCCH - канал установки частоти несучої  
FDMA - доступ із частотним поділом каналів  
G-MCC - підсистема управління зв'язку рухомих абонентів  
GMSC - міжмережева комутація рухомого зв'язку  
GMSK - гаусівська частотна маніпуляція з мінімальним частотним зрушенням  
GPS - система глобального позиціонування  
GSM - група експертів рухомого зв'язку  
HLR - домашній реєстр місцеположення  
IMEI - міжнародний ідентифікаційний номер устаткування рухомої станції  
IMSI - міжнародний ідентифікаційний номер рухомої станції  
ISDN - цифрова мережа з інтеграцією служб  
IWF - міжмережевий функціональний стик  
IGS - комутатор  
MS - мобільна станція  
MCC - станція керування

MSC - центр комутації рухомого зв'язку  
MSRN - роумінговий номер рухомої станції  
OMC - підсистема експлуатації і технічного обслуговування  
PDN - пакетна передача даних  
PIN - персональний номер абонента  
PSTN - телефонна мережа загального користування  
SC - сервіс центр  
SCCP - протокол систем сигналізації  
SFH - повільні стрибки по частоті  
SIM - стандартний модуль достовірності абонента  
SMS - передача коротких повідомлень  
TE - встаткування терміналу  
TCE – транскодер  
TDMA - доступ з часовим поділом каналів  
VLR - візитний реєстр місцеположення  
V-MSC - підсистема контролю руху абонентів  
AP - абонентські радіостанції  
ATC - автоматична телефонна станція  
БД - база банних  
ДЗ - двосторонній зв'язок  
ДП - диспетчерський пульта  
ЕОМ - електронна обчислювальна машина  
КА - космічний апарат  
КТ - канал трафіка  
МРЗ - мережа рухомого зв'язку  
МА - мобільний абонент  
МКП - мережа комутацій пакетів  
МІР - мережа персонального радіовиклику  
МПСЗ - мережа персонального супутникового зв'язку  
МСРЗ - мережа стільникового рухомого зв'язку



МТЗ - мережа транкінгового зв'язку  
МТС - міська телефонна станція  
МШП - малошумлячий підсилювач  
ОГ - орбітальна група  
ОЗ - однобічний зв'язок  
ПАХ - поверхнево акустичні хвилі  
ПД - передача даних  
ПК - пристрій керування  
ППЧ - підсилювач проміжної частоти  
ППР - програма проведення поточного ремонту  
ПСЗ - пейджингові системи зв'язку  
ПСТ - персональний супутниковий термінал  
РС - рухома станція  
РСЗ - радіотелефонна система зв'язку  
РТ - ретранслятор  
СДК - системи з децентралізованим керуванням  
СМРЗ - стільникова мережа рухомого радіозв'язку  
СР - супутник ретранслятор  
ССЗ - система супутникового зв'язку  
СТ - супутниковий термінал  
СЦК - системи з централізованим керуванням  
ТО - технічне обслуговування  
ТМЗВ - телефонна мережа загального використання  
ТСЕ - устаткуванням транскодування  
ТСЗ - транкінгова система зв'язку  
ТфЗВ - телефонний зв'язок загального використання  
ЦАП - цифро аналоговий перетворювач  
ЦКС - центр керування системою  
ШС - шлюзова станція  
ШШС - шумоподібний широкосмуговий сигнал

## ВСТУП

Мобільний зв'язок у сучасному світі відіграє важливу роль в інфраструктурі країни та є необхідним елементом повсякденного життя кожної людини, що має вирішальний вплив на функціонування суспільства. Тому велика увага приділяється розробці та вдосконаленню мобільних радіозв'язкових мереж.

В середині 40-х років XX століття дослідницький центр Bell Labs американської компанії AT&T запропонував ідею розбиття території, що обслуговується, на невеликі ділянки, які стали називатися чарунками, а система зв'язку – стільниковою (cell – комірка, стільник). Кожна чарунка повинна була обслуговуватися передавачем з обмеженим радіусом дії та фіксованою частотою. Це дозволило б без взаємних завад використовувати ту ж саму частоту повторно в іншій чарунці. Але минуло близько 30 років, перш ніж такий принцип організації зв'язку був реалізований на апаратному рівні.[1]

У грудні 1971 р. була вперше запропонована архітектура стільникового зв'язку в технічній доповіді компанії Bell System, яку представили у федеральну комісію зв'язку США. Ця архітектура передбачала побудову системи у вигляді сукупності осередків, що покривають обслуговувану територію.[19]

Одним із видів бездротового зв'язку з рухомими станціями на обширній території є мобільні стільникові мережі радіозв'язку (СМРЗ). Ці мережі дозволяють встановлювати двостороннє з'єднання з рухомими станціями, які швидко переміщуються по широкій території, охоплені базовими станціями.

Останні 20 років системи мобільного радіозв'язку зазнають в усьому світі бурхливого розвитку. Глобальною стратегією в цій галузі стали розробка та впровадження єдиних міжнародних стандартів та створення на їх основі міжнародних та глобальних мереж загального використання. Станом на початок 2023 року кількість абонентів мобільного зв'язку на планеті досягла відмітку 5,44 мільярдів користувачів. Природньо, що проникнення мобільного зв'язку дуже залежить від

регіону. Наприклад, у Африці цей показник складає всього 50%, а в Європі він вже перейшов за 157,6%.

В наш час існує достатньо велика кількість мобільних операторів, які надають свої послуги абонентам нашої країни. До операторів GSM належать: Київстар, Водафон, Лайф (lifecell), ТриМоб (3mob, Utel), до операторів CDMA належать: PEOPLEnet, Інтертелеком Україна.

На сьогодні телекомунікаційний ринок вважається одним з найбільш перспективних напрямків галузі зв'язку України, який швидко розвивається.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи обумовлена бурхливим розвитком мереж рухомого оперативного радіозв'язку та широким їх використанням на теренах нашої планети.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз мереж рухомого оперативного радіозв'язку та розробка приймача базової станції.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання.

1. Проаналізувати мережі рухомого оперативного радіозв'язку, основні аспекти їх функціонування та проблеми, які виникають при застосуванні послуг.
2. Ознайомитись з основними функціями, принципом роботи, будовою та загальною комплектацією базової станції стільникового зв'язку.
3. Розробити схему приймача БС.

**Об'єктом дослідження** – є система мобільного зв'язку.

**Предметом дослідження** – базова станція, приймальний пристрій БС.

**Методи досліджень** - теоретичний та аналітичний.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Полягає у можливості реалізації схеми, що відповідає розрахованим параметрам приймального пристрою БС та вдосконалення приймальних пристроїв БС.

**Апробація отриманих результатів.** Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях:

- Науково-практична конференція «Проблеми експлуатації та захисту інформаційно-комунікаційних систем», м. Київ, 2023 р.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ТА ОГЛЯД СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

### 1.1. Системи рухомого зв'язку

Зв'язок є однією з найдинамічніших галузей інфраструктури в сучасному суспільстві, що розвиваються. Цей швидкий розвиток зумовлений постійним збільшенням попиту на комунікаційні та інформаційні послуги, а також досягненнями в галузі науково-технічного прогресу в електроніці, волоконній оптиці та обчислювальній техніці. Значна увага приділяється розробці концепцій універсального особистого зв'язку, а також активно розвиваються мобільні мережі зв'язку (МРЗ).

В даний час у багатьох країнах широко впроваджується стільникова МРЗ, включаючи мережі персонального радіовиклику і супутникового зв'язку. Ці мережі призначені для передачі даних і забезпечення зв'язку між рухомими та стаціонарними об'єктами. Передача даних мобільним абонентам значно розширює їх можливості, оскільки вони можуть отримувати телексні повідомлення, факси, графічну інформацію та мати постійний доступ до Інтернету. Зростання обсягу інформації вимагає скорочення часу передачі та отримання даних. Тому наразі спостерігається стійкий ріст виробництва мобільних засобів зв'язку, таких як стільникові радіотелефони та супутникові користувацькі термінали.

Переваги МРЗ полягають у наступному: рухомий зв'язок дозволяє абонентові одержувати послуги зв'язку в будь-якому місці в межах зон дії наземних або супутникових мереж. Завдяки прогресу в технології виробництва засобів зв'язку створені малогабаритні універсальні абонентські термінали (АТ), які повністю замінюють персональні комп'ютери (ПК), що мають підключення до МРЗ всіх діючих стандартів.

Мобільні мережі зв'язку можна класифікувати наступним чином: стільникові мережі рухомого зв'язку (СМРЗ), транкінгові мережі зв'язку (ТМЗ) і мережі персонального супутникового (мобільного) зв'язку.

## 1.2. Мережі транкінгового зв'язку

Під терміном "транкінг" розуміється метод рівного доступу абонентів до виділених каналів з автоматичним їх розподілом між абонентами. Цей принцип використовується в телефонних мережах, звідкля в радіозв'язок і прийшло слово "trunk" (пучок, тобто пучок рівнодоступних каналів).[17]

Транкінгова система дозволяє абонентам здійснювати радіозв'язок між стаціонарними, мобільними і портативними радіотелефонами (комплектами) з можливістю виходу в телефонну мережу загального користування.[32]

Транкінгові системи можна поділити за такими параметрами:

- За способом передачі голосових повідомлень розділяють на аналогові, та цифрові. В аналогових системах мовні повідомлення передаються в аналоговому режимі (подібно до звичайного телефонного зв'язку), а службова інформація – у цифровому. У цифрових системах і мовна, і службова інформація передаються в цифровому вигляді.[17]

- За організацією доступу: виділені канали керування, розподілені канали, без каналу керування.

- За способом утримання: на весь сеанс переговорів, на час однієї передачі.

- За конфігурацією: однозонові, багатозонові. Однозонова система має однію БС. Радіус зони обхвату роботи на пряму залежить від висоти розміщення антени БС (прикладом є SmartTrunk).

У багатозонній системі використовується стільниковий принцип побудови, що є більш надійним для прийому сигналів та може територіально збільшуватись додаючи нові пристрої зв'язку.

- За протоколом існують відкриті та закриті системи транкінгового зв'язку.

Відкриті протоколи загальнодоступні та рекомендуються для застосування всіх галузей виробників.

Закриті використовуються у дуже вузькому кругу виробників, тому що устаткування значно дорожче.

- За кількістю обслуговуючих абонентів є 3 види: малі, середні, великі.

До малих систем відносять з обхватом до 300 абонентів(переважно однозонові системи), середні вже обслуговують близько 3000. Великі від 3000 і більше.

Один спосіб може бути реалізований тільки при використанні напівдуплексних радіостанцій (РС), у яких передавач включається тільки на час проголошення абонентом фраз розмови. У паузах між закінченням фраз одного абонента й початком відповідних фраз іншого передавачі РС виключені. Значна частина ТСЗ ефективно використовує такі паузи, звільняючи канал негайно після закінчення роботи передавача АР. Репліки тієї самої розмови можуть передаватися по різних каналах. Такий метод обслуговування, що передбачає втримання каналу тільки на час передачі, називається транкінгом передачі. Платою за високу ефективність даного методу служить зниження комфортності переговорів - у стані високого навантаження канал надається з деякою затримкою, що приведе до фрагментарності і роздробленості розмови.

Представлена загальна структурна схема однозонової ТСЗ на рисунку 1.1. Крім радіочастотного обладнання, такого як ретранслятори, пристрої об'єднання радіосигналів та антени, в склад БЦ входять також комутатор, пристрій керування (ПК) і інтерфейси для підключення до різних зовнішніх мереж.

Ретранслятор (РТ) є комплектом приймального та передавального обладнання, яке обслуговує одну пару нерухомих частот. До недавнього часу в більшості ТСЗ одна пара несучих частот відповідала одному каналу трафіку (КТ). Однак з появою стандартів, таких як TETRA і EDACS ProtoCALL, які передбачають тимчасове ущільнення, один РТ може обслуговувати два або чотири КТ.

Антени БС, як правило, мають кругову діаграму спрямованості. При розташуванні БС на краю зони застосовуються спрямовані антени. БС може розташовуватися як з єдиної приймально-передавальною антеною, так і з

роздільними антенами для прийому і передачі. У деяких випадках на одній щоглі може розміщатися кілька приймальних антен для боротьби із завмираннями, викликаними багатопроменевим поширенням радіохвиль.

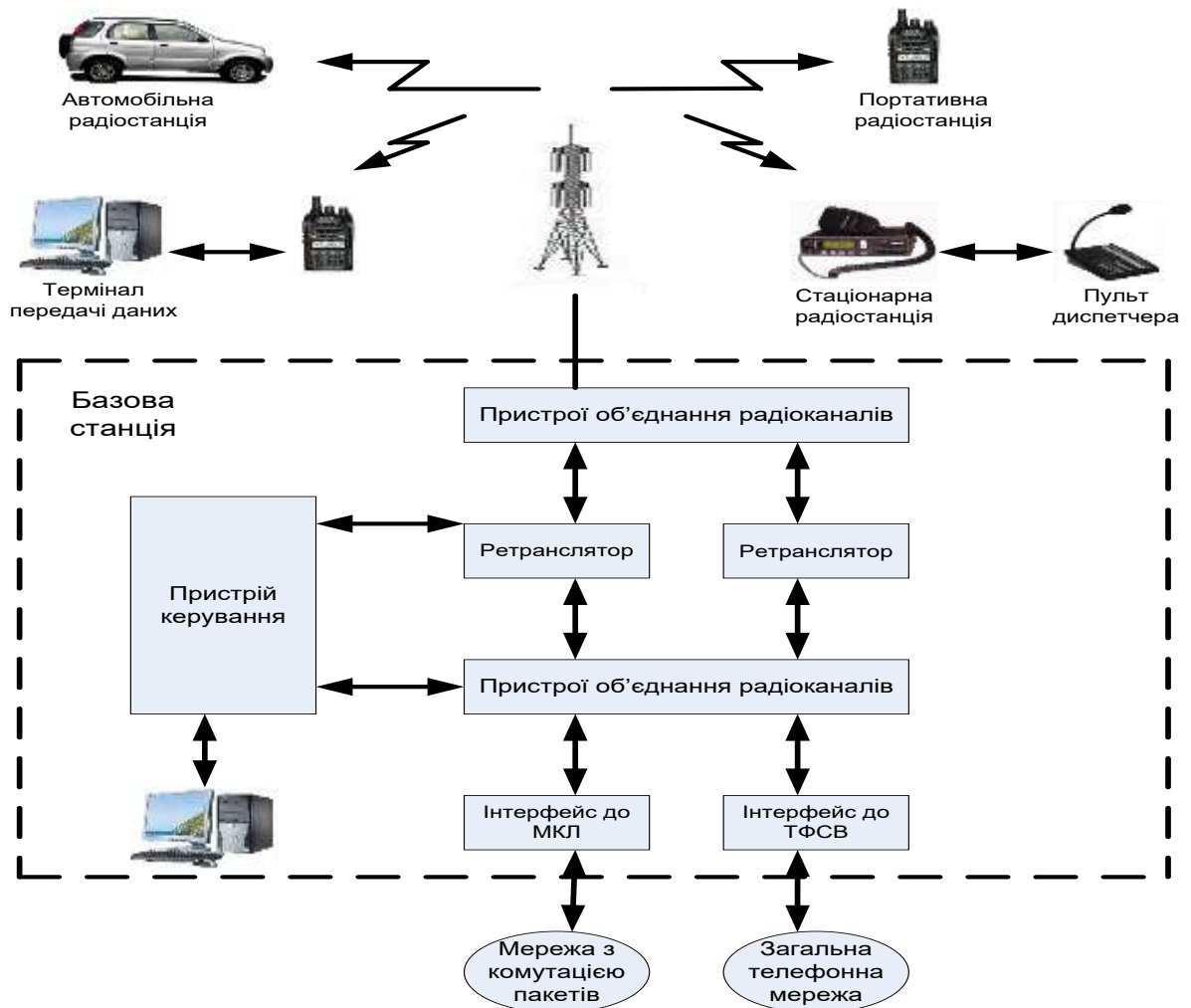


Рис. 1.1. Структурна схема однозонової тронкінгової системи

Пристрій об'єднання радіосигналів дозволяє використовувати одну і ту саму антену для одночасної роботи приймачів і передавачів на різних частотних каналах. Ретранслятори працюють тільки в дуплексному режимі, де частоти прийому і передачі відокремлені і можуть становити від 3 МГц до 45 МГц.

Комутатор в однозонової ТСЗ обслуговує весь її трафік, включаючи з'єднання мобільним абонентом (МА) із ТфЗВ і всі виклики, пов'язані із передачею даних (ПД).

Пристрій керування забезпечує взаємодію всіх вузлів БС. Він також обробляє виклики, здійснює автентифікацію викликаючих абонентів, веде черги викликів,

здійснює внесення записів у базі банних (БД) погодинної оплати. У деяких системах ПК регулює максимально припустиму тривалість з'єднання із телефонною мережею. Як правило, використовуються два варіанти регулювання: зменшення тривалості з'єднання у заздалегідь задані години найбільшого навантаження, або адаптивна зміна залежно від поточного навантаження.

Інтерфейс до ТфЗВ реалізується в ТСЗ різними способами, залежно від типу системи. У менш коштовних системах, наприклад, в SmarTrunk, підключення здійснюється за допомогою двохпровідної комутованої лінії. У більш сучасних ТСЗ, інтерфейс до ТфЗВ включає обладнання прямого набору номера DID (Direct Inward Dialing), що дозволяє здійснювати доступ до абонентів транкінгової мережі за допомогою стандартної нумерації автоматичної телефонної станції (АТС).

Одним із ключових викликів, пов'язаних з реєстрацією та використанням транкінгових систем в Україні, є їхнє інтегрування з телефонною системою фіксованого зв'язку (ТфЗВ). При спробі здійснити вихідний виклик з транкінгових абонентів у телефонну мережу виникає проблема, оскільки деякі транкінгові системи не здатні набирати номери у десятковому форматі через абонентські лінії в електромеханічних АТС. Це створює необхідність використання додаткового пристрою, який перетворює тональний набір на десятковий.

Вхідний зв'язок від абонентів ТфЗВ до радіоабонентів виявляється також проблематичним по ряду причин. Більшість транкінгових мереж сполучаються з телефонною мережею по двом провідним абонентським лініям або лініям типу E&M. У цьому випадку після набору номера ТфЗВ потрібен додатковий набір номера радіоабонента. Однак після повного набору номера абонентської лінії і замикання шлейфа керуючим пристроєм транкінгової системи телефонне з'єднання вважається встановленим, і подальший набір номера в імпульсному режимі ускладнений, а в деяких випадках неможливий. Застосовуваний у системі SmarTrunk 2 детектор не гарантує правильності імпульсного донабору, тому що якість надходження з абонентської лінії імпульсів-викликів залежить від її електричних характеристик, довжини і т.д.



Для виходу зі сформованої ситуації в лабораторії фірми IBM разом з фахівцями компанії ELTA-R був розроблений телефонний інтерфейс (ТІ) ELTA 200 для сполучення транкінгових систем зв'язку різних типів із ТфЗВ. Такий інтерфейс дозволяє сполучати транкінгові системи зв'язку і ТфЗВ по цифрових каналах (2,048 Мбіт/с), трьохдротовим сполучним лініям з декадним набором номера, а також по чотирьохдротовим каналам із системами сигналізації різних типів при сполученні з відомчими телефонними мережами.

Взаємозв'язок з ТфЗВ є традиційним для ТСЗ, але зростає кількість додатків, які потребують передачі даних, тому наявність інтерфейсу для з'єднання з мережею комутації пакетів (МКП) стає все важливішою.

Завдання диспетчерських пультів (ДП) є характерним і необов'язковим елементом ТСЗ. ТСЗ часто використовуються різними організаціями, такими як служби безпеки, швидка допомога, пожежна охорона, транспортні компанії та муніципальні служби, які потребують наявності диспетчера. ДП можуть бути підключені до системи через абонентські радіоканали або з'єднані безпосередньо до комутатора базової станції (БС) за допомогою окремих ліній. У межах однієї ТСЗ можуть існувати кілька незалежних мереж зв'язку, де користувачі однієї мережі не будуть перешкоджати роботі інших мереж. Це дозволяє працювати кільком ДП в одній ТСЗ, які можуть бути підключені по-різному.

Абонентське устаткування телекомунікаційних систем зв'язку (ТСЗ) включає в себе широкий спектр пристроїв. Найпоширеніші серед них є напівдуплексні радіостанції, оскільки вони найкраще підходять для роботи в закритих групах. Ці пристрої, як правило, мають обмежені функціональні можливості і не оснащені цифровими клавіатурами. Користувачі цих пристроїв можуть здійснювати зв'язок лише з абонентами, що належать до їхньої робочої групи, а також відправляти екстрені виклики до диспетчера. Для більшості користувачів телекомунікаційних послуг ТСЗ цього достатньо. Також існують напівдуплексні радіостанції з розширеним набором функцій і цифровими клавіатурами, але вони призначені для більш обмеженої групи абонентів, оскільки їх вартість значно вища.

Телекомунікаційні системи зв'язку (ТСЗ) поступово впроваджують новий клас абонентських пристроїв - дуплексні радіостанції, які нагадують мобільні телефони, але мають більший набір функцій порівняно з ними. Дуплексні радіостанції ТСЗ надають користувачам можливість не лише зв'язку з традиційною аналоговою системою зв'язку (ТфЗВ), але й здійснювати групову роботу в напівдуплексному режимі.

Абонентські пристрої, як напівдуплексні, так і дуплексні, доступні як в портативному, так і в автомобільному виконанні. Автомобільні радіостанції зазвичай мають вищу вихідну потужність передавачів.

Відносно новим класом пристроїв для ТСЗ є термінали передачі даних (ПД). У аналогових ТСЗ термінали ПД представлені спеціалізованими радіомодемами, які підтримують відповідний протокол радіоінтерфейсу. Для цифрових систем характерніше вбудовування інтерфейсу передачі даних в різні класи абонентських радіостанцій. Автомобільні термінали передачі даних часто включають в себе супутниковий навігаційний приймач системи Global Positioning System (GPS), призначений для визначення поточних координат та передачі їх диспетчерові на диспетчерський пульт. [4]

У ТСЗ використовуються також стаціонарні РС, переважно для підключення ДП. Вихідна потужність передавачів стаціонарних РС приблизно така ж, як в автомобільних.

Архітектура багатозонових ТСЗ може будуватися по двох принципах. Якщо визначальним фактором є вартість устаткування, використовується розподілена міжзональна комутація.

Кожна БС у такій системі має своє власне підключення до ТфЗВ. При необхідності виклику з однієї зони в іншу він здійснюється через інтерфейс ТфЗВ, включаючи процедуру набору телефонного номера. Крім того, БС можуть бути безпосередньо з'єднані за допомогою фізично виділених ліній зв'язку.

Використання розподіленої міжзональної комутації доцільно лише для систем з невеликою кількістю зон і з невисокими вимогами до оперативності міжзональних

викликів (особливо у випадку з'єднання через комутуючі канали ТфЗВ). У системах з високою якістю обслуговування використовується архітектура з циклічним кодом.

У такій системі кожна БС має своє власне підключення до телекомунікаційної системи зв'язку (ТфЗВ). Якщо потрібно здійснити виклик з однієї зони в іншу, він здійснюється через інтерфейс ТфЗВ, включаючи процедуру набору телефонного номера. Крім того, БС можуть бути безпосередньо з'єднані за допомогою фізично виділених ліній зв'язку.

Використання розподіленої міжзональної комутації є доцільним лише для систем з невеликою кількістю зон та з невисокими вимогами до швидкості міжзональних викликів, особливо у випадку використання комутуючих каналів ТфЗВ. У системах з високою якістю обслуговування використовується архітектура з циклічним кодом.

### ***1.2.1. Наземний транкінговий радіозв'язок (TETRA)***

(TETRA, TErrestrial Trunked RAdio, раніше відоме як Trans-European Trunked Radio) - TETRA, відкритий стандарт цифрового професійного рухомого радіозв'язку та двосторонніх радіостанцій (walkie talkie), був спеціально створений для використання державними установами, аварійно-рятувальними службами та іншими організаціями, такими як поліція, пожежна охорона, швидка допомога, залізниці, транспортні компанії та військові. Цей стандарт був розроблений Європейським інститутом телекомунікаційних стандартів (ETSI) з метою заміни застарілого стандарту MPT 1327.[26]

Стандарт TETRA використовує радіоінтерфейс, що працює в стандартній частотній сітці з кроком 25 кГц та мінімальним дуплексним розносом радіоканалів 10 МГц. Цей стандарт дозволяє використовувати діапазон частот від 150 до 900 МГц. У країнах Європи, службам безпеки призначені діапазони 380-385/390-395 МГц, а для комерційних організацій передбачені діапазони 410-430/450-470 МГц та 870-876/915-921 МГц. Технологія TDMA (Time Division Multiple Access) використовується для

передачі даних, де на одній фізичній частоті створюється 4 логічних канали (слоти).[26]

Для звукового кодування в мережах стандарту TETRA використовується мовний кодек ACELP зі швидкістю передачі 4,8 кбіт/с. Після внесення додаткової інформації, один голосовий потік розширюється до 7,2 кбіт/с. Сумарна швидкість вихідного потоку в радіоканалі складає 36 кбіт/с. Якщо порівнювати якість голосу в мережах TETRA з якістю голосу в мережах GSM, то можна помітити невелику різницю в цьому аспекті. Проте варто зазначити, що TETRA забезпечує в чотири рази більшу ефективність використання частотного спектра в порівнянні з GSM.

На сучасному ринку доступно широке розмаїття продуктів TETRA, включаючи інфраструктурні рішення, які можуть мати різні розміри. Варіації від малих систем, здатних керувати менш ніж 10 сайтами, до масштабних систем, здатних охоплювати цілу країну, доступні для вибору. Ці системи можуть працювати як централізовані, так і розподілені. Прикладом однієї з найбільших систем є система "Airwave" у Великобританії з понад 3000 сайтами та понад 200 000 абонентами. Натомість, Північний Госпіталь Сіднея може служити прикладом однієї з найменших систем, що включає лише одну базову станцію та 12 терміналів.

На сьогоднішній день існує багато виробників, які пропонують широкий вибір терміналів TETRA, а розвиток цих терміналів відбувається досить швидко. Перше покоління терміналів TETRA відрізнялося великими розмірами та коротким терміном роботи акумулятора. Але на сьогоднішній день на ринку присутні термінали третього і четвертого покоління, які мають компактніші розміри, вбудований GPS, кольорові дисплеї та значно покращений термін роботи акумулятора. За останні три роки було випущено понад тридцять різних моделей терміналів. Головними користувачами TETRA є професіонали, для яких надійний радіозв'язок є першочерговою потребою. Тому, незважаючи на бажання деяких користувачів мати компактні термінали, подібні до сучасних мобільних телефонів зі складними або висувними клавіатурами/дисплеями, такий ринок поки що не є великим і активно не підтримується виробниками. Існує певна кількість прихованих радіостанцій TETRA, які були розроблені для конфіденційного використання з можливістю дистанційного

керування, але вони не мають таких компактних розмірів, як маленькі мобільні телефони. Крім того, існують спеціальні вибухозахищені радіостанції (IS), які призначені для використання в умовах, де існує ризик вибуху. Остається актуальною потреба в застосуванні автомобільного радіозв'язку, хоча більшість проданих терміналів TETRA - портативні.

Стандарт TETRA є зрілим, цілісним і продовжує отримувати підтримку від різних груп. Крім того, він активно розвивається і вдосконалюється шляхом додавання нових функціональних можливостей. Прикладом такого розвитку є інформаційний протокол локалізації (LIP) і протокол допоміжної мережі (NAP), які були оптимізовані та включені до радіоінтерфейсу для надання послуг визначення місця розташування. Ці додатки сприяють покращенню можливостей виявлення місця розташування в рамках стандарту TETRA. Користувачі і постачальники визначили ряд областей, де стандарт TETRA виграє від його поліпшення, і тому було дано назву TETRA Реліз 2. Частина робіт по TETRA2 полягали в тому, щоб розширити робочий діапазон радіо інтерфейсів для наземного / повітряного застосування / застосування в сільській телефонії та лінійної мережі; розробити альтернативні кодеки для взаємодії з мобільними і військовими користувачами (на даний час ця робота призупинена); розробити рішення широкосмугової передачі даних. Це відомо як поліпшені послуги передачі даних «TETRA Enhanced Data Services» (TEDS).

Для Німеччини були проведені розробки в використанні SIM-карти (від стандарту TETRA для U-SIM).

Одним з найсуттєвіших досягнень TETRA2 є розробка технології TEDS (TETRA Enhanced Data Service). Впровадження TEDS у радіоінтерфейсі TETRA дозволило помірно, але значно покращити швидкість передачі даних. Це було досягнуто шляхом збільшення пропускної здатності каналів і складності модуляції. TEDS дозволяє досягати швидкостей передачі даних до 160 кбіт/с з використанням 64QAM у 50 кГц каналі, а також до 538 кбіт/с з використанням 64QAM у 150 кГц каналі. Хоча ці швидкості передачі даних не настільки високі, як у поліпшених 3G технологіях, наприклад, HSDPA, вони все ж кращі, ніж GPRS. Однак важливою

перевагою TEDS є його інтеграція в стандарт TETRA, що дозволяє надавати критично важливу інформацію для професійних користувачів, забезпечуючи широкий охоплений радіус дії і можливість шифрування даних.

У майбутньому розвитку терміналів TETRA передбачається впровадження радіоінтерфейсу TEDS. Цей процес ймовірно буде виконуватися етапами, починаючи зі підтримки смуги пропускання каналу 50 кГц, а потім поступово переходячи до терміналів даних, що повністю підтримують стандарт TEDS. Крім того, очікується вдосконалення розмірів та ваги портативних терміналів. Такі зміни спрямовані на поліпшення функціональності та зручності використання терміналів TETRA в майбутньому.

В розробці інфраструктурних продуктів TETRA, особлива увага буде приділена системам, які в змозі задовольнити потреби в компактних рішеннях. Спостерігається значний розвиток рішень TETRA для транспорту і комунальних послуг, зокрема для нафтогазової промисловості та енергетики. Часто такі системи будуть характеризуватися меншими розмірами, що відповідає потребам цих галузей.

Ймовірним може бути збільшення перекриття секторів використання між TETRA і DMR. Прикладом може служити система для забезпечення безпеки персоналу в великому торговому центрі, де обидві технології можуть відповідати вимогам. Іншим прикладом може бути система для оператора приміських автобусів або транспортного інспектора (PTE), для надання екстреного голосового зв'язку і інформації про пересування в автобусний парк.

TETRA чітко відповідає вимогам користувачів для вирішення критично важливих завдань.

### **1.3. Цифрові системи стільникового зв'язку**

#### **1.3.1. Стільникові мережі стандарту GSM**

Відповідно до рекомендацій європейської конференції адміністрацій пошт та електров'язку 1980 р., що стосується використання частот рухомого зв'язку в діапазоні 862-960 МГц, стандарт GSM передбачає роботу передавачів у двох

діапазонах частот. Смуга частот 890-915 МГц використовується для передачі повідомлень із РС на БС, а смуга частот 935-960 МГц - для передачі повідомлень із БС на РС. При перемиканні каналів під час сеансу зв'язку різниця між цими частотами постійна і дорівнює 45 МГц. Рознос частот між сусідніми каналами зв'язку становить 200 КГц. Таким чином, у відведеній для прийому-передачі смузі частот шириною 25 МГц розміщується 124 каналу зв'язку[21].

Стандарт GSM використовує технологію TDMA, яка дозволяє передавати одночасно до 8 мовних каналів на одній несучій частоті. Це означає, що доступ до радіочастотного ресурсу розділяється у часовому домені, дозволяючи кільком абонентам одночасно використовувати одну частоту.

У якості мовоперетворюючого пристрою використовується мовний кодек RPE-LTP з регулярним імпульсним збудженням і швидкістю перетворення мови 13 кбіт/с.

Для забезпечення надійної передачі даних у радіоканалах використовується комбінація блокового і згортального кодування з перемеженням. Цей підхід дозволяє знизити вплив шумів та помилок, які можуть виникати під час передачі сигналу. Для покращення ефективності кодування і перемеження в умовах низької швидкості переміщення рухомої станції (РС), використовується метод повільного перемикання робочих частот під час сеансу зв'язку. Це означає, що РС періодично змінює робочу частоту з метою зменшення впливу шумів і спотворень на якість сигналу. Швидкість перемикання робочих частот складає 217 стрибків у секунду.

Для подолання проблеми інтерференційного затухання прийнятих сигналів, що виникає внаслідок багатолучевого поширення радіохвиль у міських умовах, в апаратурі зв'язку використовуються еквалайзери. Ці пристрої забезпечують вирівнювання імпульсних сигналів, ураховуючи середньоквадратичне відхилення часу затримки до 16 мікросекунд. Використовується система синхронізації, яка спроможна компенсувати абсолютний час затримки сигналів до 233 мікросекунд. Це відповідає максимальній відстані зв'язку у радіусі до 35 кілометрів, що є максимальним радіусом покриття станції.

Для модуляції радіосигналу застосовується спектрально-ефективна гаусівська частотна маніпуляція з мінімальним частотним зрушенням (GMSK(Gaussian Minimum

Shift Keying)). Обробка мови в даному стандарті здійснюється в рамках системи переривчастої передачі мови DTX (Discontinuous Transmission).

### 1.3.2. Стільникові мережі стандарту D-AMPS

Стандарт D-AMPS (Digital advanced mobile phone service) був розроблений у США в 1990 р. Асоціаціями T1A и CTIA були прийняті три внутрішніх стандарти: IS-54 - на систему D-AMPS; IS-55 - на двухмодову РС, що забезпечує зв'язок по двох стандартах (аналоговому і цифровому); IS-56 - на БС. В 1994 р. був прийнятий новий стандарт IS-136 на повністю цифрову ССПС, що являє собою вдосконалений стандарт IS-54 .

Склад устаткування і його функціональне призначення майже повністю повторюють відповідні положення стандарту GSM.

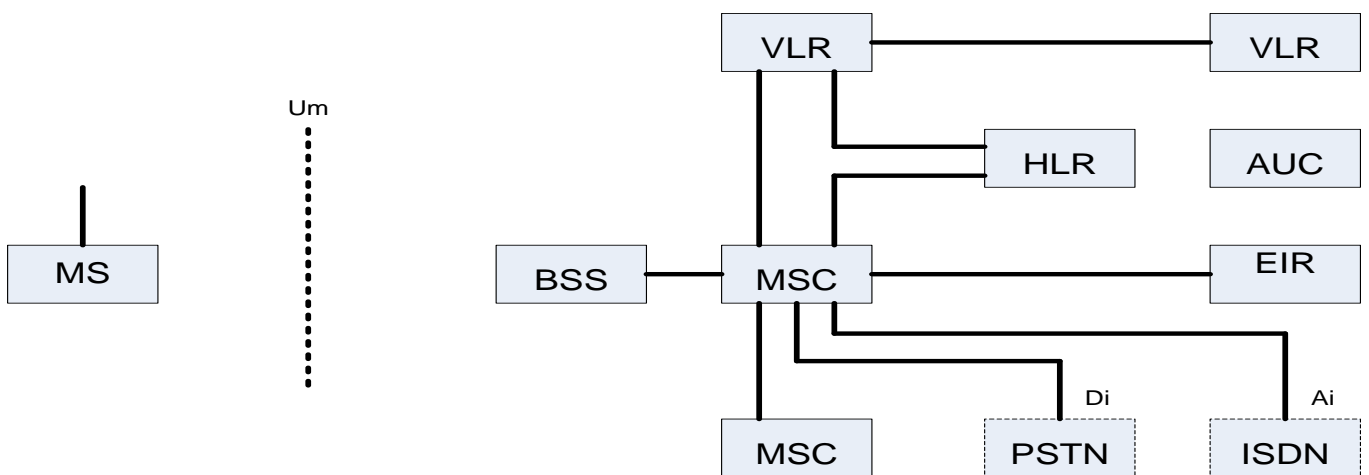


Рис. 1.2. Структурна схема системи стандарту D-AMPS

### 1.3.3. Стільникові мережі стандарту JDC

До особливостей систем стандарту JDC (Japan digital cellular- японський стандарт стільникового зв'язку) належать: прямий зв'язок з мережами ISDN, можливість шифрування переданих повідомлень, застосування низькошвидкісного мовного кодеку VSELP зі швидкістю перетворення мови 11,2 кбіт/с менший, ніж в D-AMPS, рознос частотних каналів (25 КГц). До складу ССПС стандарту JDC входять:



станція керування рухомим зв'язком - MCC (Mobile Communications Control Station); базові станції - BS (Base Station); рухомої абонентські станції - MS (Mobile Station).

Структурна схема мереж зв'язку JDC представлена на рисунку 1.3.

Станція MCC є аналогом ЦК рухомого зв'язку MSC у стандарті GSM. Вона містить у собі підсистему керування зв'язком рухомих абонентів G-MCC (Gate Mobile Communications Control Center); підсистему контролю переміщення абонентів V-MCC (Visit Mobile Communications Control Center), що забезпечує реєстрацію місця розташування абонентів та їхнє з'єднання, а також реєстр положення HLR, що здійснює ідентифікацію рухомих абонентів і реєстрацію зони зв'язку. Для організації службового зв'язку і керування між станціями керування(MCC) і основними її елементами використовується система сигналізації SS №7.

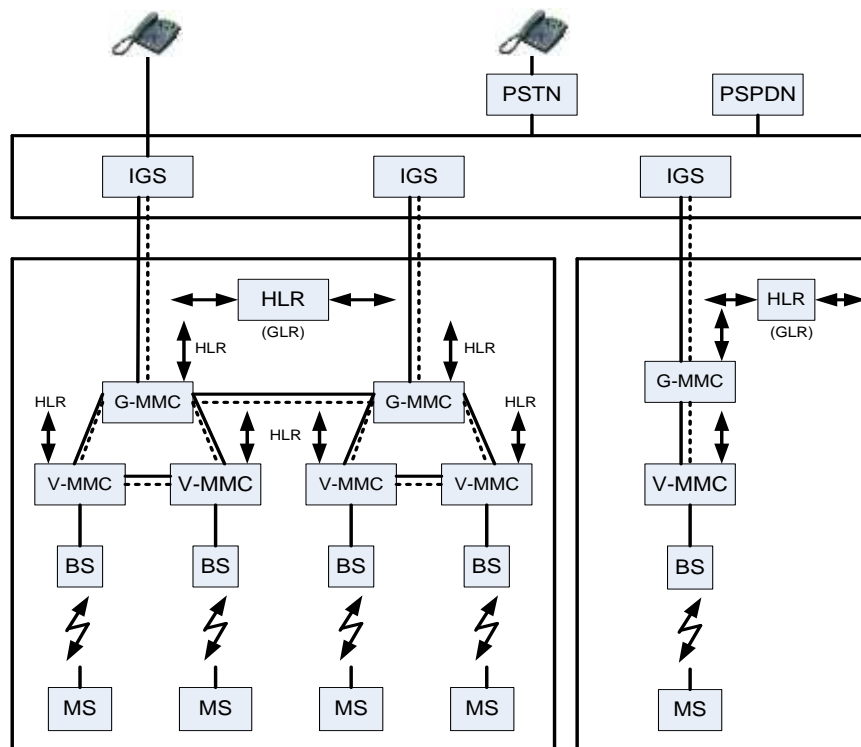


Рис. 1.3. Структурна схема мережі стандарту JDC

#### 1.3.4. Стільникові мережі стандарту CDMA

У цей час метод багатостанційного доступу з кодовим поділом каналів реалізований у декількох стандартах: стандарт CDMA (Code Division Multiple Access - доступ з кодовим розділенням каналів) запропонований і впроваджується компанією

Qualcomm, стандарт В-CDMA - компанією Inter Digital, FH/CDMA - компанією Tadiran Telecommunications. Ці стандарти значно відрізняються один від одного по способу кодування в каналах і методу розширення спектра. Побудовані на їхній основі системи розрізняються як функціональними можливостями, так і областю застосування. Нижче наводиться опис стандарту CDMA IS-95 (cdmaOne) який найбільше широко використовуваного в цей час. Його перша версія була розроблена компанією Qualcomm в 1994 р. Аббревіатура IS (interim standard - часовий стандарт) використовується для обліку в TIA, а цифра означає порядковий номер. З повної назви стандарту TIA/EIA/IS-95 видно, що в його розгляді приймав також участь EIA, що поєднує сім великих організацій США.

Спочатку система зв'язку cdmaOne була призначена для роботи в діапазонах частот 824-849 МГц (зворотний канал) і 869-894 МГц (прямий канал) з дуплексним розносом 45 МГц. Загальна смуга частот, займана в ефірі, - 1,25 МГц.

Передача мови і даних по стандарту 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 припустиму норму, то перекручений кадр знищується.

Принцип CDMA полягає в розширенні спектра вихідного інформаційного сигналу, що може здійснюватись двома методами, а саме: «стрибками по частоті» і «прямою послідовністю». Так звані «стрибки по частоті» (або FH - Frequency Hopping) реалізуються таким способом: носійна частота під час передачі постійно змінює своє значення в деяких заданих межах за псевдовипадковим законом (кодом), індивідуальним для кожного розмовного каналу, через порівняно невеликі інтервали часу. Приймач системи поводитьсь аналогічно, змінюючи частоту гетеродина за точно таким же алгоритмом, забезпечуючи виділення і подальшу обробку тільки потрібного каналу. За допомогою FH сьогодні робляться спроби поліпшення технічних характеристик вузькосмугових цифрових систем стільникового зв'язку зокрема, GSM.

Другий метод, відомий як "пряма послідовність" або DS (Direct Sequence), є популярним у багатьох системах CDMA і має свої особливості. Він використовує

шумоподібні сигнали для модуляції інформаційного сигналу кожного абонента. Ці шумоподібні сигнали, які також називаються кодами, є унікальними для кожного абонента і розширюють спектр вихідного інформаційного сигналу. Важливо зазначити, що кількість можливих кодів дуже велика - в декілька мільярдів варіантів, що дозволяє створити персоналізований зв'язок у всесвітньому масштабі.[4]

CDMA широко використовується у військових системах зв'язку з причини його можливості протидіяти навмисним штучним завадам. Збільшення ширини спектра сигналу дозволяє зробити його менш помітним для потенційного супротивника, знижуючи його рівень шумів. При отриманні сигналу на приймальній стороні, він може бути відновлений. Це дозволяє використовувати подібні системи, не перешкоджаючи роботі інших радіоапаратів, що використовують той самий діапазон радіочастот. Варто зауважити, що в комерційних стільникових системах CDMA ці можливості не використовуються.[4]

У стандарті CDMA, передана інформація кодується і перетворюється на шумоподібний широкопasmовий сигнал (ШШС). Цей сигнал може бути відновлений, використовуючи відповідний код на приймальній стороні. Завдяки цьому, в широкому діапазоні частот можна одночасно передавати і приймати безліч сигналів, які не перешкоджають один одному.

Широкопasmова система передачі використовує сигнал, який займає значно ширшу смугу частот, ніж та, яка фактично необхідна для передачі інформації. У такій системі вихідний модульований сигнал (наприклад, сигнал телефонного каналу) розподіляється у широкопasmовій смузі частот, яка може бути значно ширшою, ніж сам сигнал, розглядаючи його мінімальну необхідну ширину. Це досягається шляхом подвійної модуляції - комбінування передавального інформаційного сигналу з широкопasmовим кодуєчим сигналом. Основною характеристикою широкопasmового сигналу є його база  $B$ , яка визначається як добуток ширини смуги сигналу  $F$  на його період  $T$ . При перемноженні сигналу джерела псевдовипадкового шуму з інформаційним сигналом, енергія останнього розподіляється по широкій смузі частот, що призводить до розширення спектру сигналу.

## 1.4. Мережі супутникового зв'язку

Будь-яка система супутникового зв'язку (ССЗ) (рисунк 1.3) містить у собі: космічний сегмент, що складається з декількох супутників - ретрансляторів (СР); наземний сегмент; користувальницький (абонентський) сегмент, що здійснює зв'язок за допомогою персонального супутникового терміналу (ПСТ); наземні мережі зв'язку, з якими через інтерфейс зв'язку сполучають шлюзову станцію (ШС) космічного зв'язку.

Технічні питання, пов'язані з використанням частот і розташуванням СР на орбітах, що забезпечують відсутність взаємних перешкод один одному, вивіщуються в рамках МККР міжнародного комітету по реєстрації частот. Для супутникових систем виділені смуги частот, представлені в табл. 1.1.

Космічний сегмент містить у собі кілька СР, які утворюють космічне угруповання. СР, як правило, розташовуються рівномірно на певних орбітах.

До складу будь-якого зв'язкового космічного апарату (КА) входять наступні елементи: центральний процесор; радіоелектронне устаткування БРТК(бортовий радіотрансляційний комплекс); антенні системи; система орієнтації й стабілізації; рухома установка; система електроживлення (аккумулятори і сонячні батареї).

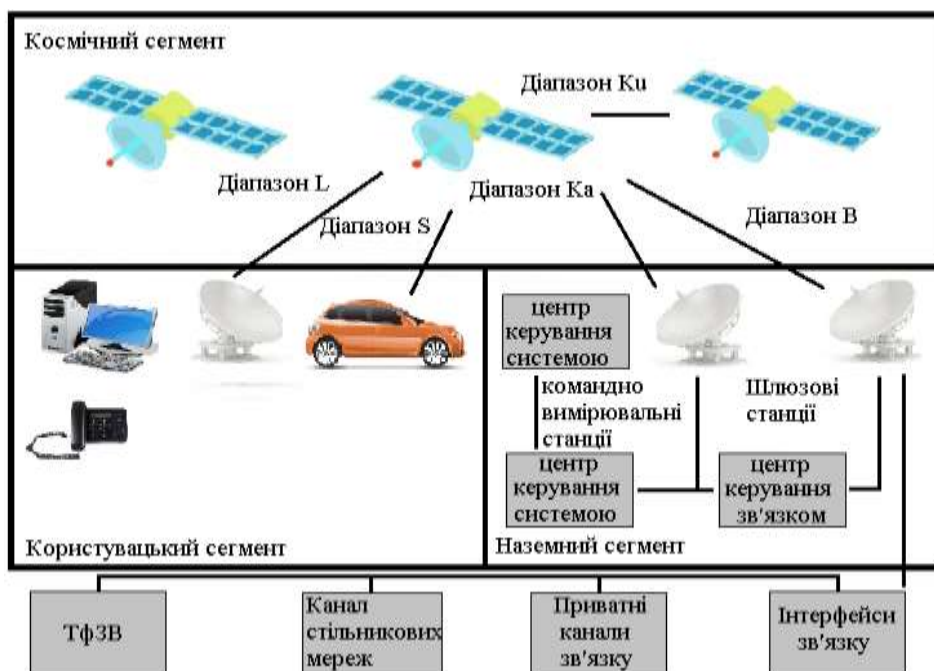


Рис. 1.5. Структура систем супутникового зв'язку

Таблиця 1.2.

## Діапазони частот супутникових систем зв'язку

<b>Діапазон</b>	<b>Смуга частот, ГГц</b>
<b>L</b>	1,452-1,500; 1,61-1,71
<b>S</b>	1,93-2,70
<b>C</b>	3,40-5,25; 5,725-7,075
<b>Kи</b>	10,70-12,75; 12,75-14,80
<b>Ka</b>	14,40-26,50; 27,00-50,20
<b>K</b>	84,00-86,00

Кількість супутників, які складають орбітальну групу (ОГ), визначається різними факторами. Наприклад, у низькоорбітальних супутників відстань до Землі становить приблизно 1000 км, а їх швидкість руху на орбіті складає 7 км/с. Час, протягом якого можна спостерігати такий супутник з будь-якої точки Землі (тобто його видимість), обмежений 14 хвилинами, після чого він зникає за горизонтом.

Для забезпечення неперервного зв'язку, наприклад, на момент телефонної розмови, необхідно, щоб під час виходу першого супутника з зони обслуговування на його місце приходив другий, а потім наступний і так далі. Глобальні мережі персонального супутникового зв'язку (МПСЗ) мусять постійно утримувати всю поверхню Землі в зоні охоплення своїх антен, щоб забезпечити безперервне покриття. Цей принцип схожий на стільниковий телефонний зв'язок, за винятком того, що завдання базових станцій виконують супутники.

Для надійного покриття всієї території Землі потрібна значна кількість супутників. Зі збільшенням висоти орбітальної групи зменшується необхідна кількість супутників, оскільки збільшується час видимості та зона покриття. Це призводить до зниження вартості орбітальної групи і послуг, які вона забезпечує.

Однак, це також призводить до складнішого і витратнішого розвитку персональних супутникових терміналів (ПСТ), через збільшену відстань у зв'язку між Землею та супутниками. Таким чином, кількість супутників у орбітальній групі є результатом компромісу між вартістю і бажаним обсягом послуг зв'язку з одного боку, та простотою та вартістю персональних супутникових терміналів з іншого.

Для забезпечення зв'язку абонентів не лише в зоні видимості одного супутника, але й на всій території Землі, сусідні супутники повинні встановлювати між собою зв'язок та передавати інформацію через послідовний ланцюжок, щоб вона досягла свого призначення. В деяких системах це завдання виконують наземні шлюзові станції (ШС), які служать для пересилання інформації з одного супутника на інший.

Наземний сегмент складається із центра керування системою (ЦКС), центра запуску КА, центра керування зв'язком і шлюзовими станціями (ШС).

Центр керування системою (ЦКС) займається багатьма функціями, пов'язаними з управлінням космічними апаратами (КА) в орбітальних угрупованнях. Серед цих функцій входить спостереження за КА, вимірювання їхніх координат, звірка і корекція часу, діагностика роботи бортової апаратури, передача службової (командної) інформації та інше. Ці управлінські функції базуються на телеметричних даних, які надходять від кожного КА в орбітальному угрупованні. Для керування орбітальним угрупованням в різних режимах роботи КА використовуються як стандартні канали зв'язку (включаючи перехресний супутниковий зв'язок), так і окремі контрольні-вимірювальні станції, розташовані на різних територіях. Завдяки цьому ЦКС забезпечує швидкий контроль запуску КА і точність їх виведення на задану орбіту, моніторинг стану кожного КА, управління орбітою окремих КА, керування КА в непередбачених ситуаціях, а також вилучення КА з орбітального угруповання.

Передача службової інформації на КА здійснюється через територіально рознесені основні і резервні станції КВС.

Центр запуску космічних апаратів відповідає за планування програми запуску, процес збирання та перевірку ракети-носія, а також установку космічних апаратів (КА) та проведення передстартових перевірок і випробувань. Після старту ракети-

носія здійснюються вимірювання траєкторії на активному етапі польоту, які передаються в ЦКС. В якому виконуються розрахунки для коригування траєкторії та формування проміжної орбіти на основі отриманих траєкторних даних. Подальше управління космічним апаратом здійснюється ЦКС.

Центр управління зв'язком здійснює планування використання ресурсів супутників шляхом координації з ЦКС. Він виконує аналіз та контроль зв'язку через національні ШС, а також забезпечує їх керування. Зазвичай, в нормальних умовах роботи ОГ, зв'язок між ШС та користувачами терміналів здійснюється автономно. Проте, у випадках позаштатних ситуацій, наприклад, при виводі окремого супутника з групи або в разі відмови елементів ШС, центр перебудовується у режим підтримки зв'язку з посиленням навантаженням. Крім того, в особливих випадках передбачається можливість реконфігурації мережі для забезпечення неперервного зв'язку

Шлюзова станція (шлюз) складається з набору приймальних та передавальних комплексів, які зазвичай налічують не менше трьох. Кожен комплекс обладнаний параболічною антеною. Використання кількох приймальних та передавальних комплексів дозволяє безперервно переходити від одного супутника до іншого без втрати зв'язку. Для ефективного керування великим обсягом інформації, шлюзові станції включають швидкодіючі ЕОМ (електронні обчислювальні машини) з базою даних персональних терміналів. У складі ШС також присутнє комутаційне обладнання (інтерфейси зв'язку), що дозволяє з'єднуватися з різними наземними системами зв'язку. Одним з основних завдань ШС є організація двостороннього телефонного зв'язку, передача факсимільних повідомлень та передача великого обсягу даних.

Склад сегмента користувача визначається переліком послуг, які надаються ССЗ. Мультимедійні платформи забезпечують такі види послуг: зв'язок між абонентами, що користуються ПСТ; двосторонній зв'язок між абонентами, що користуються ПСТ, та абонентами терестріальних фіксованих та мобільних мереж, а також приватними каналами зв'язку, якщо ці мережі підключені до інтерфейсів

зв'язку ШС; визначення географічного розташування абонентів в системі мобільного зв'язку.

Для забезпечення супутникового зв'язку використовуються портативні (ПСТ) вагою приблизно 700 грамів, а також мобільні термінали (МТ) вагою близько 2,5 кг. Ці термінали здатні встановлювати зв'язок між абонентами всього за 2 секунди, як у супутникових, так і в стільникових системах зв'язку. Сьогодні на ринку доступні різноманітні типи супутникових терміналів (СТ) від різних виробників. Серед них є портативні термінали (супутникові телефони), переносні персональні термінали, мобільні термінали для транспортних засобів (автомобілів, літаків, суден) а також термінали для групового користування.

ПСТ рухомого зв'язку працюють у діапазонах частот 137-900 МГц і 1970-2520 МГц, які майже не відрізняються від діапазону частот стільникового зв'язку (450-1800 МГц).[23]

Супутниковий телефон (СТ) - це компактний пристрій з вбудованою антеною, яка не потребує спрямованості на супутник. Вагою він становить близько 800 грамів, трохи більше, ніж звичайний мобільний телефон. Супутниковий телефон має просту систему керування, а номер набирається за допомогою кнопок на клавішній панелі. При встановленні розмови система автоматично знаходить вільний канал і призначає його абоненту на час розмови.

Сучасні супутникові телефони використовують різні технології для досягнення високої якості зв'язку. Вони можуть використовувати часове або частотне ущільнення каналів, що дозволяє передавати більше інформації на один канал і забезпечує ефективне використання доступного спектру частот. Такі технології широко застосовуються в сучасних багатоканальних стільникових мережах.

Крім того, з огляду на швидкий розвиток технологій, супутникові телефони сьогодні можуть мати додаткові функції, такі як високошвидкісний доступ до Інтернету, навігація GPS, вбудовані камери для фото- і відеозйомки, а також підтримку різних додатків і програмного забезпечення.

Важливо відзначити, що супутникові телефони дозволяють здійснювати зв'язок у віддалених регіонах, де відсутня або недоступна звичайна мобільна мережа. Вони



забезпечують глобальне покриття і можуть бути використані у відкритому морі, в горах, на пустелях та інших віддалених територіях.

В цілому, супутникові телефони є потужними і зручними комунікаційними засобами, які надають можливість зв'язку у будь-якому місці планети, де є покриття супутникової мережі.

Всі системи глобального супутникового зв'язку пропонують приблизно однаковий набір послуг: передача мови (телефонний зв'язок), факсимільних повідомлень, даних) визначення місця розташування абонента, глобальний роумінг.

Ці послуги реалізуються в режимі надання каналу по запиту, причому час його надання в найбільш сучасних ССЗ не перевищує 2 с. У Наприклад система Inmarsat надає швидкість у голосових сервісах до 4,8 кбіт/с. А GPS здійснює обмін даними на швидкості близько 50 біт/с., що називається навігаційним повідомленням. [28]

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1:**

Провівши аналіз систем мобільного оперативного радіозв'язку для подальшого опрацювання обрано систему стільникового зв'язку стандарту GSM у зв'язку з тим, що вона є провідною системою на території України.

## РОЗДІЛ 2.

# ЦИФРОВА СТІЛЬНИКОВА СИСТЕМА РУХОМОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ GSM

### 2.1. Характеристики стандарту GSM

Системи зв'язку стандарту GSM призначені для використання в різних сферах і надають широкий спектр послуг, пов'язаних з передачею мовних повідомлень і даних. Вони забезпечують можливість передавати аварійні сигнали та підключатися до загального користування телефонних мереж (PSTN), мереж передачі даних (PDN) і цифрових мереж з інтеграцією служб (ISDN). Системи GSM є надійними і широко розповсюдженими, що дозволяє користувачам здійснювати комунікацію та обмін даними навіть у віддалених регіонах. Вони є основою для розробки багатьох сучасних мобільних телефонів і забезпечують ефективний зв'язок у різних сферах діяльності, включаючи комерційні, громадські та аварійні ситуації.

Стандарт GSM передбачає роботу передавачів у двох діапазонах частот. Смуга частот 890-915(GSM 900) МГц та 1710-1785(GSM1800) МГц використовується для передачі повідомлень із РС на БС, а смуга частот 935-960(GSM 900) МГц 1805-1880(GSM1800) МГц - для передачі повідомлень із БС на РС.[29] У стандарті GSM використовується вузькосмуговий багатостанційний доступ з часовим поділом каналів (NB TDMA). У структурі TDMA кадру утримується 8 часових позицій на кожній з 124(GSM 900) 374(GSM1800) несучих.[1]

Блокове згорткове кодування з перемешуванням використовують для захисту від помилок у радіоканалах при передачі інформаційних повідомлень. Підвищення ефективності кодування і перемешування при малій швидкості переміщення рухомих станцій досягається повільним перемиканням робочих частот (SFH(повільні стрибки по частоті)) у процесі сеансу зв'язку зі швидкістю 217 стрибків у секунду.[30]

У засобах зв'язку використовуються еквалайзери, які забезпечують вирівнювання імпульсних сигналів зі зменшенням відхилень часу затримки до 16 мкс.

Це необхідно для уникнення впливу інтерференції на прийняті сигнали, які можуть виникати внаслідок множинного поширення радіохвиль у міських умовах. Еквалайзери допомагають компенсувати відхилення часу затримки сигналів, що дозволяє покращити якість прийому і забезпечити стабільний зв'язок. Ця технологія є важливим елементом для забезпечення ефективного функціонування комунікаційних систем у шумних міських середовищах.

Система синхронізації розрахована на компенсацію абсолютного часу затримки сигналів до 233 мкс, що відповідає максимальній дальності зв'язку або максимальному радіусу осередку (стілники) 35 км.[1] Обробка мови здійснюється в рамках прийнятої системи переривчастої передачі мови (DTX), що забезпечує включення передавача тільки при наявності мовного сигналу і відключення передавача в паузах і наприкінці розмови.[4] Для мовового кодування використовується спеціальний кодек з регулярним імпульсним збудженням, довгостроковим пророкуванням і лінійним предикативним кодуванням із пророкуванням (RPE/LTR-LTP-кодек). У стандарті GSM забезпечується високий рівень безпеки передачі повідомлень шляхом застосування алгоритму шифрування з відкритим ключем (RSA).

Система зв'язку, яка працює на стандарті GSM, призначена для використання в різних галузях. Вона забезпечує широкий спектр послуг для користувачів і можливість використовувати різноманітне обладнання для передачі мовних повідомлень і даних, передачі аварійних сигналів, підключення до телефонних мереж загального користування (PSTN), мереж пакетної передачі даних (PDN) і цифрових мереж з інтеграцією послуг (ISDN) Загальні характеристики стандарту GSM 900 та GSM1800 наведені у таблиці 2.1.

## Основні характеристики стандарту GSM

Параметр	GSM 900	GSM 1800
Частоти прийому сигналу BTS, МГц	890-915	1710-1785
Частоти передачі сигналу BTS, МГц	935-960	1805-1880
Дуплексний рознос частот прийому й передачі, МГц	45	75
Ширина смуги частот зв'язку на один фізичний речовий канал, КГц	25	12.5
Максимальна кількість каналів зв'язку	124	374
Максимальна кількість каналів, організованих у базовій станції	16-20	
Вид мовного кодека	RPE/LTP	
Максимальний радіус стільниці, км.	до 35	до 12
Чутливість приймача, дБ	97-104	
Потужність передавачів базових станцій, Вт.	50...55	12

## 2.2. Структурна схема стільникової системи стандарту GSM

Функціональна побудова, прийнята в стандарті GSM, ілюструється структурною схемою, представленою на рисунку 2.1. Система GSM складається з трьох основних підсистем:

- базових станцій BSS ;
- комутації SSS;
- експлуатації і технічного обслуговування ОМС.

Підсистема базових станцій (BSS) складається з двох частин: базових прийомо-передавальних станцій BTS і контролерів базових станцій BSC. Зона покриття розділяється на осередки-стілники, кожна з яких покривається і контролюється однією BTS.

Базова прийомо-передавальна радіостанція забезпечує фізичний радіоінтерфейс між рухомими станціями MS і відповідним контролером (BSC).

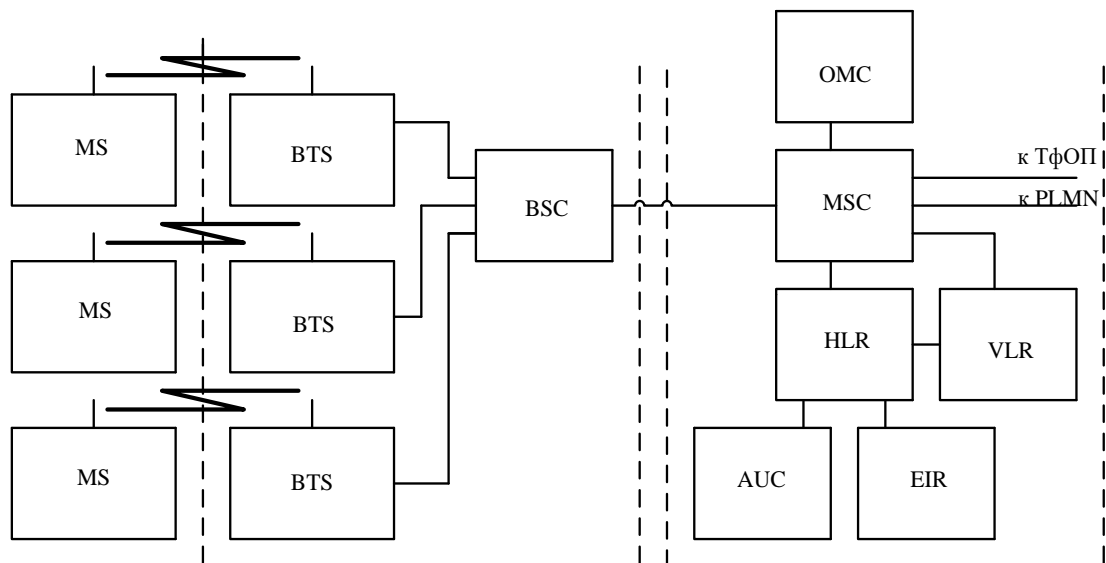


Рис. 2.1 Структурна схема мережі GSM

Базова приймально-передавальна станція (BTS) складається з комплексу приймачів, передавачів і цифрових процесорів, які розташовані в пристроях базової станції, а також комутаційних шин різного призначення. Устаткування BTS споруджується з використанням модульного підходу, що дозволяє легко розширювати радіочастотні блоки. Все необхідне високочастотне обладнання, цифрові пристрої і джерела живлення конструктивно є автономними. У базовій станції передбачається поєднання високочастотних блоків за допомогою комбайнера для роботи з однією антеною. Це забезпечує ефективне управління сигналами та оптимізацію передаваної інформації в системі зв'язку.

У BTS використовуються різні типи антен, включаючи направлені антени з різною шириною діаграми випромінювання в горизонтальній площині. Ці направлені антени можуть мати ширину діаграми випромінювання  $60^\circ$ ,  $120^\circ$  або бути не

напрямленими з круговою діаграмою спрямованості. У складі устаткування BTS також включені діагностичні пристрої, які мають індикатори для відображення станів та режимів роботи. Крім того, передбачена можливість підключення зовнішнього терміналу для тестування і налаштування BTS. Контролер базової станції (BSC) зазвичай керує декількома BTS. Він відповідає за контроль з'єднань між базовими радіостанціями та центром комутації рухомого зв'язку (MSC) і, базуючись на отриманих даних від BTS, приймає рішення щодо здійснення процедур передачі обслуговування, включаючи процеси хендовера.

BSC керує розподілом радіоканалів, контролює з'єднання, регулює їх черговість, забезпечує режим роботи з перескоком частоти, адаптацію швидкості передачі для мови, даних і виклику, визначає черговість передачі повідомлень персонального виклику.

Підсистема комутації (SSS) включає наступне устаткування: центр комутації рухомого зв'язку MSC; домашній реєстр місцеположення HLR; візитний реєстр місцеположення VLR; реєстр ідентифікації устаткування EIR; центр аутентифікації AUC.

Для рухомого абонента, що знаходиться в зоні MSC, функції комутації забезпечує Центр комутації рухомого зв'язку MSC. MSC встановлює з'єднання до рухомого абонента і від нього, а також надає відповідні послуги з доставки інформації, надання зв'язку і додаткові послуги. MSC встановлює з'єднання: між радіосистемою мережі GSM і ТфЗВ; між радіосистемою мережі GSM і іншими мережами рухомого радіозв'язку (PLMN); усередині радіосистеми мережі GSM — між рухомими абонентами.

Центр комутації рухомого зв'язку обслуговує групу стільник і забезпечує всі види з'єднань, в яких має потребу в процесі роботи рухома станція. MSC аналогічний комутаційній станції ISDN (ISDN — цифрові мережі з інтеграцією служб) і є інтерфейсом між фіксованими мережами (телефонними мережами загального користування — ТФОП, мережами пакетної передачі даних, цифровими мережами з інтеграцією служб і так далі) і мережею рухомого зв'язку. MSC забезпечує маршрутизацію викликів і функції управління викликами. Окрім виконання функцій

звичайної ISDN комутаційної станції, на MSC покладаються функції комутації радіоканалів, управління мобільністю і ін. До них відносяться «естафетна передача обслуговування», в процесі якої досягається безперервність зв'язку при переміщенні рухомої станції з стільники в стільнику.

Кожен MSC забезпечує обслуговування рухомих абонентів, розташованих в межах певної географічної зони. MSC управляє процедурами встановлення виклику і маршрутизації.

MSC обробляє і формує дані по розмовах, що відбулися, і передає їх в центр розрахунків (білінг – центр) для подальшого формування рахунків за надані мережею послуги зв'язку. MSC складає також статистичні дані, необхідні для контролю роботи і оптимізації мережі.

MSC відповідає за забезпечення процедур безпеки, які використовуються для керування доступом до радіоканалів. Крім участі в управлінні викликами, MSC також виконує управління процедурами реєстрації місцеположення і передачі обслуговування.

Для забезпечення доставки викликів до рухомих абонентів, які переміщуються, реєстрація їх місцеположення є необхідною. Це дозволяє отримувати виклики від абонентів телефонної мережі загального користування або інших рухомих абонентів. Процедура передачі обслуговування забезпечує підтримку активних з'єднань та неперервні розмови, навіть якщо рухома станція переміщується між зонами обслуговування. BSC виконує передачу викликів в стільниках, які належать до його управління. Якщо передача викликів відбувається між двома мережами, керованими різними BSC, то головне управління здійснюється контролером MSC. У стандарті GSM також передбачені процедури передачі обслуговування між різними мережами (контролерами), які належать до різних MSC.

Центр комутації здійснює постійне стеження за рухомими станціями, використовуючи HLR і VLR.[30] У HLR зберігається та частина інформації про місцеположення рухомої станції, яка дозволяє центру комутації доставити виклик станції.[1]

Домашній реєстр місцеположення (HLR) представляє собою базу даних, що містить інформацію про рухомих абонентів, які підписані на цей HLR. У цій базі даних зберігаються записи, що дозволяють абонентам користуватися основними та додатковими послугами, наданими системою зв'язку. Крім того, база даних містить інформацію про стан кожного рухомого абонента, необхідну для направлення викликів до нього під час роумінгу. Рухомий абонент знаходиться підписаним на один HLR і реєструється в локальному реєстрі місцеположення (VLR), який відповідає зоні, в якій він знаходиться в даний момент часу. Цей процес реєстрації дозволяє системі знаходити та направляти виклики до рухомого абонента, забезпечуючи йому доступ до послуг незалежно від його місцезнаходження.

Реєстр HLR містить міжнародний ідентифікаційний номер рухомого абонента IMSI.[1] Він використовує домашній реєстр місцеположення (HLR) для ідентифікації рухомої станції. Практично HLR є базою даних, що містить інформацію про абонентів, які постійно прописані в мережі. Вона зберігає ідентифікаційні номери, адреси, параметри достовірності абонентів, а також дані про послуги зв'язку та інформацію про маршрутизацію. HLR також відстежує дані роумінгу абонента, включаючи тимчасовий ідентифікаційний номер рухомого абонента (TMSI) та відповідний локальний реєстр місцеположення (VLR)

До даних, що містяться в HLR, мають дистанційний доступ MSC і VLR мережі. Якщо в мережі є декілька HLR, то кожен HLR є певною частиною загальної бази даних мережі про абонентів. Доступ до бази даних про абонентів здійснюється по номеру IMSI або MSISDN (номеру рухомого абонента в мережі ISDN). До бази даних можуть дістати доступ MSC або VLR, що відносяться до інших мереж, в рамках забезпечення міжмережевого роумінгу.

Другий основний пристрій, що забезпечує контроль за пересуванням рухомої станції із зони в зону — візитний (гостьовий) реєстр місцеположення VLR. VLR містить абонентську базу даних зі всією інформацією про рухомих абонентів, зокрема роумерах (роумери — абоненти іншої системи GSM, тимчасово використовуючи послуги даної системи в рамках процедури «роумінгу»), VLR, що знаходяться в зоні. Ця інформація, записана в VLR, використовується для встановлення з'єднань з



рухомими абонентами або від них. Дані про рухомих абонентів можуть бути розділені на три частини: загальні дані (наприклад, міжнародний ідентифікатор рухомої станції IMSI); дані аутентифікації; дані переадресації виклику.

Ці дані про абонентів динамічно заносяться в реєстр VLR після переміщення рухомого абонента в зону, контрольовану цим VLR, і виключаються, коли він переходить в зону іншого VLR.

VLR може розпізнати рухомого абонента, використовуючи наступні абонентські адреси: міжнародний ідентифікатор рухомої станції; роумінговий номер рухомої станції. За допомогою VLR досягається функціонування рухомої станції за межами зони, контрольованою HLR. Коли в процесі переміщення рухома станція переходить із зони дії одного контролера базової станції BSC, об'єднуючого групу базових станцій, в зону дії іншого BSC, вона реєструється новим BSC, і в VLR заносяться інформація про номер області зв'язку, який забезпечить доставку викликів рухомій станції. Таким чином, VLR містить дані, аналогічні що зберігається в HLR, до тих пір, поки абонент знаходиться в зоні, контрольованою VLR.

У мережі рухомого зв'язку GSM чарунки групуються в географічні зони LA(Location area), яким привласнюється свій ідентифікаційний номер.[1] Кожен VLR містить інформацію про абонентів, які перебувають у декількох областях обслуговування (LA). При переміщенні рухомого абонента з LA в іншу, дані про його місцеположення автоматично оновлюються в VLR. Крім того, VLR виконує привласнення роумінгового номера рухомій станції (MSRN). При отриманні вхідного виклику рухомою станцією, VLR призначає йому MSRN і передає цей номер на MSC, який відповідає за маршрутизацію виклику до базових станцій, розташованих поряд з рухомим абонентом.

Взагалі кажучи, VLR є місцевою базою даних про рухомого абонента в конкретній зоні обслуговування, що дозволяє уникнути постійних запитів до домашнього реєстру місцеположення і скоротити час обробки викликів. Зазвичай елементи MSC і VLR об'єднані в одному блоку, що сприяє компактності і ефективності системи.

EIR (регістр ідентифікації устаткування) містить централізовану базу даних для підтвердження достовірності міжнародного ідентифікаційного номера устаткування рухомої станції IMEI.[4] Ця база даних пов'язана виключно з устаткуванням рухомої станції. Регістр EIR (Equipment Identity Register) використовується для зберігання інформації про устаткування рухомих станцій. За допомогою цієї інформації MSC може перевірити, чи дозволено використання або заборонено використання устаткування рухомого абонента. У реєстрі EIR рухомі станції класифікуються в трьох списках: білий список, що містить дозволені для використання рухомі станції; сірий список, в якому вказані рухомі станції з проблемами реєстрації, але ще не перенесені до чорного списку; та чорний список, який містить заборону до використання рухомої станції.

З метою запобігання несанкціонованому використанню ресурсів системи зв'язку впроваджуються механізми аутентифікації, які гарантують достовірність абонента. Центр аутентифікації складається з кількох компонентів і використовує ключі та алгоритми аутентифікації. Завдяки цим механізмам перевіряються повноваження абонента та надається йому доступ до мережі зв'язку.

Кожен рухомий абонент, який користується системою зв'язку, отримує стандартний модуль достовірності абонента SIM. Цей модуль містить ряд важливих компонентів, включаючи персональний номер абонента PIN, міжнародний ідентифікаційний номер IMSI, індивідуальний ключ K<sub>i</sub>, алгоритм аутентифікації A3 та алгоритм обчислення ключа шифрування A8.

Інформація, записана на SIM-карту, відіграє важливу роль у процесі взаємного обміну даними між рухомою станцією і мережею. Цей обмін даними забезпечує повний цикл аутентифікації, що включає перевірку достовірності абонента, і вирішує про доступ до мережі.

Підсистема OMC складається з двох провідних комплексів:

1. Операційний комплекс: цей компонент відповідає за управління роботою мережі. Він включає інструменти для контролю та керування різними аспектами мережі, такими як налаштування, конфігурація, розподіл ресурсів та управління послугами. Операційний комплекс забезпечує операторам мобільного оператора

можливість ефективно керувати мережею, відстежувати її стан та виконувати діагностику

2. Моніторинговий комплекс: Цей компонент відповідає за постійний моніторинг та аналіз стану мережі мобільного радіозв'язку.

Ці два компоненти підсистеми ОМС спільно працюють для забезпечення ефективного управління, контролю та моніторингу мережі, для забезпечення високої якості надання послуг для абонентів.

### **2.3. Мережеві і радіо інтерфейси GSM**

При проектуванні цифрових стільникових систем рухомого зв'язку стандарту GSM розглядаються інтерфейси трьох видів: для з'єднання із зовнішніми мережами; між різним устаткуванням мереж GSM; між мережею GSM і зовнішнім устаткуванням.[1]

#### ***2.3.1. Інтерфейси із зовнішніми мережами***

З'єднання з PSTN.

MSC забезпечує з'єднання між мобільною телефонною мережею та загальною мережею зв'язку шляхом використання лінії зв'язку з пропускнуою здатністю 2 Мбіт/с. Це з'єднання відповідає системі сигналізації SS N7 і використовує електричні характеристики, що відповідають рекомендаціям МККТТ G.732.

З'єднання з ISDN.

Для з'єднання з мережами ISDN використовуються чотири лінії зв'язку з пропускнуою здатністю 2 Мбіт/с. Ці лінії підтримуються системою сигналізації SS N7 і відповідають рекомендаціям Блакитної книги МККТТ, а саме Q.701-Q.710, Q.711-Q.714, Q.716, Q.781, 0.782, 0.791, 0.795, 0.761-0.764, 0.766.[1]

Зв'язок між центром комутації рухомого зв'язку і мережею NMT-450 встановлюється за допомогою чотирьох стандартних ліній зв'язку з пропускнуою здатністю 2 Мбіт/с та системи сигналізації SS N7. Ці лінії та система сигналізації забезпечують надійне з'єднання та обмін інформацією між центром комутації. Під час

цього з'єднання необхідно враховувати вимоги, встановлені Рекомендаціями МККТТ, щодо підсистеми користувачів телефонної мережі (TUP - Telephone User Part) і підсистеми передачі повідомлень (MTP - Message Transfer Part) Жовтої книги. Виконання цих вимог забезпечує надійну та ефективну комунікацію між центром комутації та мережею NMT-450.

З'єднання з міжнародними мережами GSM.

В цей період здійснюється інтеграція мережі GSM в Києві з загальноєвропейськими мережами GSM. Підключення цих мереж реалізується за допомогою протоколів систем сигналізації та міжмережевої комутації рухомого зв'язку (GMSC). Цей процес забезпечує забезпечення надійних з'єднань та ефективного обміну даними між мережею GSM у Києві та іншими європейськими мережами GSM.

### ***2.3.2. Внутрішні GSM – інтерфейси***

Інтерфейс між MSC й BSS (A-інтерфейс) забезпечує передачу повідомлень для керування BSS, передачі виклику, керування пересуванням.[1] A-інтерфейс є інтерфейсом, що з'єднує канали зв'язку та лінії сигналізації в мережі GSM. Для передачі сигналів сигналізації використовується протокол SS N7 МККТТ, який відповідає вимогам серії 08 Рекомендацій ETSI/GSM

Між MSC і HLR існує інтерфейс, який забезпечує зв'язок через VLR (У-інтерфейс). Коли MSC необхідно визначити місце розташування рухомої станції, він звертається до VLR. Якщо рухома станція ініціює процедуру місцезнаходження з MSC, він інформує свій VLR, що заносить всю інформацію, що змінюється, у свої реєстри. Ця процедура відбувається завжди, коли MS переходить із однієї області місцевизначення в іншу. У випадку, якщо абонент запитує спеціальні додаткові послуги або змінює деякі свої дані, MSC також інформує VLR, що реєструє зміни і при необхідності повідомляє про їх HLR.[1]

Для забезпечення взаємодії між MSC і HLR використовується інтерфейс C-інтерфейс. Цей інтерфейс дозволяє MSC і HLR обмінюватися повідомленнями та інформацією, необхідною для правильного функціонування системи мобільного

зв'язку. Під час завершення сеансу зв'язку MSC може надіслати повідомлення HLR для того, щоб абонент міг оплатити розмову або виконати інші фінансові операції. Крім того, у випадках, коли мережа фіксованого телефонного зв'язку не може здійснити встановлення виклику до рухомого абонента, MSC може звернутися до HLR, щоб дізнатися місцезнаходження абонента і передати виклик до відповідної MS.[31]

Для розширення обміну даними про положення рухомої станції та керування процесом зв'язку використовується D-інтерфейс між HLR і VLR. Цей інтерфейс відіграє важливу роль у забезпеченні основних послуг для рухомого абонента, таких як передача та отримання повідомлень незалежно від їх місця розташування. У процесі блукання, VLR, яке управляє рухомою станцією, повідомляє HLR про її поточне положення. Це включає перепривласнювання номерів та надання всієї необхідної інформації для забезпечення обслуговування рухомої станції. Зокрема, HLR поповнює свої дані згідно зі змінами, які відбуваються в положенні рухомої станції, щоб забезпечити безперебійне надання послуг.

E-інтерфейс забезпечує можливість плавного переходу абонента з однієї області покриття в іншу, коли він пересувається, забезпечуючи безперебійну комунікацію. У процесі HANDOVER MSC обмінюються необхідною інформацією про абонента, яка дозволяє координувати передачу зв'язку із зони в зону.

A-bis інтерфейс використовується для зв'язку між BSC та BTS в мережі GSM. Цей інтерфейс, згідно з Рекомендаціями ETSI/GSM, визначений для забезпечення процесів встановлення з'єднань та керування устаткуванням між цими двома компонентами мережі. Передача даних через A-bis інтерфейс здійснюється за допомогою цифрових потоків зі швидкістю 2,048 Мбіт/с. Однак, також існує можливість використання фізичного інтерфейсу зі швидкістю 64 кбіт/с, що дозволяє пристосовувати інтерфейс до конкретних потреб мережі.

Um-радіоінтерфейс, який використовується для зв'язку між MS та BTS, визначений у серіях 04 і 05 Рекомендацій ETSI/GSM. Цей інтерфейс є безпроводовим зв'язком, який дозволяє передавати голосові та даних сигнали між абонентськими пристроями та інфраструктурою мобільного зв'язку.

З'єднання мережі з ОМС можуть забезпечуватися системою сигналізації МККТТ SS N7 або мережним протоколом X. 25. Мережа X. 25 може з'єднуватися з об'єднаними мережами або з PSTN у відкритому або замкнутому режимах.

### ***2.3.3. Інтерфейси між мережею GSM із зовнішнім устаткуванням***

Інтерфейс між MSC і сервіс-центром (SC) необхідний для реалізації служби коротких повідомлень.[1] Для забезпечення взаємодії між різними центрами керування і Обслуговування Мережі (ОМС), які управляють мережами в різних регіонах або різними мережами, використовуються спеціальні інтерфейси, відомі як X-інтерфейси. Ці з'єднання забезпечуються відповідно до Рекомендацій МККТТ M.30.

## **2.4. Структура служб у стандарті GSM**

Крім стандартного двостороннього радіотелефонного зв'язку з МА стільникової мережі з абонентами стаціонарної телефонної мережі ССЗ можуть надавати абонентам різноманітні додаткові послуги, а саме передачу факсимільних повідомлень, переадресацію виклику і автодозвон, автоматичну реєстрацію тривалості телефонних розмов, голосову пошту та ін.

Стандарт GSM містить два класи служб: основні служби (служби передачі - bearer services) і телеслужби (teleservices).

Служби передачі у сотових мережах надають наступні послуги:

- асинхронний обмін даними із що комутуються з ТфЗВ зі швидкостями 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 біт/с;
- синхронний обмін даними що комутують із ТфЗВ, що комутуються з ISDN зі швидкостями 1200, 2400, 4800, 9600 біт/с;
- асинхронний пакетний обмін даними зі система передачі даних (СПД) загального користування із ПК (доступ через асемблер/дисасемблер) зі швидкостями 300-9600 біт/с;
- синхронний пакетний обмін даними зі СПД загального користування із

ПК зі швидкостями 2400-9600 біт/с.

Функції передачі можуть бути прозорими і непрозорими. По-перше, захист від помилок забезпечується тільки за рахунок поточної корекції помилок (корекції помилок на проході). По-друге, передбачається додатковий захист у вигляді автоматичного перезапиту.

Телеслужби надають наступні послуги:

- передача інформації мови і тональної сигналізації в смузї мови;
- передача коротких повідомлень (буквено-цифрові повідомлення - до 180 символів - убік рухомого абонента);
- доступ до системи обробки повідомлень (наприклад, передача повідомлення від мережа рухомого радіо зв'язку на РС стільниковому зв'язку);
- передача факсимільних повідомлень.

Для передачі і прийому факсимільних повідомлень і комп'ютерних даних, крім мобільного абонентського апарата, потрібне використання мобільного факсимільного апарата або переносного комп'ютера з відповідними блоками сполучення.

Послуга передачі і прийому коротких повідомлень (SMS) полягає в наступному. Коротке повідомлення (звичайно до 80-160 символів) може бути отримане під час ведення розмови, у режимі очікування або при виключеному абонентському апараті. В останньому випадку повідомлення записується на згадку обчислювальних засобів центру керування, і абонент сповіщається про одержання повідомлення відразу ж після включення апарата. Повідомлення може бути прочитане відразу після одержання або пізніше; прочитане повідомлення може бути стерте або збережено в пам'яті апарата для повторного прочитання. Для читання повідомлення відображається на дисплеї апарата. Якщо потрібно передати коротке повідомлення, текст його набирається за допомогою клавіш апарата й відображається на дисплеї. Потім повідомлення або відправляється по зазначеному відправником номеру телефону, або зберігається в пам'яті для відправлення іншим разом. Таким чином, фактично забезпечується сполучення стільникового телефону з пейджером. Існує варіант цієї послуги, як передача коротких повідомлень у режимі віщання, тобто передача одночасно групі абонентів.

Також стандартизований широкий спектр додаткових послуг, таких як переадресація виклику, очікування виклику, утримання виклику, конференцзв'язок і ін. Додаткові функції можуть надаватися тільки одночасно з основними.

Служба передачі орієнтована тільки на транспортування інформації між відповідними стиками користувач-мережа і завдання сумісності протоколів зв'язку кінцевих пристроїв (термінальних апаратур) покладає на користувачів цих пристроїв. Телеслужби орієнтовані на безпосередню сполуку користувач-користувач і включають функцію зв'язку МС пристроїв.

Структурна схема служб зв'язку GSM PLMN зображена на рисунку 2.2.

Можливі різні варіанти конфігурації РС системи GSM, що забезпечують різні крапки доступу (рисунку 2.3).

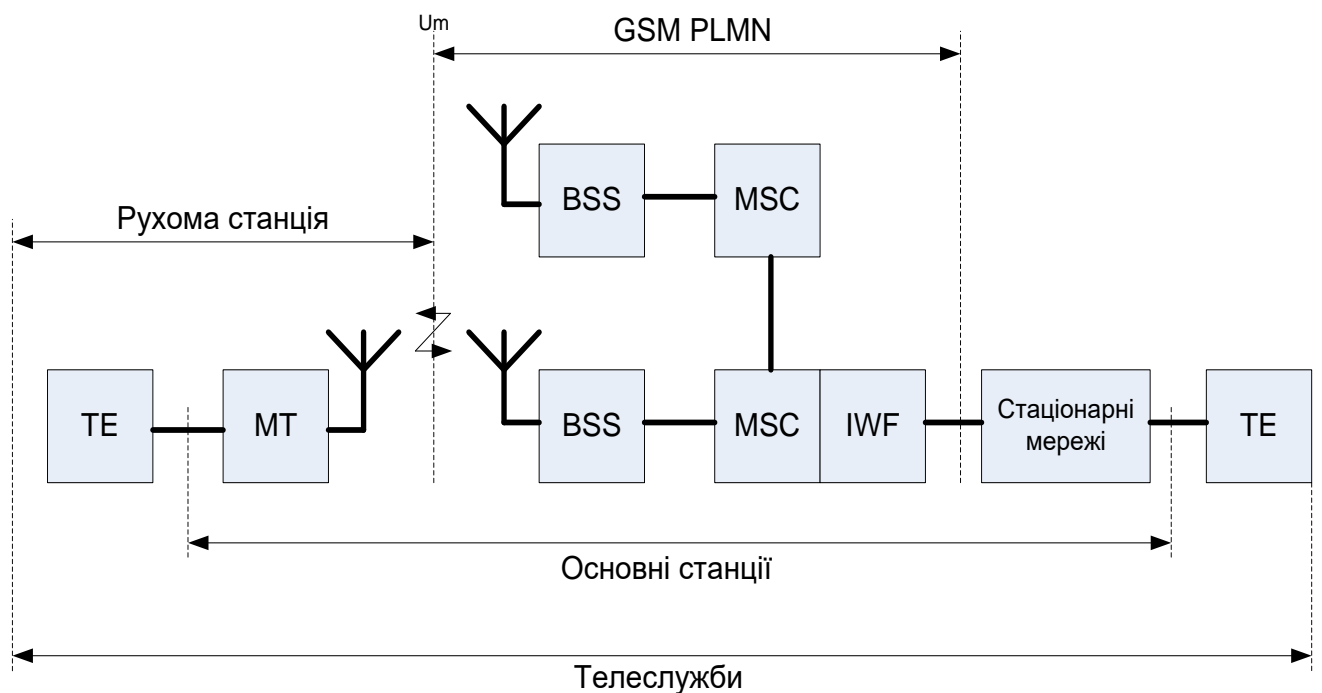


Рис. 2.2. Схема служб зв'язку в стандарті GSM



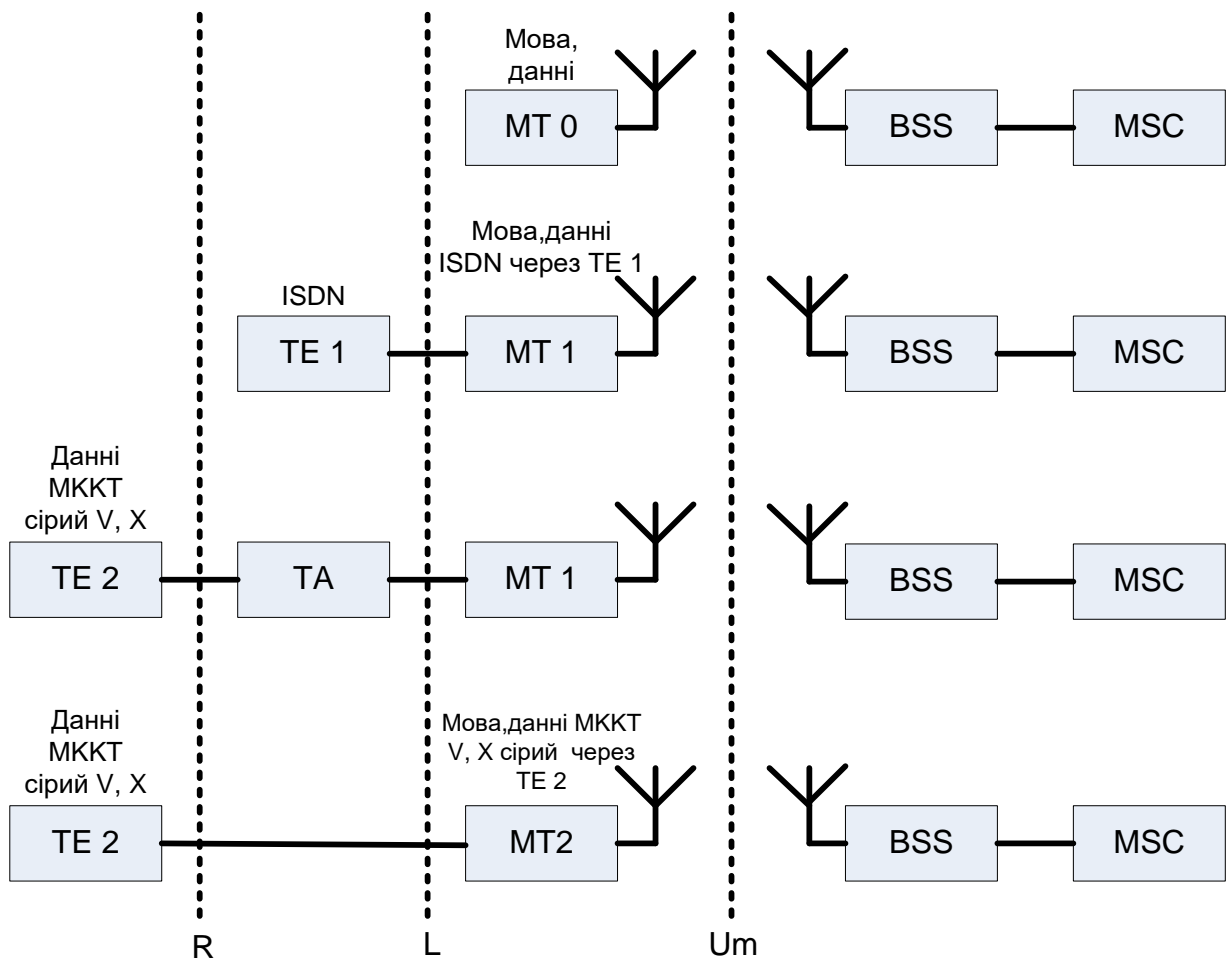


Рис. 2.3. Точки доступу в мережі стандарту GSM

У загальному випадку РС складається з терміналу СС3 (MT) і термінального устаткування (TE). Термінали можуть бути трьох типів: МТ0 - багатофункціональна РС, що включає як мережевий термінал, так і термінальну апаратури; МТ1 - підтримує термінальне устаткування типу TE1 з інтерфейсом ISDN; МТ2 - підтримує термінальну апаратури типу TE2 з інтерфейсами серій X і V МККТТ; термінальне устаткування типу TE2 може бути підключене також до терміналу МТ1 через термінальний адаптер ТА.

Крапки доступу S і R відповідають функціям передачі, виходи терміналу МТ0 і термінального устаткування - телефоніям.

Можливі різні варіанти підключення абонентів до мережі. Наприклад, можливе підключення без надання постійного «міського» номера (тобто номера стаціонарної ТфЗВ). При цьому абонент без обмежень користується зв'язком у межах стільникової

мережі і, можливо, всіма варіантами вихідного зв'язку, а на вхідний зв'язок ззовні стільникової мережі накладаються обмеження, що залежать від можливостей мережі. Можливе надання двох «міських» номерів на один абонентський апарат, причому кожен номер може мати свій набір послуг, обслуговуватися по своєму тарифному плані, і на кожний з номерів може виставлятися окремий рахунок.

До додаткових можна віднести такі послуги:

1. Послуга переадресації виклику надає абонентам можливість направляти вхідні дзвінки, що надходять на їх номер телефону, на інший номер за певних умов. Ця послуга здійснюється через центр керування мережею. Варіанти переадресації можуть бути різними, включаючи безумовну переадресацію, коли всі вхідні виклики переадресовуються, або умовну переадресацію, коли переадресація відбувається лише у конкретних ситуаціях. Також можлива переадресація, якщо абонент недоступний, наприклад, коли його телефон вимкнений або він перебуває за межами зони дії мережі. Крім того, вхідні виклики можуть бути переадресовані на будь-який інший номер телефону, такий як домашній стаціонарний телефон абонента або голосову пошту;

2. послуга утримання виклику дозволяє абонентам призупинити поточну розмову без відключення з'єднання. Під час утримання виклику абонент може прийняти другий вхідний виклик або здійснити вихідний виклик до іншого абонента, а потім повернутися до перерваної розмови;

3. послуга очікування виклику дозволяє абонентам отримувати сигнал про надходження додаткового вхідного виклику під час активної розмови по телефону. В такому випадку абоненту надається декілька варіантів дій: відмовитися від другого виклику, завершити поточну розмову і прийняти другий виклик або призупинити поточну розмову за допомогою послуги утримання виклику, відповісти на другий виклик і після його завершення повернутися до перерваної розмови;

4. послуга конференцзв'язку дозволяє одночасно здійснювати телефонну розмову з трьох до шести абонентів. Організатор конференцзв'язку, який збирає групу співрозмовників, має можливість тимчасово або остаточно відключати кожного учасника від загальної розмови або закінчувати сеанс конференцзв'язку в цілому;

5. послуга заборони або обмеження певних категорій викликів надає абонентові можливість виключити певні типи викликів, такі як вхідні виклики, вихідні виклики або міжнародні виклики. Ця послуга дозволяє абонентам контролювати свої комунікаційні витрати або обмежувати небажані дзвінки. Для встановлення або скасування заборони викликів абонент використовує індивідуальний пароль, що гарантує захист від несанкціонованого керування заборонами з боку сторонніх осіб. Це забезпечує абоненту повний контроль над тим, які типи викликів він приймає або здійснює;

6. послуга закритої групи користувачів дозволяє створити приватну комунікаційну мережу для членів конкретної групи абонентів. Ця послуга особливо корисна для організацій і підприємств, які бажають мати внутрішній корпоративний зв'язок;

7. послуга автоматичного визначення номера, а також заборони визначення номера. Заборона накладається з боку абонента, який телефонує, і має більш високий пріоритет, чим визначення номера. Можливість автоматичного визначення номера в сполученні з можливістю збереження номера в пам'яті абонентського апарата дозволяє абонентові через деякий час довідатися, з яких номерів він одержував виклики, у тому числі які з них залишилися без відповіді;

8. послуга голосової пошти дозволяє залишити на персональному автовідповідачі абонента голосове повідомлення, якщо абонент не може прийняти вхідний виклик, наприклад якщо абонентський апарат вимкнений, або перебуває поза зоною дії мережі, або якщо абонент не відповідає. Абонент одержує інформацію про повідомлення, що надійшло, і прослуховує його в зручний для себе час. Отримане повідомлення абонент може стерти або зберегти, щоб мати можливість прослухати його ще раз. Абонентові надається можливість записати індивідуальне привітання, що звучить при підключенні абонента, що зателефонував, до персонального автовідповідача;

9. Оперативна інформація про вартість наданих послуг («рада про оплату»);

10. Дуже важлива і зручна послуга роумінгу, що дозволяє користуватися стільниковим зв'язком не тільки в «своїй» мережі, але і в інших мережах, технічно

сумісних з «домашньої», при наявності відповідних роумінгових угод.

У будь-якій конкретній мережі можуть надавати не весь спектр перерахованих послуг. Це залежить від стандарту та варіанту використовуваного апаратурно-програмного комплексу, так само як у деяких мережах можуть бути послуги, що відрізняються від вище переліченого.

## 2.5. Обслуговування виклику в мережах стандарту GSM

При розгляді стільникових телефонних мереж (СТМ), на відміну від стаціонарних варто враховувати те, що абонентська лінія включається не в конкретний вузол комутації, а безпосередньо в мережу, що може поєднувати не тільки кілька стільникових мереж у межах однієї країни, але мережі різних країн.[4] Тому потрібно чітко визначити зони обслуговування кожної зі структурно-функціональних одиниць.

У загальному виді можна виділити наступні зони обслуговування глобальної СТМ (рисунку 2.4):



Рис.2 4. Зони обслуговування стільникової мережі

Поняття "стільник" відноситься до зони покриття однієї базової станції BTS. Зона місцезнаходження або пошуку, натомість, об'єднує кілька стільників, що контролюються одним або декількома контролерами BSC, але всередині одного MSC. У межах зони місцезнаходження абонент може вільно переміщатися в межах цієї зони, не потребуючи відновлення даних у гостьовому реєстрі VLR.

Зона обслуговування загального користування СТМ визначається зонами обслуговування MSC, через який здійснюється вихід на інші мережі електрозв'язку. Кожна MSC відповідає за певну територію та має свою зону обслуговування. Ці зони визначаються для забезпечення доступу до різних мереж електрозв'язку та забезпечення безперешкодного зв'язку абонентів.

Зона обслуговування глобальної СТМ поєднує всі зони обслуговування національних стільникових телефонних мереж. Стандарт GSM забезпечує єдність і сумісність між різними національними мережами, що дозволяє абонентам використовувати мобільні пристрої без змін номерів телефонів та пристроїв в різних країнах.

Функціональна організація та система нумерації мережі GSM мають важливе значення для забезпечення зв'язку між РС (роз'ємними станціями) та абонентами стаціонарної телефонної мережі (у майбутньому - ISDN) та іншими мережами електрозв'язку. Цей підхід включає в себе інтеграцію GSM в загальний план нумерації стаціонарної телефонної мережі, згідно з рекомендаціями МККТТ ЇВ 64.

Номер рухомої станції (MSISDN) включає всі три компоненти - код країни, код мережі та номер абонента. Ця комбінація цифр і символів дозволяє однозначно ідентифікувати рухому станцію в мережі GSM. Однак СТМ GSM є виділеною і може поєднувати СТМ різних країн. Відповідно до стандартів GSM, у межах мережі GSM була введена єдина система нумерації. Ця система нумерації забезпечує уніфікований підхід до ідентифікації та зв'язку між рухомими станціями в мережі і при реєстрації абонентів привласнюється єдиний міжнародний номер IMSI, об'єм якого не повиний перевищувати 15 цифр. Структура номера IMSI аналогічна структурі номера MSISDN, але під код країни в мережі GSM приділяються 3 цифри; під код мережі 1-2 цифри; під номер абонента максимум 11 цифр.

виникає проблема маршрутизації вхідних викликів до рухомої станції (РС) від стаціонарної телефонної мережі. Це пов'язано з тим, що рухома станція може змінювати зони обслуговування під час свого переміщення. У відмінність від стаціонарних мереж, в номерах облікового запису (MSISDN, IMSI) не можна

включити код логічного напрямку зв'язку, який однозначно ідентифікує бажаний MSC, в зоні обслуговування якого перебуває PC у конкретний момент часу.

Для забезпечення можливості маршрутизації, кожен MSC (VLR) має набір номерів, відомих як номери маршрутизації мережевих послуг (MSRN). Ці номери передаються на запит головного MSC (у випадку, якщо система включає кілька MSC) тільки на час маршрутизації виклику до певного MSC. У відмінність від номерів MSISDN, номер MSRN не містить номер абонента, але ідентифікує конкретний MSC. У MSC (VLR) номер MSRN встановлюється в однозначній відповідності з номером IMSI рухомої станції, яку викликають. Для визначення зони пошуку (місцезнаходження) в мережі GSM використовується номер LAI (Location Area Identity). Він відрізняється від номера IMSI тим, що замість номера абонента вказується код зони місцезнаходження.

Крім вже згаданих номерів, що використовуються для маршрутизації викликів, стандарт GSM також передбачає додаткові номери для ідентифікації обладнання і забезпечення конфіденційності. Ці номери включають номер устаткування IMEI і тимчасовий номер абонента TMSI. Номер TMSI є тимчасовим ідентифікатором абонента і використовується для забезпечення конфіденційності даних. Він визначається адміністрацією мережі і має обмежену довжину, яка зазвичай не перевищує 4 байти.

## **ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2**

Було розглянуто: Загальні характеристики стандарту GSM, структурну схему стільникової системи стандарту GSM, мережеві і радіо інтерфейси, структуру служб та обслуговування виклику в мережах стандарту GSM.

## РОЗДІЛ 3

### БАЗОВА СТАНЦІЯ СТАНДАРТУ GSM

#### 3.1. Загальні положення

Підсистема базових станцій (BSS) містить у собі базові прийомо - передавальні станції BTS (число яких визначається кількістю стільник у межах зони обслуговування стільникового оператора), пов'язані з контролером базових станцій (BSC), Саме BTS забезпечують взаємодію з мобільними станціями і передають інформацію з ліній зв'язку (радіорелейним або волоконно-оптичним чином) в BSC. При цьому на лінії BTS $\leftrightarrow$ MS реалізуються численні операції, головними з яких є:

- встановлення зв'язку;
- передача (прийом) мовної і керуючої інформації;
- визначення місця розташування мобільних станцій і передача обслуговування;
- роумінг;
- керування потужностями BTS і MS;
- аутентифікація і ідентифікація і т.д.

Типологія мережі BSS являє собою кілька видів з'єднань BTS с BSC(рисунок.3.1):

- точка - точка (point-to-point) при малих відстанях між BTS і BSC (до 1 км);
- багатовідвідна (багатоточкова) система (мережа) (multidrop chain);
- багатоточковий контур (multidrop loop).

Два останніх з'єднання використовуються при відстанях між BTS і BSC більше кількох кілометрів, при цьому взаємодія між BTS і BSC реалізується за допомогою стандарту E1 (швидкість 2 Мбіт/с).

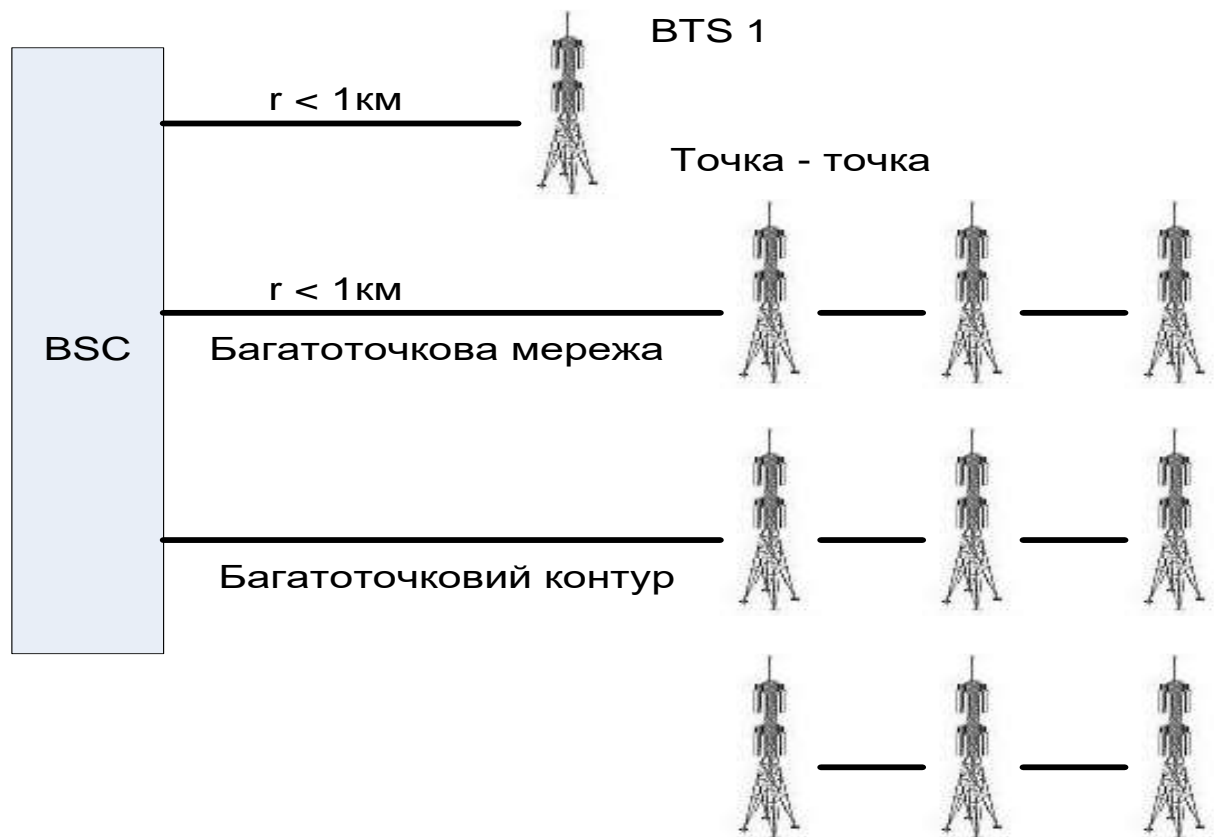


Рис. 3.1 Види з'єднань BTS с BSC.

### 3.2. Структурна схема базової станції стандарту GSM

На рисунку 3.2 наведена структурна схема базової прийомо – передавальної станції в підсистемі BSS.

До основних особливостей базової станції BTS (рисунок 3.2), можна віднести наступні:

- антенна система, що складається із двох рознесених антенних пристроїв, забезпечує при цьому перемикання режиму прийому/передачі антени за допомогою електронного комутатора;

- наявність кількох приймачів і такого ж числа передавачів, що дозволяють вести одночасну роботу на декількох каналах з різними частотами;

- однойменні приймачі і передавачі мають загальні переналаштовуючі опорні генератори, що забезпечують їхнє погоджене переналаштування при переході з одного каналу на іншій;



- одночасну роботу N приймачів на антенну систему в режимі прийому і на N передавачів у режимі передачі забезпечують, відповідно, дільник і суматор, що реалізують у випадку прийому - розподіл потужності прийнятого сигналу на N входів, а у випадку передачі - підсумовування вихідних потужностей з N виходів;

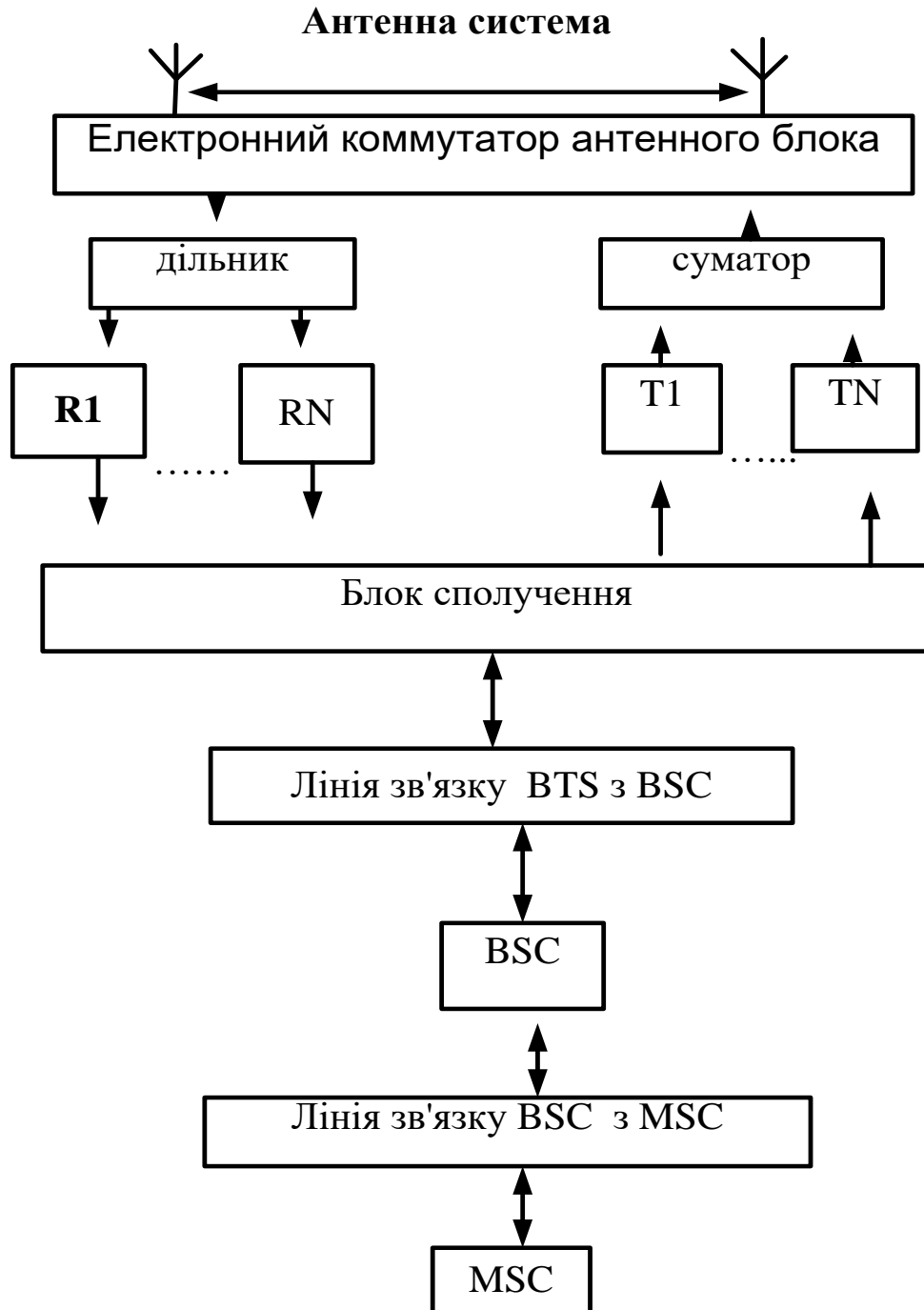


Рис . 3.2. Структурна схема базової приймально-передавальної станції BTS у підсистемі BSS

- приймачі і передавачі BTS мають ту ж структурну схему, що і у мобільних станціях, за винятком того, що в них відсутні АЦП і ЦАП, тому що і вхідні сигнали передавачів і вихідні сигнали приймачів мають цифрову форму;

- блок сполучення з лінією зв'язку реалізує пакування цифрової інформації, переданої по лінії зв'язку на контролер BSC і далі в центр комутації MSC, і розпакування вступник від нього цифрової інформації;

- MSC і BSC забезпечують керування роботою всіх BTS у зоні обслуговування, а також контроль працездатності всіх вхідних в BSS блоків і вузлів.

У стандарті GSM звичайно до BSC підключаються певне число BTS (до 16 BTS). Залежно від використовуваною антеною системи в BTS можливі три варіанти BTS (рисунок 3.3):

- всеспрямована антенна система BTS, що забезпечує рівномірне випромінювання в межах стільниці (omnidirectional BTS);

- антенна система BTS, коли в BTS використовуються антени з діаграмами направленості в  $120^\circ$  по азимутальному секторі в межах стільниці, тобто 3 області випромінювання і прийому (3 sectorized BTS);

- в одній BTS має 6 секторів (по  $60^\circ$  у кожному) (6 sectorized BTS).

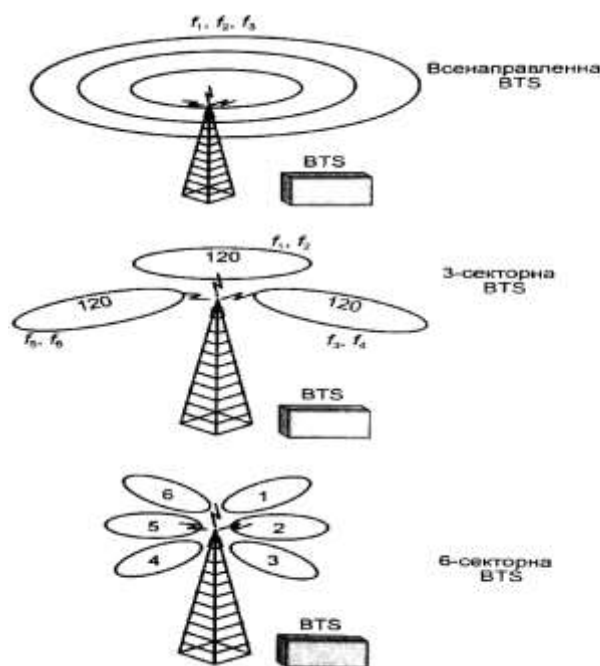


Рис. 3.3. Три варіанти антенних систем BTS

На рисунку 3.4 показана типова вежа BTS з антеною системою (два вібратори, рознесені на  $d < 2m$  ( $d/\lambda \sim 5$ ) для мобільного зв'язку, дві антени для радіорелейного зв'язку, крім того, на рисунку 3.5 показаний зовнішній вигляд, а на рисунок 3.6 внутрішнє компонування апаратури в апаратному контейнері зв'язку, де розміщається GSM-апаратури для стандартів GSM 900 1800, NMT-450, кондиціонер, апаратура радіорелейної лінії зв'язку RRL, система живлення і сигналізація.

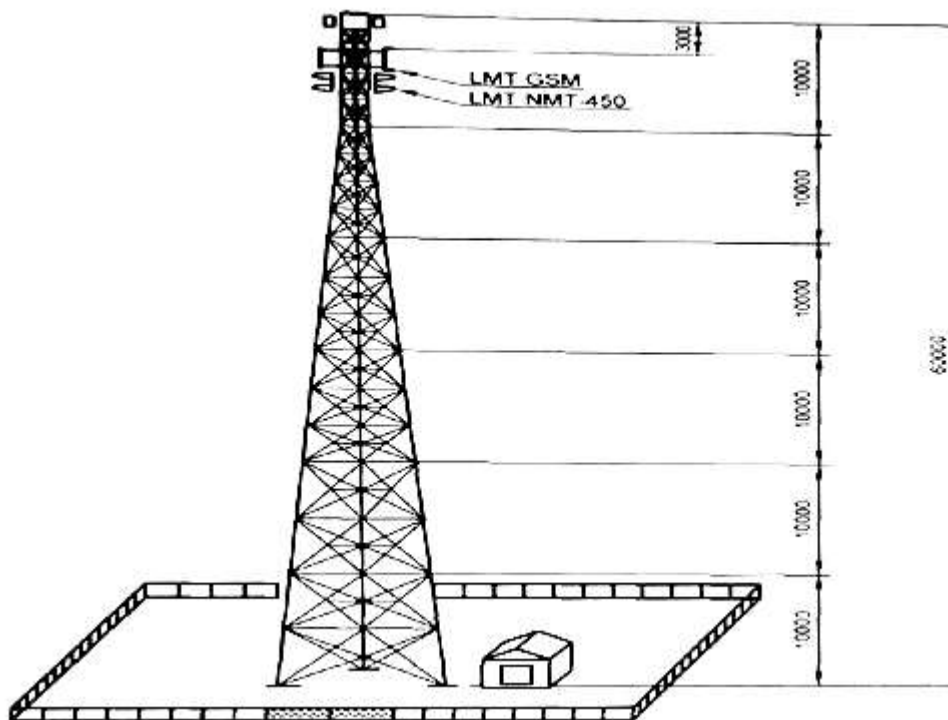


Рис. 3.4. Зовнішній вигляд вежі і апаратного контейнера BTS

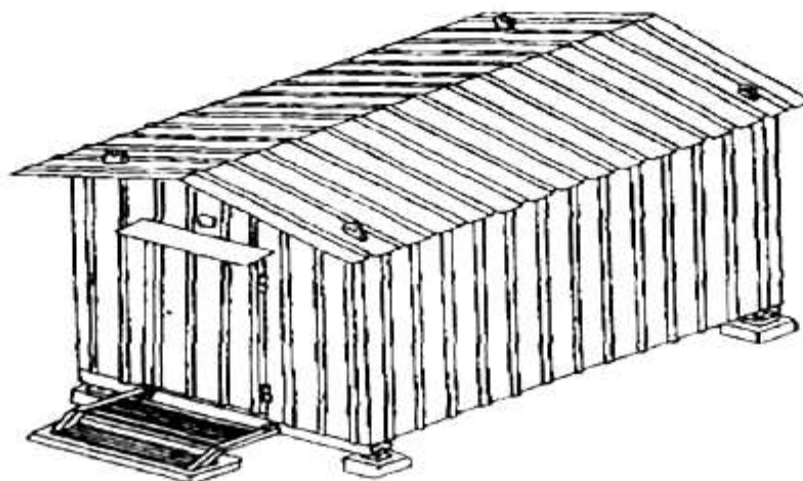


Рис. 3.5. Зовнішній вигляд апаратного контейнера BTS



Рис. 3.6. Внутрішнє компонування апаратур GSM і NMT-450 в апаратному контейнері зв'язку BTS

Висота розташування антен BTS міняється в широких межах:

- на будинках - від 20 до 40 м;
- на вежах - дискретно - 45,50, 60, 72,100 м.

Звичайно значення потужностей передавачів BTS мають порядок:

- GSM 900-Р, ~ 50...55 Вт;
- GSM 1800-Р, ~ 12 Вт.

Коефіцієнти підсилення антен BTS мають значення G, -50...55 дБ.

Висновок

Ми ознайомились з основними функціями, принципом роботи, будовою та загальною комплектацією базової станції стільникового зв'язку GSM.

## РОЗДІЛ 4

### ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ТА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМ ПРИЙМАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ БС.

#### 4.1. Обґрунтування та вибір функціональної схеми приймача БС стандарту GSM

Забезпечення прийому сигналів БС від МС є основним і найбільш відповідальним завданням всіх засобів стільникового зв'язку.

Приймач - базової прийомо - передавальної станції має ту ж структурну схему, що і у мобільних станціях, за винятком того, що в ньому відсутній цифро аналоговий перетворювач (ЦАП), тому що вихідні сигнали приймачів BTS мають цифрову форму та прямують до контролеру базових станцій (BSC), а потім до центру комутації рухомого зв'язку.

Грунтуючись на цьому побудуємо приймач на основі мобільного телефону Nokia.

Приймальний тракт БС призначений для прийому цифрових сигналів на частоті 900 та 1800 МГц складається з таких основних частин:

- Електронний антенний перемикач (диплексер Z502 )- призначений для розділення сигналів прийому та передачі, а також для перемикання діапазонів робочих частот GSM900 МГц/GSM1800 МГц.
- Два малошумлячих підсилювача (МШП) на транзисторах (V501 для GSM 900 та V500 для GSM 1800). МШП - мають дуже низький коефіцієнт шуму, що відіграє надзвичайно важливу роль у забезпеченні високої чутливості вхідного підсилювального каскаду. Іншою важливою характеристикою є його лінійність, яка впливає на здатність приймача відсіювати бажані сигнали від схожих з ним паразитних сигналів. Робочий струм підсилювача може бути відрегульованим за допомогою вбудованої схеми зсуву. Це дозволяє підтримувати прийнятний коефіцієнт шуму й оптимізувати співвідношення між робочим струмом і вихідною лінійністю.

- Мікросхеми Nagar-3 (N500), яка виконує відповідно функції прийомного посилення вхідних сигналів у МШП з фіксованим коефіцієнтом підсилення +20 дБ, перетворення сигналів радіо частоти у сигнали проміжної частоти, посилення сигналів сигнали проміжної у програмувальному підсилювачі проміжної частоти (ППЧ) із динамічним діапазоном 60 дБ (-10...+50 дБ), перетворення сигналів сигнали проміжної у цифрові I/Q сигнали.
- Чотирьох фільтрів на поверхнево акустичних хвилях, які входять в склад двох мікросхем L587D (Z500 та Z501). ПАХ – фільтр електричний, в якому для розподілу електро - магнітних коливань різної частоти їх перетворюють в акустичні коливання і назад, розділяючи при цьому акустичні коливання різної частоти. Розподілення акустичних коливань різної частоти (частотна фільтрація) виконується за допомогою зустрічно – штирового перетворювача, в якому задана частотна характеристика реалізується за рахунок виборчого прийому ПАХ.

Функціональна схема приймача БС GSM представлена на рисунку 4.1.

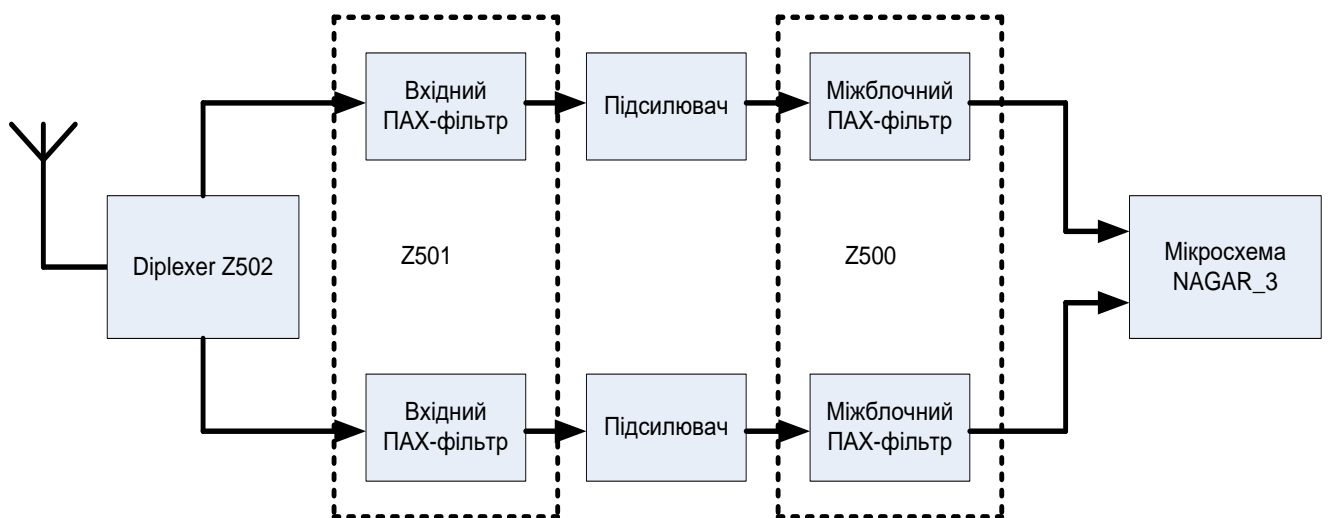


Рис. 4.1. Функціональна схема приймача БС стандарту GSM

## 4.2. Обґрунтування та вибір принципової схеми приймального тракту БС GSM

Принципова схема приймального тракту БС GSM реалізована згідно функціональної схеми приведеної на рисунку 4.1

У принциповій схемі тракту прийому БС стандарту GSM ми не розглядаємо такий функціональний елемент як електронний антенний перемикач Diplexer.

Від антени до диплексера сигнали надходять до тракту прийому по загальному ланцюзі, а після диплексера вони розділяються на тракти прийому сигналів GSM900 і GSM1800. Принципова схема тракту прийому БС GSM представлена на рисунку 4.2

Тракт прийому сигналу в стандарті GSM1800 складається з вхідного фільтра з поверхневими акустичними хвилями (ПАХ) Z501 і міжблочного ПАХ - фільтра Z500. Вхідний фільтр двосмуговий. Його коефіцієнт поворотних втрат становить не більше 1,4 дБ, а коефіцієнт придушення сигналу проміжної частоти не менш 30 дБ.

Малошумлячий підсилювач являє собою дискретний модуль із коефіцієнтом підсилення близько 18 дБ. Робочий струм підсилювача стабілізований інтегральним імпульсним стабілізатором мікросхеми Nagar -3 BGC405 (контакт D2), який з'єднаний з ланцюгами зміщення підсилювача. Його величина визначається опором резистора R506.

Після посилення в МШП сигнал надходить на триполюсний міжблочний ПАХ - фільтр Z500, що придушує посилені МШП позасмугові перешкоди. Він має коефіцієнт поворотних втрат не більше 3,5 дБ і коефіцієнт придушення сигналу проміжної частоти не менш 35 дБ.

Міжблочний ПАХ - фільтр Z500 підключений до входу першого змішувача через балансуєчу схему L521, T500, L501, C507, C515, L500 що перетворює несиметричні сигнали в симетричні.

Сигнал прийому стандарту GSM900 надходить на МШП через ПАХ-фільтр Z501, що має коефіцієнт внесених втрат близько 2,2 дБ і згасанням 1,2 дБ. Коефіцієнт підсилення малошумлячого підсилювача на транзисторі V501 обмежений порогом 20 дБ. Робоча точка транзистора стабілізовано напругою яка подається з мікросхеми Nagar-3 (контакт B2) через резистор R514 на ланцюги зміщення. Підсилювач вмикається подачею сигналу із

цієї ж мікросхеми. На його виході включений ПАХ-фільтр Z501, що має коефіцієнт внесених втрат 3,2 дБ. Крім фільтрації вихідного сигналу МШП він також забезпечує узгодження між його виходом і входом змішувача, розташованому в мікросхемі Nagar-3 (контакти С9 і В9). Фільтр має симетричний вихід. Ланцюг Т501, L503, С520, С528, L504 забезпечує додаткове узгодження сигналів.

Мікросхема Nagar-3 має роздільні входи змішувачів для сигналів діапазонів 900 й 1800 МГц. Вони забезпечують східчато змінюваний коефіцієнт підсилення сигналу ПЧ, що змінюється динамічно в межах 10 дБ у діапазоні GSM й 8 дБ у діапазоні PCN(GSM 1800).

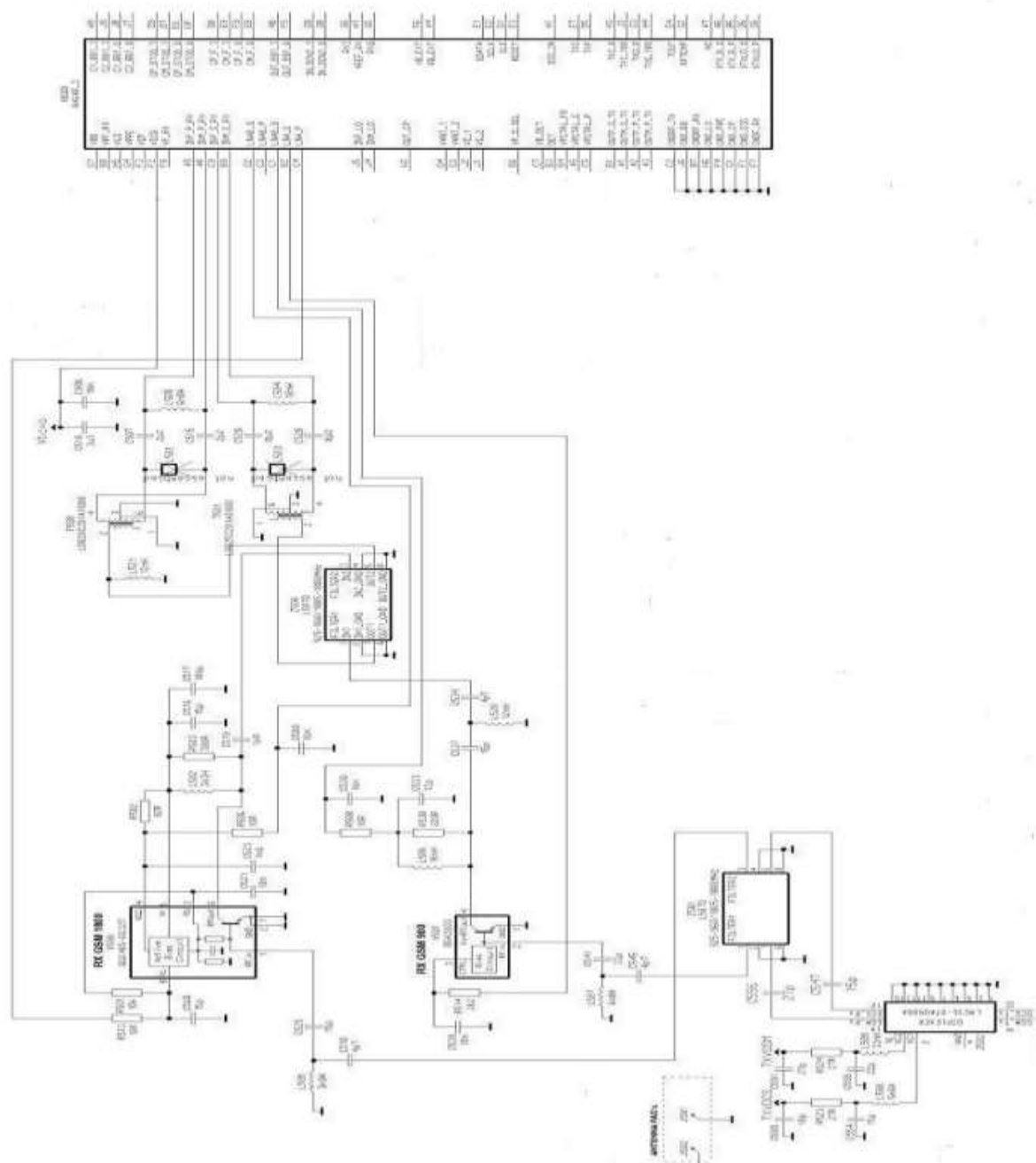


Рис. 4.2. Принципова схема тракту прийому БС GSM



## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі було проведено аналіз систем мобільного радіозв'язку, їх переваги та недоліки. В ході аналізу систем рухомого радіозв'язку обрано для подальшого опрацювання систему стільникового зв'язку стандарту GSM. GSM є провідною системою на території України. Системи зв'язку стандарту GSM розраховані на надання широкого діапазону послуг. У провідній системі досягається високий ступінь безпеки передачі повідомлень, який здійснюється шифруванням повідомлень по алгоритму шифрування з відкритим ключем (RSA).

У цілому система зв'язку, що діє в стандарті GSM, розрахована на використання в різних сферах. Вона надає користувачам широкий діапазон послуг і можливість застосовувати різноманітне устаткування для передачі мовних повідомлень і даних, передачі аварійних сигналів, підключатися до телефонних мереж загального користування (PSTN), мережам пакетної передачі даних (PDN) і цифровим мережам з інтеграцією служб (ISDN).

Розбір стільникової системи рухомого радіозв'язку стандарту GSM дозволив зрозуміти переваги та можливості розвинутої системи GSM. Вона забезпечує надійну та безпечну передачу голосу і даних, підтримує роумінг і мобільний доступ до інтернету.

Після розгляду структурної схеми стільникової системи стандарту GSM, мережеві і радіо інтерфейси, структуру служб та обслуговування виклику мереж стандарту GSM, побудована структурна схема базової приймально-передавальної станції BTS у підсистемі BSS.

У підсумку обґрунтована функціональна схема приймача БС GSM. Обґрунтована принципова схема тракту прийому БС GSM.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко М.П. Системи стільникового зв'язку: Конспект лекцій. – Одеса: ОНАЗ, 2004 – 76 с.
2. Бондаренко І.М. Системи радіозв'язку. Кн.2, ч.1. Радіолінії зв'язку: Навч. посібник. – Харків.: ХІ ВПС, 2003. – 162с.
3. Бурляй І.В. Системи радіозв'язку та їх застосування оперативно-рятувальною службою/ І.В.Бурляй, Орел, О.М.Джулай: Посібник.-Чернігів: РВК «Деснянська правда», 2007.-288 с.
4. Головін Ю. О. Основи радіозв'язку з рухомими об'єктами : навч. посіб. Київ : ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. 326 с.
5. Домарєв А. С. Аналіз загальних принципів організації мобільного радіозв'язку / А. С. Домарєв, І. А. Сахаров // Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті: матеріали 24-го Міжнар. молодіжн. форуму, 7–9 квітня 2020 р. – Харків : ХНУРЕ, 2020. – Т. 3. – С. 55–56.
6. Дослідження архітектури мереж стільникового зв'язку в Україні та можливості їх переходу до мереж LTE / Р. С. Одарченко, Н. В. Дика // Наукоємні технології. - 2016. - № 3. - С. 291-298.
7. Заїка В.Ф., Варфоломеєва О.Г., Домрачева К.О., Гринкевич Г.О. Навчальний посібник для самостійної роботи з дисципліни «Телекомунікаційні системи та мережі наступного покоління».- К.: Державний університет Телекомунікацій 2019-315 с.
8. Конахович Г.Ф. Системи радіозв'язку. Навчальний посібник. – К.: НАУ, 2004 - 311с.
9. Конвенція Міжнародного союзу електрозв'язку, ратифікована Законом України від 116/94-ВР від 15.07.1994 р.
10. Лободзінська Р.Ф. Конструювання радіоелектронних засобів телекомунікаційних систем. Вінниця :ВНТУ, 2018.
11. Матвійків, М.Д. Елементи та компоненти електронних пристроїв: підручник / М.Д. Матвійків, Б.С. Вус, О.М. , 2017. - 199 с.
12. Мобільні системи транкінгового зв'язку: Навчальний посібник/С.В.Давіденко, О.О.Лаврут, С.О.Івко, Б.М.Бойчук.-Львів:НАСВ, 2019.-167 с.
13. Одарченко Р.С., Дика Н.В. Дослідження архітектури мереж стільникового зв'язку в Україні та можливості їх переходу до мережі LTE//Наукоємні технології № 3, (2016).-С.291-298
14. Радіорелейні та супутникові системи зв'язку: навчальний посібник/В.В.Абрамова, С.К.Абрамов, О.С. Рубель, МОН України, Національний аерокосмічний ун-т ім.М.Є.Жуковського «Харківський авіаційний ін-т.»-Харків: ХАІ, 2018.-116 с.
15. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник: Навч. посібник/За ред. Ю.Л.Мазора, Є.А.Мачуського, В.І.Правди.-К.: Вища шк., 2019.-83 с.:іл.
16. Сайко В.Г., Казіміренко В.Я., Літвінов Ю.М. Мережі бездротового широкосмугового доступу : навч. посіб. Київ : ДУТ, 2015. 196 с.

17. Системи рухомого зв'язку. Навчальний посібник / О. О. Семенова, А. О. Семенов, В. С. Белов. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 185 с.
18. Слюсар В.І. Базові станції стільникового зв'язку як джерело метеорологічної інформації. // X науково-практична конференція “Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення”. – Київ: ВІТІ. - 9 – 10 листопада 2017 року. - С. 222.
19. Стеклов В.К., Беркман Л.Н., «Телекомунікаційні мережі» - К. Техніка 2001, 392с.
20. Сучасні телекомунікації: Мережі, технології, безпека, економіка, регулювання. Видання друге (доповнене) / за загальною ред. Довгого С.О. Київ : Азимут-Україна, 2013. 608 с.
21. Теорія систем мобільних інфокомунікацій. Системна архітектура [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С.О. Кравчук; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 18,6 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 682 с.
22. Удосконалена архітектура системи безпеки стільникових мереж нового покоління / Р. С. Одарченко, В. О. Гнатюк В.О., Є. О. Самойлик, В. В. Котелянець. Наукоємні технології в інфокомунікаціях: обробка, захист та передача інформації: Монографія / за ред. В. В. Баранніка, В. М. Безрука. Х.: Видавництво «Стиль-вида», 2018. С. 293-302.
23. <http://www.kiev.ua/zak1.html> законодавство України.
24. <http://www.riis.gov.ua> перспективи розвитку інформаційних технологій.
25. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20#Text> Закон України «Про електронні комунікації» № 1089-IX від 16.12.2020 р.
26. [TETRA — Вікіпедія \(wikipedia.org\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/TETRA) Наземне транкінгове радіо (TETRA)
27. Основи побудови засобів та систем телекомунікацій: О75 навчальний посібник / [Кичак В. М., Барась С. Т., Кравцов Ю. І. та ін.] – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 188 с.
28. <https://uk.wikipedia.org/wiki/GPS%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8> GPS-сигнали.
29. А.М. Кравченко. «Електронний навчально-методичний фонд "Системи та мережі зв'язку з рухомими об'єктами"». - 2015.
30. Семенова О. О. Системи рухомого зв'язку. Навчальний посібник / О. О. Семенова, А. О. Семенов, В. С. Белов. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 185 с.
31. Теорія систем мобільних інфокомунікацій. Системна архітектура [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» / С.О. Кравчук; – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 682 с.
32. Організація військового зв'язку (В.Г. Шолудько, М.Ю. Єсаулов, О.В. Вакуленко, Т.Г. Гурський, М.М. Фомін). Навчальний посібник. – К.: ВІТІ, 2017 р. – 282 с.