

## Лекція 1

### Загальна характеристика і особливості систем зв'язку з рухомими об'єктами

#### 1. Задачі вивчення дисципліни та її коротка характеристика

*Системи мобільного зв'язку з рухомими об'єктами (СМЗРО) є різновидом систем радіозв'язку, тобто систем зв'язку, в яких інформація від передавача до приймача передається лінією зв'язку, в якості якої виступає вільний простір – оточуюче нас середовище або так званий ефір чи радіолінія, що принципово є бездротовою (безпроводовою).*

Стільниковий зв'язок уперше з'явився в 1971 р. на рівні ідеї, у 1978 р. – у виді першої дослідної мережі, у 1985 р. – у виді самостійної системи з 200000 абонентів. Сьогодні це масова система радіотелефонного зв'язку з рухомими об'єктами, що охоплює практично всі країни світу.

В Росії і в Україні стільниковий зв'язок почав впроваджуватись з 1990 р.

Розрізняють такі три покоління систем стільникового зв'язку:

I – аналогові системи;

II – цифрові системи, які з'явилися на початку 90-х років минулого століття;

III – універсальні системи мобільного зв'язку.

Курс “СМЗРО” є односеместровим. Він складається з 18 годин лекцій, 9 годин лабораторних робіт, 9 годин практичних занять, 2-х модульних контролів знань.

**Мета навчальної дисципліни** – забезпечити студентів комплексними знаннями принципів побудови *СМЗРО*, їх технічних характеристик, особливостей функціонування систем і радіообладнання, яке застосовується при розгортанні відповідних мереж зв'язку.

#### Основна література:

1. Весоловский К. Системы подвижной радиосвязи. – М. Горячая линия – Телеком, 2006. – 536 с.

2. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами. – М.: Радио и связь, 2002. - 440 с. – гл. 7-9 з 12-ти

3. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и ее приложения. -- М.: Эко-Трендз, 2006.

4. Ратынский М.В. Основы сотовой связи. – М.: Радио и связь, 2000, – 248 с

#### 2. Наземні системи радіозв'язку

Системи радіозв'язку поділяють на наземні та космічні – це за формою організації, на мовні, відео та передачі даних – це за змістовною ознакою. В лекціях основну увагу буде зосереджено саме на мобільних (рухомих) системах радіозв'язку передачі мови та передачі даних.

Основними видами наземних мобільних систем радіозв'язку є бездротова телефонія, транкінговий зв'язок (персональний виклик), стільниковий зв'язок та різноманітні платформи радіодоступу до локальних та глобальної мереж.

До супутникових систем радіозв'язку відносяться системи персональної телефонії та глобального місцевизначення

**Системи персонального радіовиклику (пейджингові системи– від англ. paging – виклик).** Такі системи з початку їх застосування будувалися на основі мовних систем. У них пейджер може тільки приймати сигнали, тобто в них має місце односторонній – від базової станції (БС), зв'язаної з центром обробки викликів, до

обраної рухомої станції (РС), яка працює тільки на прийом сигналу, виділяючи з усіх радіомовних радіосигналів системи лише її адресований сигнал.

На ранній стадії розвитку пейджингових систем задача прийому радіосигналу була гранично проста – запустити «дзвоник» – генератор звукових сигналів. В наш час прийняте повідомлення має вид послідовності буквенно-цифрових символів чи короткого мовного повідомлення.

Оскільки пейджер – дуже простий пристрій, не призначений для передачі сигналу, він споживає мало енергії і має невеликі розміри. Потужний сигнал, який повинен проникати через стіни будинків, випромінюється базовою станцією (БС).

Стандартна пейджингова система складається з таких основних блоків:

1. Центра обробки викликів, куди можна направити запит на передачу заданому користувачу мовного чи буквенно-цифрового повідомлення.
2. Базового передавача, що працює на частоті в сотні мегагерц.
3. Певної кількості приймачів (пейджерів).

Подальший розвиток пейджингових систем характеризується введенням каналу зворотного зв'язку, призначеного для підтвердження прийому повідомлень.

Зазначимо, що останнім часом темпи розвитку пейджингових систем значно знизились через величезну популярність стільникових телефонів.

**Транкінгові системи** (англ. *trunking* – об'єднання в пучок) – радіально-зонаві системи наземного рухомого радіозв'язку, які здійснюють автоматичний розподіл каналів зв'язку ретрансляторів (базових станцій – БС) між абонентами. Під терміном «транкінг» розуміють метод доступу абонентів до загального виділеного пучка каналів, при якому вільний канал виділяється абоненту на час сеансу зв'язку.

Включають наземну інфраструктуру (стаціонарне обладнання) і абонентні станції. Основним елементом наземної інфраструктури мережі транкінгового радіозв'язку є базова станція (БС), до складу якої входять декілька ретрансляторів з відповідним антенним обладнанням і контроллер, який управляє роботою БС, комутує канали ретрансляторів, забезпечує вихід на телефонну мережу загального користування (ТфЗК) або іншу мережу фіксованого зв'язку.

Сучасні транкінгові системи, як правило, забезпечують різні типи виклику (груповий, індивідуальний, широкомовний), допускають пріоритетні виклики, забезпечують можливість передачі даних і режим прямого зв'язку між абонентними станціями (без використання каналу БС).

Більш детальна інформація про транкінговий зв'язок буде подана в одній з наступних лекцій.

**Стільникова телефонія** – це наступний і, можливо, найбільш показовий приклад систем зв'язку з рухомими об'єктами, яка забезпечує двостороннє бездротове з'єднання з рухомою станцією (РС).

В останні три десятиліття системи стільникового рухомого зв'язку (СРЗ) стрімко розвивалися й удосконалювалися. Так, якщо системи СРС першого покоління були аналоговими, то в подальшому були розроблені цифрові системи – в них використовувалися методи багатостанційного доступу TDMA і CDMA, мова про які піде в наступних лекціях курсу.

Незважаючи на очевидні відмінності між конкретними

Системи стільникової телефонії другого покоління мають такі загальні риси:

- низьку швидкість потоку цифрових даних, що представляють мовний сигнал користувача, обумовлену складними алгоритмами кодування мови; швидкість

поток даних не перевищує 13 кбіт/с, що дозволяє збільшити ємність системи за рахунок певного погіршення якості мовного сигналу;

- відносно невелику (порядку 200 мс) затримку передачі даних в обох напрямках, обумовлену алгоритмами кодування і декодування мови і складною системою детектування цифрового сигналу;
- дуплексну передачу даних з частотним поділом (FDD);
- контроль потужності рухомої станції, що гарантує незмінна якість зв'язку, що не залежить від відстані між рухомою і базовою станціями.

Широке поширення мережі Internet, загальний розвиток комп'ютерних мереж і популярність переносних комп'ютерів (*ноутбуків*) створили попит на можливість доступу до Internet через рухомі станції, що вимагало збільшення швидкості передачі даних у вже існуючих системах. Саме тому було запропоновано спрощений протокол доступу до Internet, що у поєднанні з відповідним дизайном веб-сайтів дозволяло користувачам подорожувати по Internet за допомогою мобільних телефонів.

У минулому десятилітті були розроблені стільникові системи третього покоління. При цьому для нових систем була запропонована велика ємність і кілька типів трафіка. Швидкість передачі даних складає не менш 384 кбіт/с і може досягати 2 Мбіт/с, що дозволяє передавати відеодані.

### **Системи безпроводового доступу до локальних обчислювальних мереж (ЛОМ).**

Бездротові технології були застосовані для реалізації бездротового доступу до комп'ютерних мереж. Умови функціонування і задачі таких систем, що позначаються як WLAN (*Wireless Local Area Networks* – бездротова ЛОМ). У бездротових ЛОМ використовується кілька частотних діапазонів. Деякі системи працюють у діапазоні ISM (*Industrial, Scientific and Medical* – «промисловий, науковий, медичний»), інші використовують спектр у діапазоні 5 ГГц.

### **3. Супутникові системи радіозв'язку**

До супутникових систем рухомого зв'язку належить сімейство систем INMARSAT, спеціалізованих на глобальному морському зв'язку та ін.

Сучасні супутникові системи характеризуються одно- або двонаправленою передачею мови чи даних з невисокою швидкістю, проте на дуже великі відстані. Ємність системи строго залежить від кількості використовуваних супутників. Однак збільшення кількості супутників викликає істотне зростання вартості системи.

В наш час перспективи персональних систем зв'язку з низькоорбітальними супутниками не зовсім ясні через маркетингові проблеми деяких систем, проте цікава сама концепція їхньої побудови.

Геостаціонарні супутникові системи вимагають найменшої кількості супутників, проте такі апарати дуже дорогі. Завдяки високій орбіті (близько 37000 км над поверхнею Землі), кожен супутник покриває величезну територію, і можливостей повторного використання каналу набагато менше, ніж у системах з низькоорбітальними супутниками. Тому ємність системи істотно знижується. Додаткові труднощі створює значна затримка, що вноситься довжиною траси проходження сигналу на геостаціонарний супутник і в зворотному напрямку (до 0,5 с). Така затримка погіршує сприйняття мови.

*Визначення свого положення за допомогою GPS навігатора* – окремого приладу, чи пристрою, убудованого в кишеньковий чи комп'ютер стільниковий телефон, призначеного для визначення поточних координат користувача на поверхні Землі чи в навколосемному просторі. Саме по радіосигналах супутників GPS-приймачі користувачів точно (з похибкою, що не перевищує 1 м, яка цілком достатня для вирішення задач навігації) визначають поточні координати місця розташування рухомих об'єктів (літаків, кораблів, космічних апаратів, автомобілів тощо).

## **4. Принципи побудови систем стільникового зв'язку**

### **4.1. Аналогові системи першого покоління**

Стандарти аналогових систем:

– **AMPS (Advanced Mobile Phone Service)** – удосконалена мобільна телефонна служба, діапазон 800 МГц. Ця система поширена в США, Канаді, Центральній і Південній Америці, Австралії;

– **TACS (Total Access Communications System)** – загальнодоступна система зв'язку, діапазон 900 МГц;

– **NMT 450 і NMT 900 (Nordic Mobile Telephone)** – мобільний телефонний зв'язок північних країн, діапазони 450 і 900 МГц відповідно;

– **C-450** (діапазон 450 МГц);

– **RTMS (Radio Telephone Mobile System)** – мобільна радіотелефонна система, діапазон 450 МГц;

– **Radiocom 2000** (діапазони 170, 200, 400 МГц);

– **NTT (Nippon Telephone and Telegraph system)** – японська система телефону тателеграфу, діапазон 800...900 МГц.

**Особливість аналогових стандартів:** в них застосовуються частотна модуляція для передачі мови і частотна маніпуляція для передачі інформації управління.

Для передачі інформації різних каналів використовуються різні ділянки спектра частот – застосовується метод **множинного доступу з частотним поділом каналів (Frequency Division Multiple, Access – FDMA)**, зі смугами каналів у різних стандартах від 12,5 до 30 кгц. З цим безпосередньо зв'язаний

**основний недолік аналогових систем – відносно низька ємність, як прямий наслідок нераціонального використання виділеної смуги частот при частотному поділі каналів.**

### **4.2. Цифрові системи другого покоління**

Ці системи були розроблені для подолання основного недоліку аналогових систем – їх відносно низької ємності.

Перехід на цифрові системи наштовхнувся на ряд труднощів, пов'язаних з тим, що у США аналоговий стандарт AMPS був настільки широко поширеним, що його пряма заміна цифровим стандартом була практично неможлива. Саме тому

**в США в 1988 – 1992 роках була розроблена дворежимна аналого-цифрова система, яка дозволяла працювати в одному і тому самому діапазоні аналогової і цифрової систем у вигляді стандарту D-AMPS (Digital AMPS) – цифровий AMPS з діапазоном частот 800 МГц і 1900 МГц, чи IS-54 (IS – Interim Standard (проміжний стандарт).**

У Європі в 1988 – 1992 роках було розроблено і з 1991 року впроваджено єдиний загальноєвропейський стандарту **GSM (Global System for Mobile communications)** – глобальна система мобільного зв'язку, діапазони 900, 1800 і 1900 МГц. Це другий по поширеності стандарт світу, що обслуговує більше чверті всіх абонентів. Стандарт GSM, продовжуючи технічно удосконалюватися (послідовне введення фаз 1, 2 і 2+), у 1989 р. освоїв новий частотний діапазон 1800

МГц, що дозволило освоїти порівняно з GSM 900 більш широку робочу смугу частот у поєднанні з меншими розмірами сот.

В Японії з 1993 р. діє стандарт PDC (Personal Digital Cellular – персональний цифровий стільниковий зв'язок), який подібний до стандарту D-AMPS.

Таким чином, основними цифровими стандартами стільникового зв'язку можна вважати наступні:

- D-AMPS, іноді цей стандарт називають NA TDMA (північноамериканський TDMA);
- GSM, діапазони 900, 1800 і 1900 МГц;
- CDMA (Code Division Multiple Access – множинний доступ з кодовим поділом каналів, діапазони 800 і 1900 МГц).

Системи мобільного зв'язку третього покоління будуть розглянуті в подальших лекціях.

## 5. Функціональна схема стільникового зв'язку та її елементи

### 5.1. Функціональна схема

Система стільникового зв'язку будується у вигляді сукупності комірок, що покривають обслуговувану територію, які схематично зображують у вигляді

У центрі кожної комірки розміщується базова станція (БС), яка обслуговує всі рухомі станції (РС) (абонентські радіотелефонні апарати) у межах своєї комірки (рис. 1.2). При переміщенні абонента з однієї комірки в другу комірку відбувається передача його обслуговування від однієї БС до іншої. Усі базові станції системи, у свою чергу, замикаються на центр комутації (ЦК), з якого є вихід у так звану Взаємопов'язану мережу зв'язку (ВМЗ) країни. У місті – це вихід у звичайну міську мережу провідного телефонного зв'язку.

На рис. 1.3 наведена функціональна схема, яка відповідає структурі системи.

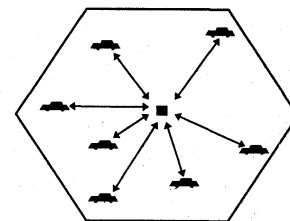
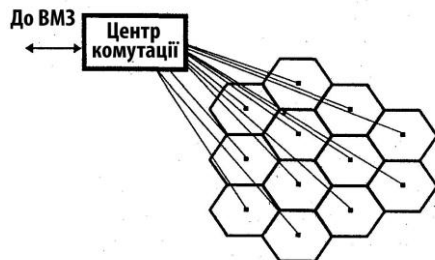


Рис.1.1. Комірки (стільники) системи, що покривають усю територію, що обслуговується

Рис.1.2. Одна комірка з базовою станцією в центрі, що обслуговує всі рухомі станції в комірці

Далі, система стільникового зв'язку може включати в себе більш ніж один центр комутації. Можлива структура системи типу показаної на рис.1.4 – з декількома центрами комутації, один із яких можна назвати головним чи ведучим.

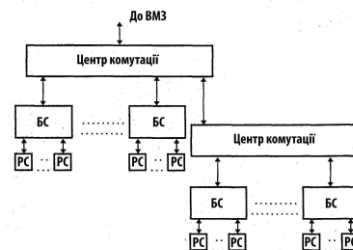
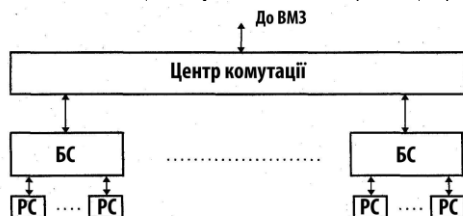


Рис.1.3. Спрощена функціональна схема системи стільникового зв'язку: БС – базова станція; РС – рухома станція

Рис.1.4. Система стільникового зв'язку з двома центрами комутації

Визначимо тепер поняття системи стільникового зв'язку та її границі. Система – це те, що замикається на один загальний домашній реєстр (він буде визначений

надалі). Найпростіша система містить один ЦК (рис. 1.3), при якому є домашній регістр, і вона обслуговує відносно невелику замкнуту територію (невелике місто), з яким не межують території, що обслуговуються іншими системами.

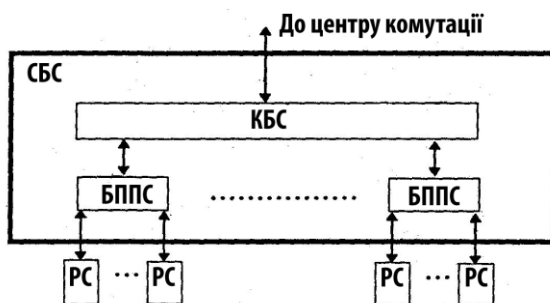
Система може містити два чи більше центри комутації (рис.1.4), з яких тільки при «головному» є домашній регістр, але територія, що обслуговується системою, як і раніше не межує з територіями інших систем. В обох цих випадках при переміщенні абонента між комірками однієї системи відбувається передача обслуговування, а при переміщенні на територію іншої системи – роумінг.

**Роумінг** (від англ. *roam* – бродити, мандрувати) – це функція, чи процедура надання послуг стільникового зв'язку абоненту одного оператора в системі іншого оператора. Абонент, що використовує послуги роумінгу, називається **ромером** (від англ. *roamer*).

Для реалізації роумінгу необхідно технічне забезпечення його здійснення (у найпростішому випадку – використання в обох системах єдиного стандарту стільникового зв'язку). В наш час поняття роумінгу помітно розширюється – з'являється можливість застосування роумінгу між системами стільникового і мобільного супутникового зв'язку.

На великих територіях може бути декілька систем, що межують, кожна з яких зі своїм домашнім регістром. У такому випадку при переміщенні абонента з однієї системи в іншу може мати місце і так звана **міжсистемна передача обслуговування**.

Ще одна особливість пов'язана з побудовою базової станції. У стандарті GSM використовується поняття **система базової станції (СБС)**, до складу якої входить **контролер базової станції (КБС)** і декілька (до 16) **базових приймально-передавальних станцій (БППС)** – рис.1.5. Зокрема, 3 БППС, що розташовані в одному місці і замикаються на загальний КБС, можуть обслуговувати кожна свій 120° азимутальний сектор у межах комірки, а 6 БППС з одним КБС – 60° сектор.



**Рис.1.5.** Система базової станції стандарту GSM: СБС – система базової станції; КБС – контролер базової станції; БППС – базова приймально-передавальна станція; РС – рухома станція

Розглянемо тепер окремі елементи системи, показаної на рис. 1.3.

## 5.2. Рухома станція (РС)

Розгляд елементів системи стільникового зв'язку почнемо з РС, спрощена блок-схема якої наведена на рис. 1.6 і складається з таких блоків: 1– блок керування; 2– приймально-передавальний блок; 3– антенний блок.

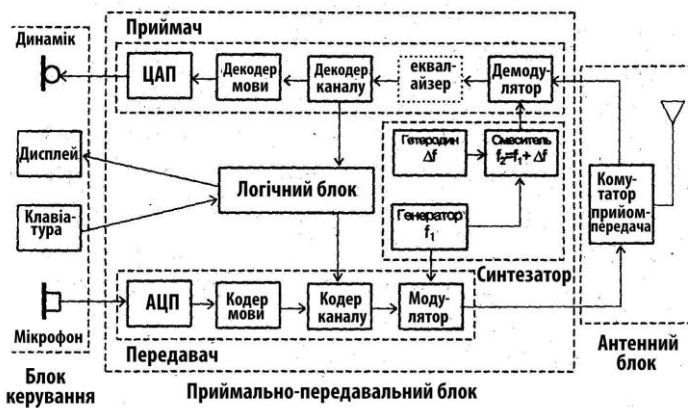


Рис.1.6. Спрощена блок-схема рухомої станції

**Приймально-передавальний блок.** До складу цього блоку входять: передавач, приймач, синтезатор частот і логічний блок.

**Антенний блок.** До складу цього блоку входять: антена (у найпростішому випадку чвертьхвильовий штир) та комутатор прийом-передача (для цифрової станції це електронний комутатор, який підключає антену або на вихід передавача, або на вхід приймача)

**Блок керування включає в себе:** мікротелефонну трубку – мікрофон і динамік, клавіатуру і дисплей. Клавіатура (складальне поле з цифровими і функціональними клавішами) служить для набору номера телефону викликуваного абонента, а також команд, що визначають режим роботи рухомої станції. Дисплей служить для відображення різної інформації, що передбачається пристроєм і режимом роботи станції.

Приймально-передавальний блок, до складу якого входять передавач, приймач, синтезатор частот і логічний блок, є найскладнішим з усіх блоків. Розглянемо його детальніше.

До складу передавача входять:

- **аналого-цифровий перетворювач (АЦП)** – перетворює сигнал з виходу мікрофона у цифрову форму і вся наступна обробка і передача сигналу мови здійснюється в цифровій формі – аж до зворотного цифро-аналогового перетворення;

- **кодер мови** – здійснює кодування сигналу мови – перетворення, сигналу, що має цифрову форму, по визначених законах з метою скорочення його надмірності, тобто з метою скорочення обсягу інформації, що передається по каналові зв'язку;

- **кодер каналу** – додає в цифровий сигнал, одержуваний з виходу кодера мови, додаткову (надлишкову) інформацію, призначену для захисту від помилок при передачі сигналу по лінії зв'язку; з тією ж самою метою інформація переупаковується (переміжується); крім того, кодер каналу вводить до складу переданого сигналу інформацію управління, що надходить від логічного блоку;

- **модулятор** – переносить інформацію кодованого відеосигналу на несущу частоту.

**Приймач** по своєму складу в основному відповідає передавачу, але зі зворотними функціями блоків, що входять до нього:

- **демодулятор** виділяє з модульованого радіосигналу кодований відеосигнал, що несе інформацію;

- **декодер каналу** виділяє з вхідного потоку керуючу інформацію і направляє її на логічний блок, де вона перевіряється на наявність помилок, які по можливості виправляються; до наступної обробки прийнята інформація піддається зворотній (стосовно кодера) переупаковці;

– **декодер мови** – відновлює сигнал мови, який поступає з кодера каналу сигнал мови, переводячи його в природну форму, із властивої йому надмірністю, але в цифровому виді;

– **цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП)** перетворює прийнятий сигнал мови в аналогову форму і подає його на вхід динаміка;

– **еквалайзер** служить для часткової компенсації спотворень сигналу внаслідок багатоприменового поширення, тобто він є адаптивним фільтром, що настроюється по навчальній послідовності символів, які входять до складу переданої інформації. Блок **еквалайзера** не є функціонально необхідним і в деяких випадках може бути відсутнім.

Крім передавача і приймача, до складу **приймально-передавального** блока входять також **логічний блок** (це по суті мікрокомп'ютер зі своєю оперативною і постійною пам'яттю, що здійснює управління роботою рухомої станції) та **синтезатор частот** (це джерело коливаний несущої частоти, використовуваної для передачі інформації з радіоканалу).

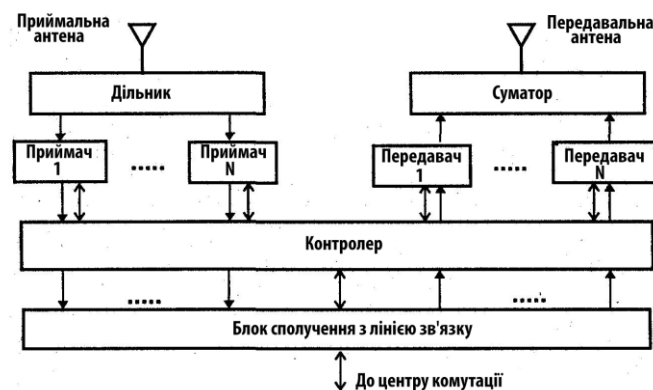
### 5.3. Базова станція (БС)

У цілому базова станція, блок-схема якої наведена на **рис.1.7**, набагато більша і складніша за рухому станцію, що зумовлено її місцем в системі стільникового зв'язку.

**Основні особливості БС:** застосування двох приймальних антен (на **рис.1.7** вони не показані), тобто застосування так званого рознесеного прийому (про нього буде сказано далі); застосування роздільних антен на передачу і на прийом; наявність декількох приймачів і такого ж числа передавачів, що дозволяють вести одночасну роботу на декількох каналах з різними частотами.

Для забезпечення одночасної роботи  $N$  приймачів на одну приймальню і  $N$  передавачів на одну передавальну антену між прийомною антеною і приймачами встановлюється дільник потужності на  $N$  виходів, а між передавачами і передавальною антеною – підсумовувач потужності на  $N$  входів.

Приймач і передавач мають ту ж саму структуру, що й у РС (**рис. 1.6**), за винятком того, що тут у них відсутні відповідно ЦАП і АЦП, оскільки і вхідний сигнал передавача, і вихідний сигнал приймача мають цифрову форму. Можливі варіанти, коли кодеки (або тільки кодек мови, або і кодек мови, і каналний кодек) конструктивно реалізуються в складі центра комутації, а не в складі приймально-передавальної БС, хоча функціонально вони залишаються елементами прийомопередавачів.



**Рис.1.7.** Блок-схема базової станції

Блок сполучення з лінією зв'язку здійснює упаковування інформації, переданої по лінії зв'язку на центр комутації, і розпакування прийнятої від нього інформації. В якості лінії зв'язку БС із центром комутації використовується радіорелейна чи волоконно-оптична лінія.



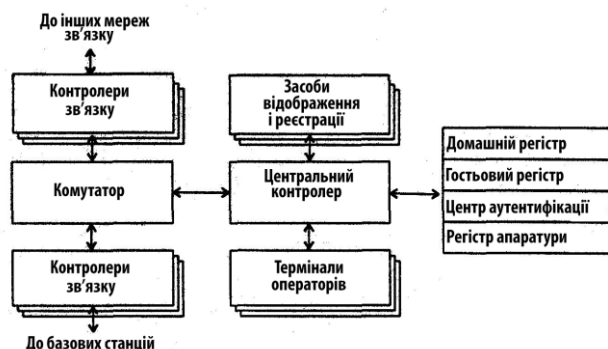
Контролер базової станції, який є потужним комп'ютером, забезпечує керування роботою станції, а також контроль працездатності усіх вхідних у неї блоків і вузлів. Для забезпечення надійності БС більшість її блоків і вузлів (дублюються).

#### 5.4. Центр комутації

Центр комутації (ЦК), блок-схема якого наведена на **рис. 1.8**, – це мозковий центр і одночасно диспетчерський пункт системи стільникового зв'язку, на який замикаються потоки інформації з усіх БС і через який здійснюється вихід на інші мережі зв'язку.

До складу ЦК входить декілька процесорів (контролерів), і він є типовим прикладом багатопроекторної системи.

Власне комутатор здійснює переключення потоків інформації між відповідними лініями зв'язку – направляє потік інформації від однієї БС до іншої, або від БС до стаціонарної мережі зв'язку, або, навпаки, – від стаціонарної мережі зв'язку до потрібної БС.



**Рис.1.8.** Блок-схема центра комутації

Комутатор підключається до ліній зв'язку через відповідні контролери зв'язку, що здійснюють проміжну обробку (упакування/розпакування, буферне збереження) потоків інформації. Загальне керування роботою центра комутації і системи в цілому здійснюється від центрального контролера, що має потужне математичне забезпечення, яке включає перепрограмувальну частину (software). Робота ЦК здійснюється за активної участі операторів. Тому до його складу входять відповідні термінали, а також засобу відображення і реєстрації (документування) інформації.

Важливими елементами системи є бази даних:

– **Домашній реєстр**, який містить відомості про всіх абонентів, зареєстрованих у даній системі, і про види послуг, що можуть бути їм надані. Тут же фіксується місце розташування абонента для організації його виклику і реєструються фактично зроблені послуги.

– **Гостьовий реєстр**, який містить приблизно такі ж самі відомості про абонентів-гостей (ромерів), тобто про абонентів, зареєстрованих в іншій системі, проте таких, які в даний момент користаються послугами стільникового зв'язку в даній системі.

– **Центр аутентифікації (Authentication Center)**, що забезпечує процедури аутентифікації абонентів та шифрування повідомлень.

– **Реєстр апаратури (Equipment Identity Register)**, він є не у всіх системах. Цей реєстр містить відомості про експлуатовану РС щодо її справності і санкціонованого використання. Зокрема, у ньому можуть відзначатися украдені абонентські апарати, а також апарати, що мають технічні дефекти.