

Основы построения телекоммуникационных сетей и систем

Тема 9. Сети подвижной радиосвязи

Снопков Кирилл Александрович
МАИ (НИУ)
Кафедра 408 «Инфокоммуникации»
2015 г.

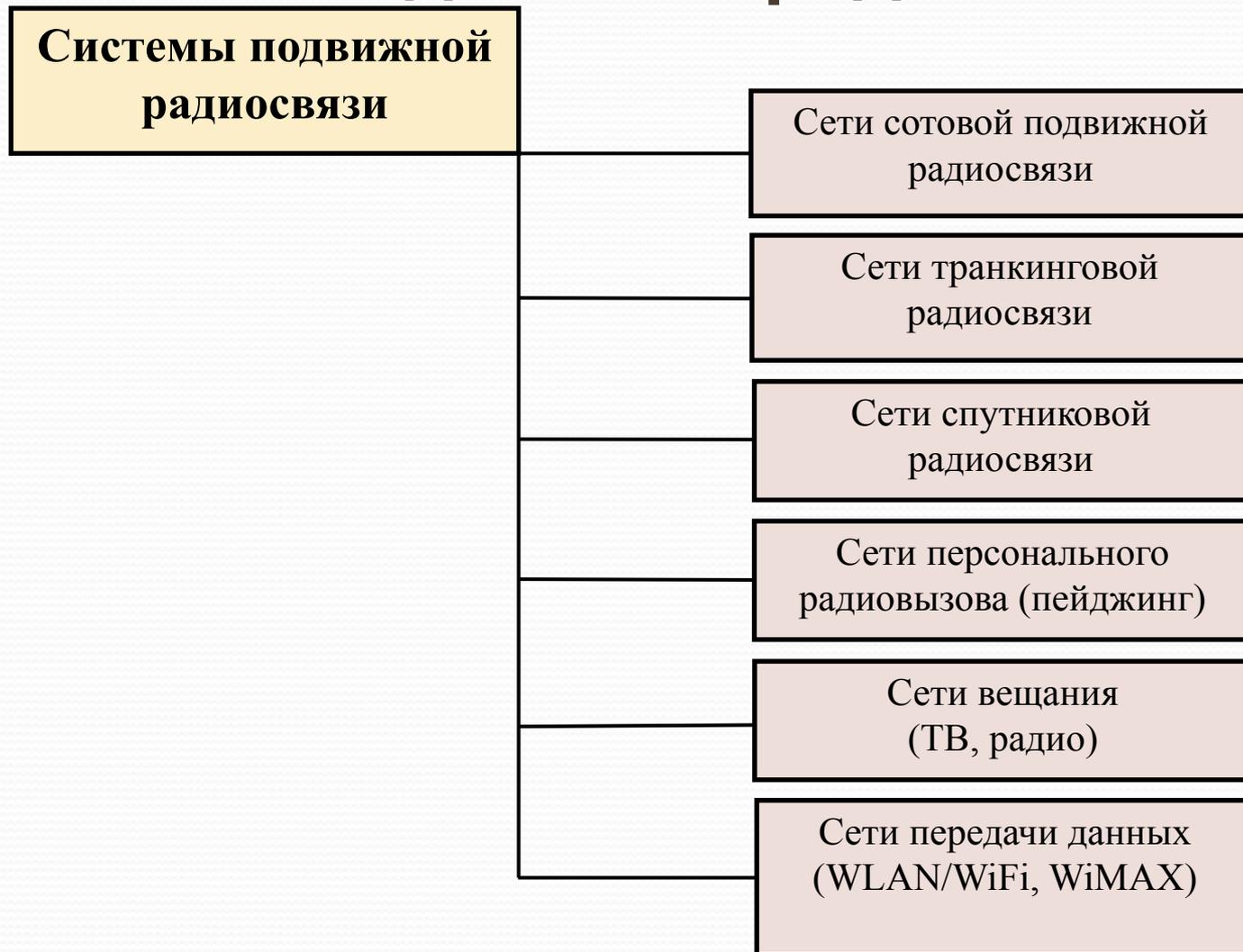
Основные понятия и определения подвижной радиосвязи

Подвижная или **мобильная** радиосвязь – наиболее перспективное и динамически развивающееся направление телекоммуникаций.

Означает радиосвязь между **подвижными объектами**, один из которых или оба движутся либо занимают относительно друг друга случайное положение. При этом один из объектов может являться **базовой станцией**.

Доступ к абонентским линиям осуществляется без использования физических кабелей; связь с абонентскими устройствами осуществляется по **радиоканалу**.

Классификация и виды систем подвижной радиосвязи



Транкинговые системы связи (1/3)

Транкинговыми называются радиально-зоновые системы наземной подвижной радиосвязи, осуществляющие автоматическое распределение каналов связи ретрансляторов между абонентами и ориентированные на корпоративных потребителей.

Термин «**транкинг**» (от англ. *trunking*) означает «объединение в пучок». Под **транкингом** понимается принцип свободного и равного доступа абонентов к общему частотному ресурсу («пучку» радиоканалов).

Транкинговые системы связи (2/3)

Основные архитектурные признаки транкинговых систем связи:

- ограниченная инфраструктура;
- большой пространственный охват зон обслуживания базовых станций;
- широкий набор абонентского оборудования;
- возможность организовать независимые выделенные сети связи.

Транкинговые системы связи (3/3)

Основные стандарты транкинговых систем связи:

- аналоговые (**SmarTrunk, Smartlink, EDACS, LTR, MPT 1327**);
- цифровые (**EDACS, APCO-25, TETRA, TETRAPOL**).

Сети персонального радиовызова (1/3)

Сети персонального радиовызова (СПР) или **пейджинговые сети** – это сети односторонней мобильной связи, обеспечивающие передачу коротких сообщений из центра системы (с пейджингового терминала) на миниатюрные абонентские приемники (пейджеры).

СПР состоит из пейджингового терминала (**ПТ**), базовой станции (**БС**) и пейджеров.

Сети персонального радиовызова (2/3)

Пейджинговый терминал состоит из пульта оператора и контроллера системы; выполняет все функции управления системой.

Базовая станция состоит из радиопередатчика и антенно-фидерного устройства; обеспечивает передачу пейджинговых сигналов на всю зону действия системы (радиус до **100 км**).

Пейджеры осуществляют прием адресованных им сообщений. Могут передаваться сообщения четырех типов: **тональные**, **цифровые**, **буквенно-цифровые (БЦ)**, **речевые**.

Сети персонального радиовызова (3/3)

Пейджинговые протоколы:

- **POCSAG** (манипуляция FSK (± 4.5 кГц), код NRZ, 512/1200/2400 бит/с, метод прямой коррекции ошибок FEC, код с проверкой на четность);
- **FLEX** (режимы: 1600/2, 3200/2, 3200/4, 6400/4).

R бит/с

M-FSK

Сети спутниковой связи (1/4)

Классификация сетей спутниковой связи (ССС):

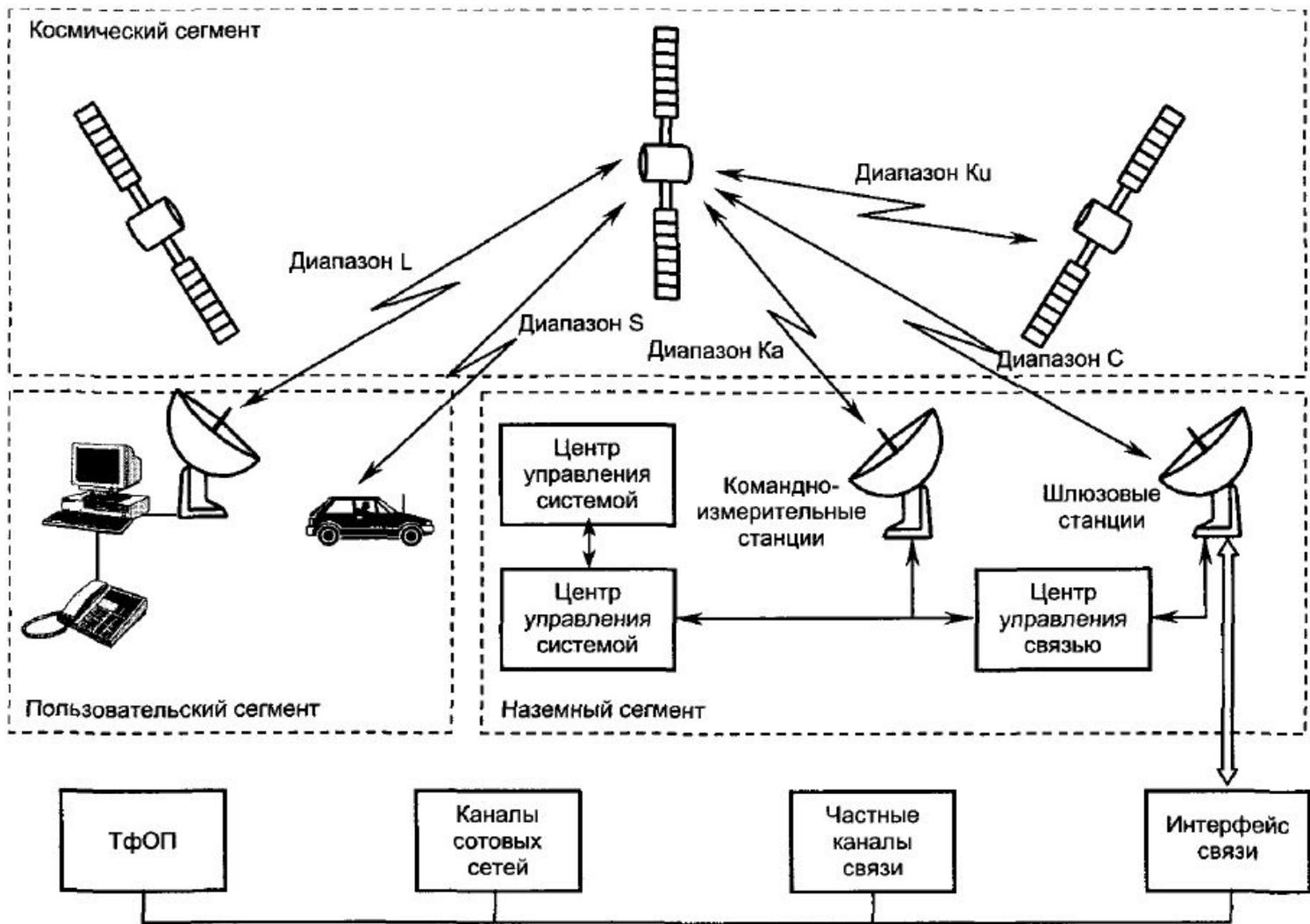
- **по виду предоставляемых услуг:** СССР речевой (радиотелефонной) связи, СССР пакетной передачи данных (ППД), СССР определения местоположения (координат) потребителя);
- **по назначению:** военные, гражданские (государственные или коммерческие);
- **стационарные (фиксированные) или подвижные;**

Сети спутниковой связи (2/4)

Классификация сетей спутниковой связи (ССС):

- связь в реальном времени или с задержкой;
- по типу используемой орбиты:
высокоорбитальные или геостационарные – **GEO** (40000 км), среднеорбитальные - **MEO** (10000 км), низкоорбитальные – **LEO** (700-1500 км).

Сети спутниковой связи (3/4)



Сети спутниковой связи (4/4)

| Диапазон | Полоса частот, ГГц |
|----------|-----------------------------|
| L | 1,452–1,500; 1,61–1,71 |
| S | 1,93–2,70 |
| C | 3,40–5,25; 5,725–7,075 |
| Ku | 10,70–12,75; 12,75–14,80 |
| Ka | 14,40–26,50; 27,00–50,20 |
| K | 84,00–86,00 |

Поколения сотовой телефонии

Сотовые (территориальные) системы



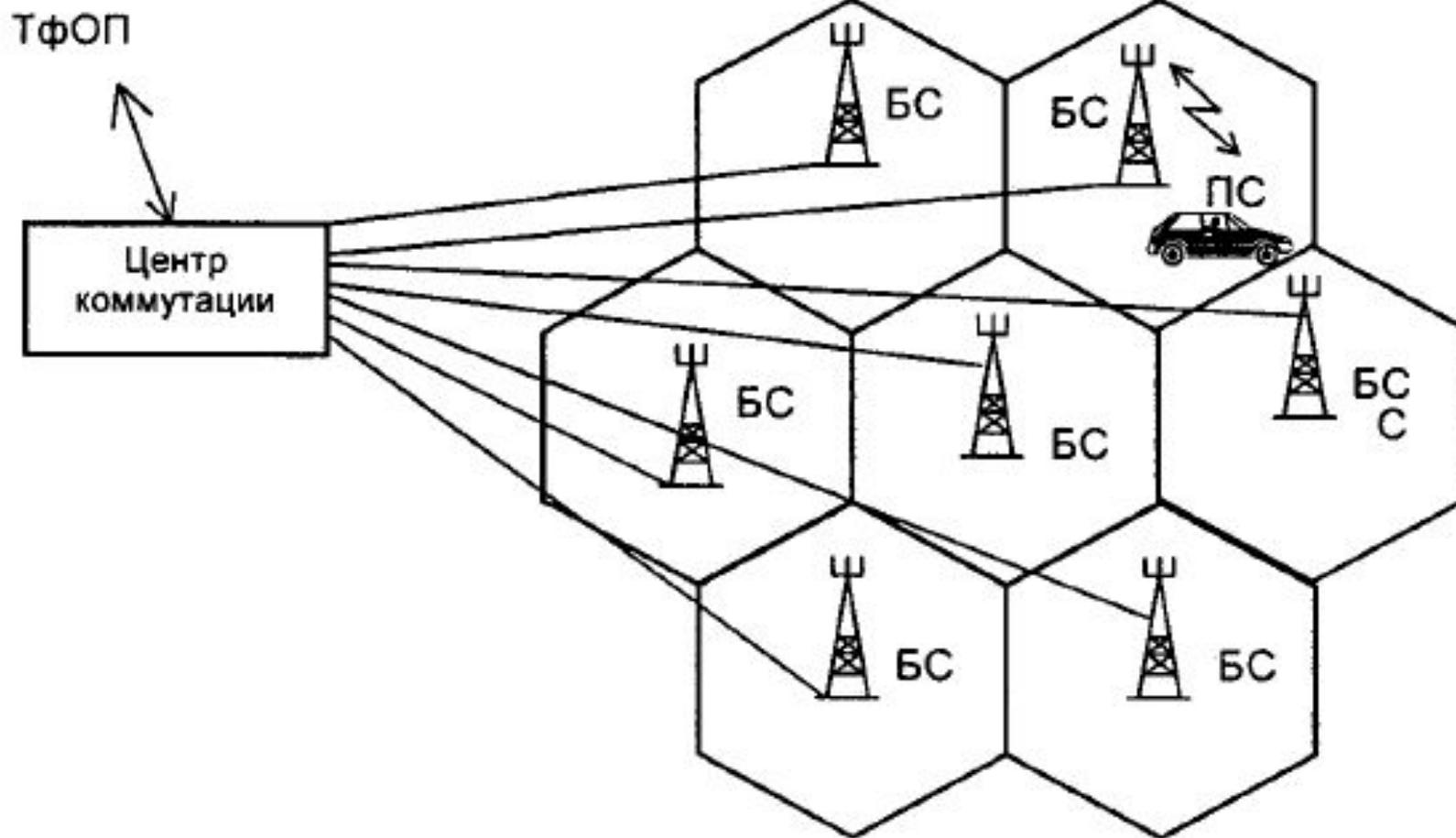
Характеристики аналоговых стандартов сотовой СВЯЗИ

| Характеристика | AMPS | TACS (ETACS) | NMT-450 | NMT-900 | Radlocom- 2000 | NTT |
|--|--------------------|--|------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|
| Диапазон частот, МГц | 825-845 870-890 | 935-950 (917-933) 890-905 (872-888) | 453-457,5 463-467,5 | 935-960 890-915 | 424,8-427,9 418,8-421,9 | 925-940 870-885 |
| Радиус ячейки, км | 2-20 | 2-20 | 2-45 | 0,5-20,0 | 5-20 | 5-10 |
| Число каналов подвижной станции | 666 | 600 (640) | 180 | 1000/1999 | 256 | До 1000 |
| Число каналов базовой станции | 96 | 144 | 30 | 30 | – | 120 |
| Мощность передатчика базовой станции, Вт | 45 | 50 | 0 | – | – | 25 |
| Ширина полосы частот канала, кГц | 30 | 25 | 25 | 25,0/12,5 | 12,5 | 25 |
| Время переключения канала на границе ячейки, мс | 250 | 290 | 1250 | 270 | – | 800 |
| Максимальная девиация частоты в канале управления, кГц | 8 | 6,4 | 3,5 | 3,5 | – | 4,5 |
| Максимальная девиация частоты в речевом канале, кГц | 12 | 9,5 | 5 | 5 | 2,5 | 5 |
| Минимальное отношение сигнал/шум, дБ | 10 | 10 | 15 | 15 | – | 15 |

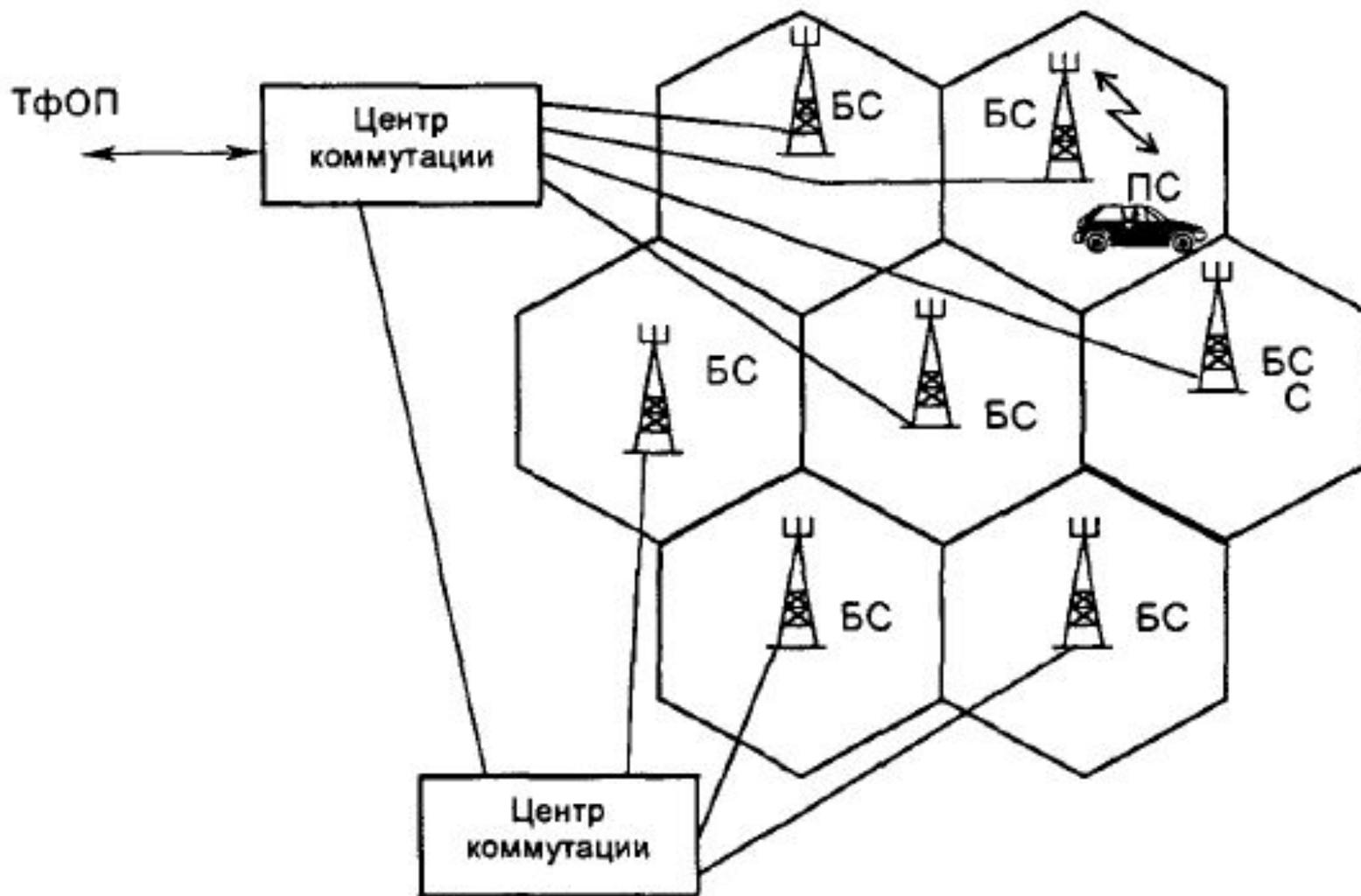
Характеристики цифровых стандартов сотовой СВЯЗИ

| Характеристика | GSM (DCS 1800) | D-AMPS (ADC) | JDC | CDMA |
|--|--|--------------------|---|--------------------|
| Метод доступа | TDMA | TDMA | TDMA | CDMA |
| Число речевых каналов на несущую | 8 (16) | 3 | 3 | 32 |
| Рабочий диапазон частот, МГц | 935-960 890-915 (1710-1785) (1805-1880) | 824-840 869-894 | 810-826 940-956 1429-1441 1447-1489 1501-1513 | 824-840 869-894 |
| Разнос каналов, кГц | 200 | 30 | 25 | 1250 |
| Эквивалентная полоса частот на один разговорный канал, кГц | 25 (12,5) | 10 | 8,3 | - |
| Вид модуляции | 0,3 GMSK | $\pi/4$ DQPSK | $\pi/4$ DQPSK | QPSK |
| Скорость передачи информации, кбит/с | 270 | 48 | 42 | |
| Скорость преобразования речи, кбит/с | 13 (6,5) | 8 | 11,2 (5,6) | |
| Алгоритм преобразования речи | RPE-LTR | VSELP | VSELP | |
| Радиус соты, км | 0,5-35,0 | 0,5-20,0 | 0,5-20,0 | 0,5-25,0 |

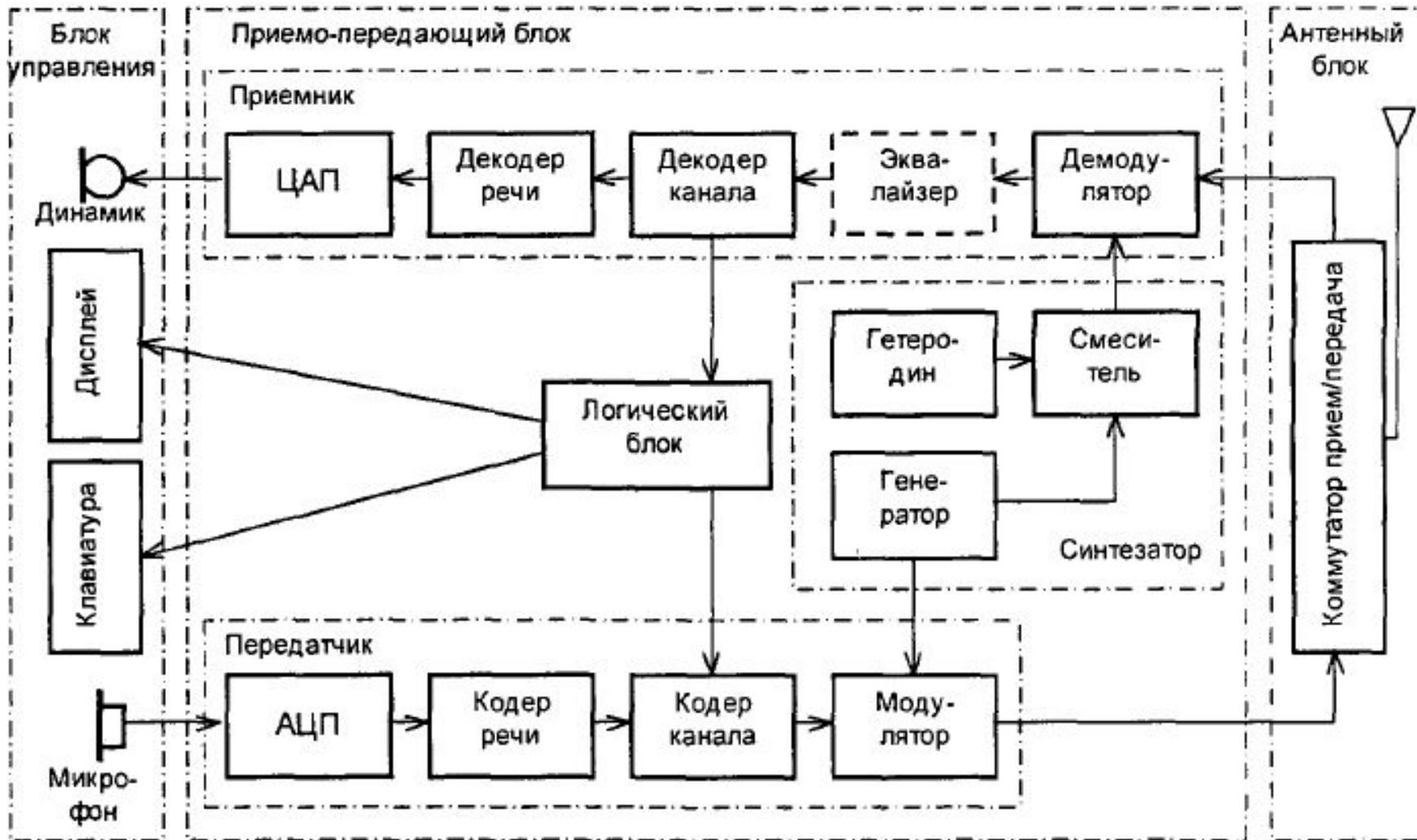
Функциональная схема сетей сотовой связи (1/2)



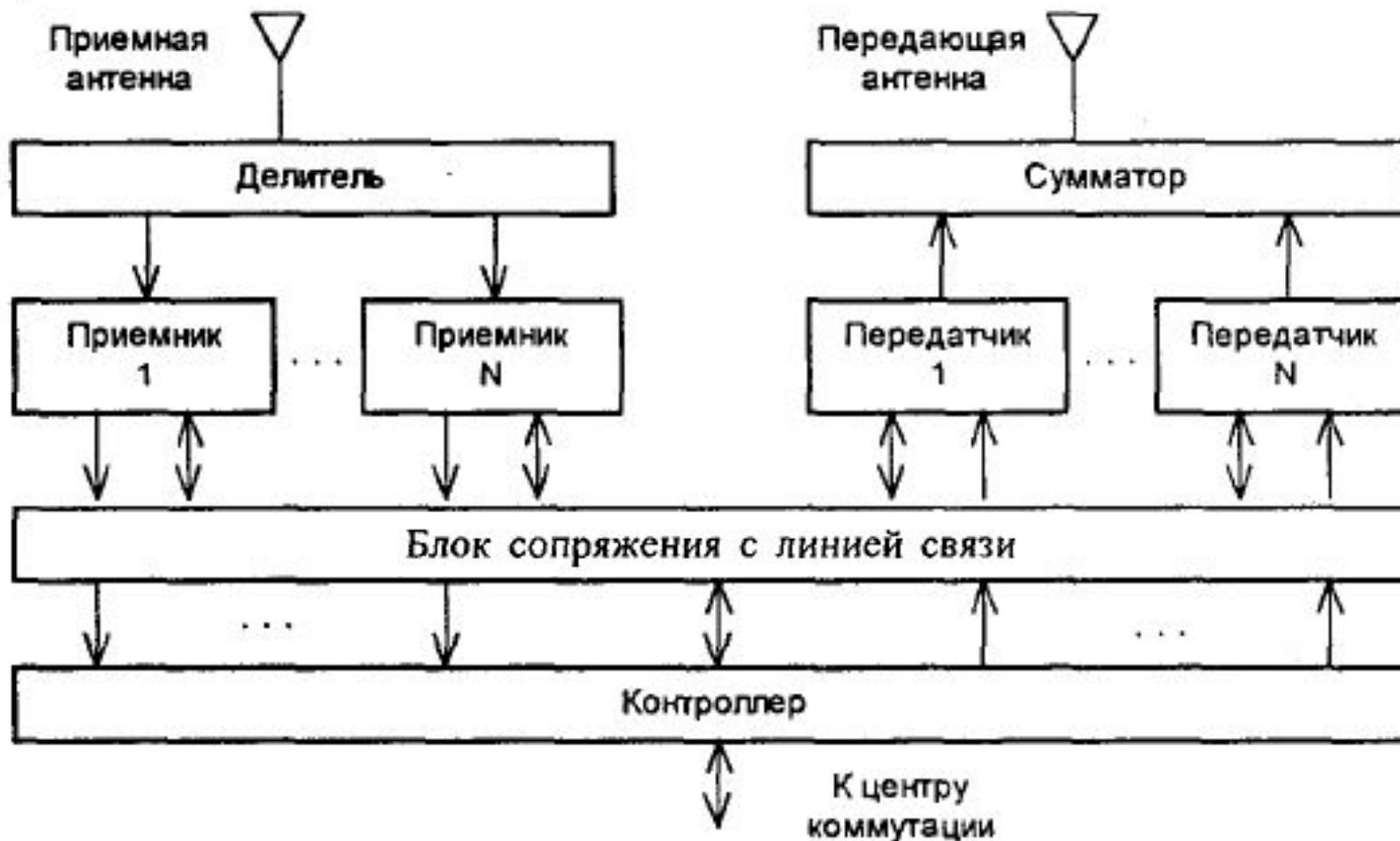
Функциональная схема сетей сотовой связи (2/2)



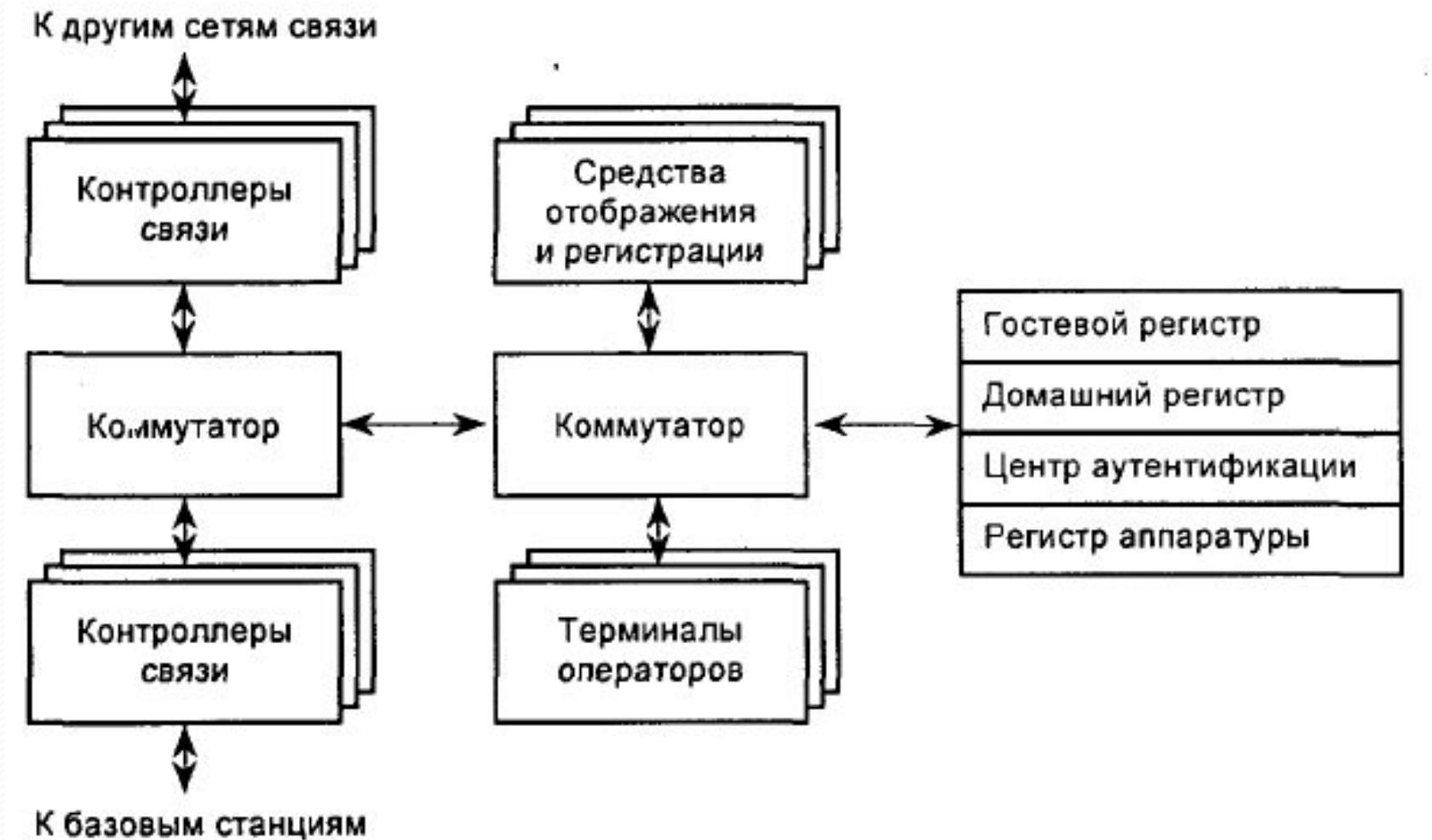
Блок-схема подвижной станции



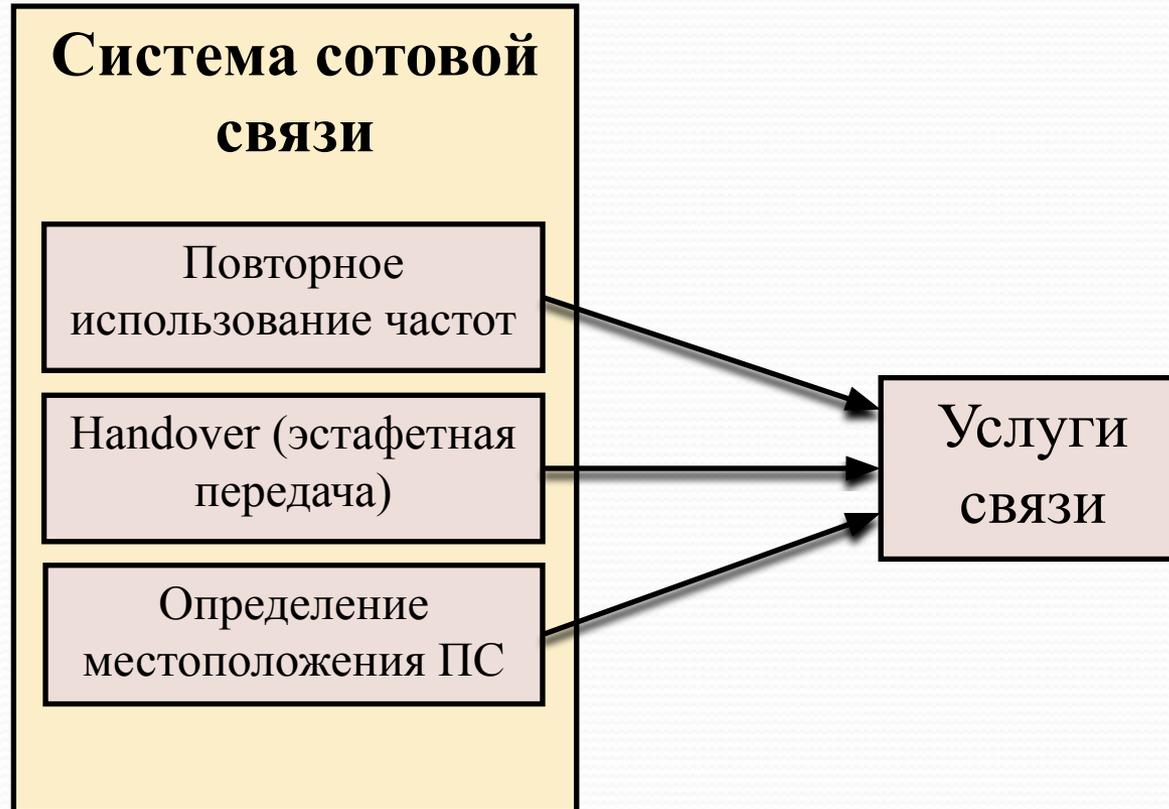
Блок-схема базовой станции



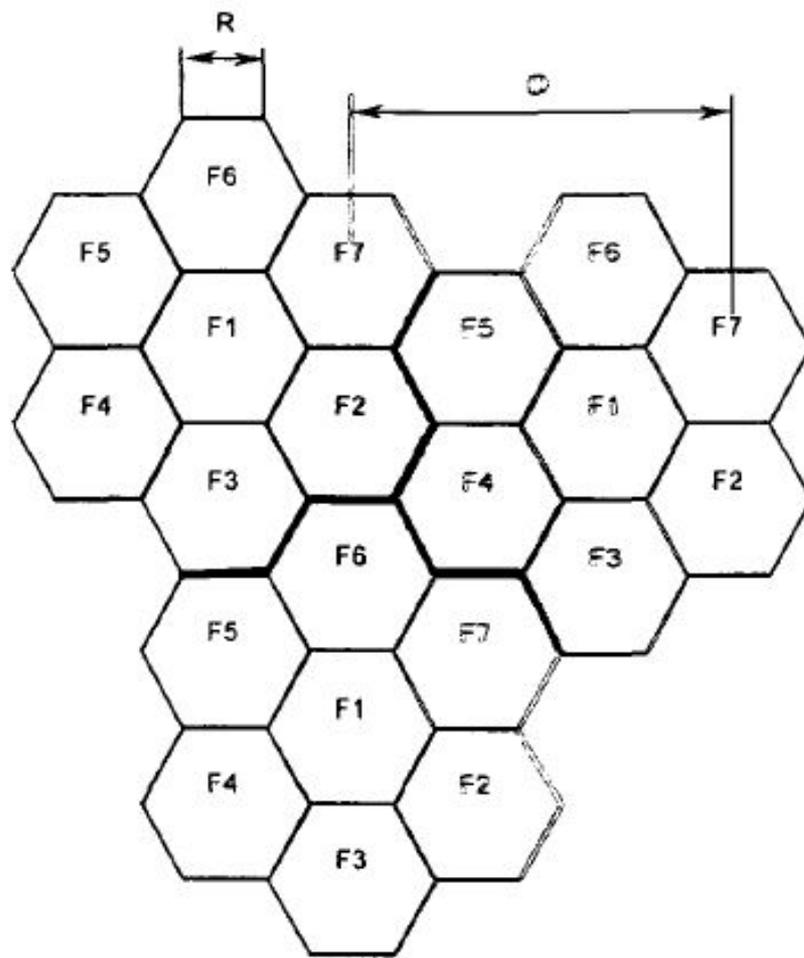
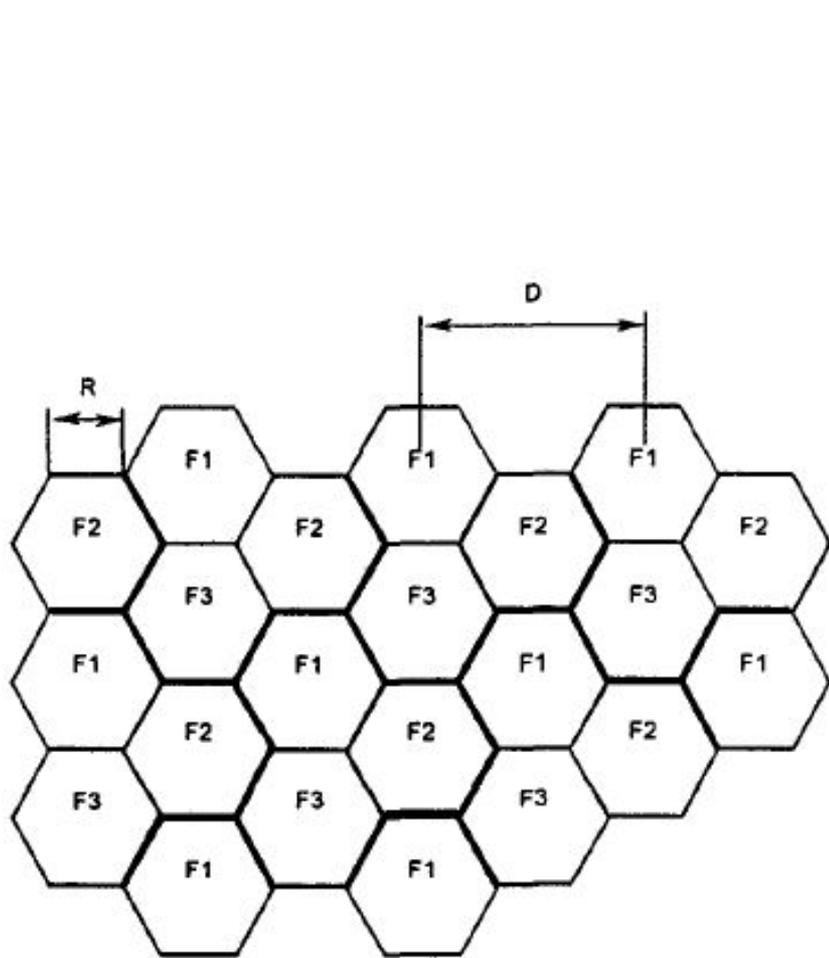
Блок-схема центра коммутации



Система сотовой связи и ее услуги



Принцип повторного использования частот (1/3)



Принцип повторного использования частот (2/3)

Общая ширина полосы, занимаемая системой сотовой связи:

$$F_c = F_k N C$$

Число каналов связи в соте:

$$N = \frac{1}{C} \cdot \frac{F_c}{F_k}$$

Расстояние между соседними сотами:

$$D = R \sqrt{3C}$$

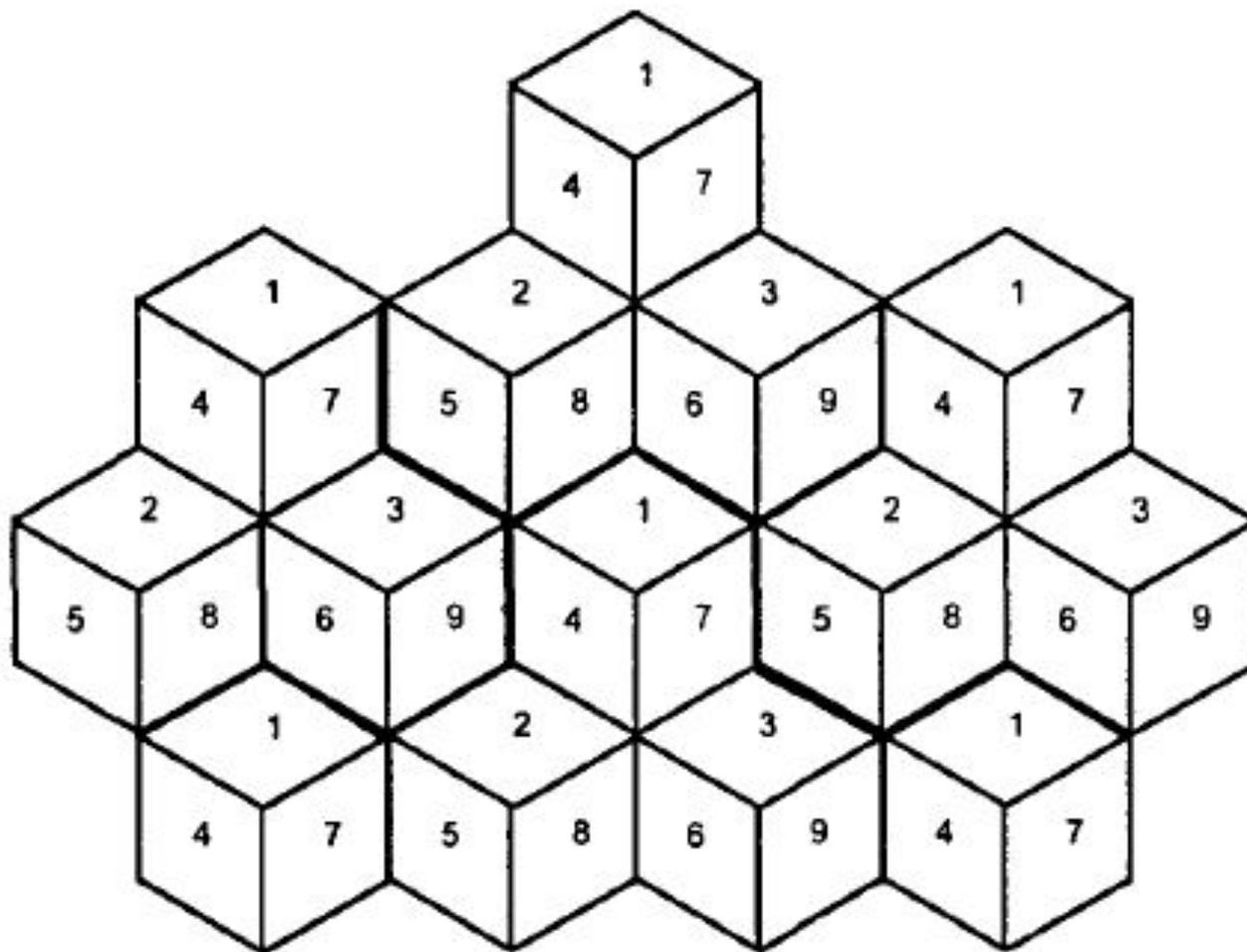
Коэффициент повторного использования частот:

$$C = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R} \right)^2$$

Коэффициент соканального повторения:

$$q = \frac{D}{R} = \sqrt{3C}$$

Принцип повторного использования частот (3/3)



Сотовые сети стандарта GSM

GSM (Global System for Mobile Communications) — глобальный стандарт цифровой мобильной сотовой связи, с разделением каналов по времени (**TDMA**) и частоте (**FDMA**). Разработан под эгидой Европейского института стандартизации электросвязи (**ETSI**) в конце 1980-х годов.

В стандарте GSM применяется **GMSK**-модуляция с величиной нормированной полосы $BT = 0.3$, где B — ширина полосы фильтра по уровню минус 3 дБ, T — длительность одного бита цифрового сообщения.

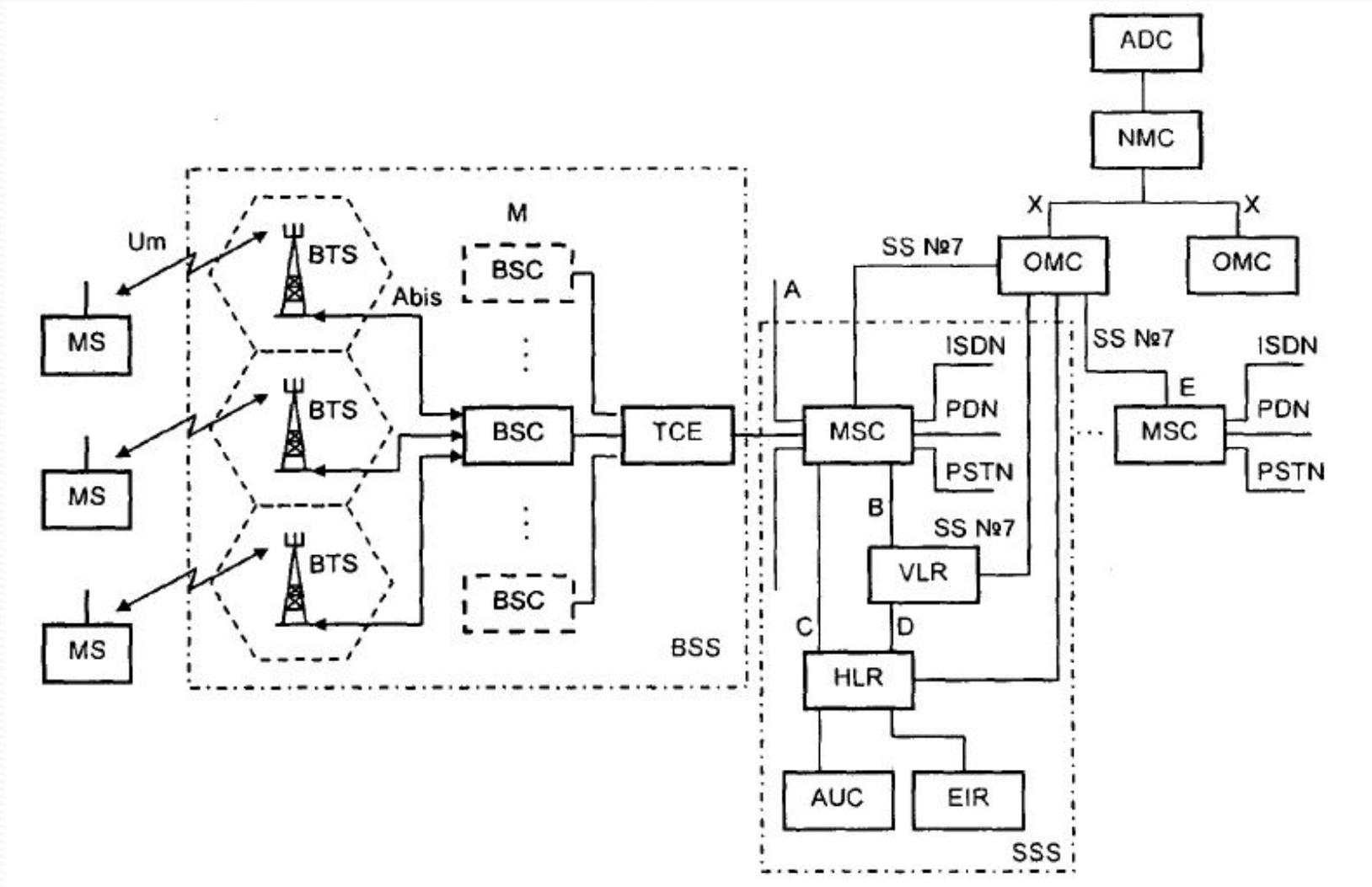
Линия «вверх» (Uplink)



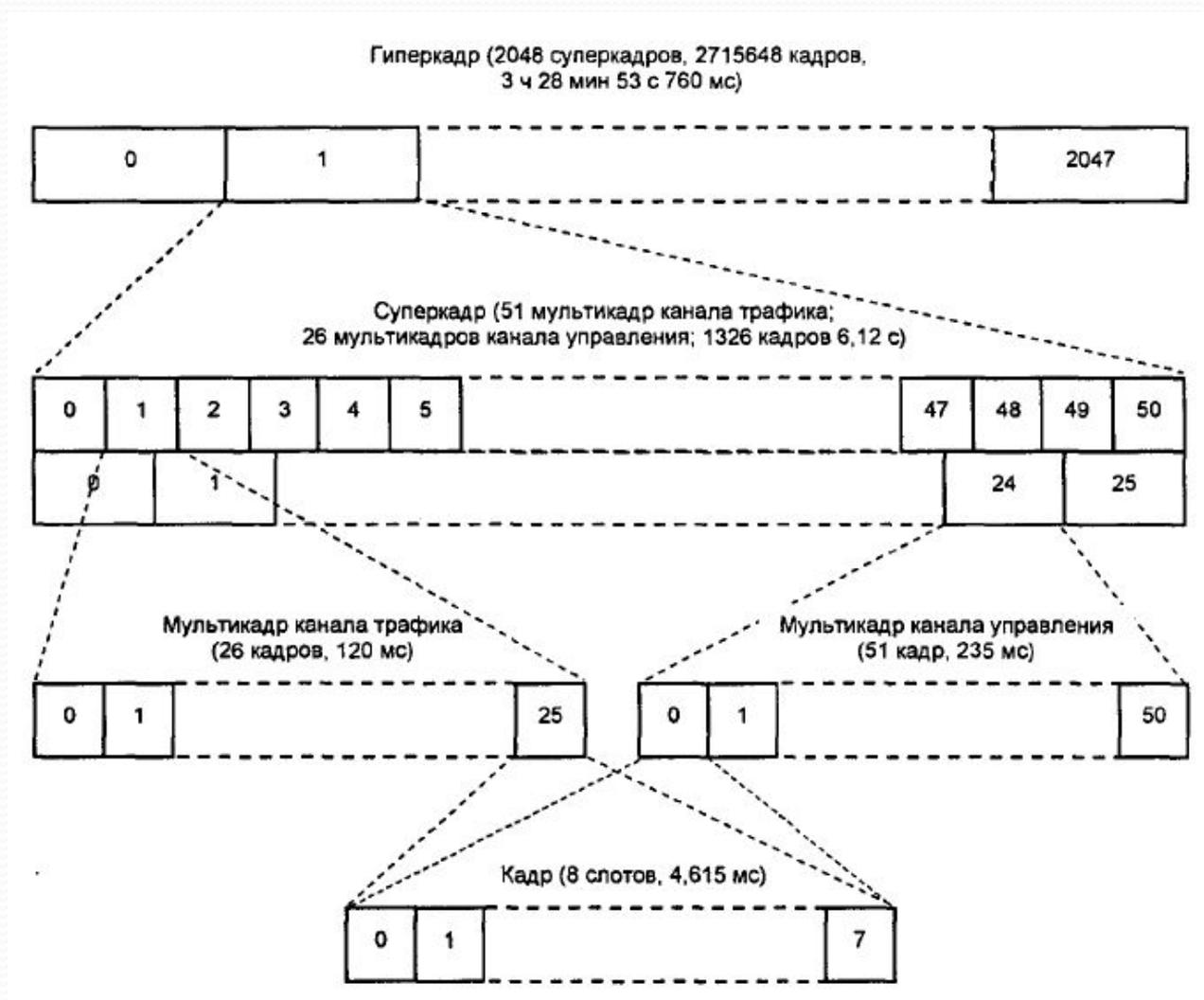
Линия «вниз» (Downlink)



Структурная схема сети стандарта GSM

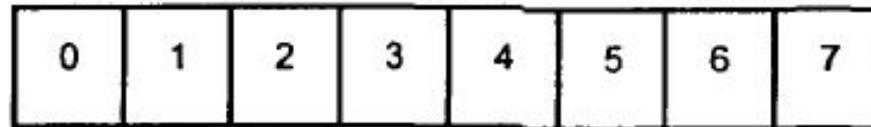


Структура радиоинтерфейса сети стандарта GSM

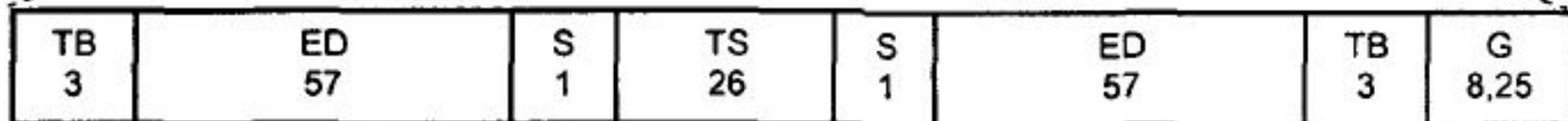


Структура кадра канала трафика GSM

Кадр (8 слотов, 4,615 мс)



Нормальный временной интервал NB
(Normal Burst), 0,577 мс



- ED – зашифрованные биты (Encrypted Data)
- TS – обучающая последовательность (Training Sequence)
- TB – защитный бланк (Tail bits - хвостовые биты)
- S – контрольные биты (Stealing flag) – признак речь/управление
- G – защитный интервал (Guard period)

Предоставляемые услуги GSM

GSM обеспечивает поддержку следующих услуг:

- Услуги передачи данных (синхронный и асинхронный обмен данными, в том числе пакетная передача данных — GPRS). Данные услуги не гарантируют совместимость терминальных устройств и обеспечивают только передачу информации к ним и от них.
- Передача речевой информации.
- Передача коротких сообщений (SMS).
- Передача факсимильных сообщений.

Дополнительные (необязательные к предоставлению) услуги:

- Определение вызывающего номера и ограничение такого определения.
- Безусловная и условная переадресация вызова на другой номер.
- Ожидание и удержание вызова.
- Конференц-связь (одновременная речевая связь между тремя и более подвижными станциями).
- Запрет на определённые пользователем услуги (международные звонки, роуминговые звонки и др.)
- Голосовая почта.

и многие другие услуги.

Передача данных в сетях GSM (1/3)

CSD (*Circuit Switched Data*) — технология передачи данных с коммутацией каналов, разработанная для мобильных телефонов стандарта GSM. CSD использует один временной интервал для передачи данных на скорости **9,6 кбит/с** в подсистему коммутации SSS (или NSS), где они могут быть переданы через эквивалент нормальной модемной связи в телефонную сеть.

HSCSD (*High-Speed CSD*) — высокоскоростная передача данных с коммутацией каналов, улучшенная версия обычного модемного соединения для сетей GSM. Обеспечивает абоненту более высокую скорость передачи данных посредством назначения увеличенного числа временных интервалов (каналов) для соединения. Одна MS может использовать до 4 тайм-слотов (*TS*). Скорость по каждому из каналов увеличивается до 14,4 Кбит/с (по сравнению с 9,6 кбит/с для CSD). Тем самым скорость увеличивается до $14,4 \times 4 = \mathbf{57,6 \text{ кбит/с}}$.

CSD/HSCSD запрос очень похож на обычный голосовой вызов – используется конкретное число временных интервалов для передачи данных, что обеспечивает высокую стабильность соединения. Главным ограничением использования передачи данных посредством CSD является стоимость данной услуги у операторов мобильной связи (тарифицируется поминутно).

Передача данных в сетях GSM (2/3)

GPRS (*General Packet Radio Service*) — надстройка над технологией мобильной связи GSM, осуществляющая пакетную передачу данных. GPRS позволяет пользователю сети сотовой связи производить обмен данными с другими устройствами в сети GSM и с внешними сетями, в том числе Internet. GPRS предполагает тарификацию по объёму переданной/полученной информации.

Технология **GPRS** использует модуляцию **GMSK**. Возможность использования сразу нескольких каналов обеспечивает достаточно высокие скорости передачи данных, теоретический максимум при всех занятых тайм-слотах TDMA составляет **171,2 кбит/с**.

Служба передачи данных **GPRS** надстраивается над существующей сетью GSM. На структурном уровне систему GPRS можно разделить на две части: *подсистему базовых станций* (**BSS**) и *опорную сеть GPRS* (**GPRS Core Network**). Точкой соединения между ними выступает узел обслуживания абонентов GPRS – **SGSN** (*Serving GPRS Support Node*).

В BSS входят все базовые станции и контроллеры, которые поддерживают пакетную передачу данных. Для этого **BSC** (*Base Station Controller*) дополняется блоком управления пакетами — **PCU** (*Packet Controller Unit*), а **BTS** (*Base Transceiver Station*) — кодирующим устройством GSM в форматы, используемые протоколами TCP/IP.

Шлюзы с внешними сетями (напр., Internet, X.25) называют **GGSN** (*Gateway GPRS Support Node*). Обмен информацией между SGSN и GGSN происходит на основе IP-протоколов.

Также в состав GPRS Core входят **DNS** (*Domain Name System*) и **Charging Gateway** (*шлюз для связи с системой тарификации*).

Передача данных в сетях GSM (3/3)

EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) — цифровая технология беспроводной передачи данных для мобильной связи, которая функционирует как надстройка над GSM/GPRS-сетями.

В дополнение к **GMSK** (*Gaussian Minimum-Shift Keying*) EDGE использует модуляцию **8-PSK** (*8 Phase Shift Keying*). EDGE обеспечивает передачу данных со скоростью до **474 кбит/с** в режиме пакетной коммутации.

Варианты **EDGE**:

- **ECSD** — по каналу CSD;
- **EHSCSD** — по каналу HSCSD;
- **EGPRS** — по каналу GPRS.

EDGE не требует аппаратных изменений в **NSS**, модернизации должна быть подвергнута подсистема базовых станций (**BSS**) — необходимо установить трансиверы, поддерживающие **EDGE** (модуляцию 8-PSK) и обновить их программное обеспечение.

Сотовые сети стандарта UMTS

UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) — технология сотовой связи, разработана Европейским Институтом Стандартов Телекоммуникаций (**ETSI**) для внедрения 3G в Европе. В качестве способа передачи данных через воздушное пространство используется технология **W-CDMA**, стандартизованная в соответствии с проектом **3GPP**, соответствует требованиям Концепции **IMT-2000** (*International Mobile Telecommunications-2000*), разработанную *Международным союзом электросвязи (МСЭ/ITU)*.

Основу концепции **IMT-2000** составляет семейство 5 радиointерфейсов:

- **IMT-DS** (*IMT Direct Spread*) – европейское решение UMTS FDD;
- **IMT-TC** (*IMT Time Code*) – европейское решение UMTS TDD;
- **IMT-MC** (*IMT Multi Carrier*) – американское решение cdma2000;
- **IMT-SC** (*IMT Single Carrier*) – американское решение UMC-136;
- **IMT-FDMA/CDMA** – радиointерфейс системы DECT.

Радиоподсистема UMTS

Радиоподсистема UMTS — это сеть радиодоступа, получившая название в стандарте UMTS – **UTRAN** (*Universal Terrestrial Radio Access Network*).

С подсистемой **UTRAN** связан ряд терминов:

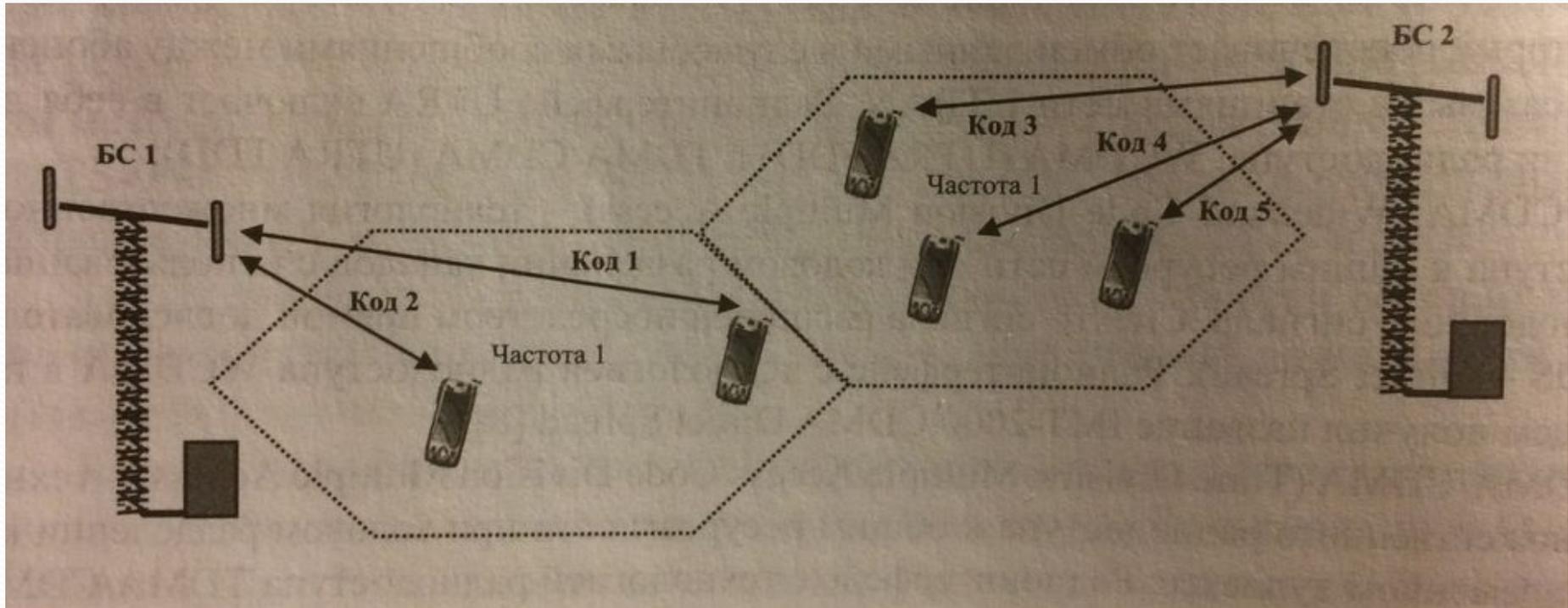
- **UTRA** (*Universal Terrestrial Radio Access*) – интерфейс радиодоступа, который обеспечивает обмен данными и служебными сообщениями между абонентами и базовыми станциями сети UTRAN. Радиоинтерфейс UTRA включает в себя две технологии радиодоступа: **WCDMA (UTRA FDD)** и **TDMA/CDMA (UTRA FDD)**. Основным видом модуляции в радиоинтерфейсе UTRA является квадратурная фазовая манипуляция **QPSK** (*Quadrature Phase Shift Keying*);
- **WCDMA** (*Wideband Code Division Multiple Access*) – технология множественного радиодоступа к общим ресурсам сети при кодовом разделении каналов с использованием широкополосного сигнала. Спектр сигнала расширен посредством прямой последовательности (DS – Direct Spread). Радиоинтерфейс с технологией радиодоступа WCDMA в последующем получил название **IMT-2000 CDMA Direct Spread**;
- **TDMA/CDMA** (*Time Division Multiple Access/Code Division Multiple Access*) – технология множественного радиодоступа к общим ресурсам сети при кодовом разделении каналов и временном дуплексе. Радиоинтерфейс с технологией радиодоступа TDMA/CDMA в последующем получил название **IMT-2000 CDMA TDD (Time-Code)**.

Новые решения в стандарте UMTS

Стандарт UMTS обладает рядом принципиально новых особенностей по сравнению с GSM:

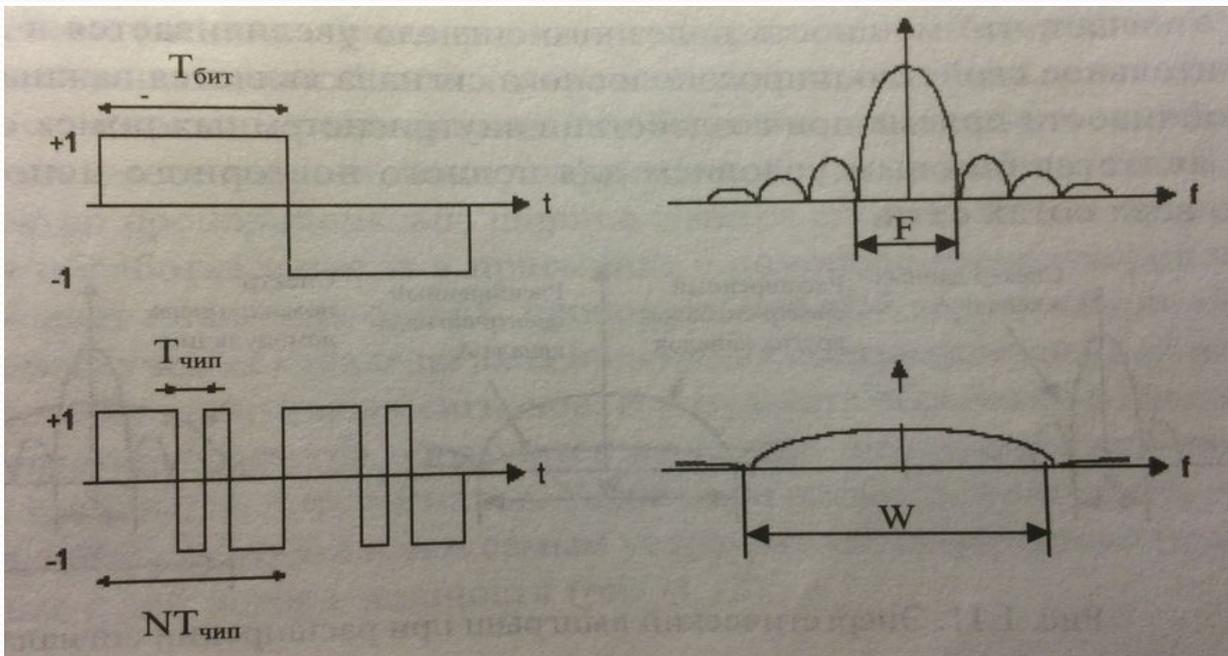
- кодовое разделение каналов;
- расширение спектра сигнала;
- быстрая регулировка мощности;
- эффективность распределения радиоресурса;
- мягкий хэндовер, при котором обеспечивается быстрый бесшовный переход абонентской станции от одной соты к другой;
- разнесенный прием от двух и более базовых станций.

Кодовое разделение каналов в UMTS (1/2)



Посредством кодового разделения весь ресурс радиосети распределяется между каналами пользователей. Такой метод позволяет динамически распределять ресурс радиосети. Для идентификации каналов применяются специальные **каналообразующие коды** (*Channelization Code*). Для «хорошей различимости» используют ортогональные коды.

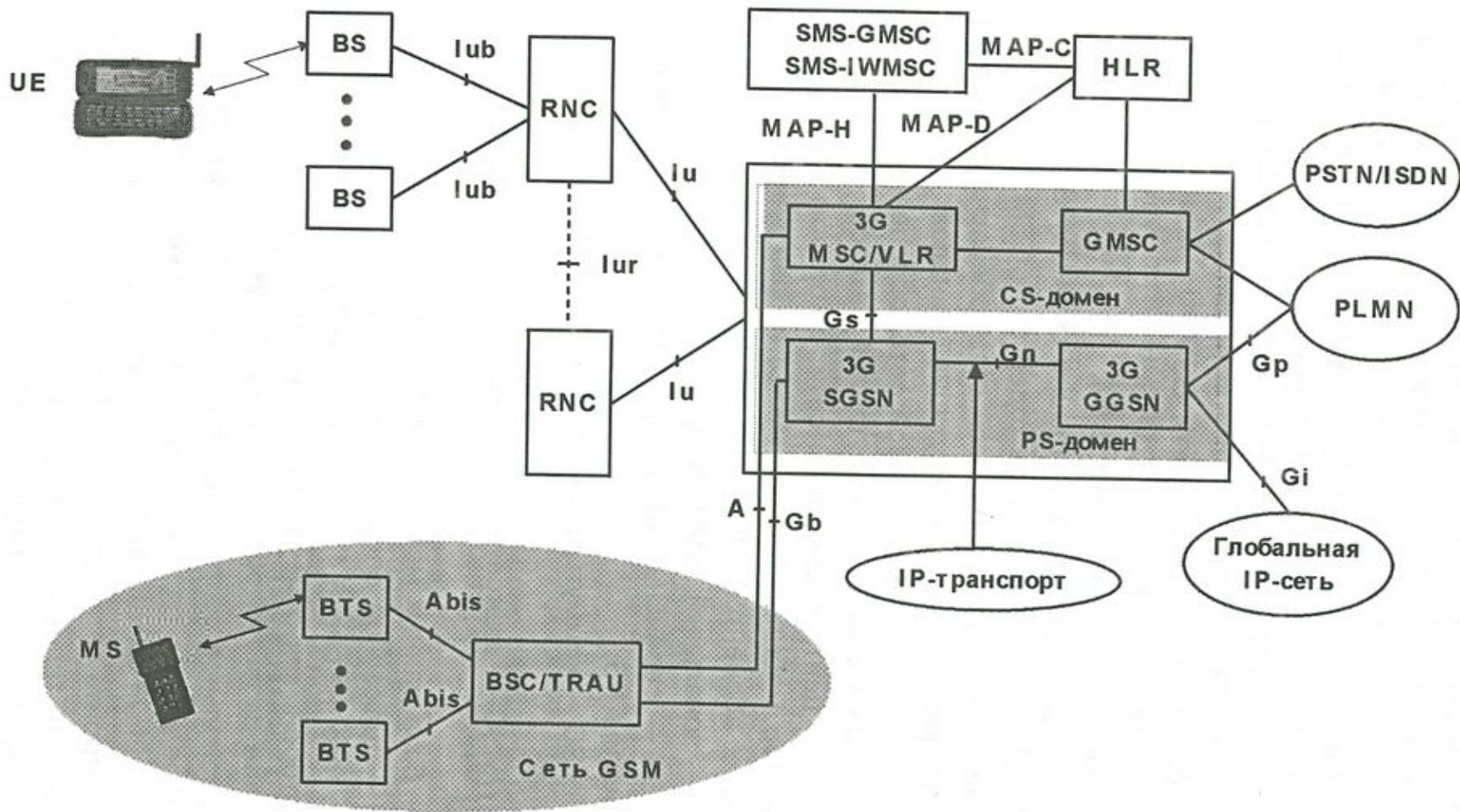
Расширение спектра сигнала UMTS



Искусственное введение частотной избыточности в радиосигнале позволяет получить дополнительные свойства системы UMTS как по помехоустойчивости (особенно в условиях многолучевого распространения сигнала), так и по пропускной способности. В радиоинтерфейсе UTRA каналообразующие коды выполняют одновременно и роль кодовых последовательностей, **расширяющих спектр** радиосигнала (*Spreading Code*).

Необходимость адаптации к различным скоростям передачи данных привела к использованию каналообразующих кодов с переменным коэффициентом расширения спектра сигнала OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor).

Архитектура сети UMTS



Высокоскоростная пакетная передача данных HSPA

HSPA (англ. *High Speed Packet Access* — высокоскоростная пакетная передача данных) — технология беспроводной широкополосной радиосвязи, использующая пакетную передачу данных и являющаяся надстройкой к мобильным сетям WCDMA/UMTS.

Технология базируется на двух предшествующих стандартах:

- HSDPA;
- HSUPA.

Максимальная теоретическая скорость передачи данных по стандарту составляет 14,4 Мбит/с (скорость передачи данных от базовой станции на всех локальных абонентов) и до 5,76 Мбит/с от абонента. Первые этапы внедрения стандарта обычно имеют скорость 3,6 Мбит/с к абоненту HSDPA (D — downlink). После внедрения второго этапа HSUPA (U — uplink, то есть ускорения передачи от абонента) всю систему и называют сокращённо HSPA.