

АКАДЕМИЯ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ОХРАНЫ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# СТАНДАРТЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ

*Рекомендовано Научно-методическим советом ФСО России  
в качестве учебного пособия для использования в образовательном процессе  
Академии ФСО России и служебно-боевой подготовке  
сотрудников органов государственной охраны.  
Протокол заседания Научно-методического совета ФСО России  
от 14 декабря 2016 г. № 2*

Орёл  
2017

УДК 621.396  
ББК 32.84  
С14

**А в т о р ы:**

канд. техн. наук С. В. Касибин; канд. техн. наук А. Н. Битков;  
канд. техн. наук В. С. Лазоренко; канд. техн. наук В. И. Попов;  
д-р техн. наук В. А. Баранов; канд. техн. наук Е. Н. Деркач;  
канд. техн. наук А. В. Кулаев; канд. техн. наук С. В. Дьяконов

**Стандарты сотовой связи : учебное пособие / С. В. Касибин,**  
С14 [и др.]. – Орёл : Академия ФСО России, 2017. – 206 с.

В учебном пособии рассмотрены общие характеристики и принципы функционирования систем сотовой радиосвязи. Представлены основные возможности и технические характеристики основных современных стандартов сотовой связи 2 и 3 поколений. Рассмотрены структура сотовых систем различных стандартов, особенности формирования сигналов и каналов в них, процедуры обслуживания вызовов и высокоскоростной передачи пакетных данных.

Учебное пособие подготовлено в соответствии с ФГОС ВПО и предназначено для курсантов и слушателей, обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02, 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи (квалификации «бакалавр», «магистр») и специальности 11.05.04 Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи (квалификация «инженер»), а также может быть полезным для слушателей, аспирантов и преподавателей высших учебных заведений, изучающих вопросы, касающиеся особенностей построения, функционирования и реализации современных систем широкополосного беспроводного доступа.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Академии ФСО России, протокол № 6 от 8 июля 2016 г.

**УДК 621.396  
ББК 32.84**

© Академия ФСО России, 2017

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ СОТОВОЙ РАДИОСВЯЗИ.....	8
1.1. Принципы функционирования сотовых систем подвижной радиосвязи.....	8
1.2. Деление обслуживаемой территории на соты .....	9
1.3. Состав сотовой системы связи .....	13
1.4. Алгоритмы функционирования систем сотовой связи .....	14
1.5. Способы множественного доступа .....	21
Вопросы для самоконтроля.....	24
2. СТАНДАРТЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ 2 ПОКОЛЕНИЯ.....	25
2.1. Стандарт сотовой подвижной радиосвязи GSM.....	25
2.1.1. Общая характеристика стандарта GSM.....	26
2.1.2. Структурная схема и состав оборудования сетей связи GSM .....	27
2.1.3. Организация физических и логических каналов в стандарте GSM.....	32
2.1.4. Радиоинтерфейс стандарта GSM.....	35
2.1.5. Обработка речи в стандарте GSM.....	41
2.1.6. Обслуживание вызова в стандарте GSM.....	46
2.1.7. Обеспечение безопасности в сетях GSM.....	61
2.1.8. Технологии высокоскоростной пакетной передачи данных GPRS и EDGE.....	64
2.1.8.1. Технология повышения скорости передачи данных для глобальной эволюции EDGE.....	75
2.2. Стандарт сотовой подвижной радиосвязи IS-95.....	81
2.2.1. Общая характеристика стандарта IS-95.....	82
2.2.2. Принцип формирования логических каналов.....	88
2.2.3. Формирование радиосигнала до процедур расширения спектра .....	92
2.2.4. Формирование радиосигнала методом прямого ортогонального расширения спектра.....	101
2.2.5. Квадратурная модуляция несущей частоты широкополосным сигналом.....	109
2.3. Стандарт микросотовой подвижной радиосвязи DECT .....	115
2.3.1. Обобщенная архитектура систем DECT.....	115
2.3.2. Классификация систем DECT.....	120
2.3.3. Архитектура протокола стандарта DECT .....	126
2.3.4. Архитектура приемопередатчиков DECT .....	131
2.3.5. Динамический выбор и динамическое назначение канала .....	136
Вопросы для самоконтроля.....	139
3. СТАНДАРТЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ 3 ПОКОЛЕНИЯ.....	140
3.1. Стандарт сотовой подвижной радиосвязи CDMA-2000 .....	140

3.1.1. Общая характеристика стандарта CDMA-2000 .....	140
3.1.2. Структура сети сотовой подвижной радиосвязи стандарта CDMA-2000.....	143
3.2. Стандарт сотовой подвижной радиосвязи WCDMA .....	151
3.2.1. Общая характеристика сетей WCDMA.....	151
3.2.2. Структура сети WCDMA.....	154
3.2.3. Организация каналов в сети WCDMA .....	161
3.2.4. Элементарные процедуры в сетях WCDMA .....	171
3.2.5. Обслуживание вызова в сетях 3 поколения WCDMA.....	178
3.2.6. Технология высокоскоростной передачи данных на линии «вниз» HSDPA .....	189
3.2.7. Технология высокоскоростной передачи данных на линии «вверх» HSUPA .....	194
Вопросы для самоконтроля.....	202
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	204
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	206

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

АС	– абонентская станция
БС	– базовая станция
ДН	– диаграмма направленности
ЗО	– зона обслуживания
ЗП	– зона покрытия
КАМ	– квадратурная амплитудная модуляция
КНД	– коэффициент направленного действия
КУ	– коэффициент усиления
МДВР	– множественный доступ с временным разделением
МДКР	– множественный доступ с кодовым разделением
МДЧР	– множественный доступ с частотным разделением
ММС	– модуляция с минимальным сдвигом
НК	– несущее колебание
ОБПФ	– обратное быстрое преобразование Фурье
ОП	– обучающая последовательность
ОФМ	– относительная фазовая модуляция
ПС	– пилот-сигнал
ФМ	– фазовая модуляция
ФНЧ	– фильтр низких частот
ФТ	– фазовая телеграфия
ЦАП	– цифроаналоговое преобразование
ЧМ	– частотная модуляция
ШБД	– широкополосный беспроводный доступ
ЭИИМ	– эффективно излучаемая изотропная мощность
ARQ	– <i>automatic repeat request</i> (автоматический запрос на повторение)
DPSK	– <i>Differential Phase Shift Keying</i> (относительная фазовая модуляция)
IDFT	– <i>Inverse Discrete Fourier Transform</i> (обратное дискретное преобразование Фурье)
MAC	– <i>Medium Access Control</i> (подуровень доступа к среде передачи данных)
OSI	– <i>Open System Interconnection</i> (эталонная модель взаимодействия открытых систем)
PHY	– <i>Physical Layer</i> (физический подуровень)
PSK	– <i>Phase Shift Keying</i> (фазовая модуляция)

## ВВЕДЕНИЕ

Первое упоминание о подвижной радиосвязи относится к 1921 г., когда в Детройте впервые была осуществлена односторонняя диспетчерская связь в диапазоне 2 МГц в интересах полиции. Первой коммерчески успешной сотовой сетью была финская сеть *Autoradiopuhelin* (ARP). Это название переводится на русский как «автомобильный радиотелефон». Запущенная в 1971 г., она достигла 100 %-ного покрытия территории Финляндии в 1978 г. Размер соты составлял около 30 км, в 1986 г. в ней было зарегистрировано более 30 тыс. абонентов. Данная сеть работала на частоте 150 МГц.

Широкое распространение и развитие сотовые системы получили с появлением стандарта GSM, который фактически стал «общемировым» стандартом сотовой связи.

Интерес к системам подвижной связи на сегодняшний день огромен, они развернуты во многих странах мира, в том числе в России. Развитие данной отрасли происходит огромными темпами, опережающими развитие сетей общего пользования других типов, что связано, прежде всего, с возможностью предоставления ими услуг связи в любом месте и в любое время.

Учебное пособие состоит из трех глав. В первой рассматриваются вопросы, касающиеся основ построения сотовых систем подвижной радиосвязи; принципы функционирования сотовых систем подвижной радиосвязи, деление обслуживаемой территории на соты, обобщенный состав сотовой системы связи. Подробно описаны обобщенные алгоритмы функционирования систем сотовой связи и основные способы множественного доступа, применяемые в системах сотовой связи.

Вторая глава учебного пособия посвящена рассмотрению основных возможностей и характеристик систем сотовой связи второго поколения. Особое внимание уделено стандарту GSM как получившему наибольшее распространение, вопросам структурного построения сети GSM и назначению элементов сети. Подробно описаны организация физических и логических каналов в стандарте GSM, этапы формирования радиосигнала. Отдельные разделы главы посвящены вопросам, касающимся основ обработки речи в стандарте GSM и обслуживанию вызова в сетях данного стандарта. Изложены вопросы по обеспечению безопасности в сетях GSM. Кроме того, рассмотрены основные технологии повышения скорости передачи пакетных данных в сетях GSM, такие как GPRS и EDGE.

Также во второй главе показаны основные принципы, возможности и технические характеристики стандартов сотовой связи IS-95 и микросотовой связи DECT; этапы формирования сигналов, каналов и обслуживание вызова для данных стандартов.

В третьей главе учебного пособия представлены стандарты сотовой связи 3 поколения. Основная часть главы посвящена изучению стандарта WCDMA, который в настоящее время находит широкое применение как у

отечественных, так и у зарубежных операторов сотовой связи. В главе рассмотрены основные возможности и особенности построения сетей стандарта WCDMA. Кроме того, описаны основные процедуры обслуживания вызова в данном стандарте; основные особенности технологий высокоскоростной передачи пакетных данных как на линии «вниз» (HSDPA), так и на линии «вверх» (HSUPA).

В третьей главе также показаны основные возможности и особенности стандарта CDMA-2000.

Учебное пособие рассчитано на читателей, профессионально занимающихся сотовой радиосвязью (не обязательно с базовым радиотехническим образованием) и стремящихся понять организацию и структуру, возможности и основные принципы функционирования современных стандартов сотовой связи.

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ СОТОВОЙ РАДИОСВЯЗИ

## 1.1. Принципы функционирования сотовых систем подвижной радиосвязи

Особенностью сотовых систем подвижной радиосвязи (ССПР) является многократное использование выделенного частотного ресурса при соответствующем пространственном разнесении приемопередатчиков базовых станций. Данный принцип заключается в том, что в смежных областях радиопокрытия ССПР применяются разные полосы частотного диапазона, тогда как в зонах, достаточно удаленных друг от друга, допускается передача на одних и тех же частотных каналах. Возможность подобного частотно-территориального планирования объясняется быстрым пространственным затуханием радиоволн дециметрового диапазона, используемых в ССПР [1].

Участок территории радиопокрытия, на котором осуществляется связь в фиксированной полосе частот, схематически принято изображать в виде правильного шестиугольника. По сходству с пчелиными сотами он получил название *соты*, а системы подвижной радиосвязи с пространственным разнесением частот – *сотовые системы*. Сотовая топология позволяет многократно увеличить абонентскую емкость системы по сравнению с системами радиальной структуры и охватить сколь угодно большую зону обслуживания без ухудшения качества связи и расширения выделенного частотного диапазона. Вместе с тем использование сотового принципа построения предполагает и ряд усложнений, касающихся определения текущего местоположения мобильного абонента и обеспечения непрерывности связи при перемещении его из одной соты в другую. Соответствующая процедура получила название *эстафетной передачи* (в английской транскрипции *handoff* или *handover*) [2].

Высокая спектральная эффективность ССПР достигается ценой максимально частого повторного использования одних и тех же частотных полос. Вместе с тем частое повторение зон с одинаковыми полосами частот характеризуется заметным уровнем соканальных помех, т. е. помех от станций системы, работающих в той же полосе частот, но расположенных в несмежных сотах.



## 1.2. Деление обслуживаемой территории на соты

Разделить обслуживаемую территорию на ячейки (соты) можно двумя способами: первый основан на измерении статистических характеристик распространения сигналов в системах связи, второй – на измерении или расчете параметров распространения сигнала для конкретного района.

При реализации первого способа вся обслуживаемая территория разделяется на одинаковые по форме зоны и с помощью закона статистической радиофизики определяются их допустимые размеры и расстояния до других зон, в пределах которых выполняются условия допустимого взаимного влияния. При данном подходе интервал между зонами, в которых используются одинаковые рабочие каналы, обычно получается больше требуемого для поддержания взаимных помех на допустимом уровне.

Более приемлем второй способ деления на зоны. В этом случае тщательно измеряют или рассчитывают параметры системы для определения минимального числа базовых станций, обеспечивающих удовлетворительное обслуживание абонентов по всей территории, определяют оптимальное место расположения базовой станции с учетом рельефа местности, рассматривают возможность использования направленных антенн, пассивных ретрансляторов и смежных центральных станций в момент пиковой нагрузки и т. д.

В сетях сотовой связи каждая из ячеек обслуживается своим передатчиком с невысокой выходной мощностью и ограниченным числом каналов связи. Это позволяет без помех применять повторно частоты каналов этого передатчика в другой, удаленной на значительное расстояние, ячейке. Теоретически такие передатчики можно использовать и в соседних ячейках. Но на практике зоны обслуживания сот могут перекрываться под действием различных факторов, например, вследствие изменения условий распространения радиоволн, поэтому в соседних ячейках применяются различные частоты. На рисунке 1.1 представлен вариант распределения частот в сотах, а именно частот  $F1 \dots F3$  [2].

Группа сот с различными наборами частот называется кластером. Основным параметром, характеризующим кластер, является размерность кластера – количество используемых в соседних сотах

частот. Для примера, представленного на рисунке 1.1, размерность кластера равна 3, на практике это число может достигать пятнадцати.

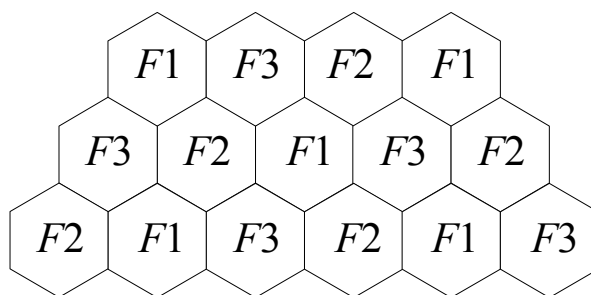


Рис. 1.1

Основной идеей, на которой базируется принцип сотовой связи, является повторное использование частот в несмежных сотах. В аналоговых системах сотовой связи применялись антенны базовых станций (БС) с круговыми диаграммами направленности (рис. 1.2), что предполагало наличие передатчиков с одинаковой мощностью по всем направлениям. Однако этот способ приводил к появлению на входе абонентских станций (АС) помех от всех соседних базовых станций.

Базовые станции, на которых допускается повторное использование выделенного набора частот, удалены друг от друга на расстояние  $D$ , называемое «защитным интервалом» (рис. 1.2). Именно возможность повторного применения одних и тех же частот определяет высокую эффективность использования частотного спектра в сотовых системах связи.

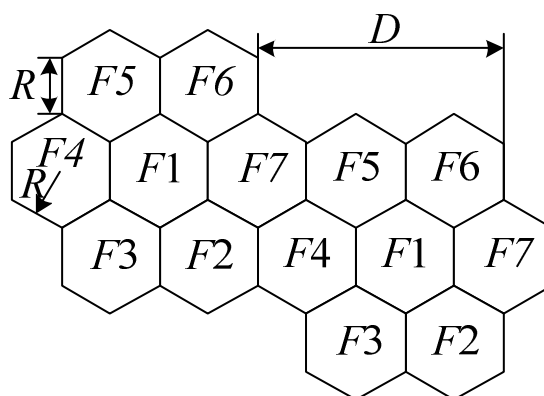


Рис. 1.2

Смежные БС с различными наборами частотных каналов образуют группу из  $C$  станций. Если каждой БС выделяется набор из  $m$  каналов с шириной полосы каждого  $F_K$ , то общая ширина полосы, занимаемой системой сотовой связи, составит

$$F_c = F_K m C.$$

Величина  $C$  определяет минимально возможное число каналов в системе, поэтому ее часто называют *частотным параметром системы*, или *коэффициентом повторения частот*. Коэффициент  $C$  не зависит от числа каналов в наборе и увеличивается по мере уменьшения радиуса ячейки. Таким образом, при использовании ячеек меньших радиусов имеется возможность увеличения повторяемости частот.

Применение шестиугольных ячеек позволяет минимизировать ширину необходимого частотного диапазона, поскольку такая форма обеспечивает оптимальное соотношение между величинами  $C$  и  $D$ . Кроме того, шестиугольная форма наилучшим образом вписывается в круговую диаграмму направленности антенны БС, установленной в центре ячейки.

### **Выбор размера ячейки (радиуса $R$ )**

Данный размер определяет защитный интервал  $D$  (рис. 1.2) между ячейками, в которых одни и те же частоты могут быть использованы повторно. Заметим, что величина защитного интервала  $D$ , кроме перечисленных факторов, также зависит от допустимого уровня помех и условий распространения радиоволн. В предположении, что интенсивность вызовов в пределах всей зоны одинакова, ячейки выбираются одного размера. Размер зоны обслуживания БС, выражаемый через радиус ячейки  $R$ , определяет также число абонентов  $N$ , способных одновременно вести переговоры на всей территории обслуживания. Таким образом, уменьшение радиуса ячейки позволяет не только повысить эффективность использования выделенной полосы частот и увеличить абонентскую емкость системы, но и уменьшить мощность передатчиков и чувствительность приемников базовых и подвижных станций. Это, в свою очередь, улучша-

ет условия электромагнитной совместимости средств сотовой связи с другими радиоэлектронными средствами и системами [2].

Достаточно эффективным способом снижения уровня помех в соте является применение так называемых секторных антенн с узкими диаграммами направленности.

В секторе антенны сигнал излучается преимущественно в одну сторону, а уровень излучения в противоположном направлении сокращается до минимума. Деление сот на секторы позволяет чаще повторно использовать частоты, один из наиболее часто встречающихся способов – это применение 3-секторных антенн для каждой БС и трех соседних БС с формированием ими девяти групп частот (рис. 1.3), в этом случае – антенн с шириной диаграммы направленности  $120^0$ .

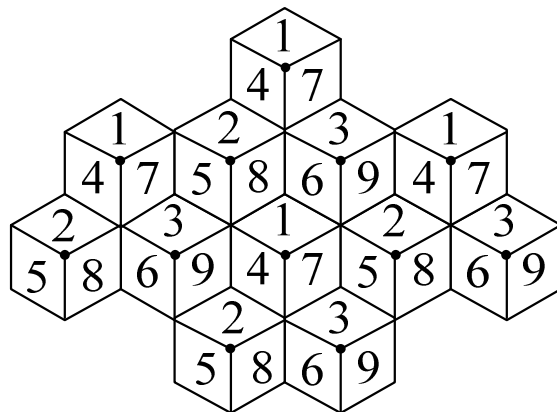


Рис. 1.3

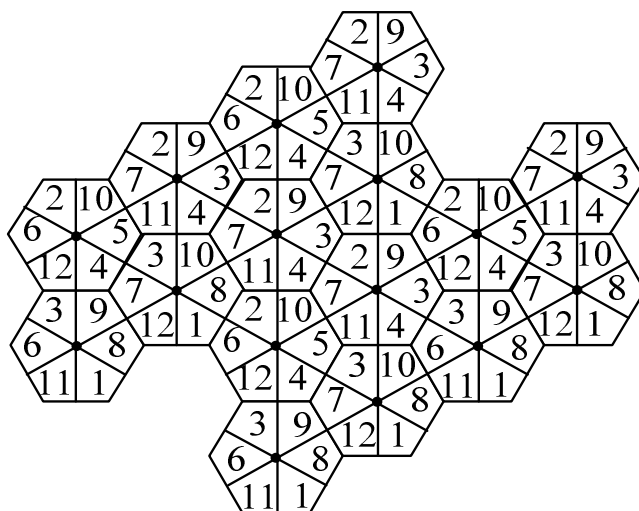


Рис. 1.4

Следует отметить, что наибольшую эффективность обеспечивает разработанный фирмой *Motorola* (США) способ повторного использования частот. При реализации этого способа (рис. 1.4) каждая частота применяется дважды в пределах кластера, состоящего из 4 ячеек; базовая станция каждой из них может работать на 12 частотах посредством антенн с диаграммой направленности шириной  $60^\circ$ .

### 1.3. Состав сотовой системы связи

Каждая из сот обслуживается многоканальным приемопередатчиком – базовой станцией. Она служит своеобразным интерфейсом между сотовым телефоном и центром коммутации подвижной связи, где роль проводов обычной телефонной сети выполняют радиоволны. Число каналов БС обычно кратно 8, например, 8, 16, 32... Один из каналов является управляющим (*control channel*). В некоторых ситуациях он может называться также каналом вызова (*calling channel*). На этом канале происходит непосредственно установление соединения при вызове подвижного абонента сети, а сам разговор начинается только после того, как будет найден свободный в данный момент канал и произойдет переключение на него. Все эти процессы происходят очень быстро и потому незаметны для абонента. Он лишь набирает нужный номер и разговаривает, как по обычному телефону.

Любой из каналов сотовой связи представляет собой пару частот для дуплексной связи, т. е. частоты базовой и подвижной станций разнесены. Это делается для того, чтобы улучшить фильтрацию сигналов и исключить взаимное влияние передатчика на приемник одного и того же устройства при их одновременной работе.

Все БС соединены с центром коммутации подвижной связи (коммутатором) по выделенным проводным или радиорелейным каналам связи (рис. 1.5). Центр коммутации *MSC* – это автоматическая телефонная станция системы сотовой связи, обеспечивающая все функции управления сетью [2].

Она осуществляет постоянное слежение за подвижными станциями, организует их эстафетную передачу, в процессе которой достигается непрерывность связи при перемещении подвижной станции из соты в соту и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностей, производит соединение по-

движного абонента с тем, кто ему необходим в обычной телефонной сети и др.

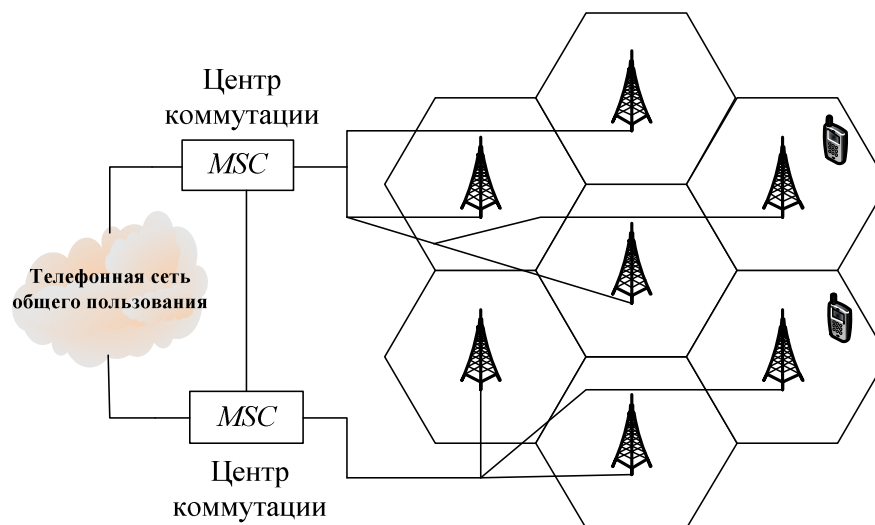


Рис. 1.5

#### 1.4. Алгоритмы функционирования систем сотовой связи

Алгоритмы функционирования различных стандартов ССС в основном схожи [1, 2].

Когда радиотелефон находится в режиме ожидания, его приемное устройство постоянно сканирует либо все каналы системы, либо только управляющие. Для вызова абонента всеми БС сотовой системы связи по КУ передается сигнал вызова. Мобильный телефон вызываемого абонента при получении этого сигнала отвечает по одному из свободных КУ. БС, принявшие ответный сигнал, передают информацию о его параметрах в ЦК, который переключает разговор на ту БС, где зафиксирован максимальный уровень сигнала радиотелефона вызываемого абонента.

Во время набора номера радиотелефон занимает один из свободных каналов, уровень сигнала БС в котором в данный момент максимален. По мере удаления абонента от БС или в связи с ухудшением условий распространения радиоволн уровень сигнала уменьшается, что ведет к ухудшению качества связи, улучшить его можно путем автоматического переключения абонента на другой канал связи. Специальная процедура, называемая передачей управления вызовом или *эстафетной передачей* (handover или handoff), позволяет пере-

ключить разговор на свободный канал другой БС, в зоне действия которой оказался в это время абонент. Аналогичные действия предпринимаются при снижении качества связи из-за влияния помех или при возникновении неисправностей коммутационного оборудования. Для контроля таких ситуаций БС снабжена специальным приемником, периодически измеряющим уровень сигнала мобильного телефона разговаривающего абонента и сравнивающим его с допустимым пределом. Если уровень сигнала меньше данного предела, то информация об этом автоматически передается в ЦК по служебному каналу связи. ЦК выдает команду об измерении уровня сигнала радиотелефона абонента на ближайшие к нему БС. После получения информации от БС об уровне этого сигнала ЦК переключает радиотелефон на ту из них, где уровень сигнала оказался наибольшим.

Иногда возникает ситуация, когда поток заявок на обслуживание, поступающий от абонентов сотовой сети, превышает количество каналов, имеющихся на всех близко расположенных БС, например, если все каналы станций заняты обслуживанием абонентов и поступает очередная заявка на обслуживание от МА. В этом случае как временная мера (до освобождения одного из каналов) используется принцип эстафетной передачи внутри соты. При этом происходит поочередное переключение каналов в пределах одной и той же базовой станции для обеспечения связью всех абонентов.

Одна из важных услуг сети сотовой связи – роуминг, т. е. предоставление возможности использования одного и того же радиотелефона при поездке в другой город, область или даже страну, причем сотовая сеть позволяет не только самому абоненту звонить из другого города или страны, но и получать входящие звонки.

### **Инициализация и установление связи**

Работа ПС в пределах одной ячейки своей системы (без передачи обслуживания) заключается в следующем. В работе ПС можно выделить четыре этапа, которым соответствуют четыре режима работы: включение и инициализация, режим ожидания, режим установления связи (вызова), режим ведения связи (телефонного разговора).

После включения ПС, т. е. после замыкания цепи питания, производится инициализация – **начальный запуск**. В течение этого этапа происходит настройка ПС на работу в составе системы по сигналам

лам, регулярно передаваемым БС по соответствующим КУ, после чего ПС переходит в режим ожидания. Конкретное содержание этапа инициализации зависит от используемого стандарта сотовой связи.

**В режиме ожидания** ПС отслеживает изменения информации системы, которые могут быть связаны как с изменениями режима работы системы, так и с перемещениями самой подвижной станции (например, с переходом ее в другую ячейку); команды системы, например, команду подтвердить свою работоспособность; получение вызова со стороны системы; инициализацию вызова со стороны собственного абонента.

Кроме того, ПС может периодически, например раз в 10–15 мин, подтверждать свою работоспособность, передавая соответствующие сигналы на БС (подтверждение «регистрации» или уточнение местоположения). В ЦК для каждой из включенных ПС фиксируется ячейка, в которой она «зарегистрирована», что облегчает организацию процедуры вызова МА. Если ПС не подтверждает свою работоспособность в течение определенного промежутка времени, ЦК считает ее выключенной, и поступающий на ее номер вызов не передается.

**Процедура установления связи** заключается в следующем. Если со стороны системы поступает вызов номера МА, ЦК направляет этот вызов на БС той ячейки, в которой «зарегистрирована» ПС, или на несколько БС в окрестности этой ячейки с учетом возможного перемещения абонента за время, прошедшее с момента последней «регистрации», а БС передают его по соответствующим каналам вызова. ПС, находящаяся в режиме ожидания, получает вызов и отвечает на него через свою БС, передавая одновременно данные, необходимые для проведения процедуры аутентификации. При положительном результате аутентификации назначается КТ, и ПС сообщается номер соответствующего частотного канала. ПС настраивается на выделенный канал и совместно с БС выполняет необходимые действия по подготовке сеанса связи. На этом этапе ПС настраивается на заданный номер слота в кадре, уточняет задержку во времени, подстраивает уровень излучаемой мощности и т. п. Выбор временной задержки производится с целью временного согласования слотов в кадре (на прием в БС) при организации связи с ПС, находящимися на разных дальностях от БС. При этом временная задержка передаваемой ПС пачки регулируется по командам БС.



Затем БС выдает сообщение о подаче сигнала вызова (звонка), которое подтверждается ПС, и вызывающий абонент получает возможность услышать сигнал вызова. Когда вызываемый абонент отвечает на вызов («снимает трубку»), ПС выдает запрос на завершение соединения. С завершением соединения начинается собственно сеанс связи – абоненты ведут разговор.

В процессе разговора ПС производит обработку передаваемых и принимаемых сигналов речи, а также передаваемых одновременно с речью сигналов управления. По окончании разговора происходит обмен служебными сообщениями между ПС и БС (запрос или команда на отключение с подтверждением), после чего передатчик ПС выключается и станция переходит в режим ожидания.

Если вызов инициируется со стороны ПС, т. е. абонент набирает номер вызываемого абонента, убеждается в правильности набора по отображению на дисплее и нажимает на соответствующую кнопку («вызов») на панели управления, то ПС передает через свою БС сообщение с указанием вызываемого номера и данными для аутентификации ПС. После аутентификации БС назначает КТ, и последующие шаги по подготовке сеанса связи производятся таким же образом, как и при поступлении вызова со стороны системы.

Если ПС осуществляет связь с другой ПС, то процедура установления связи и проведения сеанса связи происходит практически так же. Если при этом обе ПС относятся к одной и той же сотовой системе, то связь между ними устанавливается через ЦК системы без выхода в стационарную телефонную сеть.

## **Аутентификация и идентификация**

Процедуры аутентификации и идентификации выполняются при каждом установлении связи. **Аутентификация** – процедура подтверждения подлинности (действительности, законности, наличия прав на пользование услугами сотовой связи) абонента ССС. **Идентификация** – процедура отождествления ПС, т. е. установления принадлежности к одной из групп, обладающих определенными признаками. Она используется для выявления утерянных, украденных или неисправных аппаратов.

В аналоговых ССС первого поколения процедура аутентификации имела простейший вид: ПС передавала свой уникальный иден-

тификатор (электронный серийный номер – Electronic Serial Number, ESN), и если он отыскивался среди зарегистрированных в домашнем регистре, то аутентификация считалась успешно выполненной. Такой способ аутентификации оставлял большие возможности для фрода (обмана), поэтому со временем и в аналоговых системах, и в ССС второго поколения с использованием дополнительных возможностей цифровых методов передачи информации процедура аутентификации была значительно усовершенствована.

Идея процедуры аутентификации **в цифровой ССС** заключается в шифровании некоторых паролей-идентификаторов с помощью квазислучайных чисел, периодически передаваемых на ПС с ЦК, и индивидуального для каждой ПС алгоритма шифрования. Шифрование с использованием одних и тех же исходных данных и алгоритмов производится как на ПС, так и в ЦК (или в центре аутентификации), и аутентификация считается закончившейся успешно, если оба результата совпадают.

### **Передача обслуживания**

Базовая станция, находящаяся примерно в центре ячейки, обслуживает все ПС в пределах своей ячейки. При перемещении ПС из одной ячейки в другую ее обслуживание соответственно передается от БС первой ячейки к БС второй. Этот процесс называется *передачей обслуживания* (ПО) или *эстафетной передачей*. Процедура передачи обслуживания имеет место только в том случае, когда ПС пересекает границу ячеек во время сеанса связи и связь при этом не прерывается. Если ПС перемещается из одной ячейки в другую, находясь в режиме ожидания, она просто отслеживает эти перемещения по информации системы, передаваемой по КУ, и в нужный момент перестраивается на более сильный сигнал другой БС.

Технически процедура ПО осуществляется следующим образом. Необходимость в ПО возникает, когда качество канала связи, оцениваемое по уровню сигнала и/или частоте битовой ошибки, падает ниже допустимого предела.

В стандарте GSM указанные параметры постоянно измеряются ПС как для своей ячейки, так и для ряда смежных (до 16 ячеек), и результаты измерений передаются на БС.

В стандарте D-AMPS подвижная станция измеряет эти характеристики только для рабочей ячейки, но при ухудшении качества связи она сообщает об этом через БС на ЦК, и по команде последнего аналогичные измерения выполняются ПС в соседних ячейках. По результатам этих измерений ЦК выбирает ячейку, в которую должно быть передано обслуживание.

Организация ПО основывается на измерениях, выполняемых на ПС во временных слотах, свободных от передачи и приема информации. Кроме того, могут использоваться и результаты измерений, выполняемых на БС. В этом заключается отличие от процедуры ПО в аналоговых ССС, где аналогичные измерения выполнялись только на БС.

Обязательным условием ПО из одной ячейки в другую является более высокое качество канала связи во второй ячейке по сравнению с первой. Иначе говоря, обслуживание передается из ячейки с худшим качеством канала связи в ячейку с лучшим качеством, причем указанное различие должно быть не менее некоторой наперед заданной величины. Если не требовать выполнения этого условия, а передавать обслуживание, например, при одинаковом качестве канала связи в двух ячейках, то в некоторых случаях (в частности, при перемещении ПС примерно вдоль границы ячеек) возможна многократная ПО из первой ячейки во вторую и обратно, приводящая к значительной загрузке системы и снижению качества связи.

Приняв решение о ПО и выбрав новую ячейку, ЦК сообщает об этом БС новой ячейки, а ПС через БС старой ячейки выдает необходимые команды с указанием нового частотного канала, номера рабочего слота и т. п. ПС перестраивается на новый канал и настраивается на совместную работу с новой БС, выполняя примерно те же шаги, что и при подготовке сеанса связи, после чего связь продолжается через БС новой ячейки. При этом перерыв в телефонном разговоре не превышает долей секунды и остается незаметным для абонента.

## **Роуминг**

Роуминг – это функция, или процедура, предоставления услуг ССС абоненту одного оператора в системе другого. При перемещении абонента в другую сеть ее ЦК запрашивает информацию в первоначальной сети и при наличии подтверждения полномочий абонента ре-

гистрирует его. Данные о местоположении абонента постоянно обновляются в ЦК первоначальной сети, и все поступающие туда вызовы автоматически переадресовываются в ту сеть, где в данный момент находится абонент.

Для организации роуминга ССС должны быть одного стандарта, а ЦК подвижной связи этого стандарта должны быть соединены специальными каналами связи для обмена данными о местонахождении абонента. Для обеспечения роуминга необходимо выполнение трех условий: наличие в требуемых регионах ССС, совместимой со стандартом компании, у которой был приобретен радиотелефон; наличие соответствующих организационных и экономических соглашений о роуминговом обслуживании абонентов; наличие каналов связи между системами, обеспечивающих передачу звуковой и другой информации для роуминговых абонентов.

Различают три вида роуминга: автоматический; полуавтоматический, когда абоненту для пользования данной услугой в каком-либо регионе необходимо предварительно поставить об этом в известность своего оператора; ручной, т. е. обмен одного радиотелефона на другой, подключенный к ССС другого оператора.

При автоматическом роуминге упрощенная схема организации роуминга заключается в следующем. Абонент сотовой сети, оказавшийся на территории «чужой» системы, допускающей реализацию роуминга, инициирует вызов обычным образом, как если бы он находился на территории «своей» системы.

ЦК, убедившись, что в его домашнем регистре (ДР) этот абонент не значится, воспринимает его как роумера и заносит в «гостевой» регистр (ГР). Одновременно (или с некоторой задержкой) он запрашивает в ДР «родной» системы роумера относящиеся к нему сведения, необходимые для организации обслуживания (оговоренные виды услуг, пароли, шифры), и сообщает, в какой системе роумер находится в настоящее время; последняя информация фиксируется в ДР «родной» системы роумера. После этого роумер пользуется сотовой связью, как дома: исходящие от него вызовы обслуживаются обычным образом, с той только разницей, что относящиеся к нему сведения фиксируются не в ДР, а в ГР; поступающие на его номер вызовы переадресуются «домашней» системой на ту систему, где роумер «гостит». По возвращении роумера домой в ДР «родной» си-

стемы стирается адрес той системы, где роумер находился, а в ГР той системы, в свою очередь, стираются сведения о роумере.

Заметное развитие роуминг получил в аналоговых стандартах AMPS и NMT, но появление цифровых стандартов потребовало пересмотра многих из использовавшихся там решений. Решение задачи роуминга в цифровом стандарте D-AMPS опирается на отдельный стандарт IS-41, определяющий межсистемные операции.

В стандарте GSM процедура роуминга заложена как обязательный элемент. Кроме того, в нем имеется возможность роуминга с SIM-картами с перестановкой SIM-карт между аппаратами различных вариантов данного стандарта (GSM-900, GSM-1800 и GSM-1900), поскольку во всех трех вариантах используются унифицированные SIM-карты. Процедура роуминга в стандарте GSM становится еще более удобной с появлением двухрежимных, а в дальнейшем – и трехрежимных абонентских терминалов (GSM-900/GSM-1800/GSM-1900).

### **1.5. Способы множественного доступа**

С одной и той же базовой станцией сотовой сети может взаимодействовать большое число абонентов. Такой режим работы называется множественным доступом (*multiple access*) к БС. Для обеспечения множественного доступа общий ресурс БС подразделяется на определенное количество «каналов», к которым получают доступ пользователи. В одно и то же время абонент может использовать только один канал. «Захват» канала происходит при подключении к данной БС (при переходе к ней из зоны действия другой БС или инициализации вызова), освобождение канала – при переходе в зону действия другой БС или окончании переговоров [4].

Первыми появились методы множественного доступа, основанные на частотном разделении каналов (*FDMA, frequency division multiple access*). Каждый канал занимает определенную частотную полосу в отведенном для ячейки частотном диапазоне. После установления соединения вся соответствующая каналу полоса частот используется для обслуживания диалога только между одним абонентским телефоном и базовой станцией, какое-либо совместное применение одной полосы частот несколькими абонентами невозможно.

Емкость ячейки сети определяется тем, сколько частотных каналов «умещается» в частотном диапазоне, отведенном для данной ячейки. Благодаря этому можно повторно использовать одни и те же частоты в отдаленных друг от друга ячейках сети, а значит, строить сети неограниченных географических масштабов, применяя конечный диапазон частот.

Существенно большей емкости сети можно достичь, используя множественный доступ с временным разделением каналов (*Time Division Multiple Access, TDMA*). Весь диапазон частот, выделенный для данной ячейки, разделяется на несущие частоты, после чего каждая из несущих делится еще на некоторое число временных слотов, и именно эти слоты представляют собой физические каналы. Под термином «временной слот» понимается следующее. Базовая станция, работая на данной частоте, какую-то часть времени использует для связи с одним абонентом, какую-то – с другим и так далее. Речь обычно передается в оцифрованном виде с компрессией.

Существенное увеличение емкости обеспечивает недавно появившийся в технике сотовых сетей метод *CDMA* (*Code Division Multiple Access*). Как и метод множественного доступа, он подразумевает передачу голосовой информации только в оцифрованном виде. В основе данного метода лежит давно применяемый в военной радиосвязи метод модуляции с помощью шумоподобного или широкополосного сигнала (ШПС; в англоязычной литературе используется термин *spread spectrum*, что часто переводится на русский язык как «растянутый» или «размытый» спектр). Полезная информация как бы «размазывается» по частотному диапазону, существенно более широкому, чем при традиционных способах модуляции сигнала (в данном контексте такой сигнал часто называют узкополосным). Осуществляется это за счет перемножения последовательности полезных бит информации на псевдослучайную последовательность более коротких импульсов. В результате получается сигнал, который занимает больший частотный диапазон и имеет значительно меньшую интенсивность, чем получаемый при узкополосной модуляции. *CDMA* как метод множественного доступа аналогичен методу модуляции *DSSS* (*direct-sequence spread spectrum*), используемому в беспроводных локальных сетях [11].

Ясно, что в этом случае можно принять информацию, только зная последовательность, на которую был перемножен полезный

сигнал при передаче, в противном случае он будет выглядеть как шум (отсюда и название). В военных приложениях данный метод применяется в первую очередь для защиты от помех (широкополосный сигнал очень устойчив к узкополосным помехам) и подслушивания. Здесь же более важно следующее: если две абонентские станции, находящиеся в зоне действия одной БС, работают на общей частоте, но с разными кодирующими последовательностями, то эти сигналы практически не будут создавать помех друг для друга.

Все абонентские станции, работающие в зоне действия одной БС, используют одну и ту же несущую частоту. Для передачи информации отводятся частотный диапазон шириной 1,25 МГц и фрагменты общей «большой» псевдослучайной последовательности, по-разному смещенные от условно выбранного начала этой последовательности. Емкость ячейки сети *CDMA* определяется тем, насколько независимы друг от друга коды, применяемые абонентскими станциями. При работе по этой технологии размер ячейки, качество звука и емкость оказываются тесно взаимосвязанными, поэтому при проектировании сети следует выбирать некое оптимальное решение; улучшить одну из этих характеристик можно только за счет ухудшения другой. Чем больше *CDMA*-каналов в данной ячейке сети, тем выше уровень взаимных помех из-за неполной независимости кодовых последовательностей. Следовательно, чем более низкое качество передачи звука считается приемлемым, тем больше каналов можно разместить в ячейке сети. Взаимная зависимость между размерами ячейки и емкостью сети обусловлена тем, что можно обеспечить заданное качество передачи речи, только если соотношение сигнал/шум оказывается выше определенного значения. Чем слабее сигнал (а при заданной мощности оборудования с увеличением размера ячейки сигнал становится слабее), тем меньшим должен быть уровень помех, а он, как известно, зависит от количества используемых каналов.

Возможность применения в двух соседних ячейках сети одной и той же несущей частоты значительно упрощает так называемое частотное планирование, которое является весьма сложной операцией при развертывании сети. При частотном разделении каналов необходимо расписать все используемые в ячейках сети частоты так, чтобы ни в одной паре соседних ячеек не оказалось двух одинако-

вых частотных каналов. Это совсем не просто и часто связано со значительными материальными затратами.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что понимается под кластером в сетях сотовой связи?
2. Какие методы снижения уровня помех в соте применяются в сетях сотовой связи?
3. Какие основные функции возлагаются на базовую станцию в сети сотовой связи?
4. Зачем в сети сотовой связи используется центр коммутации? Какие задачи он решает?
5. Как осуществляется исходящий вызов в сетях сотовой связи?
6. Какие процессы реализуются в подвижной станции, находящейся в «режиме ожидания»?
7. Что такое «хендовер», какие основные этапы реализации данной процедуры вы знаете?
8. Что такое аутентификация и идентификация в сети сотовой связи?
9. Что такое роуминг? Как он реализуется в сотовой связи?
10. Какие методы множественного доступа применяются в сетях сотовой связи? Дайте характеристику каждому из них.



## 2. СТАНДАРТЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ 2 ПОКОЛЕНИЯ

### 2.1. Стандарт сотовой подвижной радиосвязи GSM

Разработка единого цифрового стандарта европейской сотовой сети началась в 1982 году [1, 2, 3], когда был создан рабочий комитет *Group Special Mobile (GSM)*. Основными целями разработки нового цифрового сотового стандарта являлись:

- создание сетей, превосходящих аналоговые стандарты по емкости и плотности абонентов;
- более эффективное использование выделяемых полос радиоспектра;
- обеспечение международного роуминга вплоть до глобального;
- расширение услуг связи и обеспечение конфиденциальности связи.

Первая спецификация стандарта *GSM (Global System for Mobile communications)* была разработана в 1990 году (фаза 1). Она предполагала выделение двух полос по 25 МГц в диапазонах частот 890...915 МГц (для передачи сигналов от мобильных станций (*MS*)) и 935...960 МГц (для передачи сигналов от базовых станций (*BTS*)) при дуплексном разносе частот в канале с диапазоном частот 45 МГц. Для развертывания в мегаполисах сетей большой емкости и высокой плотности абонентов выделяется расширенный интервал полос (*E-GSM*) – две полосы по 35 МГц: 880...915 МГц (для *MS*) и 925...960 МГц (для *BTS*). Однако это присуще лишь для тех стран, где данные полосы свободны.

В 1995 году была завершена спецификация стандарта *GSM* с расширенным набором услуг и функциональных возможностей, особенно в направлении передачи данных и коротких сообщений.

Развитие спецификации стандарта *GSM* в направлении обеспечения услуг связи 3-го поколения (*EDGE*), особенно высокоскоростных каналов и каналов с асимметричным трафиком, нашло отражение в спецификациях *GPRS*.

Стандарт *GSM* занимает лидирующее положение среди сотовых систем 2-го поколения.

### 2.1.1. Общая характеристика стандарта GSM

В стандарте *GSM* используется *TDMA*, что позволяет на одной несущей частоте разместить одновременно восемь речевых каналов. В качестве речепреобразующего устройства применяется речевой кодек *RPE-LTP* с регулярным импульсным возбуждением и скоростью преобразования речи 13 кбит/с.

Основные технические характеристики стандарта *GSM* представлены в таблице 2.1 [1, 3].

Таблица 2.1

**Основные характеристики стандарта GSM**

Частотный диапазон прямого канала, МГц	935–960 (1805–1880)
Частотный диапазон обратного канала, МГц	890–915 (1710–1785)
Дуплексный разнос частот приема и передачи, МГц	45 (95)
Скорость передачи сообщений в радиоканале, кбит/с	270,833
Скорость преобразования речевого кодека, кбит/с	13, 6.5
Ширина полосы канала связи, кГц	200
Максимальное число каналов связи	124 (374)
Максимальное число каналов, организуемых на базовой станции	16–20
Вид модуляции	<i>GMSK</i>
Нормированная полоса	0,3
Ширина полосы гауссовского фильтра, кГц	81,2
Количество скачков по частоте в секунду	217
Временное разнесение в интервалах TDMA кадра (передача/прием) ПС	3
Вид речевого кодека	<i>RPE-LTP</i>
Максимальный радиус соты, км	35
Вид множественного доступа	<i>TDMA/FDMA</i>

Для защиты от ошибок, возникающих в радиоканалах, применяются блочное и сверточное виды кодирования с перемежением. Повышение эффективности кодирования и перемежения при малой скорости перемещения ПС достигается медленным переключением рабочих частот в процессе сеанса связи со скоростью 217 скачков в секунду.

Для борьбы с интерференционными замираниями принимаемых сигналов, вызванными многолучевым распространением радиоволн в условиях города, в аппаратуре связи используются эквалайзеры, обеспечивающие выравнивание импульсных сигналов со среднеквадратическим отклонением времени задержки до 16 мкс. Система синхронизации оборудования рассчитана на компенсацию абсолютного времени задержки сигналов до 233 мкс. Это соответствует максимальной дальности связи – 35 км (максимальный радиус соты).

Для модуляции радиосигнала применяется спектрально-эффективная гауссовская частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом (*GMSK*). Обработка речи в данном стандарте осуществляется в рамках системы прерывистой передачи речи *DTX* (*Discontinuous Transmission*).

### **2.1.2. Структурная схема и состав оборудования сетей связи GSM**

Оборудование сетей GSM включает в себя подвижные (радиотелефоны) и базовые станции, цифровые коммутаторы, центр управления и обслуживания, различные дополнительные системы и устройства. Функциональное сопряжение элементов системы осуществляется с помощью ряда интерфейсов. На структурной схеме (рис. 2.1) показано функциональное построение и интерфейсы, принятые в стандарте GSM [1].

MS состоят из оборудования, которое предназначено для организации доступа абонентов GSM к существующим сетям связи. В рамках стандарта GSM приняты пять классов ПС: от модели 1-го класса с выходной мощностью до 20 Вт, устанавливаемой на транспортных средствах, до модели 5-го класса с максимальной выходной мощностью до 0,8 Вт (табл. 2.2). При передаче сообщений предусматривается адаптивная регулировка мощности передатчика, обеспечивающая требуемое качество связи. ПС и БС независимы друг от друга.

Каждая ПС имеет свой МИН – международный идентификационный номер (*IMSI*), записанный в ее памяти. Каждой ПС присваивается еще один МИН – *IMEI*, который используется для исключения доступа к сетям *GSM* с помощью похищенной станции или станции, обладающей такими полномочиями.

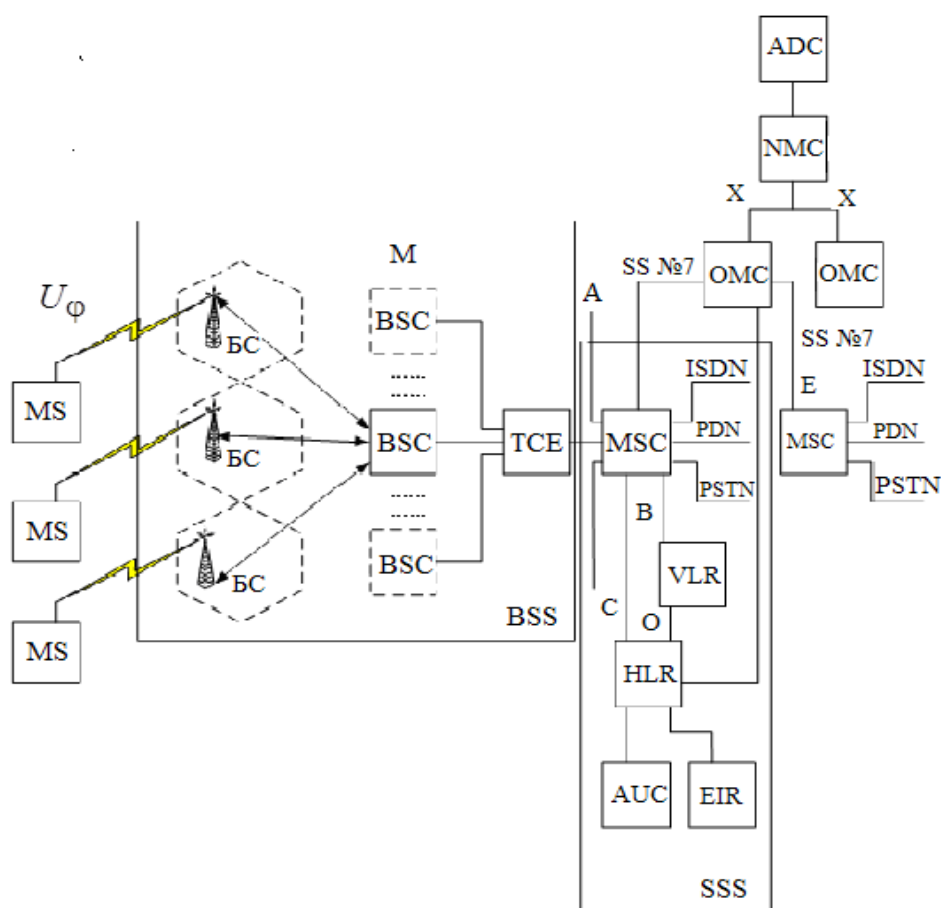


Рис. 2.1

Таблица 2.2

### Классы подвижных станций стандарта GSM

Класс модели	Максимальная мощность передатчика, Вт	Допустимые отклонения, дБ
1	20	1,5
2	8	1,5
3	5	1,5
4	2	1,5
5	0,8	1,5

Оборудование *BSS* состоит из контроллера базовых станций *BSC* и собственно приемопередающих базовых станций *BTS*. Один контроллер может управлять несколькими станциями. Он выполняет следующие функции: управление распределением радиоканалов, контроль соединения и регулировка их очередности, обеспечение режима работы с «прыгающей» частотой, модуляцию и демодуляцию сигналов, кодирование и декодирование сообщений, кодиро-

ние речи, адаптацию скорости передачи речи, данных и сигналов вызова; управление очередностью передачи сообщений персонального вызова.

Транскодер *TCE* преобразует выходные сигналы канала передачи речи и данных *MSC* (64 кбит/с) к виду, соответствующему рекомендациям *GSM* по радиоинтерфейсу (13 кбит/с). Транскодер обычно располагается вместе с *MSC*.

Оборудование подсистемы коммутации *SSS* состоит из ЦК подвижной связи *MSC*, регистра положения *HLR*, регистра перемещения *VLR*, центра аутентификации *AUC* и регистра идентификации оборудования *EIR*.

*MSC* работает с группой сот и обслуживает все виды соединений ПС. Он представляет собой интерфейс между сетью подвижной связи и фиксированными сетями, такими как *PSTN*, *PDN*, *ISDN*, и обеспечивает маршрутизацию вызовов и функцию управления вызовами. Кроме этого *MSC* выполняет функции коммутации радиоканалов, к которым относятся эстафетная передача, обеспечивающая непрерывность связи при перемещении ПС из соты в соту, и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностей. Каждый *MSC* обслуживает абонентов, расположенных в пределах определенной географической зоны. *MSC* управляет процедурами установления вызова и маршрутизации. Для *PSTN* он осуществляет функции системы сигнализации *SS* № 7, передачи вызова или другие виды интерфейсов. Также *MSC* формирует данные для тарификации разговоров, составляет статистические данные, поддерживает процедуры безопасности при доступе к радиоканалу.

*MSC* также управляет и процедурами регистрации местоположения и передачи управления в подсистеме базовых станций (*BSC*). Процедура передачи вызова в сотах, управляемых одним контроллером базовых станций (*КБС*), выполняется этим *BSC*. Если передача вызова происходит между двумя сетями, управляемыми разными *BSC*, то первичное управление осуществляется в *MSC*. Также в стандарте *GSM* предусмотрена процедура передачи вызова между контроллерами (сетями), относящимися к разным *MSC*.

*MSC* выполняет постоянное слежение за ПС, используя регистры: *HLR* (регистр положения или «домашний») и *VLR* (регистр перемещения или «гостевой»).

В HLR хранится та часть информации о местоположении какой-либо ПС, которая позволяет ЦК доставить вызов. Этот регистр содержит МИН подвижного абонента (IMSI), который используется для опознавания ПС в центре аутентификации (AUC), а также данные, необходимые для нормальной работы сети GSM.

Фактически HLR является справочной базой данных (БД) о постоянно зарегистрированных в сети абонентах. В ней содержатся опознавательные адреса и номера, а также параметры подлинности абонентов, состав услуг связи, информация о маршрутизации, данные о роуминге абонента (включая данные о временном идентификационном номере абонента TMSI и соответствующем VLR).

К данным, находящимся в HLR, имеют доступ все MSC и VLR сети. Если в сети имеется несколько HLR, в БД содержится только одна запись об абоненте, поэтому каждый HLR представляет собой часть общей БД сети об абонентах. К HLR также могут получать доступ MSC и VLR, относящиеся к другим сетям, с целью обеспечения межсетевого роуминга.

Регистр перемещения («гостевой» (VLR)) – это второе основное устройство, обеспечивающее контроль за передвижением ПС из соты в соту. С его помощью достигается функционирование ПС за пределами контролируемой регистром положения зоны. Когда в процессе перемещения ПС переходит из зоны действия одного КБС в зону действия другого, то она регистрируется последним, т. е. в регистр перемещения заносится новая информация. VLR содержит такие же данные, как и HLR, но только до тех пор, пока абонент находится в зоне, контролируемой VLR.

В сетях стандарта GSM соты группируются в географические зоны (LA), которым присваивается свой идентификационный номер LAC. Каждый VLR содержит данные об абонентах в нескольких LA. При перемещении абонента из одной зоны в другую данные о его местоположении автоматически обновляются в VLR. Если старая и новая LA находятся в зоне действия различных VLR, то данные на старом VLR стираются после их копирования в новый VLR. Текущий адрес VLR абонента, содержащийся в HLR, обновляется.

Также VLR обеспечивает присвоение номера «блуждающей» подвижной станции (MSRN). Когда абонент принимает входящий вызов, VLR выбирает его MSRN и передает на MSC, который осуществляет маршрутизацию этого вызова к БС, в зоне действия кото-

рой находится абонент. Кроме того, VLR распределяет номера передачи управления при передаче соединений от одного MSC к другому, управляет распределением новых TMSI и передает их в HLR, управляет процедурами установления подлинности во время обработки вызова. В целом, VLR представляет собой локальную БД об абоненте для той зоны, где он находится, что позволяет исключить постоянные запросы в HLR и сократить время на обслуживание вызовов.

Для исключения несанкционированного использования ресурсов сети сотовой связи в нее введены механизмы аутентификации. Центр аутентификации (AUC) состоит из нескольких блоков и формирует ключи и алгоритмы аутентификации. С его помощью проверяются полномочия абонента и осуществляется его доступ к сети. AUC принимает решения о параметрах процесса аутентификации и определяет ключи шифрования на основе БД, находящейся в регистре идентификации оборудования (EIR).

Каждый подвижный абонент на время пользования ССС получает стандартный модуль подлинности абонента (SIM-карту), который содержит IMSI, свой индивидуальный ключ аутентификации (Ki), алгоритм аутентификации (A3). С помощью информации, записанной в SIM-карте, в результате обмена данными между ПС и сетью осуществляется полный цикл аутентификации и разрешается доступ абонента к сети.

Регистр идентификации оборудования EIR содержит централизованную БД для подтверждения подлинности МИН оборудования подвижной станции (IMEI). Если сеть имеет несколько EIR, то каждый EIR управляет определенными группами номеров ПС.

Центр управления и обслуживания (ОМС) обеспечивает управление элементами сети и качеством ее работы. В функции ОМС входят регистрация и обработка аварийных сигналов, устранение неисправностей (автоматически или посредством обслуживающего персонала), проверка состояния оборудования сети и прохождения вызова ПС, управление трафиком, сбор статистических данных, управление ПО и БД и др.

Работа центра управления сетью (NMC) заключается в техническом обслуживании и эксплуатации на уровне всей сети, поддерживаемой центрами ОМС (которые обеспечивают управление региональными сетями). В функции NMC входят управление трафиком в пределах всей сети GSM, диспетчерское управление сетью в ава-

рийных ситуациях (выход из строя или перегрузка узлов), контроль состояния устройств автоматического управления в оборудовании сети, отображение состояния всей сети на дисплее операторов, управление маршрутами сигнализации и соединениями между узлами, контроль соединений между GSM и PSTN и др [3, 5].

### ***2.1.3. Организация физических и логических каналов в стандарте GSM***

Под частотным каналом понимается полоса частот, отводимая для передачи информации одного канала связи. При использовании метода TDMA в одном частотном канале передается информация нескольких каналов связи, т. е. в одном частотном канале размещается несколько физических каналов (ФК). ФК в стандарте GSM – это временной слот с определенным номером в последовательности кадров радиointерфейса [3].

Логические каналы (ЛК) различаются по виду информации, передаваемой в ФК. В принципе, в ФК может быть реализован один из двух видов ЛК – канал трафика (КТ) или КУ. Каждый из них может в общем случае существовать в одном из нескольких вариантов (типов). Логический КТ – это канал передачи речи или данных. Логический канал управления предназначен для передачи управляющей информации (сигнализации).

В стандарте GSM 900 для передачи информации прямого канала отводится полоса 935–960 МГц, а обратного 890–915 МГц, т. е. дуплексный разнос по частоте также составляет 45 МГц. Один частотный канал занимает полосу 200 кГц. Всего в полном диапазоне с учетом защитных полос размещается 124 частотных канала. Каждый частотный канал используется для организации восьми цифровых каналов. Каждый цифровой канал представляет собой отдельный ФК. Используя временное уплотнение, на базе 124 радиоканалов можно получить 992 (124×8) физических каналов.

Центральная частота канала (в МГц) связана с его номером  $N$  соотношениями:

$$\text{обратный канал: } f_0 = 890 + 0,2N, \quad 1 \leq N \leq 124;$$

$$\text{прямой канал: } f_0 = 935 + 0,2N, \quad 1 \leq N \leq 124.$$



Один частотный канал, строго говоря, занимает две полосы  $\Delta f$  по 200 кГц – одну под прямой, а другую под обратный канал связи. При режиме работы со скачками по частоте для передачи информации одной и той же группы ФК последовательно во времени используются различные частотные каналы.

В одном частотном канале в стандарте GSM всегда передается информация восьми ФК, но при полускоростном кодировании один ФК содержит два КТ, информация которых передается по очереди, через кадр.

Для занятия физического канала речевой сигнал, данные или информация управления группируются и объединяются в логические каналы двух типов: каналы связи (трафик-каналы) TCH и каналы управления (сигнализации) CCH (рис. 2.2). Временной ресурс МДВР кадров по определенной логической схеме распределяется между ними.



Рис. 2.2

**Трафик-каналы** могут функционировать в полноскоростном TCH/H и полускоростном TCH/H режимах и включают в себя:

**TCH/FS** (*traffic channels / full speech*) – речевой полноскоростной канал с кодеком RPE/LTP-LPC со скоростью 13 кбит/с, а после канального кодирования со скоростью 22,8 кбит/с;

**TCH/HS** (*traffic channels / half speech*) – речевой полускоростной канал с кодеком того же класса, но со скоростью 6,5 кбит/с и суммарной скоростью на два канала 22,8 кбит/с;

**ТСН/Ф** 9,6; 4,8; 2,4 – каналы передачи данных (ПД) со скоростями соответственно 9,6; 4,8; 2,4 кбит/с; после кратного приведения к скорости 9,6 кбит/с и двух ступеней канального кодирования (укороченного систематического циклического (224, 40) и сверточного с  $r=1/2$ ) скорость передачи в канале составляет 22,8 кбит/с;

**ТСН/Н** 4,8; 2,4 – каналы ПД со скоростями передачи 4,8 и 2,4 кбит/с. После процедур кодирования и кратного приведения суммарная скорость для двух каналов составляет 22,8 кбит/с.

**Каналы управления ССН могут быть следующих четырех типов:**

**ВССН** (*broadcast control channels*) – циркулярные и широковещательные односторонние каналы «вниз» от БС к ПС. Это канал подстройки частоты FCH, канал временной синхронизации SCH, канал BCH с информацией о параметрах системы. Каналы работают постоянно и не прыгают по частоте;

**СССН** (*common control channels*) – общие каналы управления (в основном доступа, поиска и вызова): канал поиска PCH «вниз»), используемый для вызова ПС на связь; канал случайного доступа RACH («вверх»), задействуемый ПС для получения разрешения на вхождение в сеть и запроса назначения ТК; канал разрешения доступа, назначения для ПС трафикового канала и выделенный канал управления AGCH («вниз»);

**SDCCH** (*stand-alone dedicated control channels*) – выделенные каналы управления («вверх»/«вниз»). В выделенном КУ в зависимости от напряженности графика могут формироваться четыре подканала SDCCH/4 или восемь подканалов SDCCH/8, обеспечивающих требуемый для ТК вид обслуживания;

**АССН** (*associated control channels*) – совмещенные каналы управления («вверх»/«вниз») в составе:

- быстрого КУ FACCH, обеспечивающего непрерывность связи при хэндовере;

- канала текущего (медленного) управления SACCH, осуществляющего контроль качества канала связи, управление мощностью передатчика ПС.

Совмещенные КУ АССН всегда объединены с ТК и/или индивидуальным (выделенным) КУ SDCCH.

### 2.1.4. Радиointерфейс стандарта GSM

Структура радиointерфейса системы GSM изображена на рисунке 2.3. Передача информации организуется кадрами (TDMA-кадры), которые имеют длительность 4,615 мс. Каждый кадр состоит из восьми слотов по 577 мкс, и каждый слот соответствует своему каналу речи, т. е. в каждом кадре передается информация восьми речевых каналов. При полноскоростном кодировании все последовательные кадры содержат информацию одних и тех же восьми речевых каналов. При полускоростном кодировании четные и нечетные кадры содержат информацию разных речевых каналов, т. е. информация одного и того же речевого канала передается через кадр, так что в общей сложности передается информация шестнадцати речевых каналов [1].

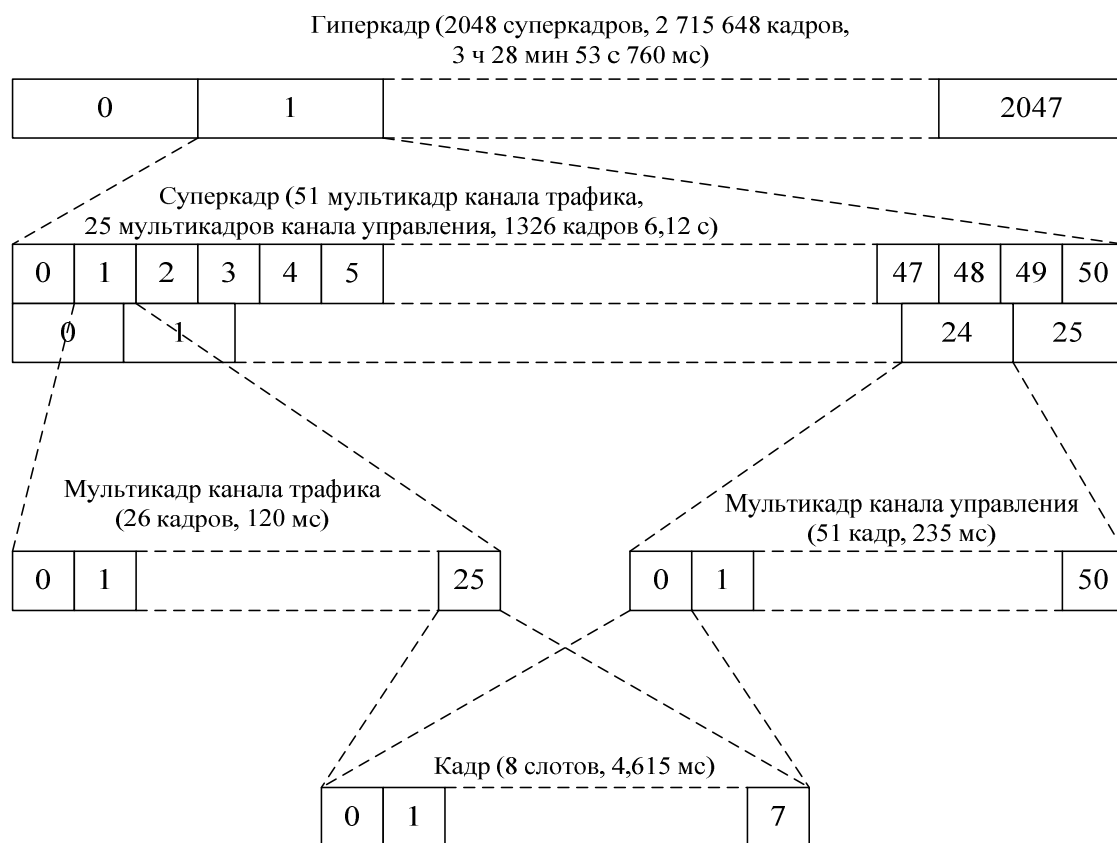


Рис. 2.3

Из TDMA-кадров составляются мультикадры. Для организации каналов трафика, КУ в стандарте GSM используются два вида мультикадров.

1. *Мультикадр канала трафика* (длительностью 120 мс) состоит из 26 TDMA-кадров. При этом в 24 кадрах передается информация речи – это кадры 1–12 и 14–25, в кадре 13 передается информация медленного присоединенного КУ (канала SACCH), а кадр 26 остается пустым (зарезервирован для передачи второго сегмента информации канала SACCH при полускоростном кодировании).

2. *Мультикадр КУ* имеет длительность 235 мс и состоит из 51 кадра КУ. Мультикадры объединяются в суперкадры: один суперкадр состоит из 51 мультикадра канала трафика или 26 кадров КУ. Длительность мультикадра в обоих случаях составляет 6,12 с или 1326 кадров.

2048 суперкадров образуют один гиперкадр, имеющий длительность 3 ч 28 мин 53 с 760 мс или 2 715 648 кадров. Номер кадра в пределах гиперкадра используется в процессе шифрования передаваемой информации.

Информационный кадр может быть двух видов – кадр КТ или кадр КУ. В обоих случаях он имеет одну и ту же длительность и состоит из 8 слотов, но слоты имеют различную структуру и разное информационное содержание.

По структуре и информационному содержанию можно выделить пять типов слотов:

- *normal burst* (NB) – нормальный временной интервал;
- *frequency correction burst* (FB) – интервал подстройки частоты;
- *synchronization burst* (SB) – интервал временной синхронизации;
- *dummy burst* (DB) – установочный интервал;
- *access burst* (AB) – интервал доступа, схематичное изображение которых представлено на рисунке 2.4.

Сокращения, использованные при обозначении полей слотов, имеют следующее содержание:

- TB (*tail bits*) – запретный бланк (хвостовые биты);
- ED (*encrypted data*) – закодированная информация;
- SF (*stealing flag*) – скрытый флажок;
- TS (*training sequence*) – обучающая последовательность;
- GP (*guard period*) – защитный интервал;
- ETS (*extended training sequence*) – расширенная обучающая последовательность;
- ET (*extended tail*) – расширенный защитный бланк.

Слот NB	TB 3	ED 57	SF 1	TS 26	SF 1	ED 57	TB 3	GP 8,25
Слот FB	TB 3	Фиксированный набор бит (142 бита)					TB 3	GP 8,25
Слот SB	TB 3	ED 39	ETS 64			ED 39	TB 3	GP 8,25
Слот DB	TB 3	Битовая смесь (142 бита)					TB 3	GP 8,25
Слот AB	ET 8	TS 41	ED 36	TB 3	GP 68,25			
	<div>← 1 Слот = 156,25 бит (<math>15/26 = 0,577</math> мс) →</div>							
	Длительность 1 бита = $48/13 = 3,69$ мкс							

Рис. 2.4

Слоты типа NB используются для передачи информации по каналам трафика и управления (за исключением канала доступа RACH). На данном временном интервале содержатся 114 бит зашифрованного сообщения, разбитого на два подблока по 57 бит; обучающая последовательность в 26 бит, разделяющая указанные информационные подблоки; два защитных бланка по 3 бита, защитный интервал в 8,25 бит и 2 скрытых флага по 1 биту, которые служат признаком передаваемой информации – трафика или сигнализации. Обучающая последовательность используется для решения следующих задач:

- оценки качества связи на основе сравнения принятой и эталонной последовательностей (определение частоты появления ошибок в двоичных разрядах – «битовых ошибок»);
- оценки импульсной характеристики радиоканала и настройки адаптивного эквалайзера для последующей коррекции тракта приема сигнала;
- определения задержки распространения сигнала между БС и МС для оценки дальности радиосвязи.

Слоты FB предназначены для синхронизации по частоте подвижной станции. В этом временном интервале 142 бита являются нулевыми, что соответствует передаче немодулированной несущей со сдвигом на  $1625/24$  кГц выше ее номинального значения. Повторяю-

щиеся временные интервалы FB образуют канал установки частоты FSSN.

Слоты типа SB используются для кадровой синхронизации, т. е. для синхронизации во времени базовой и подвижной станций. Каждый из них содержит 64 бита расширенной синхропоследовательности, а также информацию о номере кадра и идентификационный номер БС. Слоты SB всегда передаются в паре с FB и образуют канал синхронизации (SCH).

Слоты DB обеспечивают установление и тестирование канала связи. По своей структуре DB совпадает с NB и содержит установочную последовательность длиной 26 бит. Контрольные биты отсутствуют, и не передается никакой информации, а только устанавливается факт работы передатчика.

Слоты AB предназначены для организации доступа подвижной станции к новой БС. Структура этих слотов значительно отличается от ранее рассмотренной. Специфичность ее объясняется тем, что слоты AB определяют интервал, на котором подвижная станция впервые пытается установить связь с базовой. Поскольку время прохождения сигнала неизвестно, первая позиция слота отводится полю, являющемуся концевым у остальных типов. Расширенный защитный интервал в 68,25 бит, равный двойному значению наибольшей возможной задержки сигнала в соте, обеспечивает достаточное разнесение от сигналов других подвижных станций. Обучающая последовательность (41 бит) позволяет БС правильно принять последующие 36 бит информации от МС.

В каналах трафика TCH и совмещенных каналах управления FSSN и SSSN используется 26-кадровый мультикадр (рис. 2.5). В полноскоростном канале (TCH/FS) в каждом 13-м кадре передается пакет информации канала SSSN, каждый 26-й кадр свободен. В полускоростном (TCH/HS) канале связи информация канала SSSN передается в каждом 13-м и 26-м кадрах мультикадра. Скорость передачи информационных сообщений составляет 22,8 кбит/с (24 кадра по 114 бит за 120 мс) для полноскоростного канала или по 11,4 кбит/с на каждый из двух полускоростных каналов. Полная скорость передачи в объединенном канале TCH/SSN составляет 24,7 кбит/с.

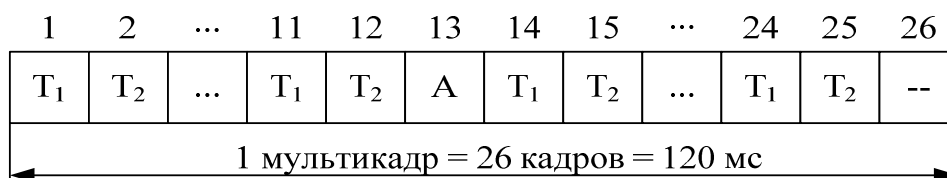


Рис 2.5

Быстрый совмещенный канал управления FACH передается половиной информационных бит временного интервала TDMA кадра в канале TCH, с которым он совмещается в восьми последовательных кадрах.

Для передачи каналов управления (кроме FACH и SACH) используется 51-кадровый мультикадр. На рисунке 2.6 показана структура мультикадра при передаче объединенного канала BCCH/CCCH в направлении «вниз».

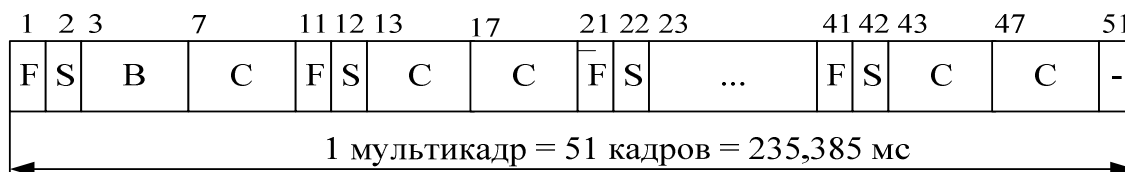


Рис. 2.6

В этом канале передаются:

- общая информация о сети (cote), в которой находится подвижная станция, и о смежных сотах (канал BCCH);
- информация о временной (цикловой) синхронизации и опознании приемопередатчика базовой станции (канал SCH);
- информация для синхронизации несущей (канал FCH);
- разрешение доступа подвижной станции (канал AGCH);
- вызов подвижной станции (канал PCH), если инициатором вызова является сеть.

По сигналам канала BCCH МС измеряет уровень сигнала БС рабочей («своей») соты и до 16 смежных сот, а также определяется код качества принимаемого сигнала в рабочей соте.

Канал BCCH/CCCH «вверх» используется только для передачи сигналов параллельного доступа RACH, который является един-

ственным каналом управления от подвижной станции к сети, при этом подвижная станция может применять для осуществления доступа к сети нулевой интервал в любом из кадров.

Полная скорость передачи для канала ВССН, а также для канала АГСН/РСН составляет 1,94 кбит/с (4 раза по 114 бит за 235мс).

Существуют и другие структуры, которые могут использоваться в 51-кадровом мультикадре. Эти структуры называют «переменными», так как они зависят от нагрузки в сети.

При передаче сегмент закодированного речевого сигнала в 456 бит разбивается на восемь блоков по 57 бит в каждом. Во избежание группирования ошибок в случае потери любого из блоков информации, их формирование осуществляется следующим образом: вначале между блоками распределяются первые 8 бит из 456, затем следующие 8 бит и т. д. (рис. 2.7). Таким образом, первый блок будет содержать 1, 9, 17,..., 449 биты; второй – 2, 10, 18,..., 450 и т. д. Кроме того, для повышения эффективности линейного кодирования и разбиения на блоки используется медленное переключение рабочих частот (SFH – Slow Frequency Hopping) в процессе сеанса связи. Главное назначение таких скачков – обеспечение частотного разнесения в радиоканалах, функционирующих в условиях многолучевого распространения радиоволн.

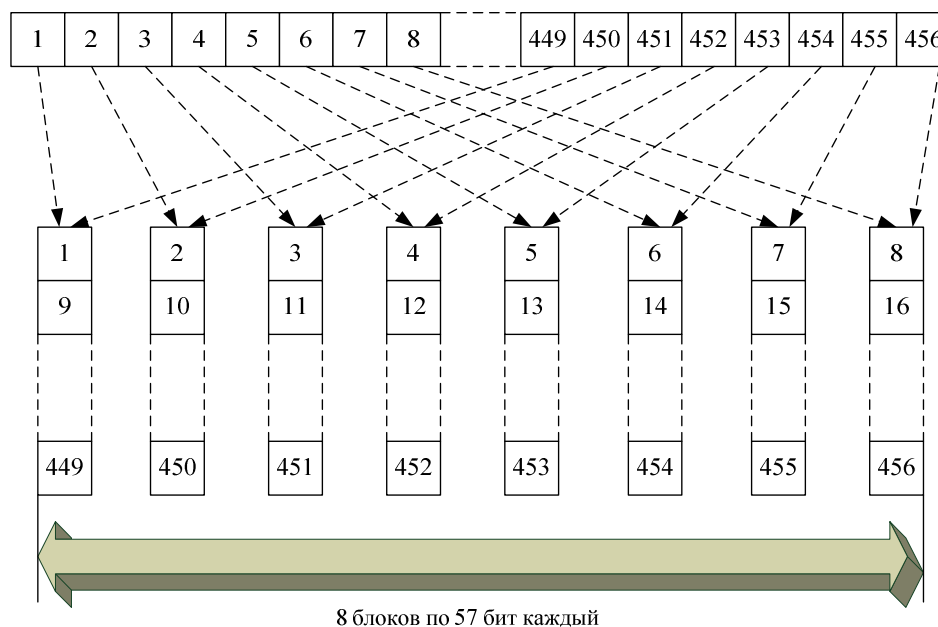


Рис. 2.7



### ***2.1.5. Обработка речи в стандарте GSM***

Обработка речи в стандарте GSM осуществляется в рамках принятой системы прерывистой передачи речи DTX, которая обеспечивает включение передатчика только тогда, когда пользователь начинает разговор, и отключает его в паузах и в конце разговора. Система DTX управляется детектором активности речи VAD, который способствует обнаружению и выделению интервалов речи с шумом и шума без речи даже в тех случаях, когда уровень шума соизмерим с уровнем речи. В состав системы DTX также входит устройство формирования комфортного шума, который включается и прослушивается в паузах речи (когда передатчик отключен). Система DTX также включает в себя экстраполяцию фрагментов речи, потерянных из-за ошибок в канале. Структурная схема процесса обработки речи показана на рисунке 2.8. Основным устройством в данной схеме является речевой кодек [1, 6].

В соответствии со стандартом GSM каждый радиоканал используется для организации восьми цифровых каналов с временным разделением. Следовательно, если это будут стандартные ИКМ-каналы, то потребуется скорость передачи в 512 кбит/с. Такую скорость передачи пользовательской информации по одному радиоканалу обеспечить практически невозможно. Выходом из создавшегося положения, с одной стороны, может служить увеличение плотности передаваемой информации, а с другой – применение более сложных способов кодирования речевых сигналов, требующих передачи меньшего объема информации. При предъявлении высоких требований к скорости и качеству передачи информации, как правило, используется фазовая манипуляция. В GSM выбрана гауссовская манипуляция с минимальным сдвигом (GMSK), где индекс манипуляции – 0,3.

Снижение требуемой скорости цифрового потока каждого из каналов за счет применения более сложных способов кодирования должно осуществляться без значительного ухудшения качества. Наиболее низкая скорость передачи информации (1–3 кбит/с) требуется при использовании вокодеров. Однако при этом очень низкое качество передачи речи. При декодировании получается «синтетический» речевой сигнал. Высокое качество передачи речи при незначительном снижении требований к скорости передачи информации можно получить с помощью различных модификаций ИКМ, но более

сложной аппаратной реализации. Для того чтобы иметь высокое качество передачи речи при более низких требованиях к скорости передачи информации, в GSM применяется способ кодирования, объединяющий вокодеры и дифференциальную ИКМ, который получил название дифференциального кодирования.

Вокодерное преобразование основано на использовании особенностей речевых органов человека. По сути дела голосовые связки человека генерируют частоту, которая далее модулируется горлом и ртом, как фильтром.

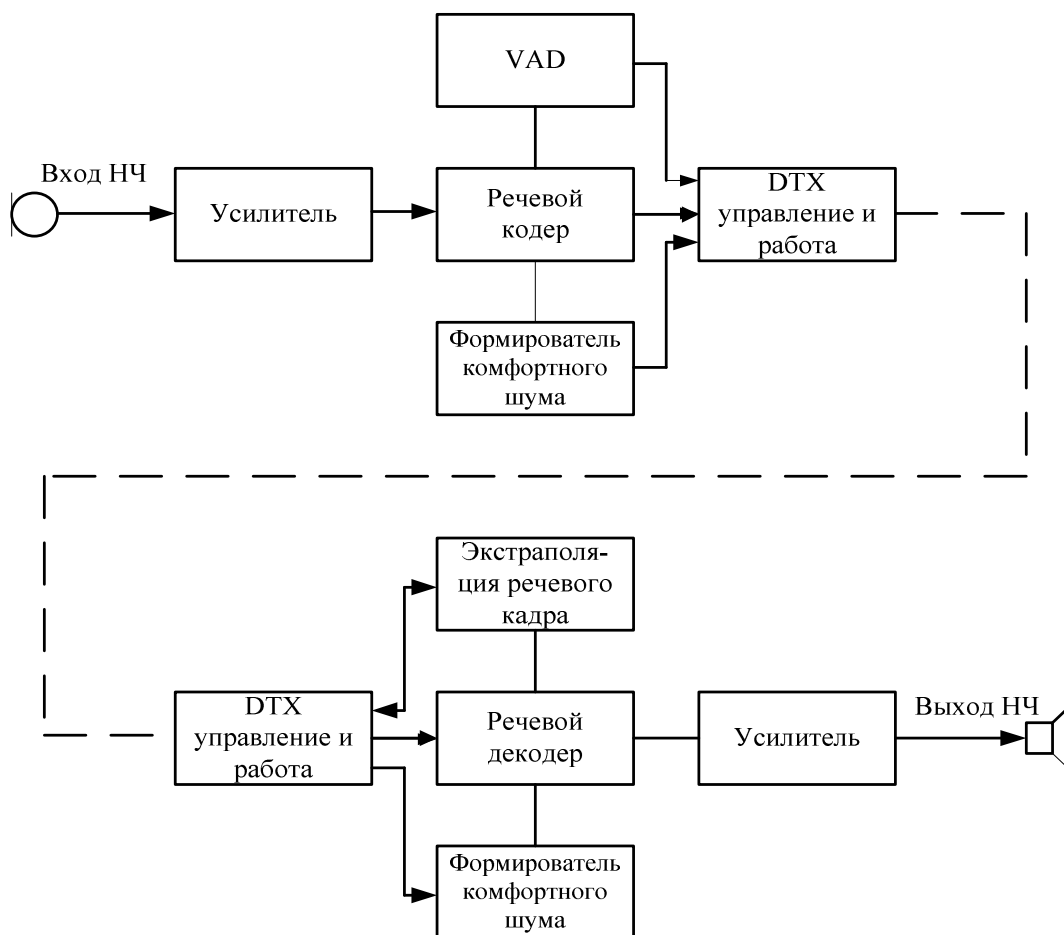


Рис. 2.8

Зная в каждый момент времени частоту и параметры «фильтра», можно восстановить исходный сигнал. Учитывая инерционность голосовых органов человека, можно считать, что за небольшой промежуток времени (10–30 мс) они не изменяют своего состояния, т. е. остаются постоянными частота и параметры «фильтра». Следовательно, если брать отрезки речевого сигнала по 20 мс, определять

частоту основного тона и параметры «фильтра» речеобразующего тракта, то по ним легко можно восстановить исходный сигнал. Так, например, при кодировании с ЛП определяется и **передается** следующая информация: **параметры модели речеобразующего тракта, характер возбуждения (гласный или звонкий согласный звук в сопоставлении с глухими звуками), период основного тона, коэффициент усиления.**

В фиксированные промежутки времени голосовые органы человека не остаются в фиксированном положении, и возбуждения носят более комплексный характер, чем передаваемые характер возбуждения и период основного тона. Это приводит к значительному ухудшению качества.

В стандарте GSM используется метод RPE-LTP (линейное предсказание с возбуждением регулярной последовательностью импульсов и долговременным предсказанием). Упрощенная блок-схема кодека представлена на рисунке 2.9 [1, 6].

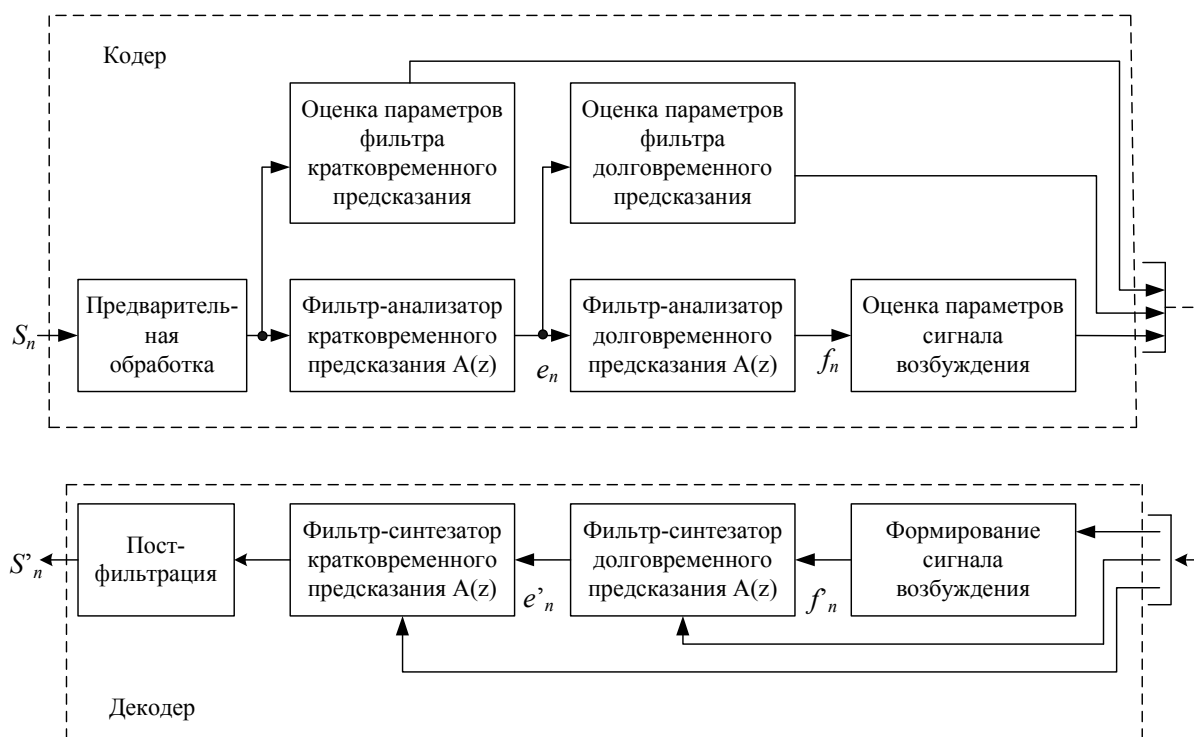


Рис. 2.9

*Работа кодера* заключается в следующем.

Блок предварительной обработки осуществляет предсказание входного сигнала при помощи цифрового фильтра, подчеркивающе-

го верхние частоты; разбиение сигнала на сегменты по 160 выборок (20 мс); взвешивание каждого из сегментов окном Хэмминга.

Далее для каждого 20-мс сегмента оцениваются параметры фильтра кратковременного ЛП – 8 коэффициентов частичной корреляции  $ki$ ,  $i=1-8$  (порядок предсказания  $M = 8$ ), которые для передачи по каналу связи преобразуются в логарифмические отношения площадей  $rl$ , причем для функции логарифма используется кусочно-линейная аппроксимация.

Сигнал с выхода блока предварительной обработки фильтруется решетчатым фильтром-анализатором кратковременного ЛП, и по его выходному сигналу (остатку предсказания  $en$ ) оцениваются параметры ДП: коэффициент предсказания  $g$  и задержка  $d$ . При этом 160-выборочный сегмент остатка кратковременного предсказания  $en$  разделяется на четыре подсегмента по 40 выборок в каждом, и параметры  $g$ ,  $d$  оцениваются для каждого из подсегментов в отдельности, причем для оценки задержки  $d$  для текущего подсегмента используется скользящий подсегмент из 40 выборок, перемещающийся в пределах предшествующих 128 выборок сигнала остатка предсказания  $en$ . Сигнал  $en$  фильтруется фильтром-анализатором ДП, а выходной сигнал последнего (остаток предсказания  $fn$ ) фильтруется сглаживающим фильтром, и по нему формируются параметры сигнала возбуждения в отдельности для каждого из 40-выборочных подсегментов.

Сигнал возбуждения одного подсегмента состоит из 13 импульсов, следующих через равные промежутки времени (втрое большие, чем интервал дискретизации исходного сигнала) и имеющих различные амплитуды. Для формирования сигнала возбуждения 40 импульсов подсегмента сглаженного остатка  $fn$  обрабатываются следующим образом. Последний (40-й) импульс отбрасывается, а первые 39 импульсов разбиваются на три последовательности: в первой – импульсы 1, 4,..., 37, во второй – импульсы 2, 5,..., 38, в третьей – импульсы 3, 6,..., 39. В качестве сигнала возбуждения выбирается та из последовательностей, энергия которой больше. Амплитуды импульсов нормируются по отношению к импульсу с наибольшей амплитудой, и нормированные амплитуды кодируются тремя битами каждая при линейной шкале квантования. Абсолютное значение наибольшей амплитуды кодируется шестью битами в логарифмическом масштабе. Положение начального импульса 13-элементной по-

последовательности кодируется двумя битами, т. е. номер последовательности, выбранной в качестве сигнала возбуждения для данного подсегмента.

Таким образом, выходная информация кодера речи для одного 20-миллисекундного сегмента речи включает параметры:

- фильтра кратковременного ЛП – (8 коэффициентов логарифмического отношения площадей  $ri$ ,  $i=1-8$  – один набор на весь сегмент);

- фильтра ДП – коэффициент предсказания  $g$  и задержка  $d$  – для каждого из четырех подсегментов;

- сигнала возбуждения – номер последовательности  $n$ , максимальная амплитуда  $v$ , нормированные амплитуды  $bi$ ,  $i=1-13$ , импульсов последовательности – для каждого из четырех подсегментов.

Всего для одного 20-мс сегмента речи передается 260 бит информации, т. е. кодер речи осуществляет сжатие информации почти в пять раз ( $1280 : 260 = 4,92$ ). Перед выдачей в канал связи выходная информация кодера речи также подвергается дополнительно каналному кодированию.

*Декодер выполняет следующие операции.* Блок формирования сигнала возбуждения, используя принятые параметры сигнала возбуждения, восстанавливает 13-импульсную последовательность сигнала возбуждения для каждого из подсегментов сигнала речи, включая амплитуды импульсов и их расположение во времени. Сформированный таким образом сигнал возбуждения фильтруется фильтром-синтезатором ДП. На его выходе получается восстановленный остаток предсказания фильтра-анализатора кратковременного ЛП, который фильтруется решетчатым фильтром-синтезатором кратковременного ЛП. Причем параметры фильтра предварительно преобразуются из логарифмических отношений площадей  $ri$  в коэффициенты частичной корреляции  $ki$ . Выходной сигнал фильтра-синтезатора кратковременного ЛП фильтруется (в блоке пост-фильтрации) цифровым фильтром, восстанавливающим амплитудные соотношения частотных составляющих сигнала речи, т. е. компенсирующим предискажение, внесенное входным фильтром блока предварительной обработки кодера. Сигнал на выходе пост-фильтра является восстановленным цифровым сигналом речи.

### 2.1.6. Обслуживание вызова в стандарте GSM

При рассмотрении сотовых телефонных сетей (СТС), в отличие от стационарных, следует учитывать то, что абонентская линия включается не в конкретный узел коммутации, а непосредственно в сеть, которая может объединять не только несколько сотовых сетей в пределах одной страны, но сети различных стран, поэтому необходимо четко определить зоны обслуживания каждой из структурно-функциональных единиц.

В общем виде можно выделить следующие зоны обслуживания глобальной СТС (рис. 2.10): сота (Cell), зона местонахождения или поиска (Location Area), зона обслуживания ЦК подвижной связи MSC (MSC Service Area), зона обслуживания СТС общего пользования (PLMN Service Area), зона обслуживания глобальной СТС (GSM Service Area) [6, 8].

Под сотой понимают зону обслуживания одной базовой станции BTS. Зона местонахождения или поиска объединяет ряд сот, контролируемых одним или несколькими контроллерами BSC, но в пределах одного MSC. При этом в пределах зоны местонахождения абонент может свободно перемещаться без обновления данных в «гостевом» регистре VLR. Кроме того, в пределах этой зоны обслуживания осуществляется передача адреса для поиска конкретной ПС.

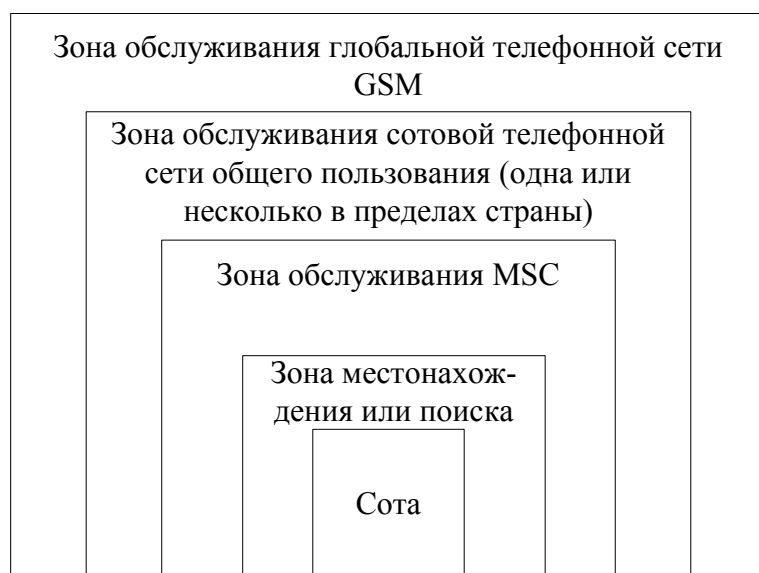


Рис. 2.10

Зона обслуживания MSC является частью CTC, покрываемой одним MSC, а абонент зарегистрирован в VLR конкретного MSC. В этом случае он может свободно перемещаться в пределах данной зоны обслуживания без передачи его абонентских данных в другой VLR и обновления данных в HLR.

Зона обслуживания CTC общего пользования определяется зонами обслуживания MSC, через который осуществляется выход на другие сети электросвязи, в том числе и к другим зонам обслуживания сотовых телефонных сетей общего пользования.

Зона обслуживания глобальной CTC объединяет все зоны обслуживания национальных сотовых телефонных сетей. При этом имеется в виду, что все национальные CTC должны быть построены в соответствии со стандартом GSM.

Такой подход к функциональной организации определяет и систему нумерации сети GSM. Учитывая, что CTC GSM может обеспечить связь ПС с абонентами стационарной ТфОП (ISDN), а через нее и с абонентами других сетей электросвязи, она должна входить в общий план нумерации стационарной ТфОП в соответствии с рекомендациями МККТТ E. 164.

При этом номер подвижной станции в общем плане нумерации MSISDN (Mobile Station ISDN Number) содержит код страны, код сети, номер абонента. Для России будет представлен как 7ABCavxxxxx. Однако CTC GSM является выделенной и может объединять CTC различных стран. Поэтому в соответствии с рекомендациями GSM в пределах сети GSM принята единая нумерация, и при регистрации абоненту присваивается единый международный номер IMSI, длина которого не должна превышать 15 цифр. Структура номера IMSI аналогична структуре номера MSISDN, но под код страны в сети GSM отводятся 3 цифры, под код сети – 1–2 цифры; под номер абонента – максимум 11 цифр.

Кроме того, возникает проблема при маршрутизации входящих вызовов в MSC от стационарной телефонной сети из-за того, что ПС, свободно перемещаясь, может изменять зоны обслуживания. В отличие от стационарных телефонных сетей, в списочном номере (MSISDN, IMSI) не может быть заложен код логического направления связи, однозначно определяющий MSC, в зоне обслуживания которого в данный момент находится вызываемая ПС. Чтобы обеспечить возможность маршрутизации, каждый MSC (VLR) имеет в своем

распоряжении совокупность номеров MSRN, которые по требованию предоставляются головному MSC (если система включает более одного MSC) только на время маршрутизации вызова до конкретного MSC. Учитывая это, номер MSRN, в отличие от номера MSISDN, содержит не номер абонента, а номер, идентифицирующий MSC. В MSC (VLR) выделенный номер MSRN ставится в однозначное соответствие с номером IMSI вызываемой ПС. Для определения зоны поиска (местонахождения) в сети GSM используется номер LAI, отличающийся от номера IMSI тем, что здесь вместо номера абонента указывается код зоны местонахождения. Кроме указанных номеров в сети GSM применяется номер, определяющий соту в пределах зоны местонахождения CGI, и номер (код), определяющий базовую станцию BSIC.

Наряду с рассмотренными номерами, используемыми в процессе маршрутизации вызовов, стандартом GSM предусмотрены номер для идентификации оборудования IMEI и временный номер абонента TMSI для обеспечения конфиденциальности. Номер IMEI включает в себя коды типа оборудования и завода изготовителя, серийный номер. Номер TMSI определяется администрацией сети, и его длина должна составлять не более 4 байт.

### **Подключение и отключение подвижной станции**

Выполнение процедуры подключения зависит от того, была ли ПС выключена (обесточена) или включена, но находилась в неактивном состоянии. *В первом случае* сеть не имеет данных о местонахождении ПС, и в ее памяти отсутствуют данные об идентификаторе зоны местонахождения. После включения питания ПС сканирует все имеющиеся частотные каналы, настраивается на канал с наиболее сильным сигналом и по наличию пачки коррекции частоты определяет, передается ли в этом частотном канале информация канала ВССН. Если нет, то станция перестраивается на следующий по уровню сигнала частотный канал, и так до тех пор, пока не будет найден канал ВССН. Затем ПС находит пачку синхронизации, синхронизируется с выбранным частотным каналом, расшифровывает дополнительную информацию о БС (в частности, 6-битный код идентификации БС) и принимает окончательное решение о продолжении поиска или о работе в данной ячейке.



Далее ПС ищет доступ к сети и передает информацию о том, что она является новым абонентом в данной зоне местонахождения (1), как это показано на рисунке 2.11 [1, 2].

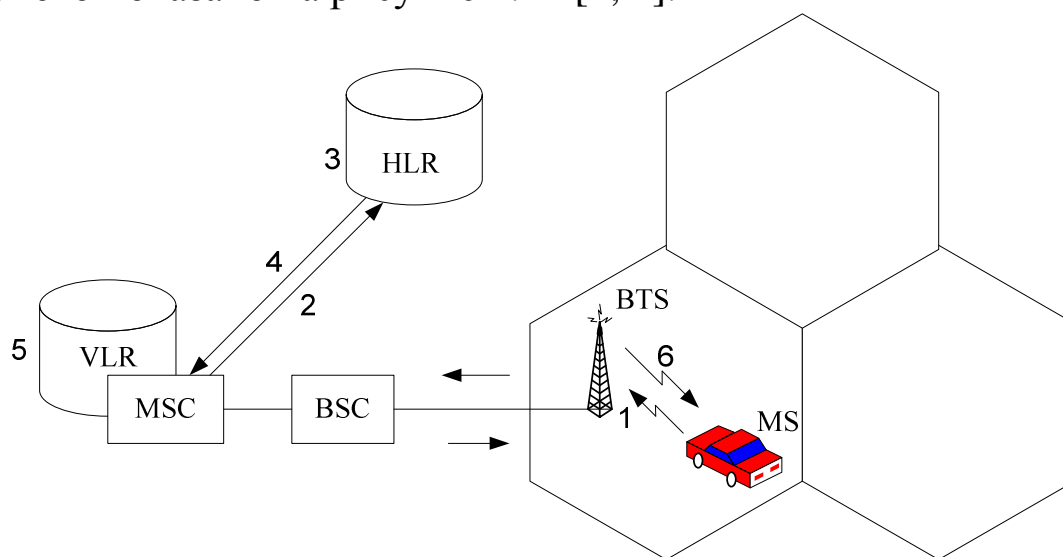


Рис. 2.11

На основании анализа принятого сообщения (IMSI) MSC обращается к HLR с заявкой на обновление данных местонахождения данной ПС, т. е. ставит в соответствие номеру IMSI зону обслуживания MSC, где находится ПС (2). После обновления данных в HLR (3) в обратном направлении передается подтверждение (4). MSC, в зоне обслуживания которого в данный момент находится ПС, отмечает ее в VLR как активную, присваивая IMSI флаг «подключен» (5). После завершения действий по регистрации ПС ей передается подтверждение (6). После этого ПС считается подключенной. Данная процедура получила название первой регистрации (First registration).

Если ПС была в *неактивном состоянии*, но включена, выполнение процедуры подключения зависит от того, изменила ли она зону местонахождения. В случае, когда ПС в неактивном состоянии оставалась в прежней зоне местонахождения, процедура подключения заключается только в передаче сообщения о подключении. Тогда MSC в VLR переводит ПС в активное состояние, присваивая IMSI флаг «подключен». При изменении зоны местонахождения процедура подключения выполняется так же, как и при первой регистрации (рис. 2.11) [1, 2].

Процедура отключения необходима для информирования сети о том, что ПС переходит из активного состояния в неактивное, т. е.

чтобы сеть не осуществляла поиск ПС при входящих вызовах к ней. При этом независимо от того, переходит ли ПС просто в неактивное состояние или выключается (обесточивается), она посылает сообщение об отключении (1, рис. 2.12).

MSC в этом случае производит только изменение данных в VLR, присваивая номеру IMSI данного абонента флаг «отключен» (2), и не передает подтверждения о произведенных действиях, так как ПС может быть уже обесточена. Однако в этом случае может произойти так, что из-за плохого качества канала MSC не получит сообщение и будет считать ПС подключенной. Во избежание этого ПС, находясь в активном состоянии, вынуждена периодически подтверждать, что она находится в активном состоянии. Эти действия получили название периодической регистрации (Periodic registration).

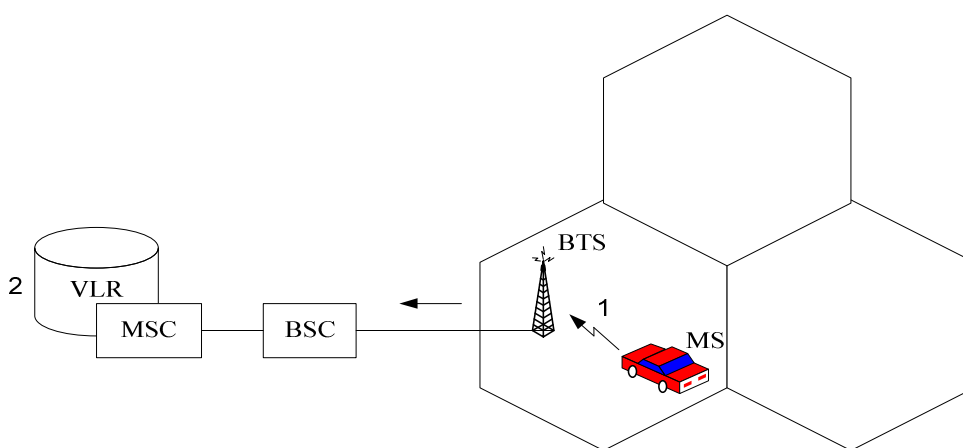


Рис. 2.12

В стандарте GSM подвижная станция измеряет и периодически передает на БС следующие параметры: уровень сигнала БС рабочей («своей») ячейки и до 16 смежных ячеек, измеряемый по сигналу канала BCCH; код качества принимаемого сигнала в рабочей ячейке – функцию оценки частоты битовой ошибки (BER) по принятому сигналу перед канальным декодированием.

Если MSC не получает периодически сообщений регистрации от ПС, он отключает ее, т. е. выставляет для этого IMSI флаг «отключен».

Сообщения периодической регистрации имеют сообщения подтверждения, для того чтобы информировать ПС и исключить повторные попытки регистрации. Период регистрации может быть

различным и определяется сетью. ПС информируется о периоде регистрации по контрольному каналу.

### **Поиск подвижной станции**

Маршрутизация входящего вызова к ПС осуществляется MSC, в зоне обслуживания которого в данный момент находится эта ПС. Как известно, в VLR MSC хранится идентификатор зоны местонахождения ПС. Следовательно, MSC знает, какие BTS должны осуществить ее поиск, поэтому MSC посылает сообщение на передачу вещательного адреса по каналу поиска тем BTS, которые покрывают зону местонахождения ПС (рис. 2.13) [1].

ПС постоянно контролирует канал поиска. Обнаружив адресованное ей сообщение, ПС должна немедленно ответить MSC. Таким образом, MSC точно узнает, в какой соте (в зоне обслуживания какой BTS) находится вызываемая ПС, и может приступить к установлению соединения.

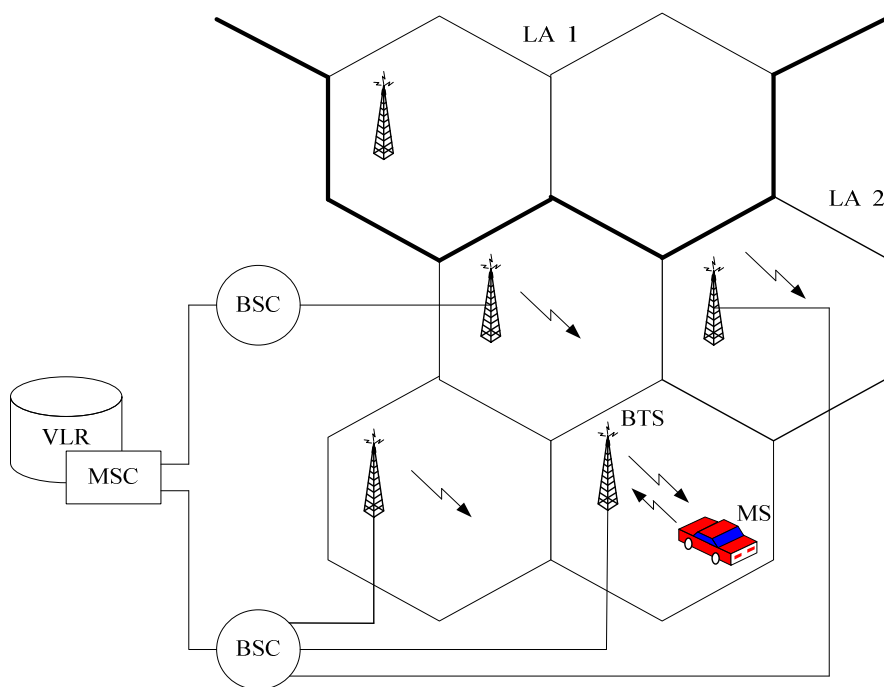


Рис. 2.13

### **Установление исходящего вызова**

Подвижная станция активна и свободна. При исходящем от ПС вызове абонент вначале должен набрать весь номер вызываемого абонента и только после этого начинать процесс установления соеди-

нения. Такой подход позволяет исключить возможные ошибки в процессе набора номера, так как приблизительно 20 % вызовов в СТС не оканчиваются разговором из-за ошибок абонента до окончания набора номера. Кроме того, это позволяет сократить время, затрачиваемое на передачу цифр номера в MSC [6].

Действия по установлению соединения начинаются с нажатия на клавишу, инициирующую вызов. ПС при этом передает сообщение MSC с запросом доступа, используя канал доступа. MSC в первую очередь назначает ПС канал сигнализации, проверяет категорию абонента (класс обслуживания) и отмечает его занятым. Если абонент имеет право пользоваться сетью, MSC посылает ему подтверждение на запрос доступа. Теперь ПС может передавать сообщение инициации вызова и цифры номера вызываемого абонента в MSC. В зависимости от того, оканчивается ли данный вызов в пределах этой или другой сети, номер вызываемого абонента анализируется либо MSC сети, либо передается далее в транзитный MSC. Сообщение подтверждения установления соединения и указание перехода на двухсторонний пользовательский канал (ДПК) будут переданы ПС только при условии свободности и доступности вызываемого абонента. Теперь остается только ждать ответа вызываемого абонента.

### **Установление входящего вызова**

Пусть вызывающим абонентом является абонент стационарной ТфОП. Вызывающий абонент набирает номер вызываемого абонента MSISDN в соответствии с рекомендациям МККТТ. Маршрутизацию соединения до СТС осуществляет ТфОП, при этом определяется конкретная СТС [1, 2].

Телефонная сеть общего пользования проключает соединение до транзитного MSC, т. е. имеющего выход в ТфОП (рис. 2.14), и передает ему номер вызываемого абонента (1). MSC анализирует номер вызываемой MS (2) и передает сообщение в HLR с запросом номера MSRN, посылая при этом номер MSISDN (3). На основании информации, хранящейся в HLR, осуществляется перевод номера MSISDN в номер IMSI (4) и определяется MSC (VLR), в зоне обслуживания которого находится MS.

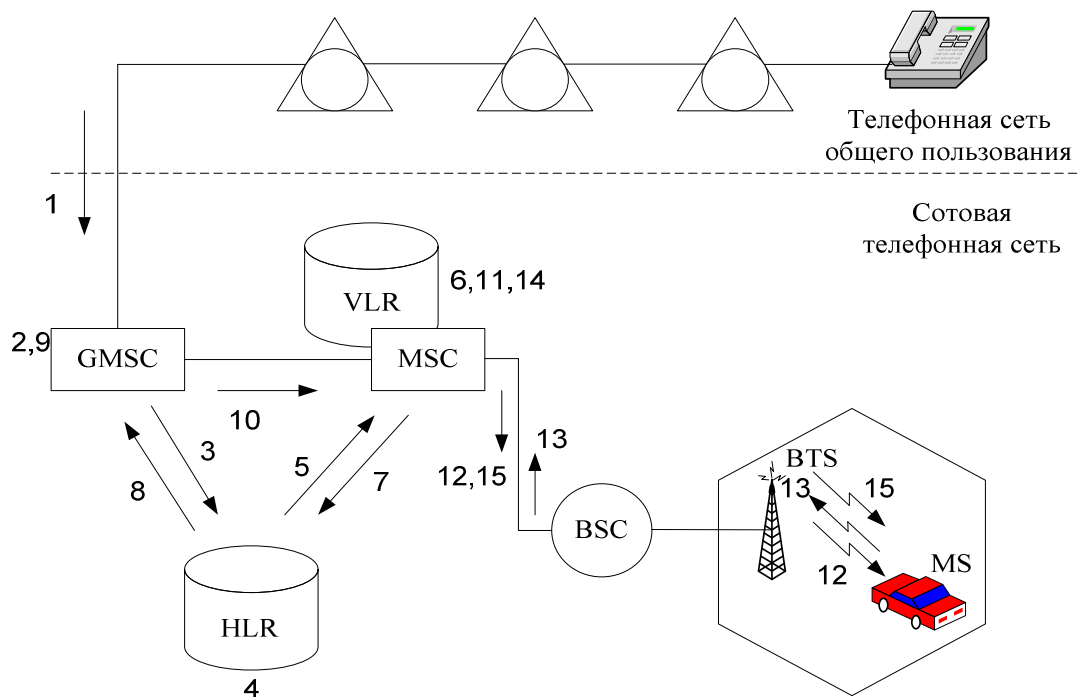


Рис. 2.14

После определения MSC (VLR) и IMSI формируется сообщение данному MSC (VLR) с запросом номера MSRN (5). MSC, в зоне обслуживания которого находится MS, на основании номера IMSI и данных VLR определяет состояние MS. Если MS подключена и свободна, MSC (VLR) выделяет номер MSRN, ставит его в однозначное соответствие с номером IMSI (6) и передает в обратном направлении выделенный номер MSRN (7). HLR формирует сообщение и передает принятый номер MSRN транзитному MSC (8), который, обладая номером MSRN, устанавливает соединение к MSC, в зоне обслуживания которого находится вызываемая MS.

После установления соединения транзитный MSC передает ему номер вызываемого абонента (10). MSC на основании номера вызываемого абонента и данных VLR определяет зону местонахождения MS (11), а следовательно, и BTS, которые покрывают данную зону местонахождения. После определения BTS MSC передает команду на поиск MS (12). BTS передает вещательный адрес MS. Получив адресованное ей сообщение, MS сразу же отвечает (13). Далее MSC назначает двухсторонний пользовательский канал (14) и передает указание MS на подключение к нему (15). Абоненту посылается сигнал вызова.

## Организация эстафетной передачи

Пусть MS занята, т. е. использует ДПК, и перемещается. При удалении от BTS, в зоне обслуживания которой она находится, снижается уровень сигнала, соответственно, и качество передачи, и на границе сот возникает необходимость смены BTS (пользовательского канала). Принятие решения о переключении вызова осуществляется сетью. MS только обязана передавать результаты измерений уровня сигнала и качества передачи. Следовательно, в процессе обмена информацией между абонентами необходима передача сигнальной информации для того, чтобы синхронизировать процесс передачи вызова от одной BTS к другой. Из-за того, что число каналов ограничено, невозможно выделить отдельный канал для сигнализации, поэтому назначенный ДПК используется как для передачи пользовательской информации, так и для сигнализации. При этом подвижная и базовая станции должны различать эти виды информации [1, 2].

Процесс принятия решения о передаче вызова заключается в следующем. Сеть всегда информирует о частотах контрольных каналов смежных сот и при снижении уровня сигнала и качества передачи ниже порогового MS, используя эту информацию, осуществляет измерение уровня сигналов контрольных каналов смежных сот. Кроме того, MS продолжает измерять уровень сигнала и качество передачи «плохого» пользовательского канала. Результаты измерений передаются в BSC. По результатам измерений как подвижной, так и базовой станции, контроллеры BSC принимают решение о возможном переключении вызова. Принятое решение определяет, когда будет осуществлено переключение вызова и какой BTS. После принятия решения BSC ответствен за переключение тракта от «старой» BTS к «новой». При этом возможны следующие ситуации (на рис. 2.15 отмечены кружками с цифрами).

1) Переключение вызова осуществляется от одной BTS к другой, которые контролируются одним BSC. После принятия решения о переключении вызова BSC должен проключить тракт к «новой» BTS (BSC – BTS) и зарезервировать ДПК. Далее BSC передает указание MS о переключении на новый канал, старые тракт и канал освобождаются. Кроме того, после переключения вызова MS должна получить от BSC информацию о смежных сотах.

Данная ситуация не требует передачи информации о произведенных действиях в MSC. Если смена сот приводит и к смене зоны местонахождения MS, она после окончания обслуживания вызова должна получить доступ к сети и послать запрос на обновление данных зоны местонахождения.

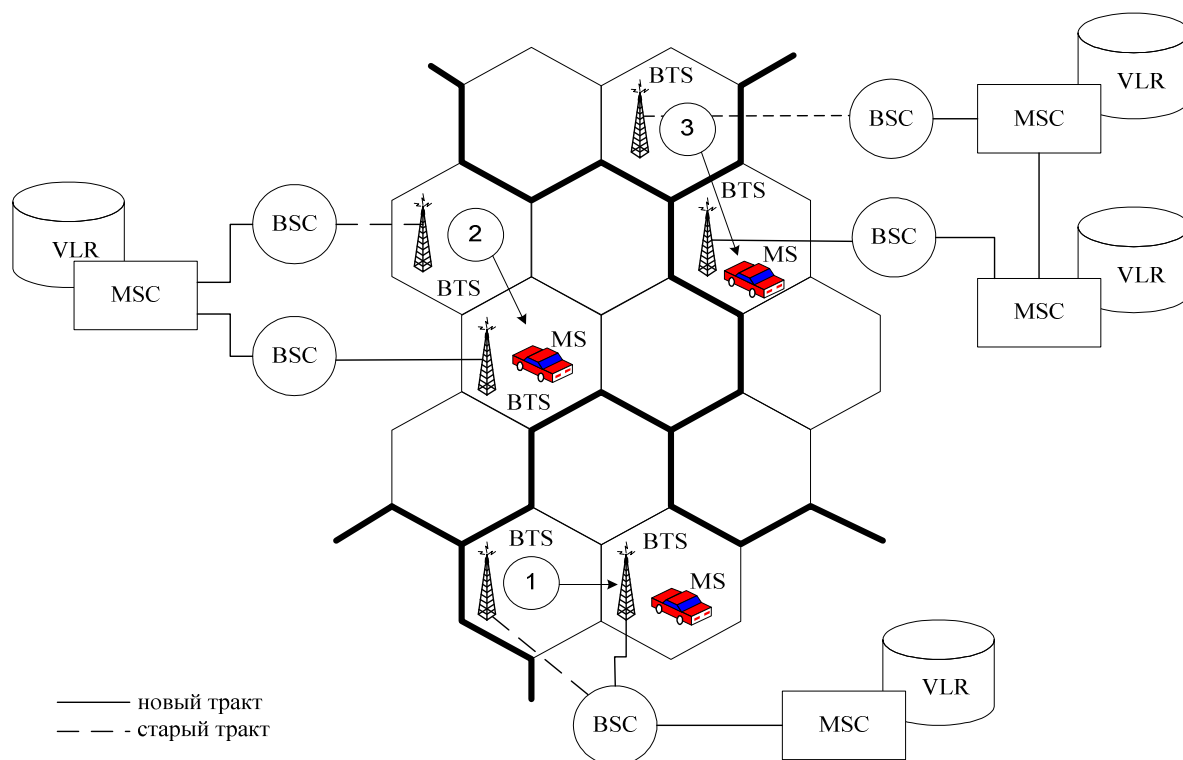


Рис. 2.15

2) Переключение вызова осуществляется между BTS, которые контролируются различными BSC, но эти BSC включены в один MSC.

В этом случае сеть в значительно большей степени вовлечена в процедуру переключения вызова. Так как BSC, в зоне действия которого находится MS, самостоятельно не может осуществить переключение вызова «новой» BTS, он обращается к MSC. MSC передает запрос на переключение вызова BSC, который контролирует «новую» BTS. После этого проключается тракт MSC–BSC–BTS и резервируется ДПК, а MS получает указание о переходе на новый канал. Старый тракт разрушается. Кроме того, MS передается информация о смежных сотах. Аналогично, как и в предыдущем случае, если при смене сот изменяется и зона местонахождения, MS после за-

вершения обслуживания вызова должна получить доступ к сети и передать запрос на обновление данных зоны местонахождения.

3) Переключение вызова осуществляется между BTS, которые контролируются различными BSC, причем эти BSC включены в различные MSC.

Данная ситуация является более общим случаем, в котором присутствуют все сигналы, используемые при переключении вызова. При этом задействованы два MSC: один, в зоне обслуживания которого находилась MS, называют обслуживающим (Serving exchange), а MSC, в зону обслуживания которого переместилась MS, – целевым (Target exchange). Получив запрос о переключении вызова от BSC, обслуживающий MSC обращается к целевому MSC с сообщением на переключение вызова. Целевой MSC принимает все возможные действия по установлению тракта MSC–BSC–BTS и резервированию ДПК. О проключении тракта целевой MSC информирует обслуживающий MSC. Получив подтверждение и установив тракт между MSC, обслуживающий MSC передает указание MS о переходе на новый пользовательский канал.

### **Обновление данных местонахождения**

Пусть MS подключена, свободна и перемещается. В процессе перемещения MS постоянно сканирует контрольный канал и канал поиска. Канал поиска контролируется в целях обнаружения входящего вызова к MS, а контрольный канал – для того, чтобы знать зону обслуживания. При этом MS не имеет данных о конфигурации сети. По уровню сигнала в контрольном канале определяется момент пересечения границы сот. Для того чтобы информировать MS о зоне местонахождения, сеть непрерывно по контрольному каналу передает идентификатор зоны местонахождения (LAI). MS, сравнивая принятый идентификатор с хранящимся у нее в памяти, может определить момент изменения зоны местонахождения.

В процессе блуждания могут возникнуть следующие ситуации (на рис. 2.16 отмечены кружочками с цифрами) [1, 2]:

1. Перемещение MS из одной соты в другую в пределах одной зоны местонахождения, но BTS сот контролируются одним BCS.

2. Перемещение MS из одной соты в другую в пределах одной зоны местонахождения, но BTS сот контролируется различными



BCS, которые включены в один MSC. В первом и втором случаях MS постоянно «соединена» с контрольным каналом и контролирует уровень сигнала в нем. Если MS удаляется от BTS, в зоне обслуживания которой она находится, то уровень сигнала уменьшается и на границе сот он достигает порогового значения. В этом случае MS принимает решение о смене контрольного канала. Для того чтобы выбрать канал с максимальным уровнем сигналов в нем, MS последовательно измеряет уровни сигналов контрольных каналов смежных BTS. После выбора канала MS осуществляет переключение, и так как зона местонахождения не изменилась, нет необходимости в информировании сети о принятых действиях.

3. Перемещение MS из одной соты в другую, которые принадлежат различным зонам местонахождения, контролируются различными BSC, но включены в один MSC.

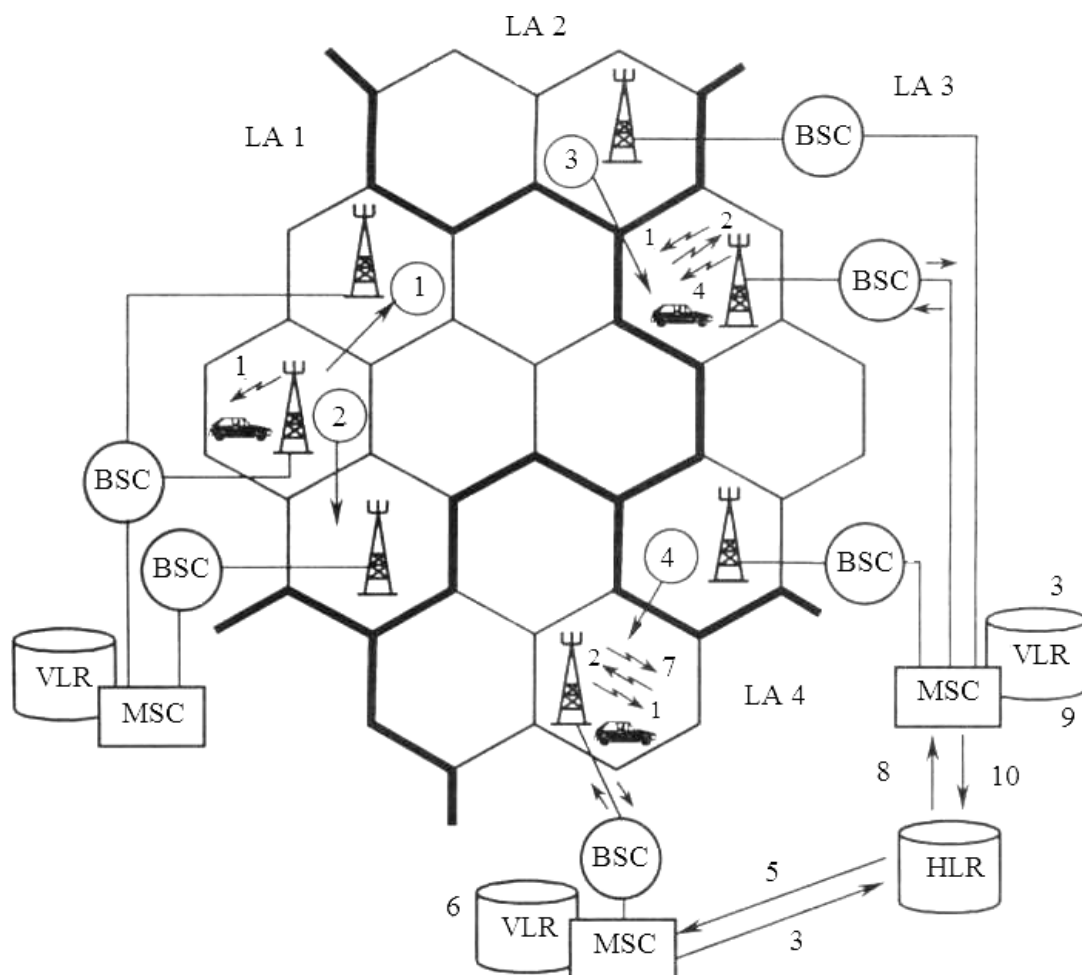


Рис. 2.16

Пусть при смене сот меняется и зона местонахождения. Попадая в новую соту и изменив контрольный канал, MS обнаруживает, что передаваемый по этому каналу идентификатор зоны местонахождения не совпадает с записанным у нее в памяти (на рис. 7 это отмечено цифрой 1). В этом случае MS должна информировать сеть об изменении зоны местонахождения. Данный процесс получил название *вынужденной регистрации* (Forced registration). Для вынужденной регистрации MS в первую очередь получает доступ к сети и передает запрос на обновление данных зоны местонахождения (2). Так как старая и новая зоны местонахождения входят в зону обслуживания одного MSC, он осуществляет обновление данных зоны местонахождения в VLR и информирует об этом MS (4), которая, в свою очередь, заносит в память новый идентификатор зоны местонахождения.

4. Перемещение MS из одной соты в другую, которые принадлежат различным зонам местонахождения, контролируется различными BSC, которые включены в различные MSC.

При изменении не только зоны местонахождения, но и зоны обслуживания MSC необходимо зарегистрировать MS в VLR нового MSC, произвести изменение данных в HLR и отменить запись в VLR прежнего MSC. Получив по контрольному каналу новый идентификатор зоны местонахождения (1), MS ищет доступ к сети и передает запрос на обновление данных зоны местонахождения (2). MSC, анализируя сообщение, полученное от MS, узнает, что данная MS не зарегистрирована в его VLR, поэтому на основании номера абонента (IMSI) MSC обращается к HLR, где зарегистрирован данный абонент, с заявкой на обновление данных зоны местонахождения этой MS (3), т. е. данных о зоне обслуживания MSC. В HLR осуществляется обновление данных (4). О произведенных действиях информируется MSC (5), в зоне обслуживания которого в данный момент находится MS. Получив подтверждение, MSC производит регистрацию MS в VLR (6) и передает MS подтверждение об обновлении данных местонахождения (7). Кроме того, HLR после обновления данных обращается с заявкой к MSC, в зоне обслуживания которого находилась MS, на отмену записи регистрации MS в VLR (8). MSC обеспечивает отмену записи регистрации MS в VLR (9) и передает в обратном направлении сообщение подтверждения о произведенных действиях (10).

При выполнении процедуры корректировки местоположения по КУ осуществляется двухсторонний обмен между MS и BTS служебными сообщениями, содержащими временные номера абонентов TMSI. В этом случае в радиоканале необходимо обеспечить секретность смены TMSI и их принадлежность конкретному абоненту. Процедура корректировки местоположения представлена на рисунке 2.17.

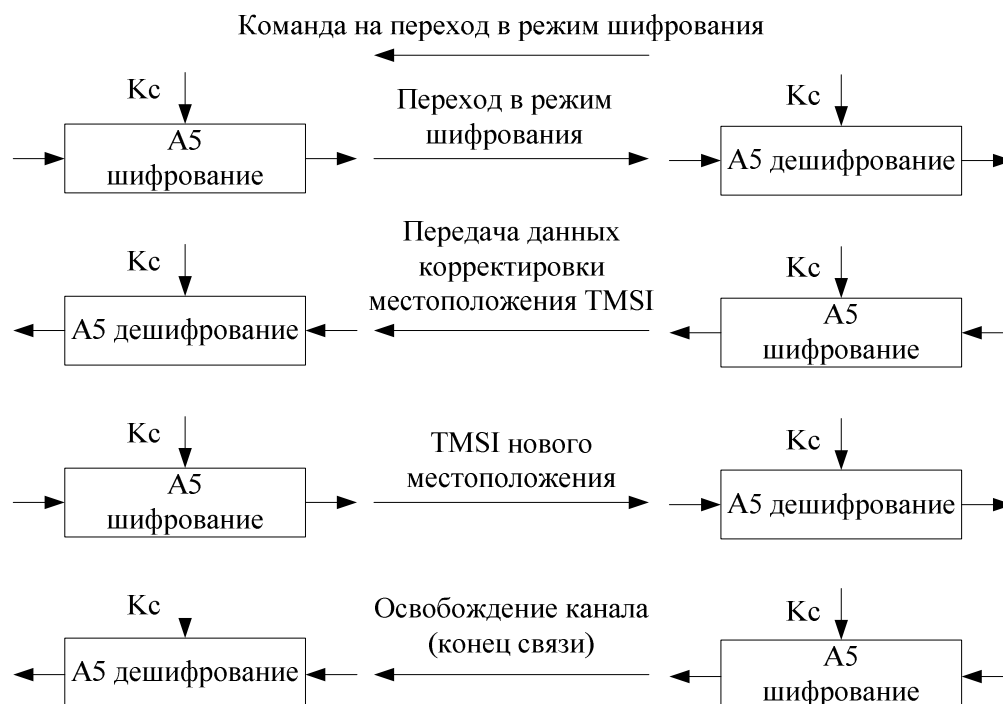


Рис. 2.17

Процедура корректировки местоположения в момент ЭП заключается в следующем. В этом случае MS уже зарегистрирована в регистре перемещения VLR с временным номером TMSI, соответствующим TMSI прежней зоне расположения. При входе абонента в новую зону осуществляется процедура опознавания, которая проводится по старому, зашифрованному в радиоканале TMSI, передаваемому одновременно с номером LAI зоны расположения. Последний дает информацию центру коммутации и центру управления о направлении перемещения MS и позволяет запросить прежнюю зону расположения о статусе абонента и его данные, исключив обмен этими служебными сообщениями по радиоканалам управления. При этом по каналу связи сообщение передается как зашифрованный информационный текст с прерыванием сообщения в процессе ЭП на 100–150 мс.

## Роуминг

Для реализации роуминга подвижному абоненту сети GSM присваиваются следующие основные номера и идентификаторы [1, 2].

1. Международный идентификатор подвижного абонента (IMSI) – записывается в ПЗУ SIM-карты, вставляемой в подвижную станцию. IMSI включает в себя код страны подвижной связи (MCC) – 3 знака (для России в соответствии с рекомендацией E.212 MCC = 250), код сети оператора – 2 знака, номер абонента в сети оператора MSIN – 10 знаков.

2. Номер сети общего пользования MS – соответствует телефонной нумерации каждой сети оператора подвижной связи.

3. Временный роуминговый номер (MSRN) – выделяется при установлении входящего соединения к абоненту-роумеру на время установления соединения, но не больше 30 с. Блок номеров MSRN выделяется из общей телефонной нумерации сети.

Информация о местоположении абонента должна обновляться в регистре HLR каждые несколько минут. Для этой цели информация периодически передается в базу данных HLR из базы данных VLR коммутационного узла, в котором временно находится ПС. Когда вызываемому абоненту поступает входящий вызов, регистр HLR определяет, каким образом можно соединиться с абонентом в зависимости от его текущего местоположения. По мере перемещения абонента из одной зоны в другую содержимое HLR постоянно обновляется. Такой механизм позволяет ПС абсолютно свободно передвигаться в пределах всей сети без риска потерять входящие вызовы.

На рисунке 2.18 показаны основные процедуры взаимодействия сетей GSM при входящем вызове к ПС, который находится в данный момент в другой зоне:

1 – прибывшая ПС фиксируется ближайшей БС в визитной сети GSM, по радиointерфейсу с БС передается его идентификатор IMSI;

2 – осуществляется процедура обновления данных местоположения ПС: полученный IMSI абонента из VLR коммутационный центр визитной сети MSC передает в регистр HLR; HLR проверяет право абонента на роуминг и передает подтверждение на обновление данных. Затем следует процедура запроса/передачи абонентских данных (данные об услугах, параметры аутентификации абонента);

3 – в опорную сеть поступает вызов к абоненту, находящемуся в сети другого оператора GSM;

4, 5, 6 – процедуры запроса/передачи временного роумингового номера MSRN для установления соединения;

7 – установление соединения по номеру MSRN, выделенному для МА в зависимости от национального или международного роуминга, либо через междугородную или международную сети.

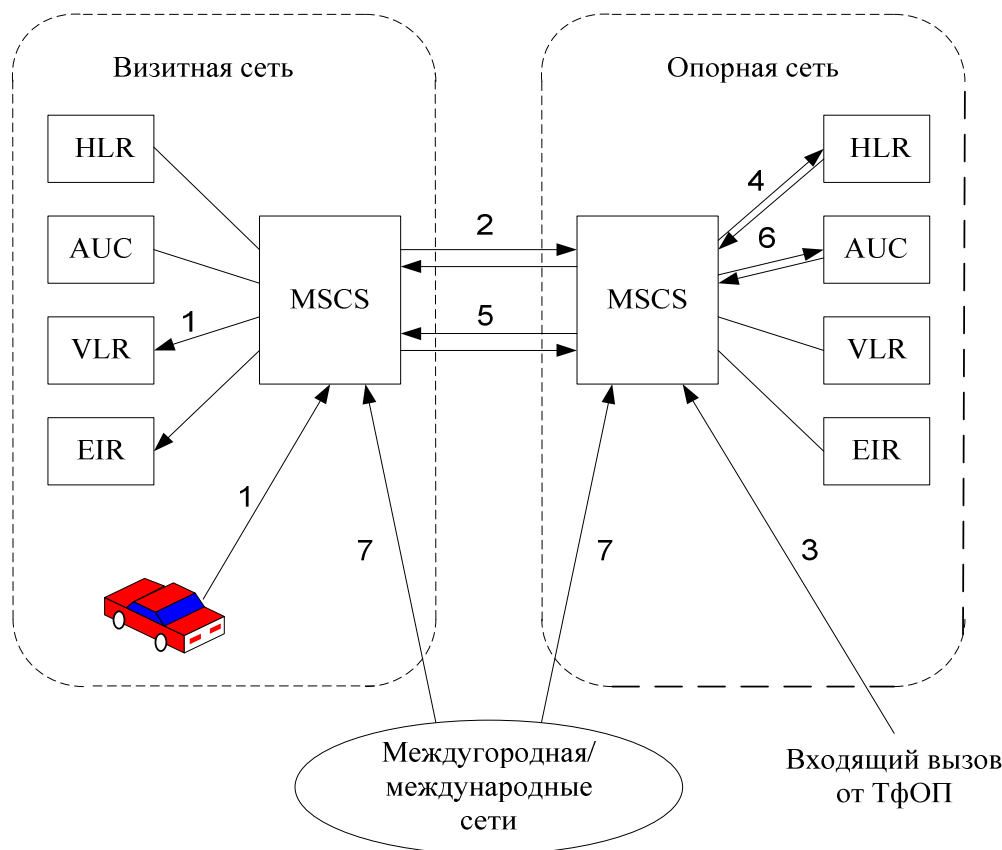


Рис. 2.18

### 2.1.7. Обеспечение безопасности в сетях GSM

Для обеспечения аутентификации и закрытия информации при регистрации абоненту присваивается не только номер IMSI, но и индивидуальный абонентский ключ  $K_i$ , который хранится в центре аутентификации (AUC), а также в оборудовании ПС. Абонентский ключ  $K_i$  в центре аутентификации используется для формирования триплета: ключа закрытия информации  $K_s$ , маркированного отклика SRES и случайного числа RAND (рис. 2.19). Вначале генерируется

случайное число RAND. RAND и  $K_i$  являются исходными данными для вычисления  $K_c$  и SRES. При этом применяются два различных алгоритма вычисления. Сформированные триплеты для каждого из зарегистрированных в сети GSM абонентов передаются в домашний регистр (HLR), а при необходимости предоставляются MSC (VLR). Алгоритмы вычисления  $K_c$  и SRES реализованы не только в центре аутентификации, но и в ПС [6, 8].

В стандарте GSM процедура аутентификации связана с использованием модуля идентификации абонента, называемого также SIM-картой (SIM-card). Модуль SIM позволяет вести разговор с любого аппарата того же стандарта, в том числе с таксофонного, и содержит ПИН абонента (PIN), идентификатор IMSI, ключ  $K_i$ , индивидуальный алгоритм аутентификации абонента A3, алгоритм вычисления ключа шифрования A8. Уникальный идентификатор IMSI для текущей работы заменяется временным идентификатором TMSI, присваиваемым аппарату при его первой регистрации в конкретном регионе, определяемом идентификатором LAI, и сбрасываемым при выходе аппарата за пределы этого региона. Идентификатор PIN – код, известный только абоненту и служащий защитой от несанкционированного использования SIM-карты, например при ее утере. После трех неудачных попыток набора PIN-кода SIM-карта блокируется, и блокировка может быть снята либо набором дополнительного кода – персонального кода разблокировки (PUK), либо по команде с ЦК.

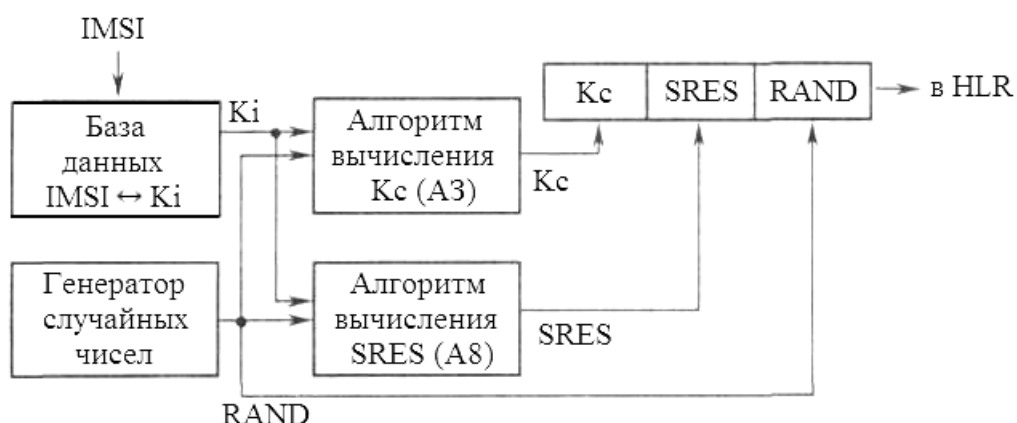


Рис. 2.19

Процедура аутентификации происходит следующим образом. При запросе ПС доступа к сети центр аутентификации AUC через

MSC передает PC случайное число RAND. PC, получив число RAND и используя хранящийся у нее абонентский ключ  $K_i$ , вычисляет с помощью алгоритма A3 маркированный отклик SRES. Сформировав SRES, PC передает его в MSC, где происходит сравнение принятого SRES со SRES, вычисленным сетью. При совпадении PC разрешается доступ к сети. Процедура аутентификации осуществляется при регистрации PC, попытке установления соединения, обновлении данных, а также при активизации и деактивизации ДВО. Процедура аутентификации показана на рисунке 2.20 [6, 8].

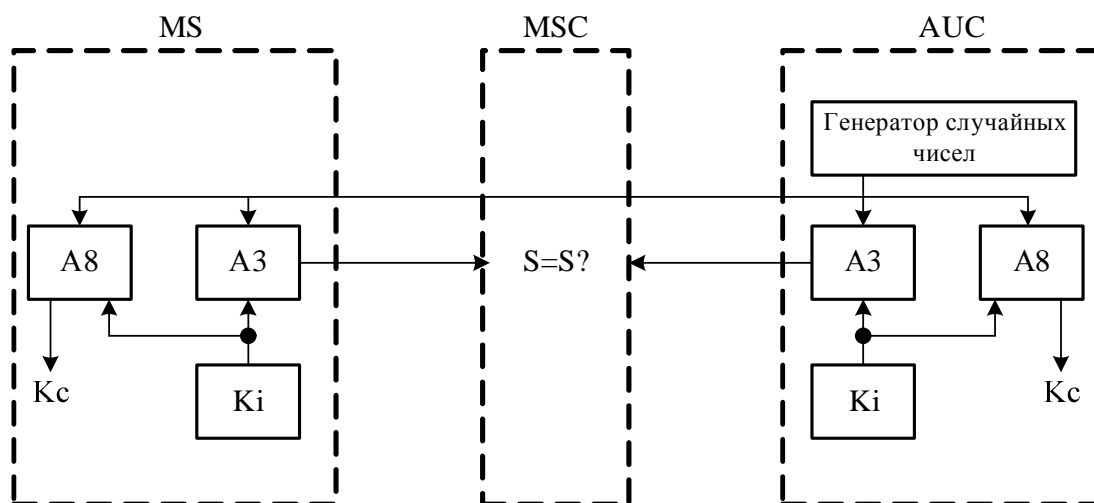


Рис. 2.20

Закрытие пользовательской информации, передаваемой по радиоканалу, осуществляется в BTS и MS, где применяются одни и те же алгоритмы. Для закрытия пользовательской информации нужны номер цикла доступа и ключ закрытия информации  $K_c$ . В BTS используется  $K_c$  из триплеты, а в MS он вычисляется на основании полученного случайного числа RAND и абонентского ключа  $K_i$  по алгоритму A8.

Алгоритм A8 применяется для вычисления ключа шифрования (КШ) сообщений и хранится в модуле SIM. После приема RAND подвижная станция вычисляет, кроме отклика SRES, также и ключ шифрования  $K_c$  с помощью RAND,  $K_i$  и алгоритм A8 (рис. 2.20). Кроме RAND, сеть посылает PC числовую последовательность КШ. Это число связано с действительным значением  $K_c$  и позволяет из-

бежать формирования неправильного ключа. Данное число хранится ПС и содержится в каждом первом сообщении, передаваемом в сеть.

Для установки режима шифрования сеть передает ПС команду СМС на переход в режим шифрования, после принятия которой станция, используя имеющийся у нее ключ, приступает к шифрованию и дешифрованию сообщений. Поток передаваемых данных шифруют бит за битом или поточным шифром с помощью алгоритма шифрования А5 и ключа Кс. Процедура установки режима шифрования представлена на рисунке 2.21.

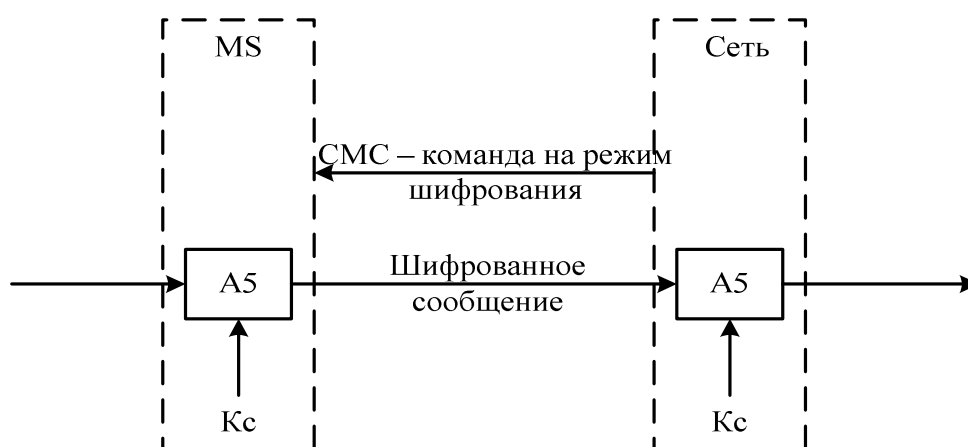


Рис. 2.21

Идентификация оборудования начинается с запроса у ПС номера IMEI. MSC полученный номер IMEI передает в регистр идентификации оборудования (EIR), где имеются три списка оборудования MS: разрешенные к использованию, запрещенные для использования и неисправные. На основании информации списков определяется, к какой группе относится MS с номером IMEI. Результаты направляются в MSC, где и принимается решение о доступе ПС к сети.

### ***2.1.8. Технологии высокоскоростной пакетной передачи данных GPRS и EDGE***

Введение услуги *пакетной радиопередачи данных GPRS* (англ. *General Packet Radio Service*) стало значительным улучшением и расширением стандартной системы GSM. Причин для ее возникновения много. Скорости передачи данных в существующих сетях подвижной



связи были недостаточными, а время установления соединения – слишком большим. Передача данных по сети с коммутацией каналов не соответствовала пакетному и асимметричному характеру трафика, что приводило к неэффективному использованию существующих ресурсов системы. В конечном итоге было принято решение о применении передачи данных с коммутацией пакетов. В результате в таком режиме абоненты получили возможность задействовать одни и те же физические каналы, а системные ресурсы распределяются более эффективно благодаря *статистическому мультиплексированию*. Последствием применения пакетной коммутации является принцип оплаты за услугу, базирующийся на количестве переданных пакетов данных. Сессия может длиться достаточно долго, однако пользователь будет платить только за объем переданных данных [1].

## Архитектура системы GPRS

Введение услуги GPRS приводит к появлению сети, параллельной сети GSM (рис. 2.22). Новая система использует множество ресурсов GSM, однако основные сетевые элементы соединены друг с другом при помощи отдельной опорной сети, в основе которой лежит протокол IP [1, 3, 6].

Главными новыми элементами сети GPRS являются *узлы поддержки GPRS* (англ. *GPRS Support Nodes – GSN*). Они обеспечивают доставку пакетов данных и определяют их маршрут между подвижной станцией и внешними сетями с коммутацией пакетов.

*Узел текущей поддержки GPRS* (англ. *Serving GPRS Support Node – SGSN*) отвечает за доставку и получение пакетов в своей зоне обслуживания. Он работает таким же образом, как и центр коммутации подвижной связи в обычной системе GSM. SGSN определяет маршрут передаваемых пакетов и пересылает их на соответствующие узлы. Кроме того, он контролирует перемещение подвижной станции и отвечает за управление логическими каналами. SGSN обеспечивает аутентификацию подвижной станции и сохраняет информацию об абонентах услуги GPRS, зарегистрированных в данном SGSN в регистре местоположения. Эта информация включает в себя индекс текущей соты, текущий регистр VLR, а также профиль абонента, состоящий из международного идентификационного номера (IMSI) и адреса абонента в сети с коммутацией пакетов.



филь пользователя и его текущие SGSN- и PDP-адреса. Информация обновляется каждый раз, когда пользователь регистрируется в новом узле SGSN.

Регистр VLR, объединенный с MSC (MSC/VLR), выполняет большее количество функций, чем в стандартной системе GSM. Он обеспечивает взаимодействие каналов GPRS и обычной сети GSM с коммутацией каналов. Пример такой услуги – осуществляемый узлом SGSN пейджинг для вызова в сети с коммутацией каналов, при котором происходит обмен данными между MSC/VLR и SGSN. В регистре MSC/VLR тоже происходит обновление текущих данных об абонентах, подписавшихся на услуги GSM и GPRS.

Система GPRS также позволяет передавать SMS-сообщения. Для этого производится обмен данными между блоками SMS-GMSC и/или SMS-IW MSC и соответствующим узлом SGSN.

Все блоки системы GPRS связаны с блоками системы GSM соответствующими стандартизованными интерфейсами. Как уже упоминалось, все узлы GPRS соединены опорной сетью с использованием IP-протокола. Передаваемые пакеты конвертируются узлами GSN и передаются в соответствующий сетевой узел при помощи протокола туннелирования GPRS (англ. *GPRS Tunneling Protocol – GTP*). Узлы системы GPRS связаны со своей собственной сетью с помощью внутренней опорной сети (*intra-PLMN backbone network*). Соединение с внешними PLMN-сетями осуществляется при помощи внешней опорной сети (*inter-PLMN backbone network*). Как и в обычных GSM-сетях, для обмена данными между различными сетями необходимо заключить соглашение о роуминге между поставщиками услуг GPRS. Межсетевое inter-PLMN-взаимодействие производится через *граничные шлюзы (border gateways)*, которые защищают сети от не-санкционированного доступа.

### ***Физический уровень GPRS***

Физический уровень системы GPRS очень похож на физический уровень стандартной системы GSM. Тем не менее пакетная передача и асимметрия трафика потребовали внесения в него некоторых изменений и дополнений. Прежде всего, система GPRS предусматривает работу в многосотовом режиме, в котором одной подвижной станции может быть выделено до восьми временных слотов в кадре.

Асимметричность пакетного трафика приводит к тому, что восходящей и нисходящей линиям связи выделяются различные ресурсы. Выделение канала производится только на время передачи или приема пакета. В промежутках между передачей последовательных пакетов этот канал может использоваться другими подвижными станциями. Так реализуется правило *емкость по требованию*. Это означает, что количество выделенных физических каналов является функциями интенсивности трафика, приоритета услуг и класса многослотового режима работы. Физические каналы могут совместно использоваться системами GSM и GPRS [1].

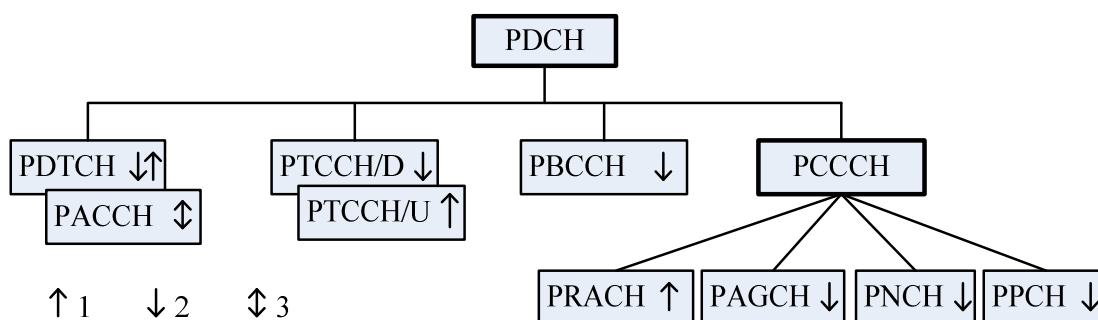


Рис. 2.23

1 – восходящий канал; 2 – нисходящий канал; 3 – двунаправленный канал

Основной физический канал GPRS называется *каналом передачи пакетных данных* (англ. *Packet Data Channel – PDCH*). В GPRS применяется несколько логических каналов, организация которых показана на рисунке 2.23. Они выполняют следующие функции:

а) *канал трафика пакетных данных* (англ. *Packet Data Traffic Channel – PDTCH*) используется для передачи пользовательских данных. Одному GPRS-терминалу может быть выделен один или несколько каналов PDTCH;

б) *широковещательный канал управления* (англ. *Packet Broadcast Control Channel – PBCCCH*) применяется базовой станцией для извещения всех подвижных станций своей соты об организации GPRS и GSM;

в) *общий пакетный канал управления* (англ. *Packet Common Control Channel – PCCCH*) включает в себя следующие каналы:

– *пакетный канал случайного доступа* (англ. *Packet Random Access Channel – PRACH*) используется подвижными станциями для запроса одного или более каналов PDTCH;

– *пакетный канал предоставления доступа* (англ. *Packet Access Granted Channel – PAGCH*) – для передачи подтверждения о выделении подвижной станции одного или более каналов PDTCH;

– *пакетный вызывной канал* (англ. *Packet Paging Channel – PPCH*) используется базовой станцией для вызова требуемой подвижной станции и определения соты, в которой она находится в текущий момент;

– *пакетный канал оповещения* (англ. *Packet Notification Channel – PNCH*) предназначается для оповещения подвижной станции о наличии многоадресных (*multicast*) сообщений или групповых вызовов;

– *пакетный ассоциированный канал управления* (англ. *Packet Associated Control Channel – PACCH*) применяется для передачи управляющей информации, связанной с одним или более каналами PDTCH, используемых подвижной станцией. Это двунаправленный канал;

– *пакетный канал управления переключением режимов прием/передача* (англ. *Packet Timing Advance Control Channel – PTCCCH/U и PTCCCH/D*) используется в восходящей (*U*) и нисходящей (*D*) линиях связи для настройки временного сдвига кадра, обеспечивая тем самым кадровую синхронизацию.

Пытаясь зарегистрироваться в сети, подвижная станция ищет канал RBCCCH, а затем – RCCCH. В случае их отсутствия станция выполняет поиск каналов BCCH и CCCH обычной системы GSM, также имеющих в соте.

Используемые в GPRS логические пакетные каналы распределены по физическим каналам физического уровня системы GPRS аналогично тому, как это сделано в стандартной системе GSM. Все же следует отметить некоторые отличия. В стандартной системе GSM мультикадр состоит из 26 кадров каналов трафика или 51 кадра каналов управления. В GPRS мультикадр состоит из 52 кадров (рис. 2.24). Четыре последовательных кадра образуют блок. С точки зрения канального кодирования, блок становится единым. Мультикадр содержит 12 блоков (B0–B11). Два кадра не заняты, еще два используются для обновления временного сдвига. Как упоминалось ранее, в GSM один нормальный пакет переносит 114 бит пользовательских данных. Таким образом, состоящий из четырех кадров блок содержит  $4 \times 114 = 456$  бит, и каждая схема кодирования, используемая в GPRS, приводит к появлению 456-битного блока.

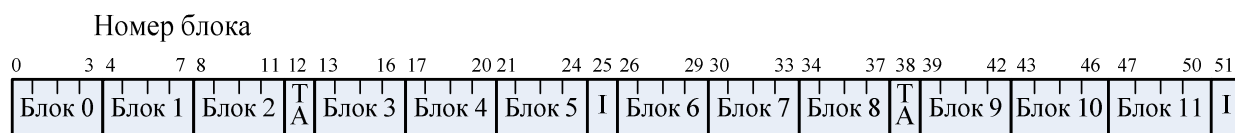


Рис. 2.24

В системе GPRS используется, как правило, двухуровневое канальное кодирование. Внешний код – блочный. К концу кодового слова обычно добавляются несколько конечных бит, после чего оно подвергается сверточному кодированию, а затем перфорированию, чтобы получить кодовое слово длиной 456 бит.

В таблице 2.3 [1] приведена основная информация о схемах кодирования, применяемых в системе GPRS. Флаг USF (англ. *Uplink State Flag* – *флаг состояния восходящей линии связи*) используется в нисходящей линии связи для оповещения подвижной станции о свободном восходящем канале.

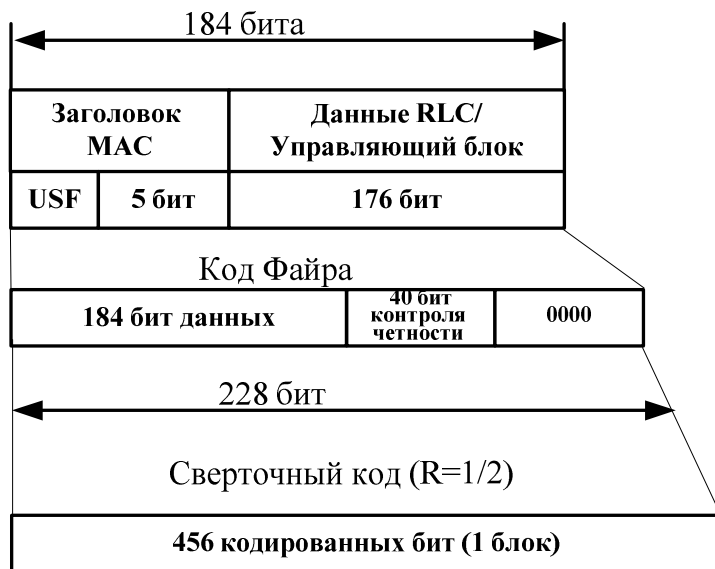
Таблица 2.3

### Основные параметры схем кодирования GPRS

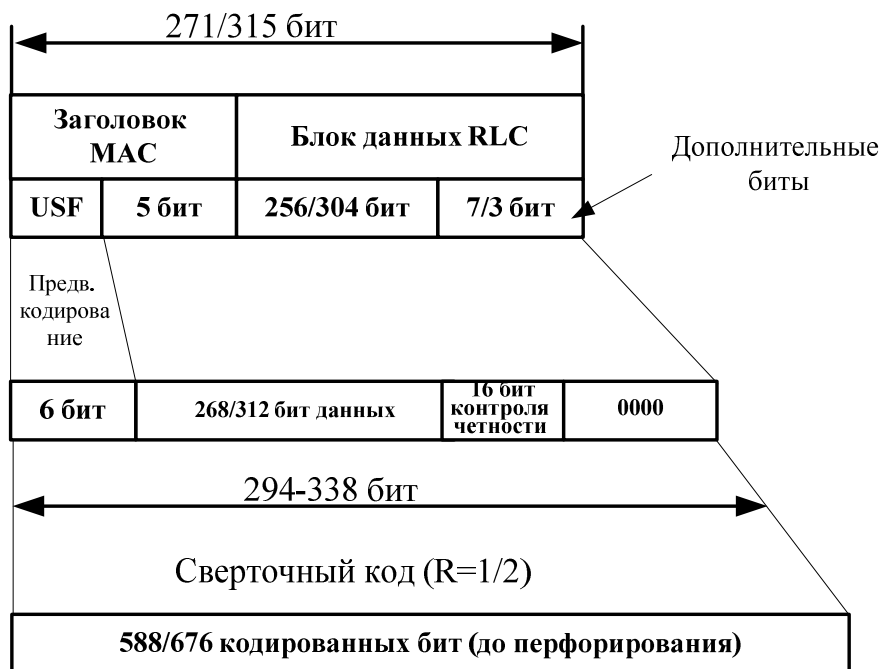
Схема	Предварительное кодирование USF, бит	Кол-во бит RLC-блока	Кол-во бит CRC	Конечные биты	Кол-во бит после сверточного кодирования	Кол-во перфорирован, бит	Скорость кодирования	Скорость передачи
CS-1	3	181	40	4	456	0	1/2	9,05
CS-2	6	268	16	4	588	132	2/3	13,4
CS-3	6	312	16	4	676	220	3/4	15,6
CS-4	12	428	16	0	456	0	1	21,4

Схемы кодирования CS-1–CS-4 соответствуют различным условиям. Все четыре схемы используются в пакетных каналах трафика, а схема CS-1 – еще и для защиты от ошибок каналов сигнализации (кроме PRACH). Выбор схемы кодирования зависит от состояния радиоканала и требований к услуге. CS-1 – более строгая схема кодирования – представлена в каналах с плохими условиями и позволяет передавать данные со скоростью 9,6 кбит/с на временной слот. CS-4,

наоборот, применяется в каналах с очень хорошими условиями. В этом случае сверточное кодирование не используется вовсе, и скорость передачи данных возрастает до 21,4 кбит/с на один слот, что позволяет достичь скорости 171,2 кбит/с при выделении одному пользователю всех восьми временных интервалов. Графическое представление описанных схем кодирования приведено на рисунке 2.25 [1].

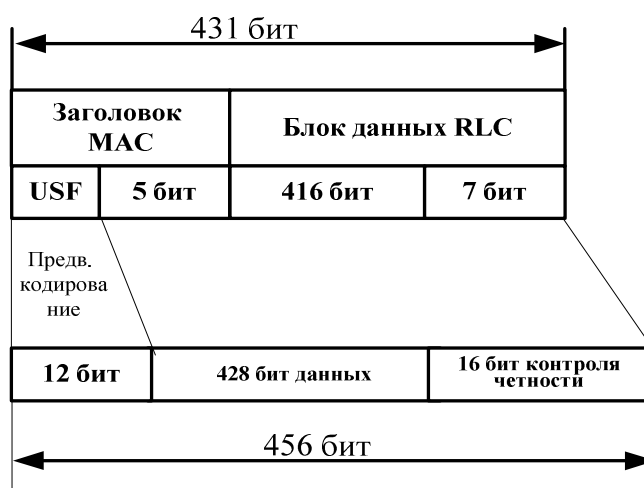


*a*



*б*

Рис. 2.25, *a*, *б* (начало)



в

Рис. 2.25, в (окончание)

Различные схемы кодирования и скорости передачи данных позволяют предоставлять целый набор различных услуг, характеризующихся соответствующим качеством обслуживания (англ. Quality of Service – QoS). Требования к качеству обслуживания сильно зависят от конкретного применения. В системе GPRS профили QoS были сформированы на основании ряда параметров: приоритет услуги, надежность, задержка и пропускная способность. Параметр «пропускная способность» определяет максимальную (пиковую) и среднюю скорости передачи данных. В зависимости от типа услуги допускаются различные вероятности потери, повтора и повреждения пакета. Определены три класса надежности, которые характеризуются конкретными значениями указанных выше параметров.

В таблице 2.4 [1] приведены требования к этим классам. Аналогично установлены три класса допустимой задержки (табл. 2.5).

Таблица 2.4

### Классы надежности GPRS

Класс	Вероятность			
	потери пакета	повтора пакета	изменения порядка пакета	повреждения пакета
1	$10^{-9}$	$10^{-9}$	$10^{-9}$	$10^{-9}$
2	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$
3	$10^{-2}$	$10^{-5}$	$10^{-5}$	$10^{-2}$



**Классы задержки**

Класс	Пакет из 128 байт		Пакет из 1024 байт	
	средняя задержка, с	задержка 95 %, с	средняя задержка, с	задержка 95 %, с
1	<0,5	<1,5	<2	<7
2	<5	<25	<15	<75
3	<50	<250	<75	< 375
4	Как можно лучше			

Мобильный абонент может выбирать QoS-профиль, необходимый ему для проведения каждой новой сессии передачи данных в зависимости от требуемой услуги и доступных в текущий момент сетевых ресурсов.

***Управление передачей в системе GPRS***

Перед началом передачи в системе GPRS необходимо выполнить некоторые специальные процедуры для подготовки подвижной станции и сети к обмену данными.

Прежде всего, подвижная станция должна зарегистрироваться в узле SGSN, который обслуживает район ее местонахождения. Эта процедура называется *GPRS-подключение* (англ. *GPRS Attach*). Сеть производит аутентификацию пользователя, пересылает информацию о пользователе из реестра HLR в SGSN и выделяет пользователю *временный пакетный идентификационный номер мобильного абонента* (англ. *Packet Temporary Mobile Subscriber Identity – PTMSI*). Для некоторых классов подвижных станций осуществляется совместная GSM/GPRS-регистрация.

До начала процедуры GPRS-соединения подвижная станция не видна в сети GPRS и находится в состоянии «бездействия» (англ. *idle*). После соединения с сетью MS переходит в режим *готовности* (англ. *ready*), в котором она отправляет информацию в SGSN после каждого перемещения в новую соту. Таким образом, местонахождение подвижной станции в режиме готовности известно с точностью до конкретной соты. В состоянии готовности MS может передавать и принимать пакеты после соответствующего инициирования обмена данными (см. следующий абзац). Если же подвижная станция не переда-

ет и не получает пакеты данных в течение некоторого времени, она переходит в *режим ожидания* (англ. *standby*). Местонахождение MS в состоянии ожидания отслеживается с точностью до группы сот, называемой *областью маршрутизации* (англ. *Routing Area-RA*). Для отправки пакета на подвижную станцию в режиме ожидания выполняется вызов для определения соты, в которой она находится.

Обмен пакетами производится с использованием *протокола пакетных данных* (англ. *Packet Data Protocol – PDP*). Для того чтобы начать обмен пакетами MS – сеть с коммутацией пакетов (например, на базе протоколов IP или X.25), подвижная станция получает PDP-адрес в этой сети передачи данных, называемый адресом. Затем для каждой сессии создается PDP-контекст. Этот контекст содержит тип протокола PDP, PDP-адрес подвижной станции, требуемый QoS и адрес шлюзового GSN (GGSN), соединяющего систему GPRS с соответствующей сетью передачи данных. Контекст хранится в нескольких блоках – подвижной станции, SGSN и в соответствующем GGSN. Таким образом, MS становится видна во внешней сети передачи данных.

Рассмотрим соединение подвижной станции с сетью IP. MS посылает пакеты на адрес назначения через сеть GPRS и внешние сети. Вначале она отправляет пакеты через подсистему базовых станций на соответствующий узел SGSN.

SGSN проверяет PDP-контекст подвижной станции, конвертирует приходящие с подвижной станции IP-пакеты и отправляет их через базовую IP-сеть на шлюзовый GSN (GGSN), соединяющий систему GPRS с требуемой сетью передачи данных. Узел GGSN выполняет распаковку (*decapsulation*) пакетов и шлет их далее в сеть передачи данных, которая доставляет их по адресу назначения.

### ***Услуги GPRS***

Передача данных в системе GPRS осуществляется в рамках выбранных услуг передачи данных или дополнительных услуг. При этом услуги передачи данных можно разделить на две категории:

- *услуга «точка-точка»* (англ. *Point-to-Point – PTP*) – соединение между двумя индивидуальными пользователями, которое может быть реализовано как в режиме без установления соединения (при помощи IP-сети), так и в режиме с установлением соединения (при помощи X.25-сети);

– услуга «точка-многоточка» (англ. *Point-to-Multipoint – PTM*) – соединение между одним пользователем и определенной группой абонентов. Пользователи могут выбираться по своему расположению в указанной географической области – так называемая *многоадресная услуга* (англ. *Multicast Service*), или их адреса могут быть указаны в особом списке – *групповая услуга* (англ. *Group Service*).

Передача SMS является еще одной услугой, доступной с помощью GPRS. Планируется предоставление других дополнительных и нестандартных услуг.

Таким образом, систему GPRS можно считать значительным усовершенствованием системы GSM, учитывающим растущие потребности в передаче данных по сетям подвижной связи. Эта система оптимизирована с точки зрения передачи пакетных данных, реализуемой при обмене данными между индивидуальными абонентами и, например, сетью Internet. В результате использования радиоинфраструктуры системы GSM и добавления новых сетевых элементов – специализированных блоков SGSN и GGSN – была получена новая система, которая хорошо подходит для передачи пакетных данных. Стоит упомянуть, что в новой системе тарификация основана на подсчете количества полученных пакетов данных, а не на продолжительности соединения, как в стандартной системе GSM с коммутацией каналов.

#### *2.1.8.1. Технология повышения скорости передачи данных для глобальной эволюции EDGE*

Система GPRS позволяет, при необходимости, передавать пакетные данные в режиме коммутации пакетов с использованием более одного временного слота в кадре, если это возможно с точки зрения системных ресурсов. Однако скорость такой передачи данных не очень высока по сравнению с проводным подключением к сети Internet. Технология повышения скорости передачи данных для глобальной эволюции EDGE (англ. *Enhanced Data rate for Global Evolution*) позволяет удовлетворить потребность в более высоких скоростях. Первоначально EDGE интерпретировалась как расширение системы GPRS. Сейчас эта аббревиатура приобрела множество значений. С точки зрения системы GSM, EDGE – это эволюция систем GPRS и HSCSD в системы EGPRS (*Enhanced GPRS*) и ECSD (*Enhanced Circuit Switched Data*) соответственно. В США система EDGE стала ба-

зой для расширения системы персональной подвижной связи TDMA IS-136, что привело к появлению IS-136 HS (*High Speed*), предназначенной для использования вне помещений.

EDGE для TDMA-систем в настоящее время реализуется в двух вариантах – *EDGE Compact* и *EDGE Classic* [1]. В системе EDGE Compact применяется новая структура каналов управления шириной 200 кГц. Базовые станции работают в синхронном режиме, и для реализации системы достаточно полосы спектра в 1 МГц. Каналы передачи пакетных данных организованы с коэффициентом повторного использования частот, равным 1/3. В системе EDGE Classic применяется традиционная структура каналов управления шириной 200 кГц, характерная для GSM. Система EDGE Classic в минимальной комплектации требует наличия 12 несущих или, другими словами, 2,4 МГц с защитными полосами.

Ниже будет рассмотрена европейская версия системы EDGE [1].

### **Основные усовершенствования на физическом уровне**

В системе EDGE для GSM есть некоторые усовершенствования, которые позволяют передавать пакеты данных с более высокими скоростями, чем в стандартных системах GSM или GPRS. Первое усовершенствование – это применение 8-PSK-модуляции в высокоскоростных режимах. В низкоскоростных режимах по-прежнему используется GMSK-модуляция. 8-PSK-модуляция позволяет обеспечить в три раза большую скорость передачи данных по сравнению со стандартной системой GSM при условии применения той же символической скорости 270,833 кбит/с и 200-кГц частотного раstra. Это обусловлено тем, что при 8-PSK-модуляции каждый информационный символ представляется тремя битами.

Стоит заметить, что помимо фазового сдвига, определяемого информационными битами, фаза дополнительно сдвигается на  $3\pi/8$  на каждый период передачи одного символа. Это позволяет избежать низких уровней огибающей, поэтому отношение максимальной и средней мощностей составляет всего 3,2 дБ. Для того чтобы привести сигнал в соответствие с шириной спектра канала и сохранить форму GMSK-спектра, используется модулирующий импульс  $p(t)$ . В линеаризованной версии GMSK форма импульса рассчитывается по методу Лорана [12]. Изображенная на рисунке 2.26 форма импульса

похожа на гауссовскую кривую и рассчитана при помощи численных методов. При GMSK-модуляции в приемнике обычно применяется подбор последовательности по принципу максимального правдоподобия Витерби. В случае 8-PSK-модуляции количество состояний в алгоритме Витерби было бы чрезвычайно большим, поэтому используется выбранный субоптимальный последовательный алгоритм.

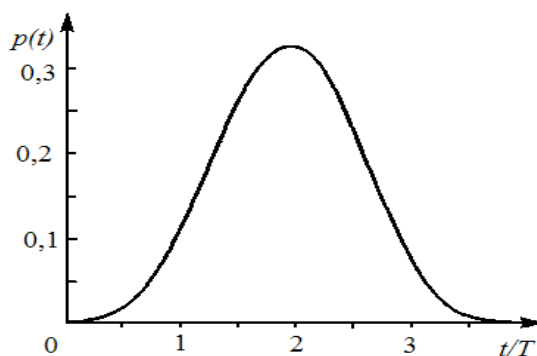


Рис. 2.26

Другая особенность системы EDGE – это медленная скачкообразная перестройка частоты, которая представляет собой опцию в стандартной системе GSM. Скачкообразную перестройку частоты можно рассматривать как изменение частоты, помогающее избежать замирания канала. Она также существенно влияет на уровень внутриканальных помех и, следовательно, на суммарную емкость системы. При использовании скачкообразной перестройки частоты каждый кодовый блок передается на четырех различных несущих.

Следующее важное свойство системы EDGE – контроль качества радиоканала. Подвижные станции передают на базовые станции информацию о качестве канала. На основании этой информации принимается решение о том, какую комбинацию модуляции и канального кодирования следует использовать. В системе EDGE могут применяться два типа модуляции (GMSK и 8-PSK) и девять скоростей кодирования. Каждая комбинация имеет свою характеристику, выражаемую в зависимости пропускной способности (на один временной слот) от отношения сигнал/шум. Переключение между комбинациями кодирования и модуляции позволяет максимизировать пропускную способность. Принцип адаптации к качеству канала радиосвязи иллюстрируется рисунком 2.27.

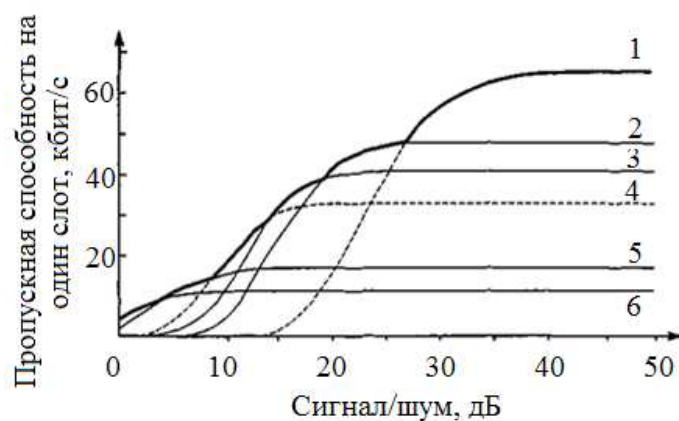


Рис. 2.27

Пакет данных в системе EDGE имеет тот же самый формат, что и в стандартной системе GSM. Однако в случае использования 8-PSK-модуляции двоичные символы заменяются 8-уровневыми информационными символами. Пакет содержит 26-символьную срединную последовательность, три краевых символа в начале и в конце пакета и два блока пользовательских данных по 57 символов. Это составляет 348 информационных бит на канальный интервал (временной слот) при 8-PSK-модуляции или по 116 бит на слот при GMSK-модуляции. Мультикадровая структура системы EDGE совпадает со структурой системы GPRS. Мультикадр состоит из 52 кадров, в которых размещены 12 блоков данных. Каждый 13-й кадр не несет пользовательской информации и применяется для корректировки временного сдвига или проведения измерений. Таким образом, с учетом всех перечисленных факторов, максимальная скорость передачи данных на одну несущую (если используются все временные слоты) составляет 556,8 кбит/с для 8-PSK и 185,6 кбит/с для GMSK. Очевидно, что максимальная доступная пользователю скорость передачи данных будет меньше из-за необходимости канального кодирования. Используемые коэффициенты канального кодирования лежат в диапазоне от  $R = 0,38$  до  $R = 1$ .

Контроль качества радиоканала, реализованный в системе EDGE при помощи адаптивного выбора модуляции и кодирования, полностью подтверждается теорией информации. С ее помощью можно показать, что для достижения максимальной пропускной способности скорость передачи данных должна быть высокой при хорошем качестве радиоканала (при больших отношениях сигнала к шуму) и низ-

кой при временном снижении качества канала. Необходимо подчеркнуть, что такая адаптация возможна только при наличии обратной связи между приемником и передатчиком. В таблице 2.6 [1] приведены возможные комбинации кодирования и модуляции. Они поделены на три семейства (А, В и С). Коэффициент кодирования может изменяться только в рамках одного семейства.

Таблица 2.6

**Схемы модуляции и кодирования, используемые в системе  
EDGE (EGPRS)**

Схема	Модуляция	Максимальная скорость, кбит/с	Коэф.* кодирования	Кодирование заголовка	PDU/ 20 мс	Размер PDU, байт	Семейство
MSC-9	8-PSK	473	1,0	0,36	2	74	А
MSC-8	8-PSK	435	0,92	0,36	2	68	А
MSC-7	8-PSK	358	0,76	0,36	2	56	В
MSC-6	8-PSK	234	0,49	1/3	1	74	А
MSC-5	8-PSK	179,2	0,37	1/3	1	56	В
MSC-4	GMSK	141	1,0	1/2	1	44	С
MSC-3	GMSK	119	0,80	1/2	1	37	А

\*Иначе: скорость кодирования (прим. ред.).

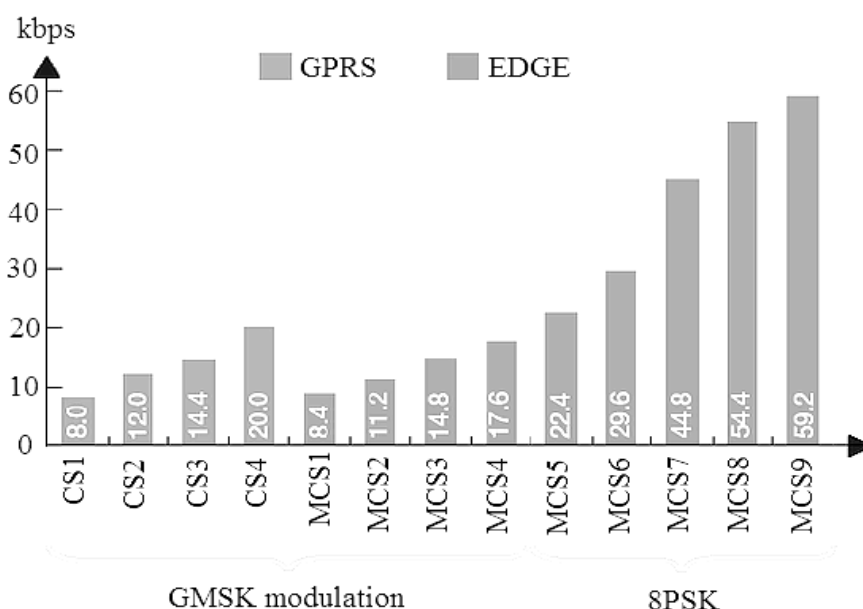


Рис. 2.28

Радиоблок данных – это наименьший элемент передаваемых в рамках системы EDGE данных. Каждый радиоблок содержит один или два блока пакетных данных (англ. *Packet Data Unit* – *PDU*). Количество PDU в радиоблоке зависит от выбранной схемы модуляции и кодирования. После выполнения перемежения передача радиоблока производится четырьмя кадрами, причем каждый из них – на своей несущей со скачкообразной перестройкой частоты. Кодированные радиоблоки содержат по 1392 бита в случае использования 8-PSK-модуляции и по 464 бита – в случае GMSK-модуляции. Структура радиоблока при 8-PSK-модуляции показана на рисунке 2.29 [1]. Структура некодированных и кодированных блоков будет несколько различаться в зависимости от выбора схемы модуляции и кодирования; тем не менее, общая схема (рис. 2.29) остается верной.

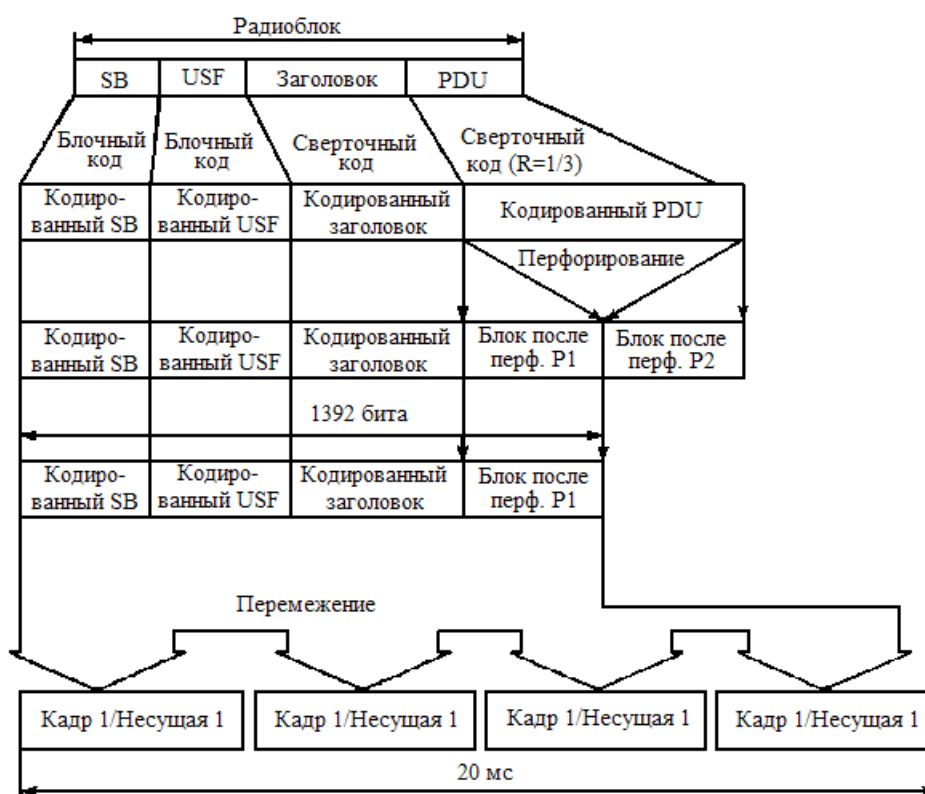


Рис. 2.29

В случае непрозрачной передачи данных, как правило, используется метод ARQ. В основе стандартного метода ARQ лежит добавление CRC-бит четности, вычисленных передатчиком, к концу блока данных. В приемнике CRC-биты заново рассчитываются по приня-



тому блоку данных. Если вычисленные биты совпадают с принятыми, то приемник посылает подтверждение приема (ACK) и передатчик начинает передавать следующий блок. Если рассчитанные приемником CRC-биты не совпадают с принятыми, то весь блок отбрасывается и подлежит повторной передаче. Вместо простой схемы ARQ может применяться принцип ARQ с *нарастающей избыточностью* (англ. *Incremental Redundancy – IR*).

В основе метода IR ARQ лежит повторное использование ошибочного блока для детектирования ошибок. В процессе кодирования на выходе сверточного кодера применяется перфорирование по двум или трем различным схемам (P1, P2 или P3). Вначале передается кодированный блок, подвергнутый перфорированию по схеме P1. Если в нем обнаружены ошибки, то передаются биты, полученные при перфорировании по схеме P2, которые добавляются к ранее переданному блоку. Затем этот блок снова декодируется. При этом возрастает количество бит четности (избыточности), а декодирование целого блока приводит к гораздо лучшей коррекции ошибок. Если были получены все биты, рассчитанные по всем схемам перфорирования, а ошибки не были устранены, то повторяется весь процесс передачи блока.

Выше приведено краткое описание отдельных аспектов расширения GSM/GPRS, известного под названием EDGE. Как уже упоминалось ранее, концепция EDGE была адаптирована для американской системы сотовой TDMA-телефонии IS-136, что привело к существенному сближению этих двух широко распространенных технологий. На самом деле, благодаря высоким скоростям передачи данных, достижимых в системе EDGE, она рассматривается как одно из возможных предложений к реализации систем третьего поколения (3G). В ближайшем будущем станет ясно, насколько введение EDGE в сети GSM повлияет на распространение системы UMTS.

## **2.2. Стандарт сотовой подвижной радиосвязи IS-95**

Компанией Qualcomm (США) была разработана ССМС общего пользования с кодовым разделением каналов. При этом основными стимулами явились увеличение абонентской емкости по сравнению с действующими ССМС, основанными на традиционном частотно-временном доступе, улучшение качества обслуживания и повышение информационной безопасности [1. 2]. Технические требования к си-

стеме сформулированы в ряде стандартов ассоциации промышленности связи (*Telecommunication Industry Association* – TIA), определяющих характер и порядок взаимодействия различных функциональных узлов ССМС и условия совместимости аппаратуры различных фирм-производителей. К числу основных стандартов рассматриваемой ССПС относятся:

IS-95 – эфирный интерфейс (радиоинтерфейс);

IS-96 – интерфейс речевых служб;

IS-97 – интерфейс мобильной станции;

IS-98 – интерфейс базовой станции;

IS-99 – интерфейс службы передачи данных.

Учитывая особую значимость радиоинтерфейса, рассматриваемую систему называют ССМС стандарта IS-95 либо, принимая во внимание технологию организации множественного доступа, системой CDMAone.

### **2.2.1. Общая характеристика стандарта IS-95**

Система IS-95 рассчитана на работу в диапазоне частот 800 МГц, причем для прямого канала (линия «вниз») выделен участок спектра 869,04...893,97 МГц, а для обратного (линия «вверх») – 824,04...848,96 МГц. Ширина полосы канала связи составляет 1,25 МГц, поэтому при развертывании ССМС IS-95 операторы могут осуществлять частотное планирование, исходя из указанных полос. Однако, согласно решению федеральной комиссии связи США, одному оператору может быть выделен максимальный диапазон частот, равный 12,5 МГц как в прямом (от БС к ПС), так и в обратном (от ПС к БС) направлениях, что соответствует 10 физическим частотным радиоканалам с полосой в 1,25 МГц [1].

Технология организации множественного доступа с кодовым разделением каналов основана на применении сложных (spread spectrum) сигналов, полоса которых значительно превышает ширину спектра информационного сообщения. В системе IS-95 реализовано прямое расширение спектра (DSSS) с использованием функций Уолша длины 64 и двух типов псевдослучайных последовательностей (ПСП): короткой и длинной. Линия «вниз» организована на основе синхронного варианта CDMA, использующего для разделения физических абонентских каналов ансамбль сигнатур в виде функ-

ций Уолша. Асинхронный режим CDMA в обратном канале осуществлен присписыванием различным абонентам одной соты специфических сдвигов длинной.

Структурная схема сети стандарта CDMAone представлена на рисунке 2.30 [1].

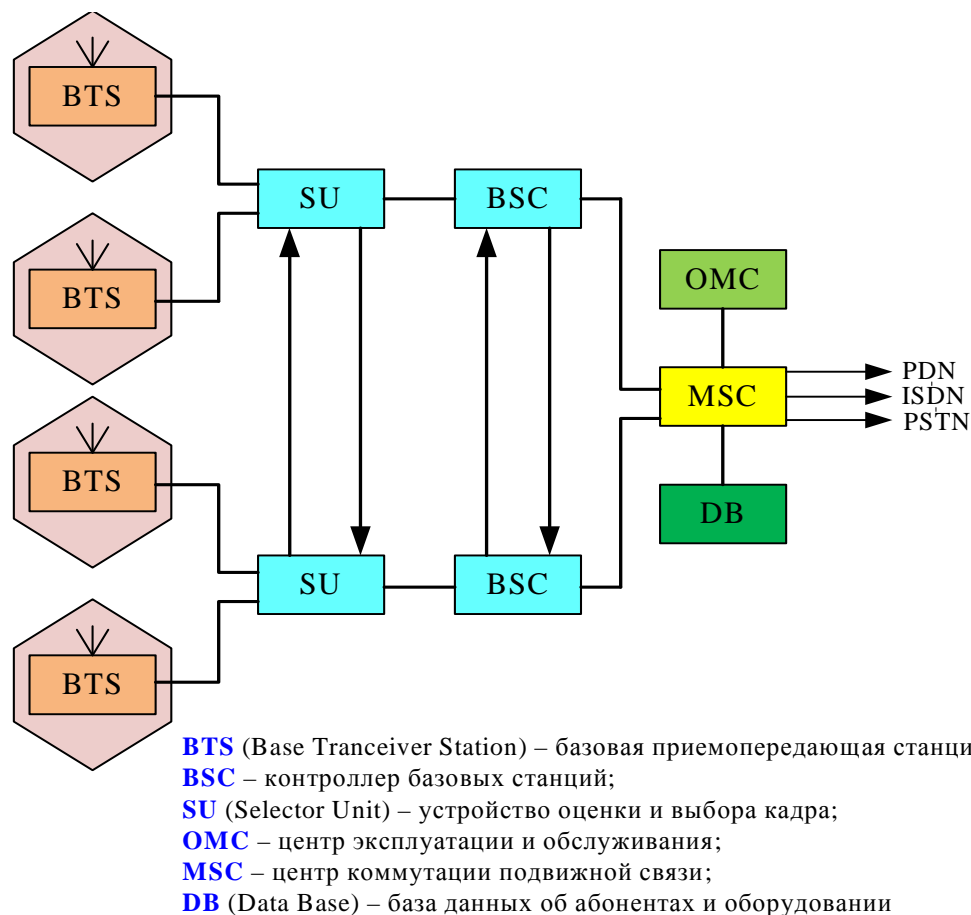


Рис. 2.30

В состав сети входят MS – подвижные станции, BTS – базовые приемопередающие станции, BSC – контроллеры базовых станций, MSC – центр коммутации подвижной связи, SU – устройство оценки и выбора кадра, OMC – центр эксплуатации и обслуживания.

Назначение элементов сети аналогично назначению элементов сети стандарта GSM. Отличительной особенностью является наличие блока SU, который предназначен для оценки качества связи при осуществлении хэндовера (выбор наилучшего по качеству тракта).

Как неоднократно отмечалось, выравнивание мощностей сигналов ПС на входе приемника БС является неперенным условием

работоспособности линии «вверх» системы CDMA. В стандарте IS-95 применена быстродействующая петля автоматической регулировки мощности сигналов МС. Регулировка осуществляется в динамическом диапазоне 84 дБ с шагом  $\pm 0,5$  дБ и с периодичностью от нескольких микросекунд до 1,25 мс. В зависимости от активности абонента вокодер формирует потоки данных со скоростями 8,6; 4; 2 и 0,8 кбит/с.

Помимо перемежения для борьбы с быстрыми замираниями в системе использовано и многолучевое разнесение, т. е. приемники на основе алгоритма RAKE. Для этого на БС применяется минимум четыре, а на ПС – три параллельно работающих коррелятора. Помимо этих корреляторов, настраиваемых на определенную задержку, в каждом приемнике имеется еще и сканирующий по задержке канал, позволяющий осуществлять настройку RAKE-каналов на сигналы с наибольшей интенсивностью.

Наличие нескольких параллельных каналов корреляционной обработки позволяет осуществить мягкую эстафетную передачу (soft handoff/soft handover) при переходе МС из одной соты в другую, в результате чего ПС может поддерживать соединение с двумя и более БС, выбирая сигнал с большей интенсивностью. Указанная процедура позволяет поддерживать высокое качество связи при переключении ПС с одной БС на другую и делает эстафетную передачу практически незаметной для пользователя.

Стандарт IS-95 обеспечивает высокую степень безопасности передаваемых данных за счет их скремблирования выборками из вышеупомянутой длинной псевдослучайной последовательности. Ключ (маска) скремблирования индивидуален для каждой МС и формируется по секретному правилу на базе ее идентификационного номера.

Для систем с CDMA и, в частности, для CCMC IS-95 характерна определенная асимметрия линий «вниз» и «вверх»: в первой из них (от БС) все абонентские сигналы передаются из одной пространственной точки и потому могут быть легко синхронизированы (синхронный вариант CDMA). В направлении же от БС к ПС приходится применять асинхронное кодовое разделение. Отметим, что временные шкалы отдельных БС сети IS-95 также синхронизированы. Для этого каждая БС оборудована приемником радионавигационной системы GPS NAVSTAR. Благодаря единому системному времени кодовое разделение сигналов различных БС, занимающих один и тот же час-

тотный канал, осуществлено за счет применения различных сдвигов одной и той же короткой ПСП. Структурная схема базовой станции представлена на рисунке 2.31 [1].

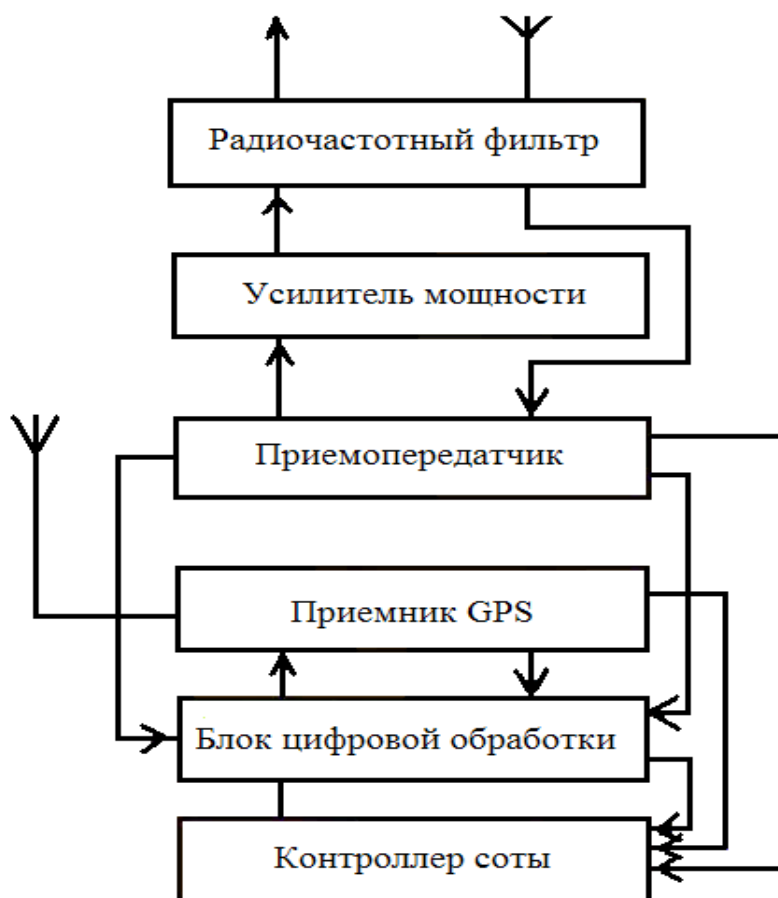


Рис. 2.31

Система CDMA фирмы Qualcomm рассчитана на работу в диапазоне 800 МГц. Система построена по методу прямого расширения спектра частот на основе 64 видов последовательностей, сформированных по закону функций Уолша. Для преобразования аналогового речевого сигнала в цифровой используется алгоритм CELP со скоростью преобразования 8000 бит/с (9600 бит/с в канале). Возможны режимы работы на скоростях 4800, 2400 и 1200 бит/с. В каналах системы CDMA применяются сверточное кодирование со скоростью 1/2 (в прямом канале) и 1/3 (в обратном канале), декодер Витерби с мягким решением, перемежение передаваемых сообщений. Общая полоса частот канала связи составляет 1,25 МГц. Основные характе-

ристики стандарта CDMA фирмы Qualcomm приведены в таблице 2.7 [1].

Таблица 2.7

**Основные технические характеристики стандарта CDMA**

Характеристики	Значение
Диапазон частот передачи MS	824,040–848,860 МГц
Диапазон частот передачи BTS	869,040–893,970 МГц
Относительная нестабильность несущей частоты BTS	$\pm 5 \cdot 10^{-8}$
Относительная нестабильность несущей частоты MS	$\pm 2,5 \cdot 10^{-6}$
Вид модуляции несущей частоты	QPSK (BTS), O-QPSK (MS)
Ширина спектра излучаемого сигнала: по уровню –3 дБ по уровню –40 дБ	1,25 МГц, 1,50 МГц
Метод расширения спектра	DSSS-CDMA
Тактовая частота ПСП	1,2288 МГц
Кол-во элементов в ПСП для BTS MS	32768 бит; $2^{42}-1$ бит
Кол-во каналов BTS на одной несущей частоте	1 пилот-канал, 1 канал сигнализации, 7 каналов перс. вызова, 55 каналов связи
Кол-во каналов MS	1 канал доступа, 1 канал связи
Скорость передачи данных: в канале синхронизации, в канале перс. вызова и доступа, в каналах связи	1200 бит/с; 9600, 4800 бит/с; 9600, 4800, 2400, 1200 бит/с
Кодирование в каналах передачи BTS (канал синх., перс. вызова, связи)	Сверточный код $R = 1/2$ , длина код. огр. $K = 9$
Кодирование в каналах передачи MS	Сверточный код $R = 1/3$ , $K = 9$ 64-ичное кодирование ортогональ- ными сигналами на основе ф-ций Уолша
Требуемое для приема отношение энер- гии бита информации к спектральной плотности шума ( $E_b/N_0$ )	6–7 дБ
Максимальная эффективная излучаемая мощность BTS	до 50 Вт

Характеристики	Значение
Максимальная эффективная излучаемая мощность MS: 1 класс, 2 класс, 3 класс	6,3 Вт; 2,5 Вт; 1,0 Вт
Точность управления мощностью передатчика MS	$\pm 0,5$ дБ

Современные сети, базирующиеся на стандарте IS-95, обеспечивают передачу сигнала со скоростью 9,6 кбит/с (с кодированием) и 14,4 кбит/с (без кодирования), тогда как исходные спецификации cdmaOne предполагали скорость передачи 8, 13 и 8 кбит/с EVRC (Enhanced Variable Rate Vocoder). В недавнем времени широко применялась версия стандарта IS-95A.

Версия IS-95B основана на объединении нескольких каналов CDMA, организуемых в прямом направлении (от базовой станции к мобильной). Скорость может увеличиваться до 28,8 кбит/с (при объединении двух каналов по 14,4 кбит/с) или до 115,2 кбит/с (8 каналов по 14,4 кбит/с).

Однако для того чтобы предоставлять услуги пакетной передачи, контроллер БС дооснащается маршрутизатором. В спецификациях стандарта предусмотрено качественное улучшение характеристик обслуживания за счет снижения потерь при переходе абонента от одной БС к другой, а также повышение точности контроля мощности до 0,25 дБ, организация каналов приоритетного доступа и другие усовершенствования.

В версии IS-95C модификации коснулись повышения частотной эффективности и увеличения емкости телефонной сети в два раза. Спецификациями предусматривается дополнительный канал с ортогональным сдвигом несущей, по которому может передаваться полный кодовый ансамбль сигналов (т. е. 64 кода Уолша), такой же, как и по синфазному каналу. Системы на базе IS-95C будут обратно совместимы с сетями на основе IS-95A и IS-95B и сохраняют прежнюю полосу частот – 1,25 МГц. По сравнению с предыдущими версиями скорость передачи в системе возрастет до 144 кбит/с, при этом сократится энергопотребление терминала.

В настоящее время на основе стандарта IS-95-HDR (High Data Rate), который был призван расширить возможности высокоско-

ростной ПД, разработан стандарт cdma2000 с более высокими скоростями передачи.

### 2.2.2. Принцип формирования логических каналов

С этой целью используются функции Адамара–Уолша. Набор функций Адамара–Уолша порядка  $2^i$  конструируется с помощью рекуррентного соотношения [1]:

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

где при  $i = 1$ :

$$W_2 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{vmatrix},$$

Для  $i = 2$

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

Число  $2^i$  называется порядком данного набора функций. Каждая функция Адамара–Уолша, т. е. одна из строк этой матрицы, – это функция дискретного времени. Иными словами, каждое значение функции 1 или  $-1$  действует (остается неизменным) в течение одного кванта времени длительностью  $T_c$ , причем значения следуют друг за другом в последовательности слева направо. Из сказанного следует, что каждый набор функций Адамара–Уолша определен на отрезке времени

$$T = M \times T_c,$$

где  $M$  – порядок набора функций.



Функции принято нумеровать в порядке сверху вниз, начиная с нуля, следовательно,  $W_M$  соответствует  $(i-1)$ -й строке сверху набора порядка  $M$ . Функции Адамара–Уолша в пределах данного набора взаимно ортогональны и ортонормированы, т. е.

$$\frac{1}{T} \int_0^T W_{M_i} W_{M_j} dt = \begin{cases} 0, & \text{при } i \neq j; \\ 1, & \text{при } i = j. \end{cases}$$

Последнее обстоятельство позволяет создавать отдельные каналы в пределах общей полосы частот, отведенной для базовой радиостанции.

Пусть  $b(t)$  – полезный сигнал, подлежащий передаче по одному из каналов. Образует произведение:

$$z(t) = b(t) \cdot W_{M_i}$$

и промодулируем функцией  $z(t)$  несущую частоту передатчика. Поскольку одно значение функции Адамара–Уолша действует в течение одного кванта времени  $T_c$ , то полоса частот, занимаемая при передаче последовательности  $z(t)$ , имеет порядок  $1/T_c$ , т. е. имеет ту же ширину, что и полоса частот, занимаемая ПСП.

На приемной стороне производится вычисление величины

$$b_{\text{пр}}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T z(t) W_{M_i} dt = \frac{1}{T} \int_0^T b(t) W_{M_i} W_{M_j} dt.$$

В общем случае значение интеграла в правой части определяется конкретным видом функции  $b(t)$ . И только в том случае, если значение  $b(t)$  остается неизменным (0 или 1) в течение всего интервала времени  $T$ , имеем

$$b_{\text{пр}}(t) = \frac{1}{T} b(t) \int_0^T W_{M_i} W_{M_j} dt = \begin{cases} 0, & \text{при } i = j; \\ b(t), & \text{при } i \neq j. \end{cases}$$

Таким образом, выполняется разделение каналов.

Заметим, что свойства функции Адамара–Уолша и ПСП существенно отличаются. Так, функции Адамара–Уолша с различными номерами взаимно ортогональны, т. е. интеграл от их произведения (называемый скалярным произведением) в точности равен нулю, а не малой величине. С другой стороны, функция Адамара–Уолша не является ПСП, и ее взаимно-корреляционная функция с ПСП может существенно отличаться от нуля. Причина этого в том, что функция Адамара–Уолша определена лишь на относительно малом отрезке времени  $T$ . Таким образом, видно, что функции Адамара–Уолша идеально подходят для разделения каналов, но не пригодны для улучшения соотношения сигнал/шум.

Ниже рассмотрено формирование логических каналов в прямой и обратной линиях связи.

### Линии прямой связи

В линии прямой связи одновременно имеется  $K$  каналов (канал с номером 0 отводится для пилотного канала), на вход каждого из них поступает свой полезный сигнал  $b_i(t)$  (рис. 2.32). Каждый из сигналов кодируется и умножается на одну из набора функций Адамара–Уолша. Затем результаты перемножения складываются, а далее результат сложения умножается на ПСП –  $PN$ . Результат этого перемножения поступает непосредственно на модулятор передатчика.

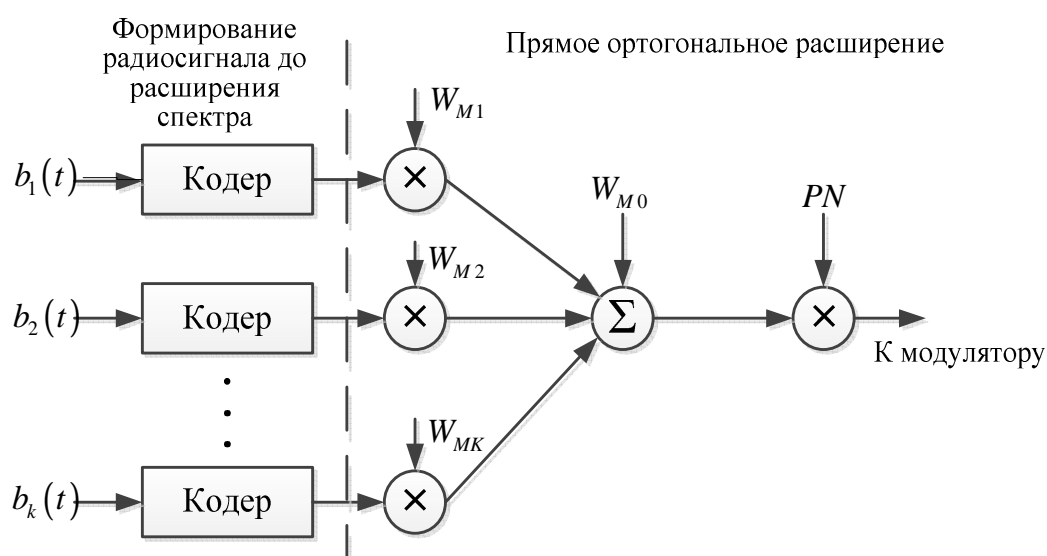


Рис. 2.32. Схема формирования логических каналов прямой линии связи

В приемнике сначала вычисляется взаимно корреляционная функция принятого сигнала с ПСП, в точности совпадающей с исходной ПСП –  $P_N$ . В результате принятый сигнал очищается от помех и из него выделяется сумма полезных сигналов, каждый из которых умножен на соответствующую функцию Адамара–Уолша. Для выделения полезного сигнала, соответствующего заданному каналу, вычисляется скалярное произведение, как это было показано ранее.

Количество одновременно передаваемых каналов  $K$  зависит от следующих характеристик линии:

скорости передачи информации  $V_{\text{прд}}$ ;

размерности временного кванта  $T_C$ .

Пусть  $V_{\text{прд}} = 19,2$  кбит/с, тогда длительность передачи одного бита полезного сигнала  $t_\zeta$  составит 52,083 мкс.

Тогда для  $T_C = 0,8138$  мкс получим

$$K = t_\zeta / T_C = 52,083 / 0,8138 = 64.$$

Поскольку передатчик базовой станции имеет относительно большую мощность, то он в некоторой мере может перекрыть среднюю мощность помех, поэтому на базовой станции используют короткие ПСП с периодом повторения примерно  $2^{15}$ .

### **Линии обратной связи**

*Организация обратной линии связи, т. е. от абонента к базовой станции.*

Здесь передача должна осуществляться лишь по одному каналу – каналу абонента. Следовательно, в этом случае нет необходимости в привлечении функций Уолша. Важным здесь является то, что каждому абоненту присваивается определенная ПСП, и именно по ней один абонент отличается от другого.

Так как мощность абонентской станции невелика, то для обеспечения заданной помехоустойчивости в линии обратной связи используют длинные ПСП с периодом повторения до  $2^{57}$ . Кроме того, увеличение периода ПСП повышает надежность различения абонентов.

Таким образом, системы с CDMA обладают следующими преимуществами:

возможностью использования всеми базовыми станциями региона одной несущей частоты и одной и той же, но сдвинутой во времени короткой ПСП, что особенно важно для мобильных телефонов;

высокой помехоустойчивостью из-за большой величины соотношения сигнал/шум, эта величина может управляться выбором длины ПСП;

канал связи не имеет жесткой привязки к абоненту, а предоставляется ему только на время соединения с другим абонентом. Предоставление канала абоненту производится путем назначения ему одной из набора функций Уолша.

Таким образом, на разделение пользователей в системе влияют многие факторы, некоторые из них представлены в таблице 2.8.

*Таблица 2.8*

**Параметры, влияющие на разделение пользователей**

Параметр	Назначение	Примечание
Частота	Разделение частотного спектра на несколько частотных каналов по 1,23 МГц	Прямой и обратный каналы разнесены на 45 МГц
Код Уолша	Разделение пользователей одной соты в прямом канале	Назначается базовой станцией, за исключением $WF_0$ и $WF_{32}$
Длинный код	Разделение пользователей одной соты в обратном канале	Зависит от времени и от идентификационного номера пользователя
Короткий код	Разделение базовых станций или секторов	БС различаются моментом начала синхронизации при формировании кода

### ***2.2.3. Формирование радиосигнала до процедур расширения спектра***

#### **Каналы трафика и управления**

В CDMA каналы для передачи от мобильной станции к базовой называются прямыми (Forward) [1]. Каналы для приема базовой станцией информации от мобильной называются обратными (Reverse).

Для обратного канала IS-95 определяет полосу частот от 824 до 849 МГц. Для прямого канала – 869–894 МГц. Прямой и обратный каналы разделены интервалом в 45 МГц. Пользовательские данные упакованы и передаются в канале со скоростью 1,2288 Мчип/с. Состав каналов в CDMA в стандарте IS-95 показан на рисунке 2.33. В IS-95 применяются различные типы модуляции для прямого и обратного каналов. В прямом канале базовая станция передает одновременно данные для всех пользователей, находящихся в соте, используя для разделения каналов различные коды для каждого пользователя. Также передается пилотный сигнал, он имеет больший уровень мощности, обеспечивая пользователям возможность синхронизировать частоты. В обратном направлении подвижные станции отвечают асинхронно (без пилотного сигнала), при этом уровень мощности, приходящий к базовой станции от каждой подвижной станции, одинаков. Такой режим возможен благодаря контролю мощности и управлению мощностью подвижных абонентов по служебному каналу.

### ***Прямые каналы***

Данные в прямом канале трафика группируются в кадр длительностью 20 мс. Пользовательские данные после предварительного кодирования и форматирования перемежаются с целью регулирования текущей скорости передачи данных, которая может изменяться. Затем спектр сигнала расширяется перемножением с одной из 64 псевдослучайных последовательностей (на основе функций Уолша) до значения 1,2288 Мбит/с. Каждому мобильному абоненту назначается ПСП, с помощью которого его данные будут отделены от данных других абонентов. Ортогональность ПСП достигается одновременной синхронной кодировкой всех каналов в соте (т. е. используемые в каждый момент времени фрагменты являются ортогональными). Как уже упоминалось, в системе передается пилотный сигнал (код) для того, чтобы мобильный терминал мог управлять характеристиками канала, принимать временные метки, обеспечивая фазовую синхронизацию для когерентного детектирования. Для глобальной синхронизации сети в системе применяются еще радиометки от GPS(Global Position System)-спутников.

## Состав прямых каналов

Пилотный канал (Pilot Channel) предназначен для установления начальной синхронизации, контроля уровня сигнала базовой станции по времени, частоте и фазе, идентификации базовой станции.

Канал синхронизации (SCH – Synchronizing Channel) обеспечивает поддержание уровня излучения пилотного сигнала, а также фазу псевдослучайной последовательности базовой станции. Канал синхронизации передает синхросигналы мобильным терминалам со скоростью 1200 Бод.

Широковещательный канал коротких сообщений, канал вызова (Paging Channel) используются для вызова подвижной станции. Количество каналов – до 7 на соту. После приема сигнала вызова мобильная станция передает сигнал подтверждения на базовую станцию. После этого по каналу широковещательного вызова на подвижную станцию передается информация об установлении соединения и назначении канала связи. Работает со скоростью 9600, 4800, 2400 Бод.

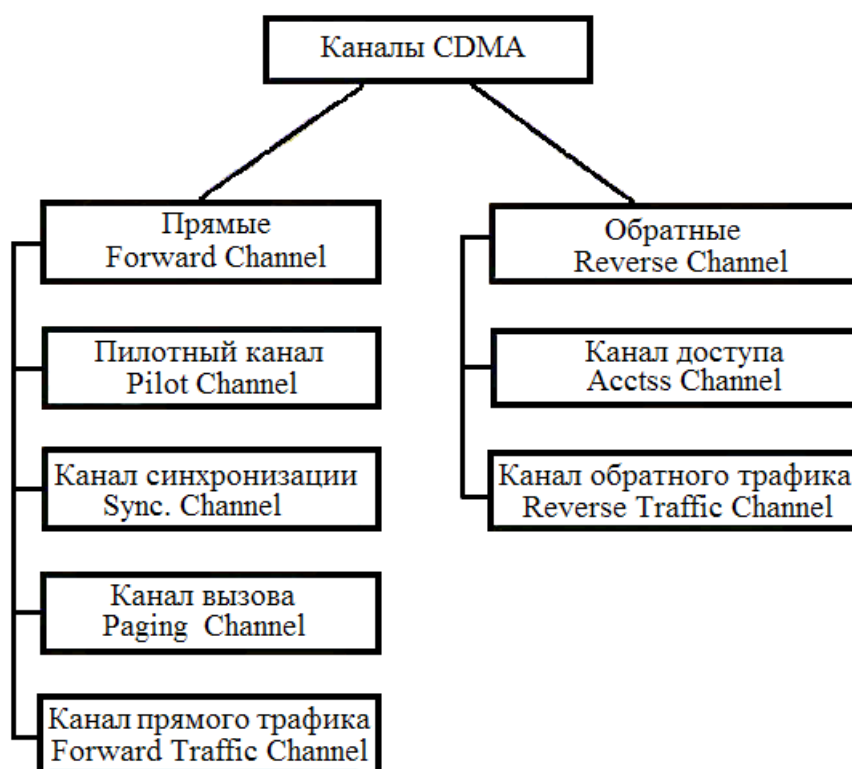


Рис. 2.33. Каналы трафика и управления системы CDMA

Канал прямого трафика (FTCH – Forward Traffic Channel) предназначен для передачи речевых сообщений и данных, а также управляющей информации с базовой станции на мобильную; передает любые пользовательские данные.

Для предоставления разных услуг связи в CDMA применяются два типа каналов. Первый из них называется основным, а второй – дополнительным. Услуги, предоставляемые через эту пару каналов, зависят от схемы организации связи. Каналы могут быть адаптированы для определенного вида обслуживания и работать с разными размерами кадра, используя любое значение скорости из двух скоростных рядов: RS-1 (1200, 2400, 4800 и 9600 бит/с) или RS-2 (1800, 3600, 7200 и 14400 бит/с). Определение и выбор скорости приема осуществляются автоматически.



Рис. 2.34. Структура прямых каналов

Каждому логическому каналу назначается свой код Уолша, как это указано на рисунке 2.34. Всего в одном физическом канале может быть 64 логических канала, т. к. последовательностей Уолша, которым в соответствие ставятся логические каналы, всего 64, и каждая из них имеет длину по 64 бита. Из всех 64 каналов: на 1-й канал назначается первый код Уолша (W0), которому соответствует пилотный канал; на следующий канал назначается тридцать второй код Уолша (W32), следующим семи каналам также назначаются свои последовательности Уолша (W1, W2, W3, W4, W5, W6, W7), которым соответствуют каналы вызова; 55 каналов предназначены для передачи данных по каналу прямого трафика.

## *Состав обратных каналов*

Канал доступа (ACH – Access Channel) обеспечивает связь подвижной станции с базовой, когда подвижная станция еще не использует канал трафика. Канал доступа применяется для установления вызовов и ответов на сообщения, передаваемые по каналу вызова (Paging Channel), команд и запросов на регистрацию в сети. Каналы доступа совмещаются (объединяются) с каналами вызова.

Канал обратного трафика (RTCH – Reverse Traffic Channel) обеспечивает передачу речевых сообщений и управляющей информации с мобильной станции на базовую.

В трактах передачи до процедур расширения спектра сигналы приводятся к принятой в пакетах передачи скорости, проходят процедуры помехоустойчивого кодирования и перемежения бит в пакете.

В базовой станции эти операции осуществляются в каждом из 64 прямых каналов передачи. При этом формируются каналы четырех типов с учетом их назначения: 55 прямых трафик-каналов *FTC* (Forward Traffic Channel); семь вызывных каналов *PgCh* (Paging Channel); один канал синхронизации *SyCh* (Synchronization Channel) и один канал единого времени *PICh* (Pilot Channel). В обслуживаемом БС абонентском терминале эти операции проводятся в каждом из двух каналов – обратном трафиковом канале (ТК) *RTC* (Reverse Traffic Channel) и канале доступа *AcCh* (Access Channel), причем работает один из них.

Основные процедуры преобразования сигналов в трактах передачи базовой станции и абонентского терминала названных каналов до расширения спектра показаны на рисунках 2.35 и 2.36 соответственно. Эти процедуры функционально хорошо известны, поэтому ограничимся их перечислением с упоминанием особенностей по типам каналов.

В прямых ТК *FTC* могут передаваться данные со скоростями 8,6 (в том числе данные речевого кодека), 4, 2 или 0,8 кбит/с в пакетах длительностью 20 мс с соответствующим числом бит в пакете (172, 80, 40 или 16). Сначала в пакеты с высокими скоростями вводятся биты индикатора типа кадра *F* (Frame Indicator) – 12 бит в пакет со скоростью 8,6 кбит/с и 8 бит в пакет со скоростью 4 кбит/с, в



результате чего их скорости возрастают соответственно до 9,2 и 4,4 кбит/с. Затем выполняется процедура введения 8 хвостовых бит  $T$  (нули) в каждый из передаваемых пакетов всех скоростей для выполнения в последующем процедуры сверточного кодирования с большой длиной кодового ограничения  $K$ . Скорости в пакетах возрастают соответственно до 9,6; 4,8; 2,4 и 1,2 кбит/с. На выходе сверточного кодера  $C$  ( $r = 1/2$  и  $\kappa = 9$ ) скорости в пакете становятся равными 19,2; 9,6; 4,8 и 2,4 кбит/с соответственно, а длина 20 мс пакетов составляет 384; 192; 96; 48 бит. После этого проводятся процедуры выравнивания скоростей путем кратного повторения  $R$  кодированных последовательностей в низкоскоростных пакетах (кратность повторов  $\times 1, \times 2, \times 4, \times 8$ ). Скорость на выходе блока  $R$  одина и равна 19,2 кбит/с. В завершение этих процедур осуществляется перемежение бит  $I$ . Таблицы перемежения приводятся для каждой из скоростей разные, так как при низких скоростях кодированные последовательности кратно повторяются, а при перемежении бит не должно быть их кодового сближения. После выполнения всех перечисленных процедур на выходе каждого из 55 каналов  $FTC$  имеется последовательность модулирующих символов со скоростью 19,2 кбит/с по 384 символа в пакете длительностью 20 мс [1].

В вызывных каналах  $PgCh$  передаются широкоэмитательные сообщения о состоянии сети, вызывные сообщения о заявках на соединения, сообщения подтверждения о регистрации, назначения ТК и т. п. Пакеты данных формируются непосредственно на БС с учетом процедур  $F$  и  $T$  и передаются со скоростью 9,6 или 4,8 кбит/с (192 или 96 бит в пакете длительностью 20 мс).

Далее проводятся названные ранее процедуры сверточного кодирования ( $r = 1/2, \kappa = 9$ ), приведения к единой скорости и перемежения. На выходе каждого из семи  $PgCh$  имеется последовательность модулирующих символов со скоростями 19,2 кбит/с по 384 символа в пакете длительностью 20 мс.

В синхроканал  $SyCh$  передается синхροинформация для обслуживаемых базовой станцией ПС. Пакеты синхроданных формируются непосредственно на БС с учетом процедур  $F$  и  $T$  и передаются со скоростью 1,2 кбит/с, но в пакетах другой длины – по 32 бита в пакетах длительностью 26,6(6) мс. На четыре пакета  $FTC$  и  $PgCh$  длительностью 20 мс приходится три пакета  $SyCh$ . После процедур сверточного кодирования, двукратного повтора и перемежения на выходе

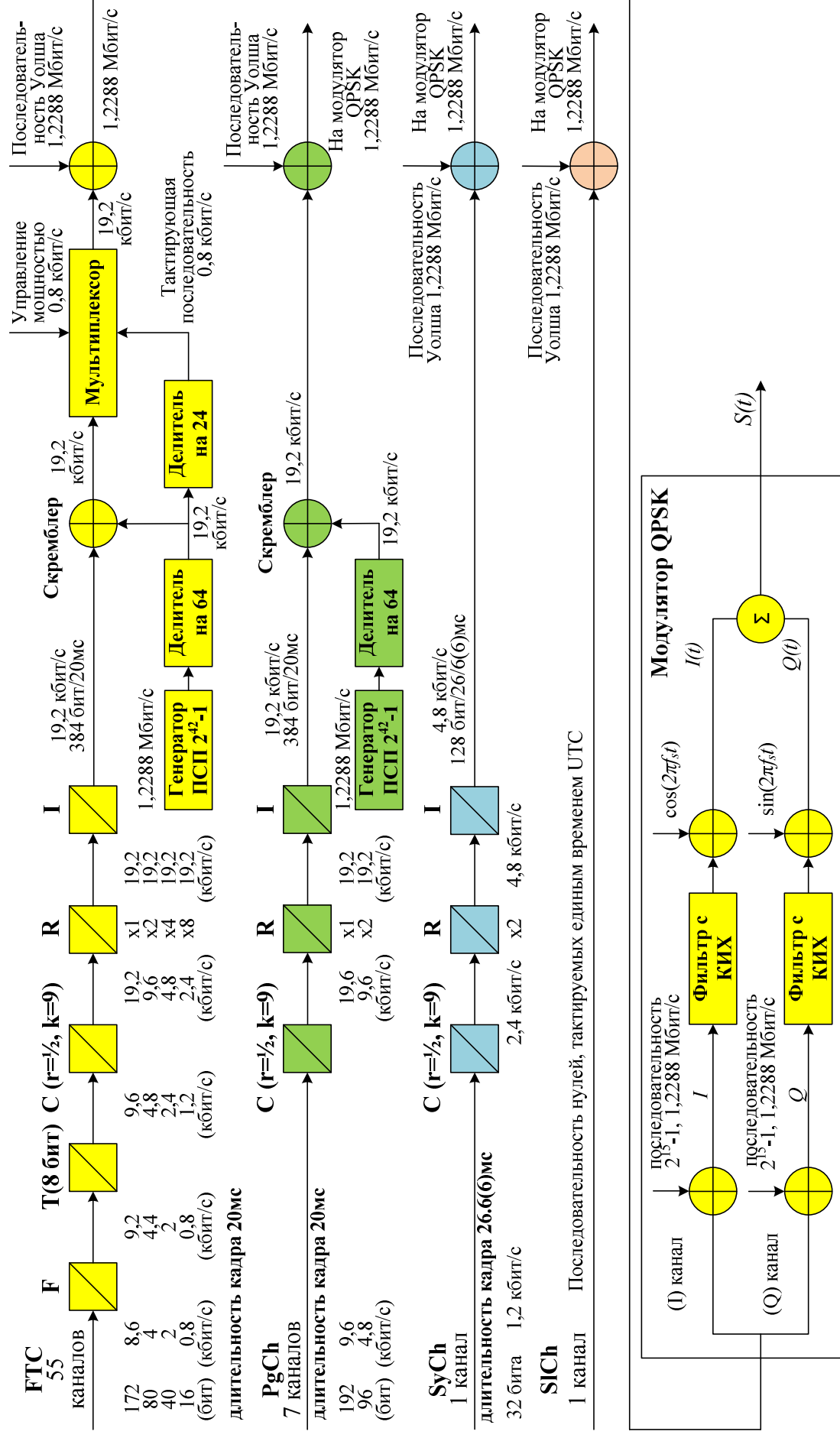


Рис. 2.35. Тракт формирования сигнала базовой станции

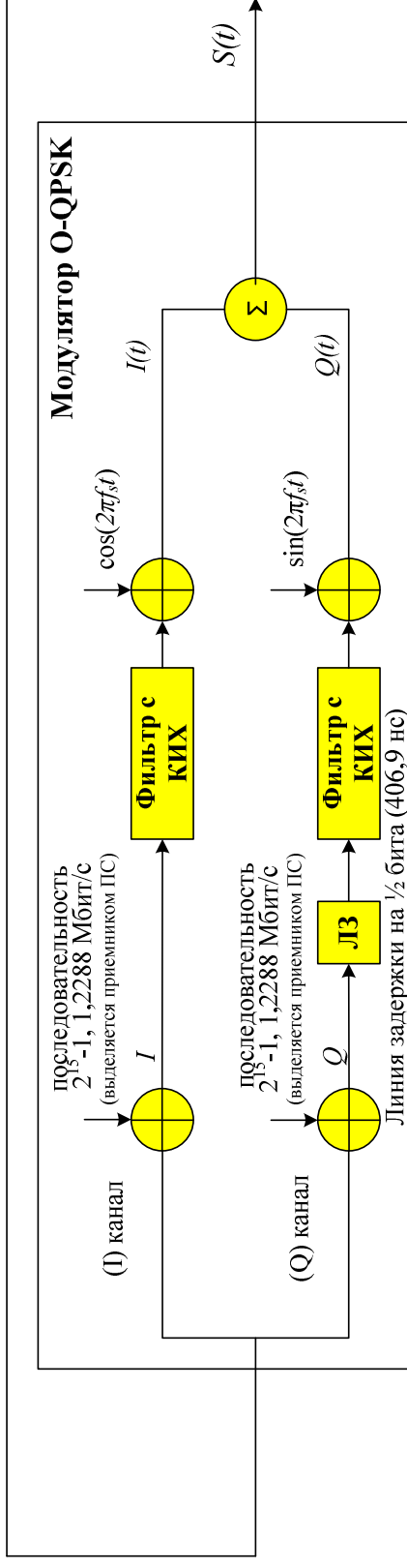
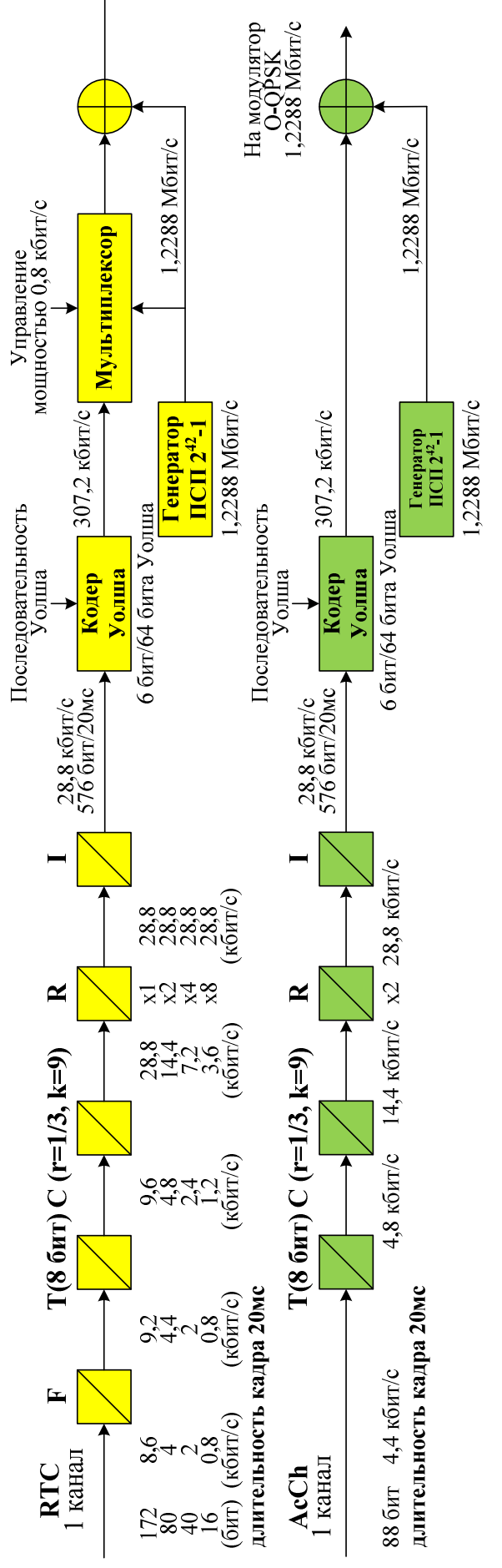


Рис. 2.36. Тракт формирования сигнала подвижной станции

канала получается кодированная последовательность модулирующих символов со скоростью 4,8 кбит/с по 128 символов в пакете длительностью 26,6(6) мс.

По пилот-каналу *PlCh* передает единое время БС в виде последовательности нулей, тактируемых единым временем UTC, получаемым БС (с учетом ее точной местопривязки) по NAVSTAR/GPS каждую четную секунду.

В ПС используется один канал *RTC* или один канал *AcCh*. Обратный ТК *RTC* формируется на основе тех же исходных скоростей и с теми же процедурами преобразования исходного сигнала *F*, *T*, *C*, *R*, *I*, что и в прямом канале *FTC*. Отличие заключается в сверточном кодировании, которое осуществляется со скоростью  $r = 1/3$  и длиной кодового ограничения  $\kappa = 9$ , в результате скорость в пакетах возрастает в три раза. После процедур приведения разноскоростных каналов к единой скорости *R* и перемежения / на выходе канала *RTC* имеется последовательность модулирующих символов со скоростью 28,8 кбит/с по 576 символов в пакете длительностью 20 мс.

Канал доступа *AcCh* размещается в любом свободном активном канале *RTC* (в БС предусмотрена возможность обслуживания до 32 *AcCh*), по которому передаются данные ПС при регистрации, аутентификации, запросе ТК и ответе на запросы вызывного канала БС. Блоки данных формируются в ПС с учетом процедуры *F* для скорости 4,4 кбит/с (88 бит в пакете длительностью 20 мс). После проведения тех же процедур *T*, *C*, *R* и *I*, что и в *RTC*, на выходе *AcCh* имеется последовательность модулирующих символов по 576 символов в пакете 20 мс, передаваемых со скоростью 28,8 кбит/с.

Таким образом, для образования высокоскоростных каналов с расширенным спектром на выходе узкополосных НЧ трактов передачи формируются:

- в БС – 62 канала ( $55 \text{ } FTC + 7 \text{ } PgCh$ ) со скоростью 19,2 кбит/с по 384 бита в пакете длительностью 20 мс; канал *SyCh* со скоростью 4,8 кбит/с по 128 бит в пакете длительностью 26,6(6) мс; канал *PlCh*, состоящий из последовательности нулей, тактируемых точным временем UTC каждую четную секунду;

- в абонентском терминале – один из двух каналов (*RTC* или *AcCh*) со скоростью 28,8 кбит/с по 576 бит в пакете длительностью 20 мс.

Сигналы, полученные вышеописанными способами, поступают в тракты прямого ортогонального расширения спектра.

#### **2.2.4. Формирование радиосигнала методом прямого ортогонального расширения спектра**

Принцип прямого ортогонального расширения спектра основывается на использовании псевдослучайных последовательностей, иначе М-последовательностей, или последовательностей Рида–Маллера.

Ниже рассмотрены основные процедуры, обеспечивающие расширения спектра сигнала и переход в высокоскоростной режим передачи с учетом особенностей каждого из рассмотренных каналов как БС, так и МС.

В трактах прямого ортогонального по множеству передаваемых сигналов расширения спектра скорость передачи увеличивается с единиц...десятков киლოსимволов в секунду до 1,2 мегачипов в секунду. Это увеличение скорости сопровождается введением в информационные потоки ортогональных последовательностей Уолша и временной синхронизацией последовательностей с точностью до долей чипа, что и позволяет достичь кодового уплотнения каналов. Кодовое уплотнение в базовой станции осуществляется аппаратно-программными средствами в сосредоточенной физической среде (одном устройстве). Кодовое уплотнение сигналов от рассредоточенных и перемещающихся абонентских терминалов осуществляется в точке приема – в приемной антенне базовой станции путем временного и энергетического управления моментами и мощностью излучения каждой абонентской станции, поэтому процедуры прямого расширения спектра в базовой станции и абонентских терминалах несколько отличаются.

На рисунке 2.37 рассмотренные процедуры показаны с учетом особенностей каждого из каналов передачи данных.

##### **Каналы базовой станции**

В каждом из четырех типов всех 64 каналов ( $55\text{ }FTC + 7P_gCh + 1S_yCh + 1P_lCh = 64Ch$ ) базовой станции конечная скорость после расширения спектра равна 1,2288 Мчип/с. Наиболее многоступенчатым здесь является процесс формирования высокоскоростного широкополосного сигнала в каждом из 55 каналов *FTC*.

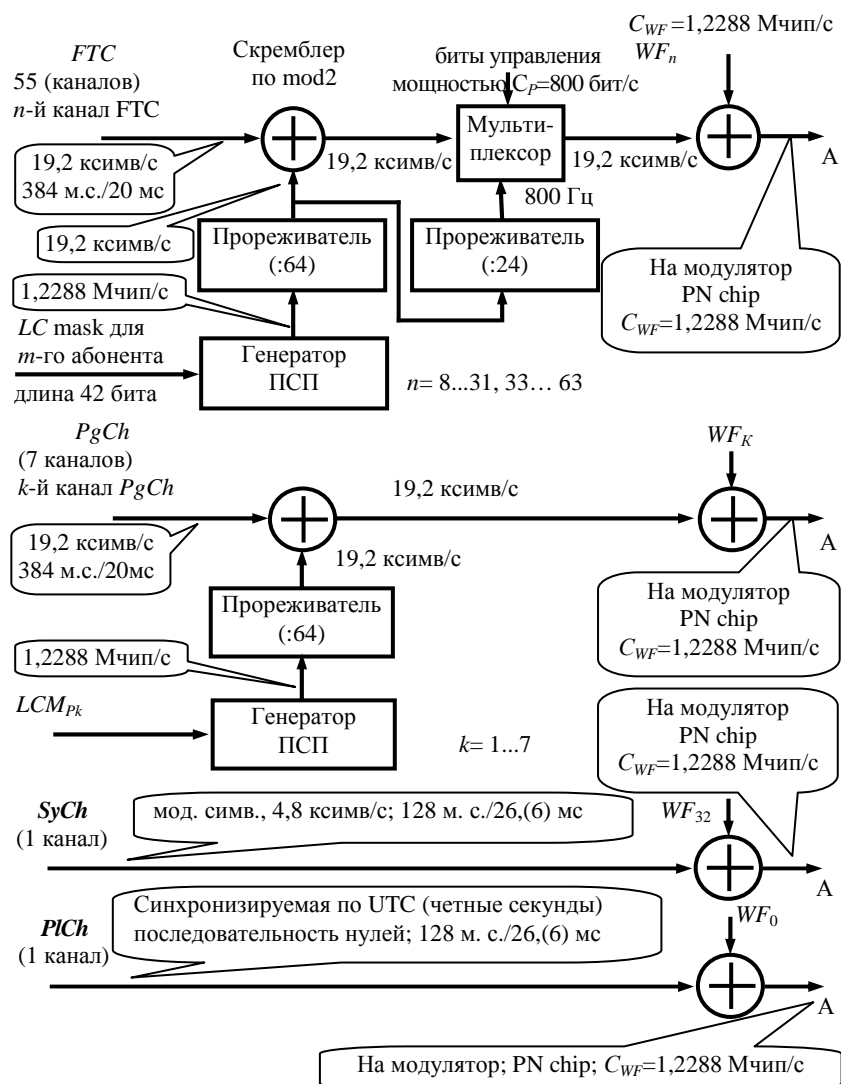


Рис. 2.37. Процедуры скремблирования и расширения спектра в каналах базовой станции

Первой осуществляется процедура скремблирования передаваемого со скоростью 19,2 ксимв/с (384 м.с./20 мс) информационного потока с помощью потока символов скремблера, передаваемых с той же скоростью (19,2 ксимв/с) (потоки складываются по mod 2). Однако скремблирующие потоки для каждого из 55 каналов  $FTC$  являются разными, что обеспечивается следующим образом.

Каждому каналу  $FTC$  задается своя длинная периодическая последовательность  $LCM_{Fn}$  (long code mask). Длина  $LCM_{Fn}$ -последовательности равна 42 битам, она включает в себя:

- фиксированную для всех каналов  $FTC$  преамбулу из 10 бит;
- уникальный идентификатор обслуживаемой абонентской станции, представляющий собой 32-битный серийный номер (ESN).

Эта исходная последовательность поступает на вход генератора длинных последовательностей  $LCG$  (long code generator) посредством линейной рекурсивной схемы, характеризуемой полиномом 42-й степени (разряда):

$$p(x) = x^{42} + x^{35} + x^{33} + x^{31} + x^{27} + x^{26} + x^{25} + x^{22} + x^{21} + x^{19} + \\ + x^{18} + x^{17} + x^{16} + x^{10} + x^7 + x^6 + x^5 + x^3 + x^2 + x^1.$$

Скорость генерации получающейся псевдослучайной последовательности (ПСП $_{LCG}$ )  $C_{LCG} = 1,2288$  Мчип/с, длина последовательности  $l_{LCG} = 42$  чипам, период  $\tau_{LCG} \approx 34,18$  мкс. Эта ПСП $_{LCG}$  поступает на вход устройства разрежения потока D (Decimator), которое выбирает из нее первый чип из каждых 64-х. Скорость разреженной ПСП $_{LCG}$  будет

$$C_{SCR} = C_{LCG}/64 = 19,2 \text{ ксимв/с},$$

она и служит скремблирующей ПСП. Взаимная синхронизация информационного и скремблирующего потоков осуществляется единым временем базовой станции.

Скремблированный поток со скоростью 19,2 ксимв/с поступает на вход мультиплексора (MUX), в котором часть символов скремблированного потока стирается, а на их место вводятся биты управления мощностью обслуживаемой абонентской станции. Формирование последовательности бит, управляющих мощностью передатчика абонентской станции, осуществляется с помощью потока управляющих бит (Power Control), имеющего скорость  $C_P = 800$  бит/с. Моменты их введения  $C_{SCR}$  в скремблированный поток на место стираемых символов определяются по самому скремблирующему потоку (скорость передачи 19,2 ксимв/с) путем его разрежения по специальному алгоритму. Средняя кратность разрежения  $k_P = 24$ , тогда

$$C_{SCR}/k_P = 19\,200/24 = 800 \text{ Гц}.$$

В результате на выходе мультиплексора скорость исходного потока символов остается прежней  $C_{SCR}^* = 19,2$  ксимв/с, однако он содержит в себе уже два различных по назначению потока:

поток скремблированных символов без части стертых;

поток бит управления мощностью передатчика обслуживаемой абонентской станции.

Средняя скорость следования этих бит – 800 бит/с.

Каждый бит второго потока изменяет мощность передатчика МС на 10 % («0» = +10 %, «1» = –10 %). Этим достигается непрерывное и точное выравнивание мощности передатчиков МС для выполнения условия кодового уплотнения в точке приема сигналов, поступающих на БС от множества разноудаленных и перемещающихся МС. Скремблированный и мультиплексированный поток канала FТС со скоростью 19,2 ксимв/с поступает на вход устройства прямого расширения спектра с использованием последовательности функций Уолша. В сети CDMA-800 используются последовательности Уолша (WF) длиной 64 бита.

Матрица состоит из  $M = 64$  строк WF, строки распределены следующим образом:

строка  $M_0 = WF_0$  – это последовательность, состоящая из 64 нулей. Она закреплена за пилот-сигналом единого времени канала *PlCh*. Последовательность тактируется точным временем UTC, координируемым системой GPS по точной местопривязке БС в каждую четную секунду;

строка  $M_{32} = WF_{32}$  закреплена за синхроканалом *SyCh*;

строки  $WF_1 \dots WF_7$  закреплены за поисковыми ( $p$ ) каналами *PgCh*;

строки  $WF_8 \dots WF_{31}$  и  $WF_{33} \dots WF_{63}$  закреплены за трафик-каналами ( $n$ ) FТС, если на вход кодера поступает 0, то строка используется без изменения ее вида, а если 1, то строка перед использованием трансформируется путем ее логического отрицания.

В устройстве расширения спектра  $n$ -го канала FТС происходит сложение высокоскоростного потока последовательности  $WF_n$ , передаваемой со скоростью  $C_{WF} = 1,2288$  Мчип/с и низкоскоростного потока скремблированной и мультиплексированной последовательности,  $C_{SKR}^* = 19,2$  ксимв/с. Соотношение скоростей



$$C_{WF}/C_{SKR}^* = 64,$$

что точно равно длине  $WF$ , т. е. каждый символ низкоскоростной и мультиплексированной последовательности  $n$ -го канала FТС передается (с учетом сложения по mod 2) одним периодом (64 чипа)  $WF_n$ . Скорость псевдослучайной последовательности на выходе (сечение А – вход модулятора)  $WF_n$  равна 1,2288 Мчип/с для каждого из 55 каналов FТС, а время привязано к единому для БС.

### Поисковые каналы

В поисковых каналах ( $p$ )  $PgCh$  процедуры расширения спектра проходят без мультиплексирования, так как нет необходимости в широкополосном канале.

Передаваемый поток канала  $PgCh$  со скоростью 19,2 ксимв/с (384 м. с./20 мс) поступает на вход скремблера. На его второй вход с той же скоростью поступает скремблирующий поток, который формируется по той же схеме, что и в канале FТС, но со следующими отличиями. Кодовая маска поискового канала  $LCM_{pp}$  имеет ту же периодичность 42 бита, но включает фиксированную для всех каналов  $PgCh$  преамбулу длиной 13 бит, а в служебной части содержит номер поискового канала  $p$   $PCN$  (3 бита) и индекс временного сдвига ПСП пилот-сигнала канала  $PlCh$  (9 бит), число сдвигов равно 512, остальные биты (17) заполнены нулями. Генератор  $LCG$  по той же рекурсивной схеме полинома 42-й степени (периода) генерирует ПСП с той же скоростью 1,2288 Мчип/с. Генерируемая ПСП разрезается в дециматоре  $D$  с той же кратностью 64, на вход скремблера подается скремблирующая ПСП со скоростью 19,2 ксимв/с. Синхронизация информационного и скремблирующего потоков осуществляется единым временем базовой станции.

Медленная (скорость 19,2 ксимв/с) скремблированная ПСП подается на вход устройства расширения спектра, на второй вход которого поступает высокоскоростная последовательность  $WF_p$ ,  $p = 1...7$  (1,2288 Мчип/с). Каждый символ информационной ПСП  $p$ -го канала  $PgCh$  передается (с учетом сложения по mod 2) одним периодом (64 чипа)  $WF_p$ . Скорость ПСП на выходе (сечение А –

вход модулятора) PN Chip равна 1,2288 Мчип/с для каждого из 7 каналов *PgCh*, а время привязано к единому для данной БС.

### **Канал синхронизации *SyCh***

В канале синхронизации *SyCh* прямое расширение спектра осуществляется без выполнения процедуры скремблирования. Низкоскоростной синхросток со скоростью 4,8 ксимв/с (128 м. с./26,(6) мс) поступает на первый вход устройства расширения спектра. На второй вход данного устройства поступает высокоскоростной поток (скорость 1,2288 Мчип/с) последовательности  $WF_{32}$  длиной (периодом) 64 чипа. При таком соотношении скоростей  $1\,228\,800/4800 = 4 \times 64$  каждый символ синхросигнала передается четырьмя периодами (четырекратно)  $WF_{32}$ , а время (в сечении А) привязано к единому для данной БС с некоторым начальным сдвигом.

### **Пилот-канал *PlCh***

В типовой схеме генерируется последовательность нулей (как входящий поток символов, так и высокоскоростной поток  $WF_0$  содержат только нули). Наиболее важными здесь являются:

процедура синхронизации потока нулей точным временем *UTC* каждую четную секунду;

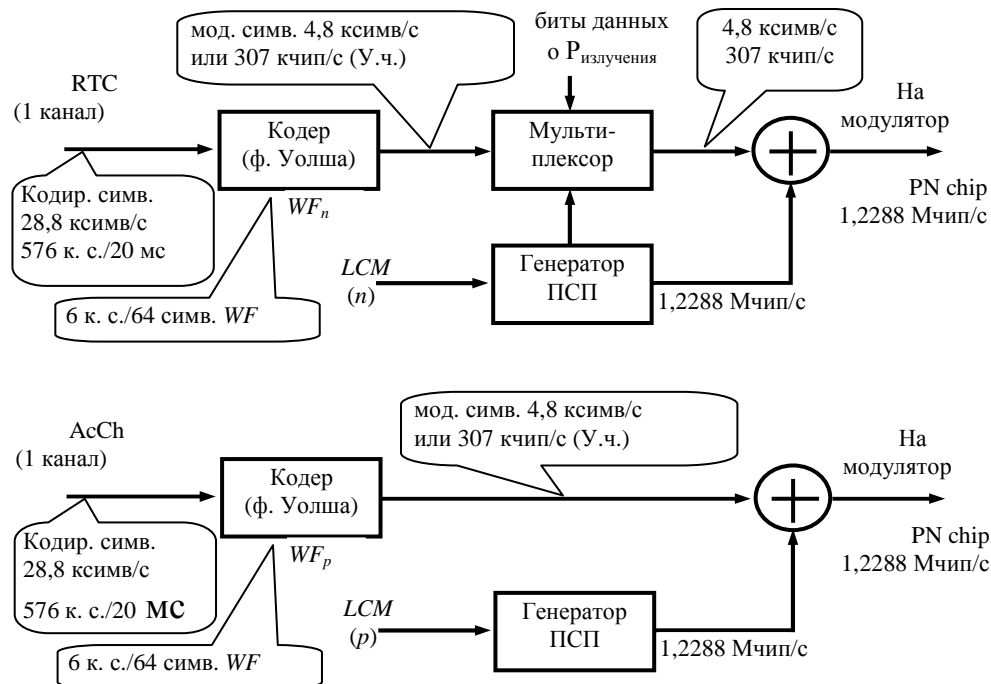
процедура привязки временного сдвига ПСП канала *SyCh* пилот-сигнала Pil PN set offset для каждой БС индивидуально.

В системе предусмотрено до 512 разных интервалов этого сдвига. Значение сдвига для канала *SyCh* вводится в тракте квадратурной модуляции несущей передатчика БС, а номер сдвига передается в широкополосном поисковом канале ( $LCM_{pp}$ ) и синхроканале *SyCh*. Именно канал *PlCh* синхронизирует все процессы пуска и сложения последовательностей всех 64 каналов на выходе трактов передачи.

### **Каналы абонентского терминала**

В абонентской станции поочередно (в симплекс-режиме) может быть включен только один из двух каналов: трафик-канал *RTC*

или канал доступа *AcCh*. Процедура расширения спектра в этих каналах показана на рисунке 2.38.



Каналы *RTC* и *AcCh* поступают каждый на свой модулятор. Одновременно работает один из каналов (симплексный режим)

Рис. 2.38. Процедуры скремблирования и расширения спектра в каналах мобильной станции

## Каналы *RTC*

Первой процедурой является кодирование с помощью функции Уолша, выделенной для данного канала *RTC* ( $n$ ). С этой целью каждые очередные 6 ( $c_0 \dots c_5$ ) символов входной последовательности  $n$ -го канала *RTC* со скоростью 28,8 ксимв/с (кодовых символов канала *RTC* при 576 к. с. / 20 мс) кодируются 64-битной последовательностью Уолша данного канала  $WF_n$  по уравнению

$$C_{MC} = C_0 + 2C_1 + 4C_2 + 8C_3 + 16C_4 + 32C_5,$$

в результате информационная скорость модулирующих символов, несущих информацию, понижается в шесть раз и составляет

$28,8/6 = 4,8$  ксимв/с (модулирующие символы), а скорость передачи Уолш-чипов (УЧ) возрастает до  $(28,800/6) \times 64 = 307,2$  кчип/с (УЧ), т. е. в 10, (6) раза. В пакете длительностью 20 мс содержится 6144 чипа. Сформированную таким образом последовательность чипов можно условно назвать ПСП $_{R_n}$   $n$ -го канала  $RTC$ . Она поступает на блок введения дополнительных данных по текущему уровню (мощности) передачи. Эти данные по специальному алгоритму вводятся в чиповый поток путем стирания части символов и размещения их на месте бит данных об излучаемой мощности для оценки характера текущего регулирования на базовой станции, т. е. выработки бит управления мощностью. Для этого в  $n$ -м канале  $RTC$  от  $LCG$ , формируемой так же, как и для  $n$ -го канала  $FTC$ , берется определенная по специальной маске в 14 чипов часть генерируемой последовательности, которая указывает место стираемых чипов, а вместо них вставляются биты текущего значения уровня передачи (frame data rate). В результате этой процедуры своеобразного мультиплексирования скорость не меняется (4,8 ксимв/с (м. с.) или 307 кчип/с (УЧ)), в составе передаваемого потока содержится информационное сообщение канала  $RTC$  и биты информации о текущем уровне передачи.

Процедура расширения спектра в канале  $RTC$  происходит иначе, чем в канале  $FTC$ . В  $n$ -м канале  $RTC$  используются те же, что и в  $FTC$ , кодовая маска  $LCM_{F_n} = LCM_{R_n}$  и генератор последовательности  $LCG_{F_n} = LCG_{R_n}$ . Однако генерируемая ПСП  $LCG_{R_n}$  используется не для скремблирования, как  $LCG_{F_n}$ , а для непосредственного расширения спектра. В этом случае сформированная с использованием 64-битной строки  $WF_n$  информационная последовательность со скоростью 307 кчип/с (УЧ) перемножается по mod 2 с последовательностью  $LCG_{R_n}$ , содержащей уникальный идентификатор абонентского терминала  $ESN$  и имеющей скорость 1,2288 Мчип/с. Кратность складываемых скоростей равна 4, что соответствует минимальному блоку одинаковых чипов любой из генерируемых строк  $WF_n$ . Скорость ПСП на выходе составляет 1,2288 Мчип/с, синхронизация ее во времени (моменты излучения ПСП) задается БС по каналам синхронизации и единого времени в зависимости от удаления обслуживаемой АС. Вхождение в эти каналы осуществляется в период уста-

новления связи по каналу  $PgCh$  или каналу  $AcCh$  либо при передаче управления по каналу  $FTC$  с одной базовой станции на другую.

В  $q$ -м канале доступа  $AcCh$ , в отличие от канала  $RTC$ , не проводится специального мультиплексирования (биты уровня передачи не передаются). Кодирование с помощью функции Уолша, выделенной для  $q$ -го канала  $AcCh$ , производится по той же схеме, что и в канале  $RTC$ , с использованием такого же уравнения кодирования модуляционных символов. Информационная скорость на выходе кодера понижается в 6 раз с 28,8 до 4,8 ксимв/с (м. с.), а скорость передачи Уолш-чипов возрастает в 10,(6) раза, т. е. до 307,2 кчип/с. Этот поток символов подается на первый вход устройства расширения спектра. На второй вход данного устройства поступает ПСП с выхода генератора последовательности со скоростью 1,2288 Мчип/с. Генератор синхронизируется маской  $LCM_{A_q}$ , которая отличается от маски ка-

нала поиска  $LCM_{pq}$  следующими элементами:

фиксированной преамбулой (длина 10 бит);

наличием информации о номере канала доступа ( $ACN$  – 5 бит), номере пейджингового канала ( $PCN$  – 3 бита), идентификаторе BS (Base ID – 16 бит) и номере сдвига пилот-канала Pil PN Seg. Offet (Pilot PN – 9 бит), полученных от контрольного приема сигналов BS.

Сформированная на выходе последовательность имеет скорость 1,2288 Мчип/с, синхронизация осуществляется по каналам управления от БС. В процессе обмена сообщениями по каналам поиска (БС) и доступа (АС) производится регистрация АС, ее аутентификация и назначение в случае необходимости трафик-канала. Следует напомнить, что в АС канал доступа ( $AcCh$ ) и трафик-канал ( $RTC$ ) работают в симплекс-режиме, т. е. при инициировании вызова начинает работать вызывной канал, а затем после назначения включается трафик-канал  $RTC$ .

### **2.2.5. Квадратурная модуляция несущей частоты широкополосным сигналом**

После процедуры прямого ортогонального расширения спектра передаваемый сигнал каждого кодового канала проходит процедуры квадратурного  $I/Q$  преобразования и фазовой модуляции несущих,

парное сложение которых и образует излучаемый радиосигнал класса *QPSK*. Радиосигналы всех каналов складываются на антенном разъеме с высокой точностью (относительная задержка по времени  $\leq \pm 50$  мкс, расхождение несущих по фазе  $< 0,05$  радиана – между Pil Chan и любым CDMA Chan). Скорость временной коррекции составляет до  $1/8 P_n \text{ chip}$  (101,725 нс) за 200 мс (в дуплексном канале движущегося объекта). В процессе квадратурного *I/Q*-преобразования в синхроканал вносится индивидуальный начальный временной сдвиг, позволяющий идентифицировать данную БС (см. рис. 2.39).

Квадратурное *I/Q*-преобразование производится с использованием периодических последовательностей 15-го порядка на основе следующих полиномов (линейных рекурсивных последовательностей):

$$P_I(x) = x^{15} + x^{13} + x^9 + x^8 + x^7 + x^5 + 1,$$

$$P_Q(x) = x^{15} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + 1.$$

Каждая такая последовательность имеет  $2^{15} = 32\,768$  модификаций (значений) чипов, что при скорости передачи 1,2288 Мчип/с составит  $\Delta t_{WF} = 26, (6)$  мс, т. е. ровно один фрейм *SyCh*. Эта последовательность и называется pil PN seq. За тактируемый интервал в две секунды генерируется 75 таких пилотных последовательностей *I* и *Q* каналов.

Единичный временной сдвиг в канале *SyCh* определен равным длине ортогональной последовательности функции Уолша, в данной системе это составляет 64 чипа, т. е. при скорости 1,2288 Мчип/с это равно  $\Delta t_{WF} = 52,08(3)$  мкс. Вся последовательность  $2^{15}$  имеет 512 ортогональных длин Уолша, т. е.  $\Delta t / \Delta t_{WF} = 512$  единичных временных сдвигов. Таким образом, если в широкополосном канале БС  $j$  записан индекс сдвига pil PN seq, равный  $q$  (например 15), то это означает, что данная БС  $j$  имеет временной сдвиг канала синхронизации  $\Delta t_i = q \times \Delta t_{WF} = 15 \times 52,08(3) = 78,125$  мкс или  $15 \times 64 = 960$  чипов от момента начала тактирования последовательностей.

Двухсекундные. За 2 секунды проходит  
(четные метки) 25 суперфреймов по 80 мс

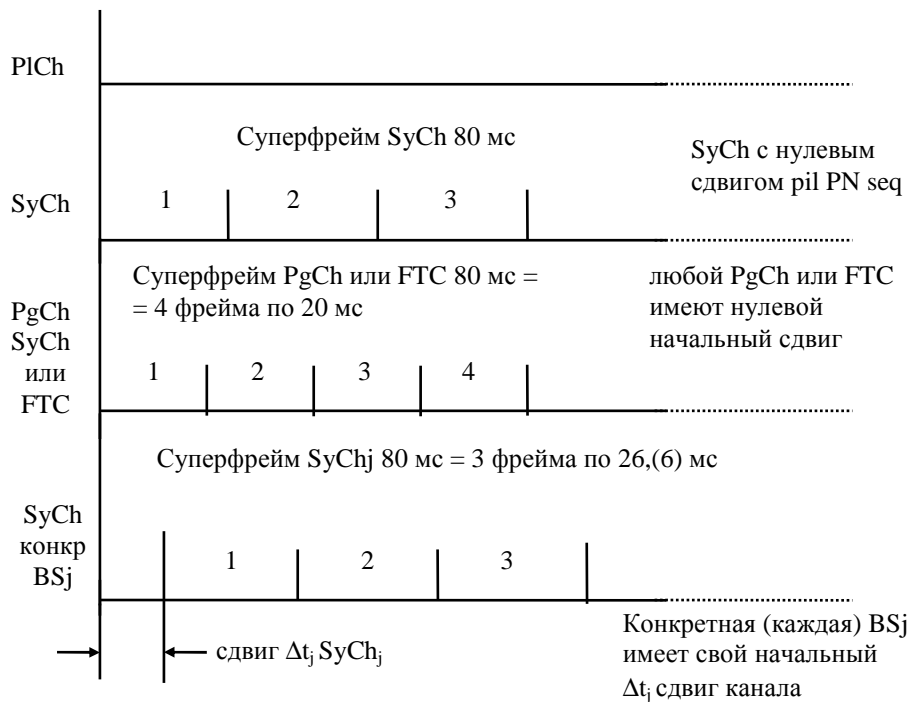


Рис. 2.39. Временная синхронизация каналов базовой станции

Поисковый ( $PgCh$ ) и трафик ( $FTC$ ) каналы БС имеют нулевой временной сдвиг к единому времени данной БС. Расхождение времени ( $UTC$ ) разных БС системы не превышает  $\pm 3$  мкс, что учитывается при поддержании канала в момент передачи управления другой БС при хэндовере.

В каждом кодируемом канале БС ( $55FTC + 7PgCh + 1SyCh + 1PlCh = 64Ch$ ) квадратурное  $I/Q$ -преобразование и фазовая модуляция осуществляются по одинаковой схеме (см. рис. 2.40, 2.41). На вход тракта квадратурного  $I/Q$ -преобразования и модуляции поступает ПСП кодированного канала передачи – PN chip со скоростью 1,2288 Мчип/с. Эта ПСП подается на  $I$  и  $Q$  сумматоры (mod 2). На другие входы сумматоров поступают квадратурные последовательности:  $I$ -chan pil PN seq ( $P_I(x)$ ) и  $Q$ -chan pil PN seq ( $P_Q(x)$ ) с теми же скоростями – 1,2288 Мчип/с. Во всех каналах (за исключением канала  $SyCh$ ) квадратурные последовательности имеют нулевой начальный сдвиг относительно единого времени данной БС<sub>j</sub> (в канале  $SyCh$  сдвиг является индивидуальным  $\Delta t_j$ ). Сложение (mod 2)

информационной ПСП и  $I$ -ch и  $Q$ -ch последовательностей образует квадратурные ПСП  $I$  и  $Q$ , которые проходят через цифровые фильтры с конечной импульсной характеристикой (Base Band Filter) и поступают на модуляторы несущей. Образующиеся в результате квадратурные радиосигналы складываются в сумматоре, давая на выходе  $QPSK$  радиосигнал  $S(t)$ . Кодовая таблица и векторная диаграмма сигнала приведены в правой части рисунка 3.10, б, в.

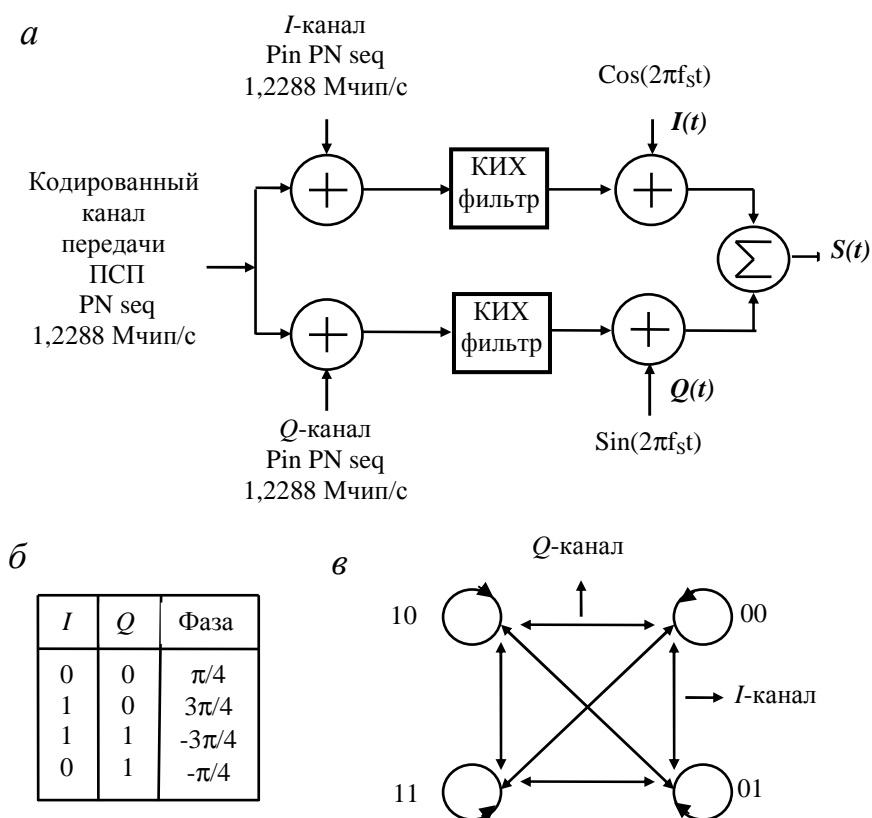


Рис. 2.40. Квадратурная модуляция несущей широкополосным сигналом в базовой станции:

$a$  – схема модулятора;  
 $б$  – таблица значений фазы;  
 $в$  – векторная диаграмма фазовых переходов

Хотя в абонентском терминале схемотехнические тракты квадратурного  $I/Q$ -преобразования и фазовой модуляции мало отличаются от рассмотренных в БС, отличия по существу являются значительными (см. рис. 3.11,  $a$ ). Прежде всего  $I/Q$ -последовательности в АС не генерируются, а выделяются приемником АС из передаваемых БС сигналов. АС принимает и выделяет  $I$ -chan и  $Q$ -chan pil PN seq,



выравнивает их по времени и использует для квадратурного преобразования. Таким образом, на входы квадратурных сумматоров (mod 2) поступает ПСП кодированного канала передачи PN chip со скоростью 1,2288 Мчип/с и принятые квадратурные последовательности *I*-chan seq и *Q*-chan seq с теми же скоростями. После сумматора на выходе канала *Q* вводится задержка на 1/2 PN чипа (406,9 нс), в результате характер модулированного сигнала несколько меняется. На рисунке 3.11, б, в показаны кодовая таблица и векторная диаграмма результирующего радиосигнала *QPSK* (типа  $\pi/4$  *QPSK*).

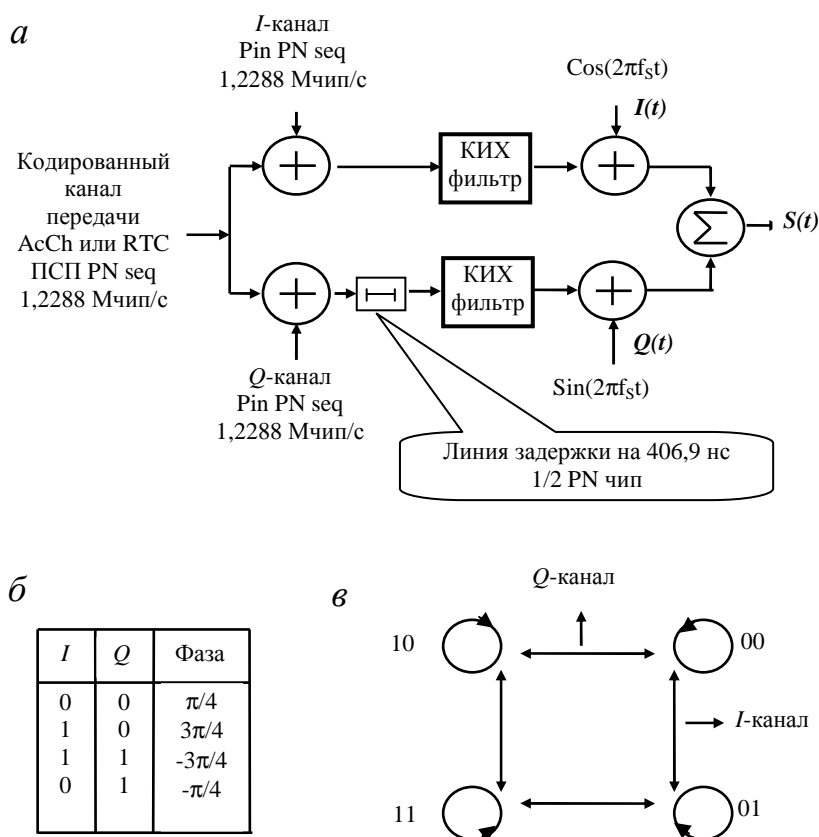


Рис. 2.41. Квадратурная модуляция несущей широкополосным сигналом в мобильной станции:

*а* – схема модулятора;  
*б* – таблица значений фазы;  
*в* – векторная диаграмма фазовых переходов

Передаваемый радиосигнал имеет задержку по единому времени БС, которая отслеживается приемником БС по каждому субканалу. С учетом этой задержки проводятся прием и обработка принима-

емого сигнала на фоне других сигналов со случайной задержкой по отношению к данному. На рисунке 2.42 показана примерная схема вхождения в единое время системы (обслуживания данной БС одной из множества АС). Тактируемое начало очередного двухсекундного интервала отслеживается по длинным последовательностям нулей, передаваемым по каналам  $I$  и  $Q$  pil PN seq (пятнадцать нулей), после чего дается старт отсчета (с «1»).

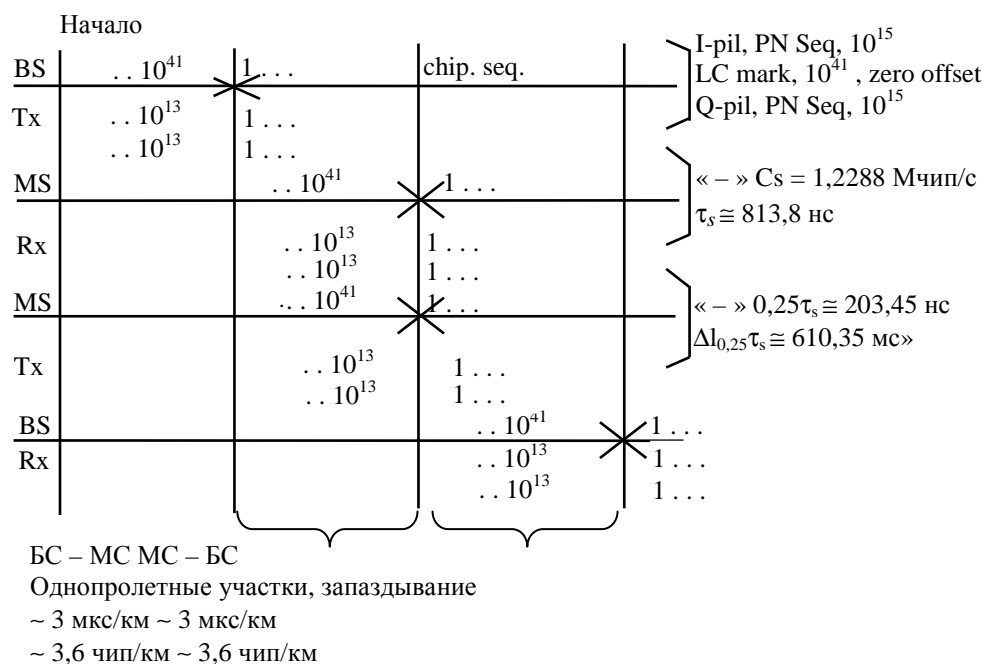


Рис. 2.42. Схема вхождения системы в единое время

Передаваемый БС сигнал является синхронным для множества (до 64) передаваемых в режиме CDMA сигналов. Прием на БС сигналов от множества АС осуществляется в асинхронном режиме (по совокупности всех сигналов АС), но синхронно (точное измерение задержки) по каждому из каналов. Такой прием эффективен в условиях примерного равенства энергетики передаваемых сигналов, поэтому в каждом из активных терминалов БС регулирует мощность излучения каждой АС в процессе обслуживания каналов вызова и трафик-каналов. Для повышения помехоустойчивости приема при высокой загрузке каналов передачи, больших дальностях, сложных условиях многолучевости на БС предусмотрены режимы разнесенного приема (2 и 3 ветви разнесения при соответствующем увеличении количества комплектов антенно-приемных трактов).

## 2.3. Стандарт микросотовой подвижной радиосвязи DECT

Первые трубки и базовые станции DECT поступили на рынок летом 1993 года, GAP-совместимое оборудование DECT появилось в продаже весной 1996 года. Продажи DECT изделий составили 0,5 млн в 1994 г., 1,5 млн в 1995 г., 5 млн в 1996 г., а в 1999 г. – 20 млн единиц оборудования. По данным DECT-форума количество пользователей в 1999 году превысило 45 млн, а в 2000 году оно достигнет 75 млн. Количество различных продуктов на рынке достигло в 1999 г. 200 и непрерывно увеличивается. Такой успех стандарта DECT на мировом рынке обеспечил ряд его преимуществ перед другими стандартами подвижной связи, уже отмеченных ранее, но весьма важным при этом является гибкость DECT в отношении реализации конкретных приложений. Это позволяет поддерживать с помощью DECT-технологии различные виды услуг [9].

### 2.3.1. Обобщенная архитектура систем DECT

DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*) представляет собой цифровую технологию радиодоступа в телефонные сети общего пользования ТФОП. В силу своего постоянного развития и эволюции в настоящее время DECT используется и в ряде специфических применений, связанных, прежде всего, с передачей данных.

Основные технические характеристики системы, определенные стандартами DECT, представлены в таблице 2.9 [9].

Таблица 2.9

Основные технические характеристики системы DECT

Характеристика	Значение
Основной частотный диапазон	1880–1900 МГц
Количество частотных каналов	10
Ширина канала	1,728 МГц
Длительность TDMA-кадра	10 мс
Длительность TDMA-слота	0,417 мс
Число слотов в кадре	24 (12 дуплексных каналов)
Общее число каналов	120
Общая скорость передачи	1152 кбит/с

Характеристика	Значение
Кодирование речи	32 кбит/с АДКИМ (ADPCM)
Модуляция	GFSK (BT = 0,5)
Скорость перемещения абонента	До 30 км/ч
Типовая чувствительность приемного устройства	–86 дБм
Выходная мощность передающего устройства (сред./пиков.)	10/250 мВт
Радиус зоны обслуживания переносного устройства	50–300 м
Радиус зоны обслуживания стационарного устройства	До 5 км

В технологии DECT применяется метод радиодоступа (*radio access method*) с использованием нескольких несущих, принципа множественного доступа с разделением времени и дуплекса с разделением по времени (*Multi Carrier, Time Division Multiple Access, Time Division Duplex, MC/TDMA/TDD*). Реализуемая наряду с этим методом возможность постоянного динамического выбора (*Dynamic Channel Selection*) и выделения канала позволяет создавать пикосотовые системы большой емкости и использовать их в сильно перегруженной и даже враждебной радиосреде. Эти методы позволяют предоставлять пользователям высококачественные услуги без необходимости осуществлять частотное планирование разворачиваемых DECT-систем. В системах эффективно применяется выделенный радиоспектр, даже в том случае, когда несколько операторов и несколько приложений работают на одной территории и в одном и том же частотном диапазоне.

**Основные принципы** [9], заложенные в стандарт DECT и обеспечившие ему последующую популярность, были разработаны с целью достижения следующих результатов:

- устойчивость функционирования даже в агрессивных радиосредах;
- динамическое назначение ширины используемой полосы частот;
- самоорганизация сетей, позволяющая не заниматься их частотным планированием;
- мобильность абонента в пределах сети;
- гибкая, надежная идентификация и адресация;
- качество передачи речи, сравнимое с качеством, обеспечиваемым в системах проводной телефонии;
- возможность осуществления шифрования передаваемых сообщений;

- высокие достижимые скорости передачи данных, достигающие до 2 Мбит/с;

- средства обнаружения и исправления ошибок типа CRC, ARQ и FEC, обеспечивающие высокую надежность и безопасность передачи данных;

- возможность использования для передачи речи, данных и мультимедиа в частных, деловых и публичных секторах связи;

- работа пикосотовых сетей с возможностью роуминга и высокой плотностью пользователей, достигающей 10 000 абонентов на квадратный километр.

Основная задача систем DECT, как и любой другой **системы связи с подвижными объектами (ССПО)**, – предоставление услуг связи пользователю с поддержкой его мобильности.

Технология DECT предназначена для использования в различных приложениях: от простых беспроводных домашних телефонов до микросотовых сетей общего пользования. Как правило, системы подвижной связи имеют каноническую, достаточно жестко конфигурированную структуру, определяемую соответствующими нормативными документами. Например, в сотовых системах GSM базовая приемопередающая станция BTS всегда соединена с контроллером базовой станции, BTS связан с мобильным центром коммутации MSC и так далее. Системы же DECT в зависимости от реализуемого приложения могут быть сконфигурированы различным образом. Разработчикам оборудования следует лишь придерживаться прописанных в стандарте параметров радиointерфейса и принципов его организации в системе.

На рисунке 2.43 приведена обобщенная структура системы DECT. Беспроводная система DECT связывается с другими сетями, например, с телефонной сетью общего пользования через блок межсетевого взаимодействия **IWU (*Interworking Unit*)**. Этот блок, не являющийся частью основного стандарта, выполняет функции межсетевого взаимодействия. Для сопряжения с сетями различного типа, например PSTN, ISDN, GSM, применяются различные IWU [9].

В оборудовании системы DECT можно выделить две части: портативную **PP (*Portable Part*)** и стационарную **FP (*FixedPart*)**. По сути дела, эти части являются более общим представлением базовой станции или базового блока и портативного или абонентского устройства. Стандарт DECT непосредственно распространяется только на стационарные **PT** и портативные окончания **FT**, связанные радиointерфейсом.

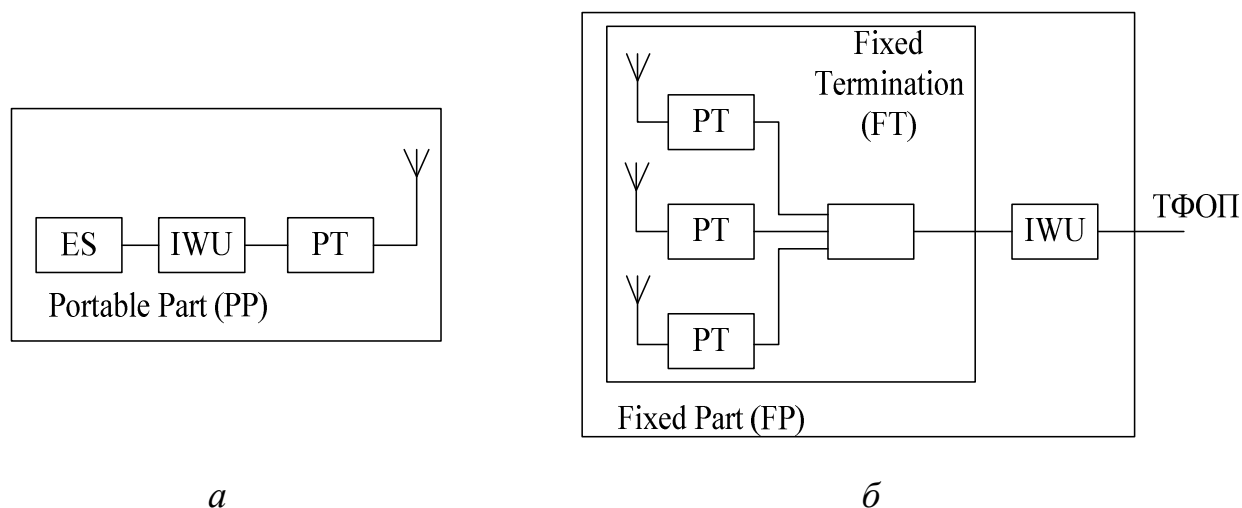


Рис. 2.43. Обобщенная структура системы DECT

**Стационарная часть FP** включает в себя стационарное окончание **FT** и обычно интерфейс для сети связи. В простых случаях DECT FP – это только базовая станция. Стационарное окончание **FT** – определенная стандартом DECT часть базовой станции. Другими словами, в нее не входят сеть и интерфейс сети, которые превращают DECT-систему в полностью рабочую сеть связи.

Конкретная физическая реализация стационарной части **FP** (*Fixed Part*) зависит от реализуемого приложения стандарта. В простейшем случае это может быть автономный базовый блок для домашнего применения, в других, более сложных приложениях – это частная беспроводная **АТС (PABX)** или даже целая микросотовая сеть общего доступа. Стационарная часть может содержать несколько стационарных окончаний **FT** (*Fixed Termination*), каждое стационарное окончание обеспечивает все функции беспроводной системы и может иметь несколько стационарных радиочастей **RFP** (*Radio Fixed Part*), например соты или базовые станции, и каждая RFP может содержать несколько оконечных радиоточек (*Radio End Point*), то есть приемопередатчиков [9].

**Портативная часть PP** включает в себя портативное окончание **PT** (*Portable Termination*) и портативное приложение **PA** (*Portable Application*) или конечную систему **ES** (*End System*). Портативное окончание обеспечивает все функции беспроводного доступа, а портативное приложение – все другие необходимые функции на портативной стороне. **Портативное окончание PT** – это опреде-

ленный DECT-компонент, в который не входит пользовательский интерфейс (*user interface*) – клавиатура, дисплей, микрофон, динамик и зуммер, превращающий DECT РТ в полный рабочий терминал связи (*communications terminal*). Наиболее распространенная реализация **РР** – обычная беспроводная телефонная трубка. Примером более сложного **РР** устройства являются, например, встраиваемые DECT-модули, используемые для беспроводного соединения офисных устройств между собой в пикосети [9].

Параметры приемопередатчиков, применяемые в системах DECT, позволяют организовывать зоны обслуживания или соты, размеры которых составляют 10–30 м в зданиях и достигают 300 м на открытом пространстве. Данные значения дают возможность отнести эти системы к пикосотовым, хотя наиболее часто системы DECT называют **микросотовыми**. При использовании направленных антенн, т. е. организации вытянутой соты, дальность связи между двумя оконечными точками может быть увеличена до нескольких километров.

Простейшие домашние системы с одной стационарной частью, называемой в этом случае обычно базовым блоком, являются односотовыми. В более сложных системах DECT применяется многосотовая, или просто сотовая, структура. Абонент может находиться в зоне одновременного действия нескольких систем связи, например DECT и GSM, т. е. внутри сот различного размера. При этом он сам выбирает предпочитаемую систему, заранее приобретая необходимые для работы в ней абонентские устройства. В настоящее время широкое распространение получают многостандартные АУ, позволяющие пользователю выбирать ту систему связи, в которой предоставляются более качественные или более дешевые услуги. При выборе системы происходит, как правило, переключение обслуживания со сменой соты.

В одной соте системы связи может быть обслужено одновременно только определенное количество абонентов. Существенно увеличить емкость соты, то есть возможность обслужить одновременно большее количество абонентов, можно, организовав в местах нахождения наибольшего количества абонентов дополнительные маленькие микросоты. Для этого там устанавливаются небольшие дешевые дополнительные базовые станции. Если система связи обнаруживает, что абонент оказался в зоне обслуживания микросоты,

происходит его переключение на обслуживание в маленькой микросоте. Переключение происходит очень быстро и незаметно для абонента, при этом в большой макросоте освобождается место для обслуживания абонентов, находящихся на значительном расстоянии от БС. Структура такой сети, в которой используются соты различных размеров, называется иерархической.

Идеальная модель соты выглядит как правильный шестиугольник. Реальный рельеф местности сильно искажает форму сот, заслоняя отдельные участки поверхности, уменьшая уровень принимаемого сигнала. Да и расстановку БС приходится производить с учетом реального рельефа местности так, чтобы исключить наличие зон, где будет отсутствовать уверенный прием сигнала от какой-либо БС. Особенно много таких объектов, усложняющих картину реального покрытия, следует учитывать при развертывании систем в помещениях.

Развертывание оборудования DECT является достаточно простым, так как при этом необходимо учитывать только требования к покрытию и трафику. Для оценки напряженности абонентского трафика применяются комплексные показатели, учитывающие ширину используемого частотного диапазона и площадь покрытия. **Емкость** систем DECT выше, чем у других цифровых систем мобильной связи. При высокой плотности установки базовых станций DECT можно довести значения емкости трафика приблизительно до 10 000 Эрланг/км<sup>2</sup>/этаж или 500 Эрланг/МГц/км<sup>2</sup>. Для систем связи на основе стандартов GSM 900 этот показатель составляет 10 Эрланг/МГц/км<sup>2</sup>. Механизм динамического выбора и выделения канала DECT исключает необходимость частотного планирования системы.

### ***2.3.2. Классификация систем DECT***

DECT представляет собой технологию радиодоступа, конкретная же реализация структуры приложения, технические аспекты выполнения оборудования зависят от возможностей фирм-производителей и потребностей рынка. Спецификации DECT, разработанные ETSI, определяют широкий диапазон потенциальных приложений, что и делает стандарт DECT очень мощным.

Вариант классификации систем стандарта DECT представлен на рисунке 2.44 [9].





Рис. 2.44. Вариант классификации систем стандарта DECT

Основная часть предлагаемого на рынке DECT оборудования – это домашние и бизнес-системы. Большинство ведущих фирм-производителей стремятся освоить этот рынок.

Дальнейшее развитие стандарта DECT будет диктоваться спросом на новые виды услуг, необходимостью дальнейшего усовершенствования связи. Развитие DECT, связанное с появлением новых приложений, приводит к дополнениям существующей базы стандартов и появлению новых профилей стандарта.

### Домашние системы

Структура домашней системы DECT представлена на рисунке 2.45 [9].

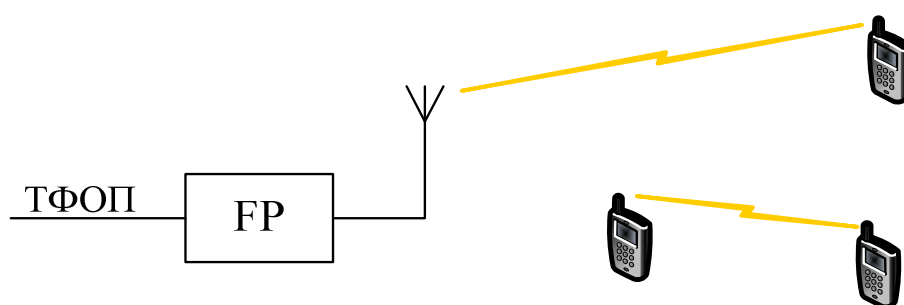


Рис. 2.45. Структура домашней системы DECT

Домашний телефон (*Residential Telephones*) – это, как правило, односотовая DECT-система для домашнего использования, в которой применяется одна или несколько абонентских трубок, между которыми возможна бесшнуровая бесплатная связь. Зона обслуживания

зависит от локальных условий и составляет в помещениях около 50 м, вне помещений – 300 м. Домашний односотовый бесшнуровой телефон (*cordless phones*) DECT обеспечивает значительно лучшее качество речи, предлагает большее количество услуг и защищенность информации, чем бесшнуровые телефоны предыдущих поколений.

Такие системы могут предоставлять пользователям бесплатную связь при разговоре между собой с использованием одного базового блока **БР** и нескольких трубок (обычно четырех-шести). При необходимости домашняя DECT-система может быть без труда расширена путем приобретения и подключения дополнительных трубок. Бесшнуровой телефон DECT может быть легко трансформирован в домашнюю или малую офисную АТС простым добавлением дополнительных трубок.

Все эти особенности DECT-систем делают их весьма удобными для использования в качестве домашних телефонных систем.

### Бизнес-системы

Структура бизнес-системы DECT представлена на рисунке 2.46 [9].

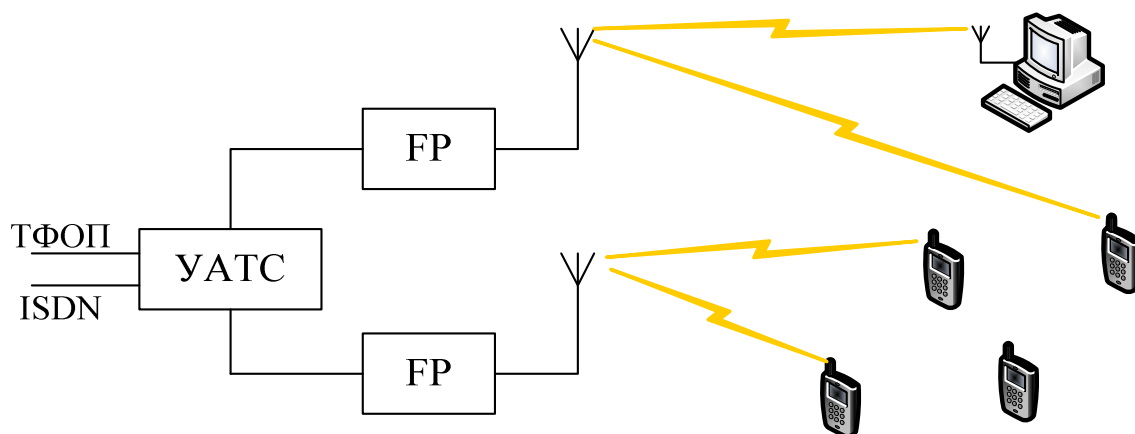


Рис. 2.46. Структура бизнес-системы DECT

Бизнес-системы (*business applications*) DECT обеспечивают бесшнуровую связь абонентов непосредственно с ТФОП или через УАТС. Подобно домашней системе, телефонная система для малого бизнеса (*Telephone Systems for Small Businesses*) может иметь в небольшом офисе или предприятии лишь один базовый радиоблок –

базовую станцию. Потенциально один приемопередатчик базовой станции мог бы поддерживать до 12 одновременных дуплексных разговоров по 12 телефонным линиям. Приемопередатчик может быть более простым и дешевым, поддерживая только шесть портативных устройств, что является обычно вполне достаточным.

В сфере большого бизнеса покрытия, обеспечиваемого одиночной базовой станцией, то есть односотовой системой, просто недостаточно. С помощью многосотовых систем бесшнуровой связи DECT, называемых большими бизнес-системами (*Large Business Telephone Systems*), можно установить мобильную связь для большого числа абонентов, обслужить значительную по территории зону или предоставить связь группам абонентов, расположенным в нескольких различных местах. Это делает возможным применение систем DECT в качестве бизнес-систем в условиях большого офиса или производства. Механизмы динамического выбора канала и хенд-овера в DECT обеспечивают эффективность и надежность систем, развертываемых как внутри помещений, так и снаружи, для больших офисов и промышленных предприятий с количеством пользователей 4000–5000. Эти механизмы поддерживают функционирование таких бизнес-систем даже в том случае, если несколько DECT-систем развернуто на одной территории.

### Системы абонентского радиодоступа

Структура системы абонентского радиодоступа стандарта DECT представлена на рисунке 2.47 [9].

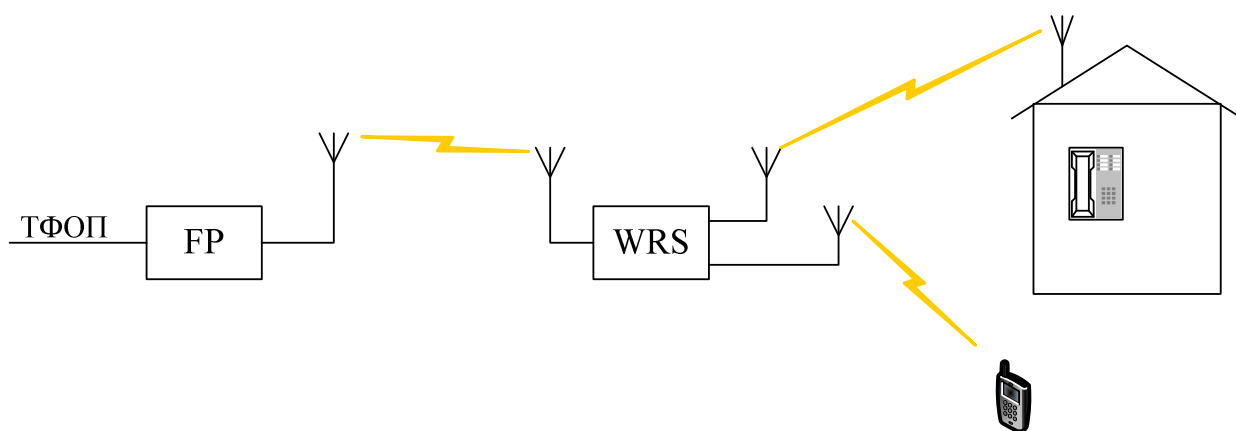


Рис. 2.47. Структура системы абонентского радиодоступа стандарта DECT

Такие системы, называемые WLL (*Wireless Local Loop*) или RLL (*Radio Local Loop*), используются для быстрого беспроводного подключения абонента или группы абонентов к телефонной сети общего пользования в местах, где не развиты кабельные линии, или в местности с малой плотностью абонентов, когда прокладка кабелей экономически нецелесообразна или физически невозможна.

Услуги связи предоставляются абоненту через стандартную телефонную розетку на беспроводном терминальном адаптере СТА (*Cordless Terminal Adapter*), к которой подключается телефонный аппарат. СТА, устанавливаемый у абонента, по сути дела, является фиксированным вариантом носимой части и использует радиоканал для соединения со стационарной частью DECT, которая подключена непосредственно к сети общего пользования. Для организации радиоканала, как правило, необходимы наружные направленные антенны, при этом обеспечивается дальность действия до 5 км, а в некоторых случаях ее можно увеличить для передачи речи и доступа в Internet вплоть до 15 км и даже до 25 км. Применение радиорелейной станции **WRS** (*Wireless Relay Station*) в дополнение к этому еще увеличивает дальность действия системы. **WRS** может быть оснащена одной антенной, направленной на стационарную часть, и одной всенаправленной антенной для предоставления доступа к сети общего пользования пользователям, находящимся на удаленных территориях. С помощью WRS могут быть устранены разрывы в покрытии, обусловленные различного рода препятствиями и рельефом местности.

Фиксированный радиодоступ DECT WLL предоставляет экономичное средство установления конечного звена связи (последней мили) в сети общего пользования. С помощью технологии DECT WLL операторы сетей могут обслуживать своих клиентов, осуществив относительно незначительные финансовые вложения по сравнению с затратами, необходимыми при использовании других технологий доступа.

Во всем мире запущено в эксплуатацию большое количество систем фиксированного доступа на основе DECT. Темпы их роста указывают на то, что данные системы могут стать преобладающим приложением DECT, а технология DECT является наиболее распространенной на рынке WLL.

## Микросотовые системы общего доступа

Структура микросотовой системы общего доступа стандарта DECT представлена на рисунке 2.48 [9].

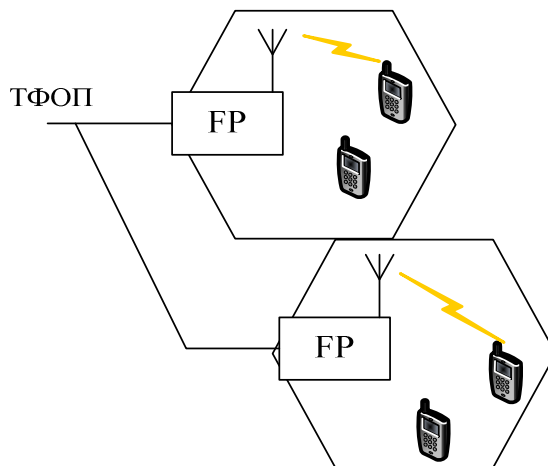


Рис. 2.48. Структура микросотовой системы общего доступа стандарта DECT

Важным приложением DECT являются системы общего пользования (*Public Telecommunications Applications*) и, в частности, микросотовые системы общего доступа СТМ (*Cordless Terminal Mobility*), развертываемые в местах значительного сосредоточения абонентов. Микросотовые системы общего пользования СТМ позволяют обслуживать подвижных абонентов, перемещающихся с небольшой (до 30 км/ч) скоростью. Оборудование DECT может эффективно удовлетворить нужды в услугах бесшнуровой связи, создавая среду общего доступа там, где возникает такая необходимость, например, в аэропортах, гостиницах, торговых центрах, на железнодорожных станциях. Это позволяет применять одну и ту же трубку дома, на работе и на улице, прописывая ее в этих системах. При этом возможен роуминг с использованием одного и того же номера. Когда носимое абонентское устройство размещается в доме или офисе, оно связано со стационарной сетью через частную базовую станцию (*private base station*) и работает как нормальный бесшнуровой телефон. Размещаясь в среде общего доступа, носимое устройство связывается со стационарной сетью через стационарные радиочасти общего доступа (*Public Radio Fixed Parts*).

В течение ряда последних лет производители DECT получили значительные заказы на публичные системы DECT для пешеходов. Опытные инсталляции осуществляются в настоящее время в нескольких странах, демонстрируя устойчивую работу, а в ряде стран (Италия, Венгрия, Германия, Испания, Швеция, Швейцария, Великобритания, Финляндия) такие системы уже запущены в опытную или коммерческую эксплуатацию. Это ускоряет создание и развитие инфраструктур DECT, базовых станций и трубок, специально разработанных для микросотовых систем общего доступа.

### 2.3.3. Архитектура протокола стандарта DECT

Структура DECT стандартов ETS основана на принципах взаимодействия открытых систем **OSI** (*Open Systems Interconnection*), используемых в семиуровневой модели Международной организации по стандартизации ISO. Полный общий интерфейс CI (*Common Interface*) соответствует трем нижним уровням OSI-модели, но стандарт DECT определяет четыре уровня протокола. Эти нижние уровни отличаются от модели OSI, потому что в модели взаимодействия открытых систем не трактуется использование радиопередачи в физическом уровне PHL или концепция эстафетной передачи (хенд-вера).

Четырехуровневая структура применяется для протоколов сигнализации (*signalling protocol*), как показано на рисунке 2.49 [9].

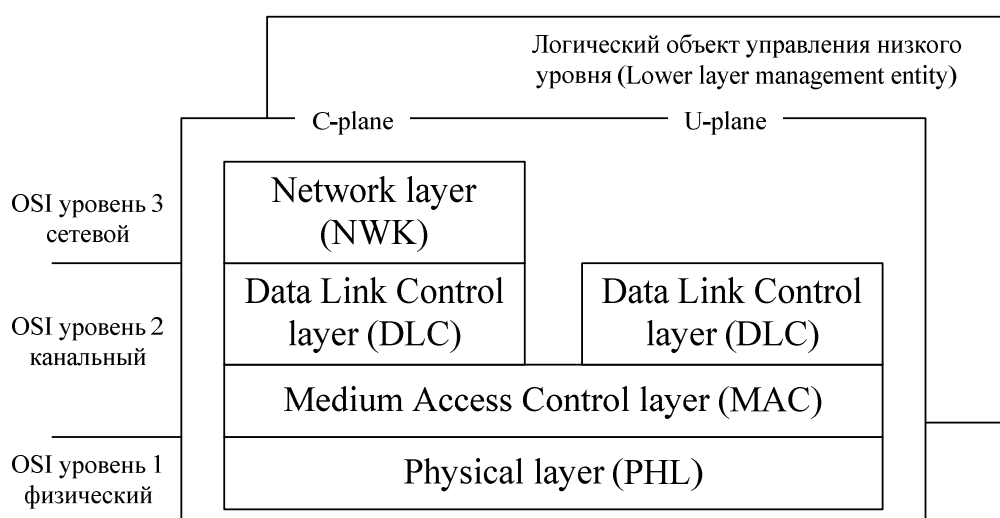


Рис. 2.49. Уровневая архитектура протокола DECT

Верхняя часть уровня *NWK* соответствует верхней части уровня 3 OSI. Промежуточные границы не имеют эквивалента в модели OSI, но для легкости понимания ниже дано приблизительное соответствие:

- OSI уровень 1: соответствует всему уровню *PHL* плюс часть уровня *MAC*;
- OSI уровень 2: большая часть уровня *MAC* плюс весь *DLC*;
- OSI уровень 3: весь *NWK* уровень.

Уровни не обязательно должны иметь какой-либо физический эквивалент. Они используются как метод описания и определения внешних требований интерфейса. В частности, каждый уровень готовит и форматирует сообщения сигнализации для равного (такого же) уровня в носимом устройстве или базовой станции. Например, протокол уровня *PHL* носимого устройства готовит и передает сообщения, которые понятны протоколу уровня *PHL* базовой станции.

Интерфейс между уровнями определен в терминах примитивов (*primitives*). Примитивы не имеют какого-либо физического значения, их используют только для обеспечения формального метода описания того, как уровни взаимодействуют друг с другом и, таким образом, того, как будет происходить передача сигналов по эфирному интерфейсу.

### **Физический уровень *PHL***

В физическом уровне *PHL* (*Physical layer*) радиоспектр делится на физические каналы (*physical channel*). Это деление происходит в двух фиксированных измерениях: частоте и времени [9].

### **MAC-уровень**

На уровне доступа к среде *MAC* (*Medium Access Control*), во-первых, должны быть установлены соединения, затем они обеспечивают передачу данных, иногда с управлением потоком данных и/или защитой от ошибок; наконец, соединения освобождаются, когда они больше не нужны. Соединения всегда используют этот трехфазный процесс. *MAC*-уровень выполняет две основных функции. Во-первых, он выбирает физические каналы и затем устанавливает (*establishes*) и освобождает (*releases*) соединения на этих каналах. Во-вторых, он мультиплексирует и демультиплексирует информацию

управления совместно с информацией более высокого уровня и информацией контроля ошибок в слотовые пакеты. Эти функции необходимы, чтобы обеспечить три независимых услуги: вещательное обслуживание (*broadcast service*), обслуживание с установкой соединения (*connection oriented service*) и обслуживание без установления логического соединения (*connectionless service*).

При вещательном обслуживании всегда происходит передача в каждой соте даже в отсутствие трафика пользователя, по крайней мере, по одному физическому каналу. Эти передачи «маяка» («*beacon transmission*») позволяют портативной части **PP** быстро идентифицировать все фиксированные **FP**, находящиеся в зоне приема, выбрать одну и синхронизироваться с ней без необходимости производить какие-либо передачи **PP** [9].

### **DLC-уровень**

Уровень управления передачей данных **DLC** (*Data Link Control*) имеет отношение к обеспечению надежных каналов связи для **NWK**-уровня. Многие недостатки радиопередачи удаляются работой **MAC**-уровня. **DLC**-уровень предназначен, чтобы совместно с **MAC**-уровнем обеспечить большую целостность данных, чем это достигалась бы только **MAC**-уровнем.

Уровневая DECT-модель разделяется в уровне **DLC** на два плана (уровня) функционирования (*plane of operation*): С-план, или план управления (*C-plane, control plane*), и U-план (уровень), или пользовательский (*U-plane, user plane*).

План С является общим для всех приложений и обеспечивает надежные соединения для передачи сигнализации внутреннего управления и ограниченных количеств трафика пользовательской информации. Полный контроль ошибок осуществляется протоколом доступа к связи **LAPC** (*Link Access Protocol*).

План U обеспечивает семейство альтернативных услуг, где каждое обслуживание оптимизировано для частных нужд специфического типа услуг. Самая простая услуга – это прозрачное незащищенное обслуживание, используемое для передачи речи. Другие услуги поддерживают режим коммутации и пакетный режим передачи данных с изменяющимися уровнями защиты.



## Сетевой уровень NWK

Сетевой уровень **NWK** (*Network*) является основным уровнем передачи сигналов протокола. Он функционирует, используя обмен сообщениями между равноправными объектами (*peer entities*). Основной набор сообщений обеспечивает установление, поддержание и освобождение соединений. Дополнительные сообщения поддерживают множество расширенных возможностей.

## Объект управления нижнего уровня LLME

В традиционных проводных системах передачи речи и данных трафик пользователя и сигнализация обычно могут быть описаны взаимодействиями конкретного уровня непосредственно с вышестоящим и нижестоящим уровнями. В большинстве же систем радиосвязи отдельные их аспекты не относятся четко к тем или иным уровням, при этом нарушается нормальный механизм иерархического представления. Для адекватного описания систем радиосвязи традиционные уровневые представления нуждаются в дополнительном элементе. Эти «нестандартные» взаимодействия регулируются объектом управления нижнего уровня **LLME** (*Lower-Layer Management Entity*). Полная архитектура протокола иллюстрируется рисунком 2.50 [9].

Например, для выбора свободного радиоканала более высокие уровни должны измерить силу радиосигнала на данном канале, пренебрегая нормальным механизмом иерархического представления. При этом **LLME** сообщает **RNL** о необходимости произвести измерение на определенном канале и возвратить измеренное значение **RNL**. Затем **LLME** может составить упорядоченный список каналов, на которых сигналы маяка имеют самые большие значения или на которых имеются самые низкие уровни сигнала помехи.

Введение **LLME** не требует того, чтобы изделие содержало особые узлы, выполняющие особые задачи, оно просто означает, что должны выполняться определенные процедуры, которые касаются более чем одного уровня. Большинство этих процедур имеет только локальное значение, и они определены в общих терминах для того,

чтобы сделать возможным альтернативные реализации устройств. Расположение некоторых процедур LLME следующее:

**МАС-уровень:**

- создание, поддержка и освобождение каналов связи путем активизации и деактивизации пар физических каналов;
- управление физическим каналом, включая выбор свободных физических каналов и оценку качества полученных сигналов.

**DLC-уровень:**

- управление соединениями, которое включает установление и освобождение соединений по требованию уровня NWK;
- маршрутизация данных С- и U-планов на подходящие соединения.

**NWK уровень:** согласование и отображение обслуживания.

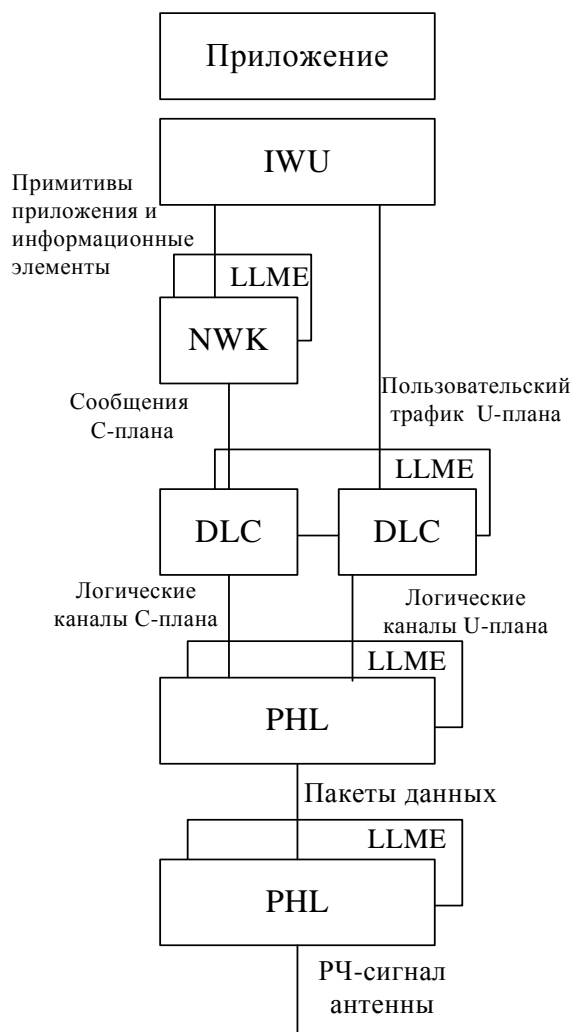


Рис. 2.50. Взаимодействие уровней протокола DECT

### **Блоки межсетевого взаимодействия IWU**

Блок межсетевого взаимодействия IWU (*Interworking Unit*) требуется для обеспечения необходимых функций межсетевого взаимодействия. Передача информации конечному пользователю требует дополнительных уровней протокола, находящихся вне области рассмотрения основных стандартов DECT. **IWU** преобразовывает сигналы и сообщения, используемые в эфирном интерфейсе, к формату, подходящему для конкретного типа сети (PSTN, GSM, ISDN и т. д.). Например, при подключении к сети GSM блок **IWU** должен вставить некоторые из идентификаторов и сообщений GSM в сигнализацию беспроводного протокола и передать эту сигнализацию по эфирному интерфейсу для GSM-модуля идентификации абонента в носимом устройстве.

Беспроводная система доступа может быть связана с различного типа сетями через различные **IWU**. Это означает, что беспроводная система в принципе может быть подключена к сетям любого типа путем замены **IWU**. В архитектуре протокола IWU связывается с верхним уровнем протокольного стека и обычно не взаимодействует непосредственно с **LLME**.

#### ***2.3.4. Архитектура приемопередатчиков DECT***

Радиоинтерфейс DECT основывается на способе радиодоступа с использованием нескольких несущих, принципа множественного доступа с разделением по времени, дуплекса с разделением по времени **MC/TDMA/TDD** [9].

Для организации связи между портативной и стационарными частями в выделенном для функционирования DECT-систем базовом диапазоне частот 1880–1900 МГц организуется **10 частотных каналов**. Базовый частотный диапазон DECT является согласованным для всей Европы, и общеевропейские законы требуют, чтобы каждая страна в Европе сделала эти частоты доступными для DECT-системам.

Данный частотный диапазон совместно используют все DECT-приложения: домашние, офисные и общего пользования. Общий частотный диапазон дает возможность создания объединенного рынка DECT-изделий и применения одних и тех же устройств в различных приложениях, например, в офисе и дома.

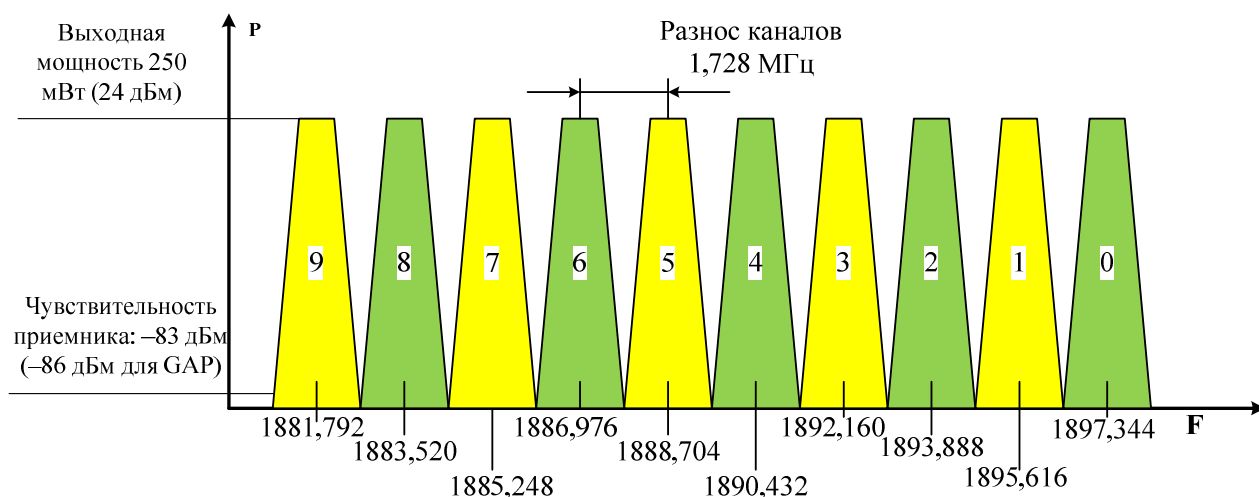


Рис. 2.51. Организация базового частотного диапазона DECT

В базовом диапазоне используется 10 частотных каналов, отстоящих друг от друга на 1,728 МГц, с несущими, значения которых приведены на рисунке 2.51.

Диапазон частот в ряде стран отличается от базового:

- Китай: 1902,528–1918,080 МГц;
- государства Латинской Америки: 1912,896–1928,448 МГц.

Информация передается на каждой несущей частоте DECT со скоростью 1152 кбит/с. На каждой несущей частоте организуются регулярные временные циклы по 24 таймслота, повторяющиеся каждые 10 мс и называемые кадром (*Frame*) или фреймом (рис. 2.52) [9].

Длительность полного цикла составляет 11 520 бит. Кадр состоит из 24 временных слотов, каждый из которых индивидуально доступен устройствам DECT, т. е. реализуется принцип множественного доступа с разделением по времени (*TDMA, Time Division Multiple Access*). Временные слоты используются либо для передачи, либо для приема. В базовом DECT временной кадр в 10 мс разделяется на две половины по 12 временных слотов. Обычно в течение первых 12 таймслотов кадра базовая станция передает информацию для портативного устройства, оставшиеся 12 таймслотов портативное устройство применяет для передачи информации базовой станции. Каждый слот передачи имеет в кадре соответствующий слот приема, отстоящий на 12 слотов, или на 5 мс. Такая схема организации связи, называемая дуплексированием с разделением по времени (*TDD, Time Division Duplex*), позволяет абонентскому устройству и базовой

станции общаться друг с другом с помощью только одной несущей частоты. Таким образом, при использовании базового DECT-принципа MC/TDMA/TDD каждому устройству DECT в любой момент доступен общий набор из 120 дуплексных частотно-временных каналов.

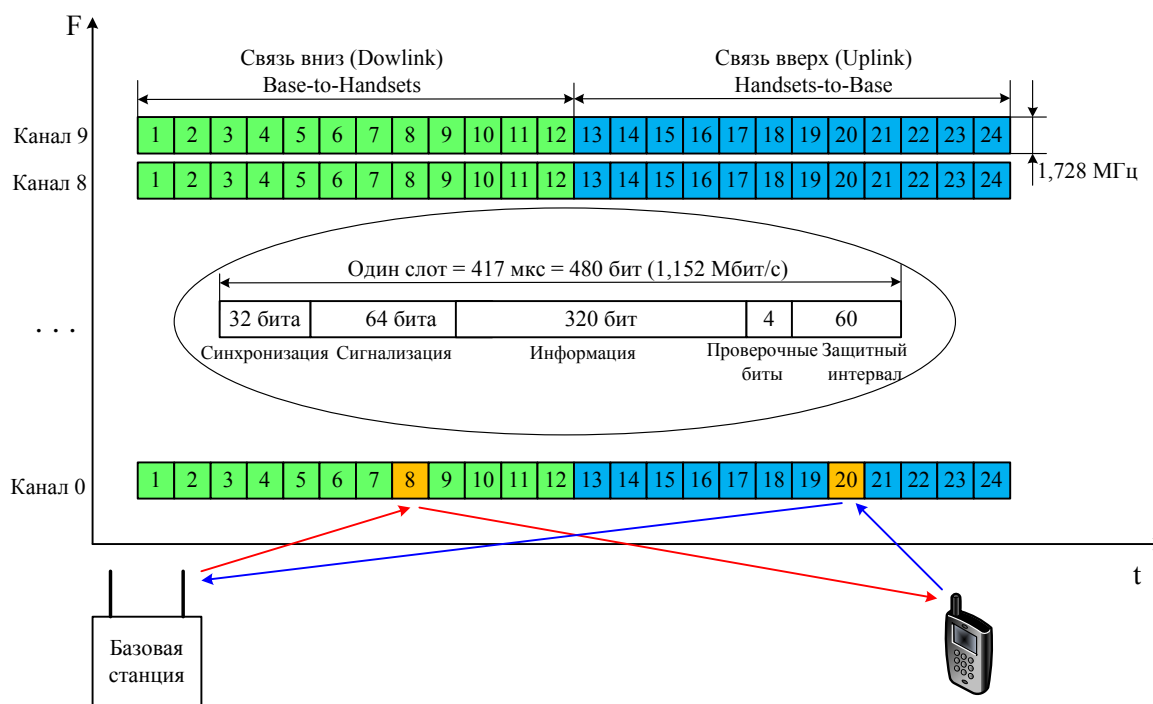


Рис. 2.52. Организация радиointерфейса в системе DECT

Структура DECT TDMA может обеспечить с помощью одного приемопередатчика до 12 одновременных базовых полнодуплексных речевых соединений. Иными словами, потенциально применяя одну базовую часть, использующую один приемопередатчик, можно полноценно обслужить 12 абонентов, передающих обычную речевую информацию. Благодаря усовершенствованному радиопrotocolу, система DECT может предоставлять отдельному пользователю канал связи с различной пропускной способностью, объединяя несколько временных слотов на одной несущей. При передаче данных достигаются скорости передачи до 552 кбит/с. В настоящее время диапазон скоростей передачи предполагается расширить до 2 Мбит/с.

Чтобы передать речевой сигнал с использованием схемы организации дуплексной связи с разделением по времени, речевой сигнал должен быть **буферизирован**. Непрерывный аналоговый ре-

чевой сигнал оцифровывается, кодируется со скоростью 32 кбит/с и считывается в буфер устройства. За период одного кадра в 10 мс накапливается 320 бит речевых данных. Когда подходит время передачи, данные передаются с намного более высокой скоростью в 1152 кбит/с. Все содержащиеся в буфере данные (**Data Burst**), для записи которых требовалось 10 мс, передаются в одном слоте за время, меньшее чем 416,7 мс. Сжатие информации во времени с коэффициентом, большим чем 24, позволяет объединять (мультиплексировать) на одной несущей частоте 12 циклов обмена информацией с различными абонентами. Следует отметить, что процесс буферизации приводит к появлению временной задержки в передаче речи. Эта задержка может проявиться в виде акустического эха, поэтому в системах DECT применяют меры для его подавления.

Каждый сегмент данных передается внутри пакета (*Packet*) данных. Таймслоты являются временными интервалами, внутри которых пакеты могут быть фактически переданы. Для организации каналов с различной пропускной способностью в системе DECT могут быть использованы пакеты различной длины в слотах различного типа.

Передача пакета устройством DECT может происходить с пиковой выходной РЧ-мощностью передатчика до 250 мВт. Если передача происходит в течение одного таймслота из 24, средняя переданная РЧ-мощность составляет приблизительно 10 мВт. Передающие устройства DECT имеют два разрешенных уровня выходной мощности: стандартный режим с уровнем 250 мВт и маломощный режим, в котором пиковая мощность составляет 2,5 мВт. Основным стандартом позволяет изготовителям устройств DECT для каждого конкретного случая выбрать уровни РЧ-мощности с учетом этих пиковых значений. Однако стандарт взаимодействия для систем передачи речи требует, чтобы стандартная передаваемая мощность устройств составляла, по крайней мере, 80 мВт. Выходная мощность передатчика, наряду с **чувствительностью приемного устройства**, в значительной мере определяет размер зоны обслуживания или сот, которые могут быть использованы в системе. Значение требуемой чувствительности приемного устройства, приведенное в основном стандарте DECT, составляет –83 дБм. DECT-стандарт профиля GAP устанавливает это значение равным –86 дБм (рис. 2.51).

Базовая функциональная структура тракта передачи-приема сигналов ПС DECT приведена на рисунке 2.53 [9].

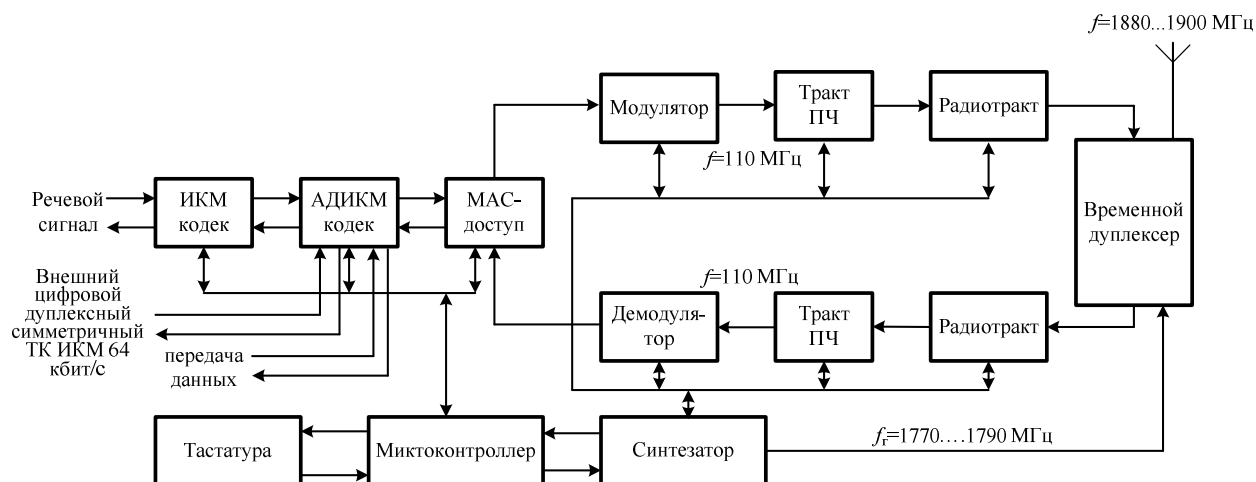


Рис. 2.53. Структура тракта передачи-приема сигналов ДЕСТ

Местный речевой сигнал подвергается высококачественному первичному цифровому преобразованию в речевом кодеке по стандартной схеме ИКМ: по 8 бит на отсчет с частотой дискретизации 8 кГц. Этот первичный цифровой сигнал преобразуется с помощью кодека АДИКМ к канальной скорости 32 кбит/с. В функциональном узле МАС-доступа к внешней среде (физическому каналу) происходит пакетирование цифрового речевого потока в 10-мс интервалы по 320 бит, а также добавляются служебные, адресные, разделительные биты и синхропоследовательность пакета.

В соответствии со схемой МДВР-сигнала происходит увеличение битовой скорости передачи до 1152 кбит/с, а передаваемый пакет общей длиной 420 бит помещается в выделенное временное окно длительностью около 417 мкс (эквивалентная битовая длина составляет 480 бит при указанной скорости 1152 кбит/с).

Сформированный битовый пакет данных поступает на модулятор GFSK на промежуточной частоте 110 МГц и далее в радиотракт на выделенной частоте радиоканала в диапазоне 1880...1900 МГц. Мощность излучаемого в пакете сигнала составляет 250 мВт при средней мощности излучения ( $1/24$  временного цикла) порядка 10 мВт.

Временной дуплексер на время излучения подключает тракт передачи к антенне. Все остальное время (23/24 временного цикла) включен тракт приема.

При передаче данных в функциональном узле МАС-доступа формируется пакет данных и выбирается скорость передачи в зависимости от предоставляемой услуги (от низкоскоростных до высокоскоростных информационных каналов). Соответственно меняется структура и битовая длина информационной части пакета, а также выбирается необходимый вид скоростной модуляции на время передачи информационной части пакета. Синхропосылка и служебно-адресная часть пакета передаются в номинальном режиме GFSK при скорости 1152 кбит/с.

Обработка сигнала при приеме осуществляется по тем же процедурам, но только в обратном порядке. Кроме того, отличие состоит в том, что сигнал принимается от базовой станции и обрабатывается в режиме МДВР, т. е. все время, кроме момента излучения, функциональный узел МАС-доступа производит селекцию адресных пакетов.

Функции пользовательского управления осуществляются с помощью тастатуры через микроконтроллер, функциональные узлы МАС-доступа и синтезатор. Гетеродин синтезатора имеет нижнюю настройку ( $f_c = 1770...1790$  МГц), а тракт промежуточной частоты выполнен на частоте 110 МГц. Частотный разнос каналов, определяющий выбор полосы пропускания тракта промежуточной частоты  $\Delta f_d = 1,728$  МГц, ослабление соседних каналов приема, составляет не менее 28 дБ, вторых (сдвинутых на октаву по полосе) – не менее 44 дБ.

### ***2.3.5. Динамический выбор и динамическое назначение канала***

Принципиально новое свойство DECT как системы радиодоступа состоит в динамическом выборе/распределении CDCS/CDCA-каналов кластера, снимающем с системы с большим числом БС необходимость частотно-территориального планирования при назначении одного и того же полного кластера каждой из БС прилегающих ячеек сотовой структуры [9].

Единичная (простая, индивидуальная) БС имеет один дуплексный (ВД) приемопередающий тракт, который во включенном состоянии работает на одной из частот, обслуживает не более 12 МДВР каналов и может сканировать по 10 частотным каналам кластера системы DECT и выбирать рабочую частоту.



Полный комплект системы состоит из 10 единичных БС (ПБС) и обслуживает внутри кластера 120 дуплексных пар каналов. Каждая БС имеет две пространственно разнесенные антенны (при длине волны  $\lambda \approx 16$  см максимальный разнос антенн не превышает  $(10...15)\lambda$  и составляет 1,5...2 м), позволяющие выбирать лучший канал приема в условиях интерференции (переотражений) в урбанизированной (городской, офисной) обстановке. Направленные антенны имеют коэффициент усиления 10...16 дБ при ширине главного лепестка диаграммы направленности в вертикальной плоскости 10...20°, в горизонтальной – 40...80°, при уровне заднего излучения –20...–12 дБ и боковых лепестков –12 дБ.

Выбор каналов БС осуществляется в режиме «прием». Один приемник одиночной БС или 10 приемников полной ПБС поочередно или параллельно сканируют все каналы приема кластера. При этом осуществляется измерение уровня сигналов на работающих каналах и уровня шумов (помех) на неработающих свободных каналах. По результатам сравнения полученных данных измерений БС выбирается свободный канал с минимальным уровнем шумов (помех). На выбранном канале БС передает сигнал «маяк», совмещающий функции широковещательного и пейджингового каналов. На этом канале для ПС передается следующая информация: синхросигнал, идентификатор системы, возможности сервисного обслуживания в системе, свободные каналы в системе, пейджинговые вызовы для поиска абонентов.

После включения питания ПС в режиме приема сканирует частоты кластера, обнаруживает каналы «маяк» слышимых БС, идентифицирует «маяк» своей БС, синхронизируется в ней и переходит в спящий режим ожидания поискового вызова. Если из-за медленного перемещения пользователя ПС теряет «маяк» своей БС, то он ищет «маяк» другой БС, взаимодействие с которой заложено в сервис обслуживания и ожидает поисковый вызов в ней. В этом и заключается процедура динамического выбора каналов CDCS.

При инициировании вызова ПС, не теряя (в памяти) сигнала «маяка», сканирует другие каналы кластера, измеряя их занятость, а также их качество, а на свободных – уровень помех. Номера не менее двух лучших по качеству каналов заносятся в память ПС, после чего начинается процедура вызова. Для этого ПС передает на свою БС предложение установить связь на выбранном ПС канале. БС мо-

жет отвергнуть или принять это предложение. При получении отрицательного ответа ПС предлагает второй канал. После получения согласия от БС в засинхронизированном режиме происходит обмен адресно-управляющей информацией по запрашиваемому сервису обслуживания. В зависимости от содержания этой информации ПС предоставляется соответствующий запросу ТК (с малым или большим объемом информации, низко- или высокоскоростной и т. п.) и устанавливается соединение (выход на запрашиваемого абонента данной сети, ТФОП, ISDN, GSM, Internet и т. д.).

Прием входящих вызовов ПС осуществляет в «спящем» режиме на сигнале «маяк», реагируя только на адресно-вызывные поисковые сигналы. При получении адресного вызова АТ посылает БС запрос/предложение о лучшем канале (по результатам оценки сканированных каналов). Дальнейшая процедура подобна описанной выше для исходящего вызова.

При ухудшении качества назначенного трафик-канала осуществляется процедура выбора нового, лучшего по качеству канала. Инициировать смену канала в режиме «мягкого» хэндовера может как абонентский терминал, так и базовая станция. При этом после получения согласия на переключение каналов (после обмена запросами/предложениями о новом канале) может быть осуществлен внутренний переход (на канал той же БС) или внешний переход (на канал другой БС). Это и есть процедура непрерывного динамического перераспределения каналов (CDCA).

Суть «мягкого» хэндовера состоит в том, что на интервале переключения работают два канала: текущий и новый. В процедуре выбора каналов не участвует центральный контроллер системы, что высвобождает значительные ресурсы каналов управления, в том числе временные, что чрезвычайно важно для микросотовых структур. Однако в таких структурах сложно реализовать хэндовер для высокоскоростных абонентов, «мгновенно» пролетающих несколько ячеек гексагональной сотовой структуры.

Таким образом, благодаря режиму CDCS/CDCA в общей зоне обслуживания динамично уживаются несколько систем ПС–БС с выбором лучших условий для каждого случая назначения ТК в сложных условиях городской (офисной) УВЧ-радиосвязи при высокой плотности абонентов.

## Вопросы для самоконтроля

1. Дайте общую характеристику стандарта GSM.
2. Основные технические характеристики стандарта GSM.
3. Поясните назначение основных элементов сети сотовой связи GSM.
4. Что понимается под физическим и логическим каналами в стандарте GSM?
5. Какие каналы управления существуют в стандарте GSM?
6. Структура радиointерфейса в стандарте GSM.
7. Структура и назначение полей в слоте стандарта GSM.
8. Кодирование речи в стандарте GSM. Структура и принцип работы кодера речи.
9. Алгоритмы подключения и отключения ПС в стандарте GSM.
10. Алгоритм установления входящего вызова в стандарте GSM.
11. Организация «хендовера» в стандарте GSM.
12. Процесс обновления данных о местонахождении ПС в сети GSM.
13. Организация роуминга в сетях GSM.
14. Обеспечение безопасности в стандарте GSM.
15. Поясните основные принципы реализации технологий высокоскоростной передачи пакетных данных в стандарте GSM (GPRS и EDGE).
16. Дайте общую характеристику и основные технические характеристики стандарта IS-95.
17. Поясните назначение элементов базовой станции стандарта IS-95.
18. Поясните принцип формирования логических каналов на линиях прямой и обратной связи в стандарте IS-95.
19. Раскройте содержания всех этапов формирования радиосигнала до реализации процедур расширения спектра в стандарте IS-95.
20. Формирование радиосигнала методом прямого ортогонального расширения спектра в стандарте IS-95.
21. Дайте общую характеристику и перечислите основные технические характеристики стандарта микросотовой связи DECT.
22. Приведите вариант классификации систем стандарта DECT.
23. Поясните назначение элементов в структурной схеме тракта передачи-приема сигналов DECT.
24. Поясните сущность реализации процедуры динамического выбора и назначения каналов в стандарте DECT.

### 3. СТАНДАРТЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ 3 ПОКОЛЕНИЯ

#### 3.1. Стандарт сотовой подвижной радиосвязи CDMA-2000

Стандарт CDMA2000 – это стандарт сотовой подвижной радиосвязи третьего поколения, который разработан на основе технологических решений, полученных при разработке стандарта IS-95.

##### 3.1.1. Общая характеристика стандарта CDMA-2000

Сети и устройства, использующие многостанционный доступ с кодовым разделением каналов (CDMA), построены на основе стандартов, разработанных Ассоциацией производителей средств связи (TIA). В основном, это стандарты, приведенные в IS-95...IS-99 CDMA и cdmaOne.

В дальнейшем эти идеи получили развитие в стандартах широкополосной системы 3-го поколения CDMA 2000, CDMA 2000 1x, 1x EV-DO, 1x EV-DV.

Основные характеристики стандарта CDMA 2000 сведены в таблицу 3.1 [1].

Таблица 3.1

Основные характеристики стандарта CDMA 2000

Характеристика	Значение
Полоса частот, МГц	3,75 (3x1,25) – базовая $1,25 \times N$ , где $N = 1; 6; 9; 12$
Метод доступа	МС-CDMA
Совместимость	Обратная совместимость с cdmaOne
Чиповая скорость, Мчип/с	3,6864 ( $3 \times 1,2288$ ) – базовая $N \times 1,2288$ , где $N = 1; 6; 9; 12$
Кодирование	Сверточный код ( $K = 9$ ; $R = 1/2, 1/3, 1/4$ ), турбокод ( $K = 4$ )
Синхронизация базовых станций	Синхронная работа
Ортогональные коды	Функции Уолша и квазиортогональные коды
Расширяющие последовательности	Короткие коды длиной $2^{15}$ и длинные коды длиной ( $2^{42} - 1$ )
Схема поиска сот	По пилот-сигналу
Длина кадра, мс	5; 20
Управление мощностью	Скорость 0,8 кбит/с, шаг управления 0,25; 0,5 и 1,0

Основными отличиями стандарта CDMA 2000 1X от IS-95A являются:

- наличие пилота в обратном канале, т. е. в нем реализован когерентный прием;
- использование большего количества кодов Уолша и, соответственно, большего числа служебных каналов и каналов трафика на одном частотном канале;
- наличие быстродействующей схемы контроля мощности в прямом и обратном каналах;
- организация дополнительных каналов трафика в случае необходимости передачи больших массивов данных.

Все перечисленное выше позволило увеличить пиковую скорость передачи данных до 153,6 кбит/с и спектральную эффективность в 1,7 раза как для голосового, так и для IP-трафиков. Поэтому использование CDMA 2000 1X позволяет обслужить на одной базовой станции в 1,7 раза больше абонентов с голосовым трафиком, чем при IS-95A в той же полосе частот.

Особенности соединения с сетями пакетной передачи в CDMA 2000 1X EV определяются принципиально разными требованиями к построению радиоинтерфейса при передаче голоса и данных. Для выполнения этих требований было решено «развести» трафик голоса и данных по разным частотным каналам.

Первая фаза этого стандарта – стандарт CDMA 2000 1X EV-DO, который описывает исключительно передачу данных в отдельном частотном канале 1,25 МГц.

Передача голоса чувствительна к задержкам в тракте передачи, поэтому в системах радиосвязи с кодовым разделением каналов необходимо постоянно поддерживать стабильный канал передачи, непрерывно отслеживая и изменяя мощность сигнала в зависимости от расстояния между передатчиком и приемником. В CDMA 2000 1X EV-DO реализован другой механизм – приемник каждые 1,67 мс измеряет соотношение сигнал/шум и скорость передачи данных варьируется в зависимости от условий, в которых находится приемник. Передача производится с максимальной скоростью, когда приемник находится в наилучших условиях.

Все вышеизложенное позволяет добиться скоростей передачи 2,4 Мбит/с в прямом и 307 кбит/с в обратном каналах, а также увеличить спектральную эффективность при передаче данных примерно в шесть раз по сравнению с cdmaOne.

Следующая фаза стандарта CDMA 2000 1X EV-DV, разработанная Motorola совместно с Nokia, Philips Semiconductors и Texas Instruments, позволяет осуществить передачу и голоса и данных в одном частотном канале 1,25 МГц и достичь пиковых скоростей передачи 4,8 Мбит/с.

### **Услуги**

Различают три основные категории услуг:

- речевые, включающие доступ в сети общего пользования (PSTN–ТфОП), радиотелефонную связь между мобильными станциями, IP-телефонию;
- передачи данных (IP, ISDN, B-ISDN, SMS, мультимедиа);
- передачи управляющей и контрольной информации (сигнализация).

Иерархическая структура CDMA 2000 ориентирована на обеспечение широкополосных видов услуг, включая мультимедиа, их предоставление потребует объединения нескольких или даже всех видов обслуживания (т. е. передачи речи и данных с коммутацией каналов и пакетов), которые будут передаваться по одному радиоканалу.

При передаче данных возможны два основных вида обслуживания: передача пакетной информации и передача коммутируемых данных. В первом случае используются протоколы, ориентированные на режим работы как с установлением, так и без установления соединения, включая протоколы TCP и UDP и межсетевой протокол без установления соединения CLIP (Connections Interworking Protocol).

Протоколы сигнализации, реализованные в системе CDMA 2000, способны поддерживать два режима:

- IS-95 2G-сигнализацию, обеспечивающую совместимость со стандартом IS-95;

CDMA 2000-сигнализацию, предоставляющую расширенные возможности и обеспечивающую поддержку услуг IMT-2000.

### 3.1.2. Структура сети сотовой подвижной радиосвязи стандарта CDMA-2000

В архитектуре сети можно выделить три основных уровня: радиодоступа, коммутации и услуг. Обобщенная архитектура системы CDMA 2000 показана на рисунке 3.1.

Уровень радиодоступа включает в себя такие сетевые элементы, как базовые приемопередающие станции (base transceiver station – BTS) и контроллер базовых станций (base station controller – BSC). Для поддержки услуг пакетной передачи контроллер по интерфейсу A8, A9 соединяется с модулем управления пакетами (Packet Coding Function module – PCF).

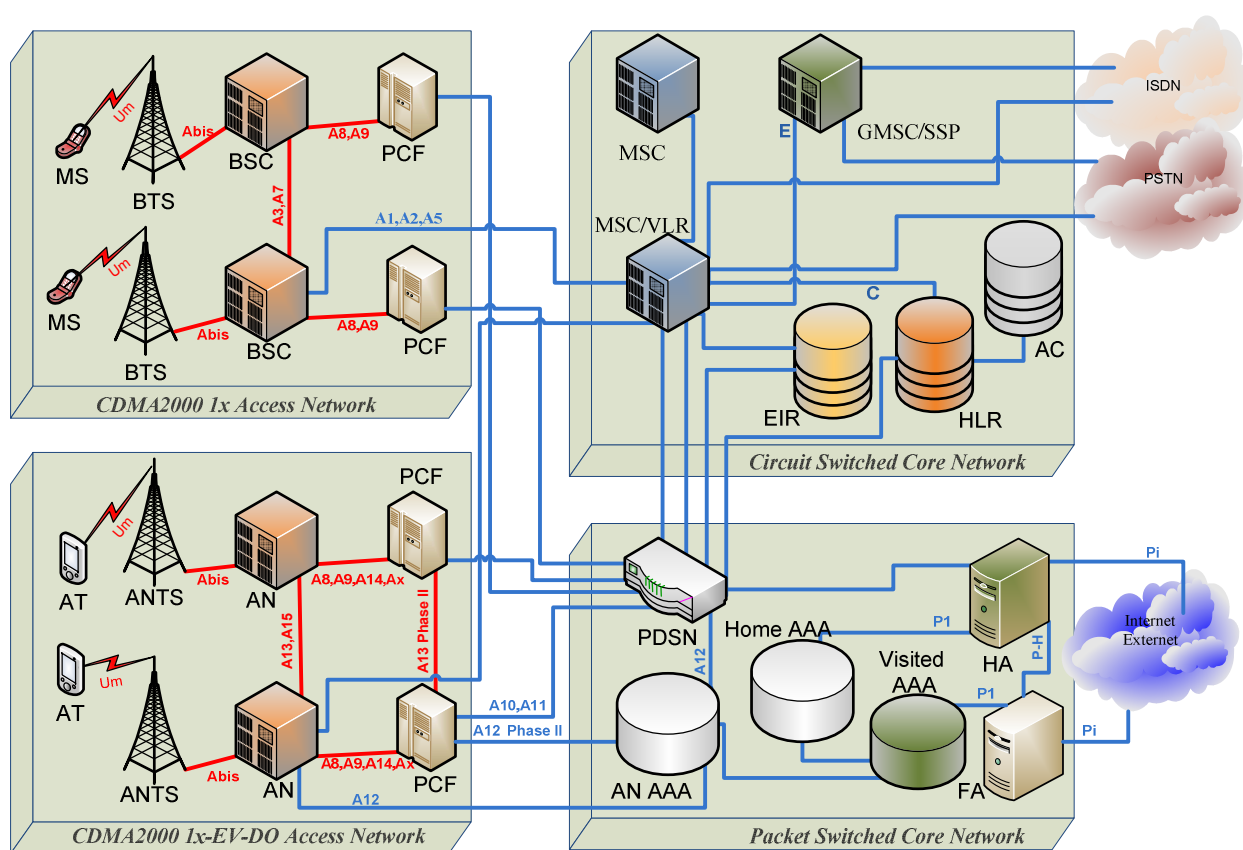


Рис. 3.1. Обобщенная архитектура системы CDMA 2000

Уровень коммутации состоит из сетей с коммутацией пакетов и каналов. Сеть с коммутацией каналов образована типичными элементами для сетей подвижной связи, ориентированных на передачу голоса. В общем случае здесь можно выделить центр мобильной коммутации (Mobile Switching Center – MSC), который на аппарат-

ном уровне совмещен с визитным регистром местоположения (Visitors Location Register – VLR), а также может поддерживать функции узла коммутации услуг (Service Switching Point – SSP) для интеллектуальных сетей. Центр коммутации MSC также сертифицирован для применения в качестве шлюзового мобильного коммутатора (Gateway Mobile switching Center – GMSC). Для хранения данных о постоянно прописанных абонентах в сети используется домашний регистр местоположения (Home Location Register – HLR).

Сеть с коммутацией пакетов является архитектурным новшеством для сетей подвижной связи и представляет собой основу для плавного перехода к сетям третьего поколения. Центральным элементом такой сети является узел обслуживания пакетной передачи данных (Packet Data Service Node, PDSN), кроме того, к сети подключается сервер аутентификации, авторизации и учета стоимости (Authentication, Authorization, Account, AAA) и ряд домашних и внешних агентов (Home/Foreign Agent, HA/FA).

В настоящее время для всех мобильных операторов, независимо от стандарта сотовой связи, на первый план выходит качество и количество предоставляемых услуг, поэтому в современных сетях подвижной связи имеет смысл выделить уровень услуг. К этому уровню, прежде всего, следует отнести интеллектуальную сеть, с помощью которой можно быстро и гибко создавать новые типы услуг. К уровню услуг можно также отнести центр коротких сообщений, биллинг-центр, call-центр и т. п.

Управление и мониторинг всеми элементами сети подвижной связи осуществляются на основе интегрированной системы управления. Многоуровневая иерархическая архитектура системы управления основана, как правило, на стандарте TMN (Telecommunication Management Network).

Подсистема базовых станций (Base Station Subsystem – BSS) сети CDMA 2000 1X (CDMA 450) подразделяется на BTS (базовая приемопередающая станция), BSC (контроллер базовых станций) и PCF (узел управления пакетной передачей данных).

Под управлением BSC базовые станции выполняют функции приемопередающего оборудования в одной ячейке или в нескольких логических секторах. Взаимодействие BSC и базовой станции осуществляется через Abis-интерфейс, BSC управляет выделением радиоресурсов на сеанс связи, радиопараметрами и интерфейсом базово-



вой станции. А взаимодействие базовой станции с подвижными станциями производится через Um-интерфейс, через который идет передача пользовательского трафика и управляющей информации.

Оборудование базовой станции независимо от конфигурации и типа состоит из следующих подсистем: обработки в основной полосе, радиочастотной, антенно-фидерной и подсистемы электропитания.

*Подсистема обработки в основной полосе.* Выполняет следующие функции: обработка данных Abis-интерфейса, цифровая модуляция/демодуляция сигнала в основной полосе частот, кодирование/декодирование канальных данных, обработка данных физического уровня и уровня MAC радиоинтерфейса, эксплуатация и техническое обслуживание, поддержка оптического интерфейса с радиочастотным модулем.

*Радиочастотная подсистема.* Основными ее функциями являются прием/передача и усиление сигналов радиочастоты, аналого-цифровое преобразование сигналов радиочастоты в сигналы основной частоты и обратное цифроаналоговое преобразование.

*Антенно-фидерная подсистема.* В состав антенно-фидерной подсистемы BTS входят антенно-фидерные устройства радиочастотного тракта и дублируемые антенно-фидерные устройства системы внешней синхронизации. Последние обеспечивают прием сигналов спутниковых навигационных систем GPS/GLONASS, служащих синхросигналами для BTS и дающих необходимую для системы CDMA 2000 1X стабильность частотно-временных параметров.

Все базовые станции, применяемые в настоящее время, соответствуют стандартам IS-95A/B и CDMA 2000 1X, т. е. базовая станция может работать как в сетях IS-95, так и в сетях CDMA 2000 1X. Для изменения режима работы базовой станции программно изменяется процедура присвоения каналов, при этом не требуется модификация аппаратных средств. Базовые станции могут объединяться в сети различных топологий, таких как «звезда», «цепочка», «дерево», «кольцо». При организации сети типа «кольцо» требуется поддержка технологии SDH.

Основным отличием, по которому классифицируются базовые станции, является количество несущих на статив (или частотных присвоений – Frequency Assignment, FA).

Максимальное количество несущих на статив достигает 12, то есть один статив может поддерживать до 12 секторов или 12 несущих.

щих в ячейке или одна базовая станция в максимальной конфигурации (3 статива) может поддерживать до 36 секторов или 36 несущих в ячейке. Abis-интерфейс базовой станции с 36 несущими организуется на базе максимум 16 линий E1/T1 с использованием инверсного мультиплексирования ATM (Inverse Multiplexing over ATM, IMA) для переноса кадров ATM. Сигнализация Abis передается по протоколу AAL5, а трафик Abis – по протоколу AAL2.

Для технологии CDMA 2000 1x-EV-DO Access Network может развертываться как отдельным фрагментом сети (рис. 2.1) на собственных базовых станциях (Access Network Transceiver Station – ANTS) и контроллерах AN (Access Network), так и накладываться на уже развернутый фрагмент сети CDMA 2000 1x. 1x-EV-DO обеспечивает скорость передачи данных до 2,4 Мбит/с, более чем в шесть раз увеличение эффективности использования радиочастотного спектра и использование модели передачи данных по IP, не требующую применения MSC и других сетевых элементов стандарта IS-41.

Контроллер базовых станций (BSC) выполняет следующие функции: контроль и управление базовыми станциями, соединение и разъединение по сигналу вызова, управление мобильностью, обеспечение стабильного и надежного радиоканала для услуг более высокого уровня посредством хэндовера с помощью программных или аппаратных средств, регулировка мощности, управление радиоресурсами. Модуль PCF в основном осуществляет управление соединением пакетной передачи данных. Из-за дефицита радиоресурсов во время пауз в передаче и приеме данных некоторые радиоканалы выключаются, но соединение по протоколу «точка-точка» (Point-to-Point Protocol, PPP) при этом поддерживается постоянно.

BSC спроектирован по результатам всестороннего исследования технологии CDMA. Он может быть легко модернизирован из CDMA 2000 1X в CDMA 2000 1x EV-DO и CDMA 2000 1x EV-DV путем усовершенствования только программного обеспечения. Таким образом, при будущем развитии всей системы для лучшего обеспечения абонентов услугами операторы могут применять новейшую технологию. Кроме того, для защиты инвестиций операторов в этом проекте предусмотрена минимальная стоимость модернизации аппаратуры – достаточно модернизировать только программное обеспечение.

По интерфейсу А ВSC обеспечивает требования стандартов IOS2.4 и IOS4.1: Спецификации взаимодействия интерфейсов сетей доступа 3GPP2 (3GPP2 Access Network Interfaces Interoperability Specification (3GPP2 A.S0001-A)). Таким образом, ВSC может быть соединены с различным оборудованием МSC разных производителей, это способствует гибкости организации сети [40, 44–50].

Центр мобильной коммутации (МSC) является основным элементом сети с коммутацией каналов. Как ядро подсистемы коммутации МSC выполняет следующие функции: установление вызовов, выбор маршрутов, управление вызовами, распределение радиоресурсов, управление подвижностью, регистрация местоположения, управление хэндоверами. Кроме того, МSC формирует данные расчетов с абонентами, управляет доступом абонентов к ТФОП и к услугам сети, поддерживает интерфейс с другими сетями по протоколу SS7 (ОКС № 7).

В соответствии со спецификациями (3GPP2) опорная сеть в традиционном домене с коммутацией каналов CDMA 2000 постепенно развивается до традиционного домена мобильной станции (LMSD) и до сети All-IP (CDMA 2000 EV-DV).

*Динамическая база данных («визитный» регистр).* VLR обеспечивает хранение временной информации (данные, необходимые для установления вызовов) о пользователях, приписанных к другим сетям и находящихся в данный момент в зоне обслуживания МSC. Поскольку VLR предназначен для хранения данных, необходимых для функционирования МSC, конструктивно он объединен с МSC.

Узел коммутации услуг (SSP) принимает запрос на услугу IN, который затем транслирует на SCP. SCP активизирует определенный модуль поддержки услуг и информирует об этом SSP. После ответа SSP SCP запускает процедуру обработки вызова с предоставлением запрашиваемой услуги.

*«Домашний» регистр HLR и центр аутентификации (Authentication Center – AC).* Являясь центральной базой данных системы, HLR хранит соответствующие данные обо всех подвижных абонентах, относящихся к контролируемой им зоне. В центре аутентификации (Authentication Center, AC) хранится информация об алгоритме аутентификации, которая позволяет предотвратить несанкционированный доступ к системе и гарантирует обеспечение секретности

при связи подвижных абонентов по радиointерфейсу. Физически HLR и AC представляют собой единое устройство.

Фрагмент CDMA 2000 1x EV-DO на рисунке 3.1 отображает элементы сети пакетной передачи данных. Основной состав системы пакетной передачи данных следующий:

- PDSN (Packet Data Service Node) – узел пакетной передачи данных;
- HA (Home agent) / «домашний» агент или агент опорной сети;
- RADIUS (Remote Authentication Dial-In User Service Server) – удаленная служба аутентификации абонента телефонной линии;
- AAA (Authentication Authority and Accounting) – центр аутентификации, авторизации и учета стоимости;
- FA (Foreign Agent Control Node) – узел управления внешнего агента;
- HA (Home agent Control Node) – узел управления агента опорной сети.

Узел PDSN является мостом между беспроводными сетями и интернетом. Функции PDSN заключаются в следующем: создание, поддержание и прерывание соединения мобильного агента; присвоение IP-адресов службам интернета; обеспечение функций FA службам мобильного IP.

В основном, через интернет поддерживается доступ проводных абонентов к мобильным узлам. После прерывания соединения с мобильными узлами на уровне звена данных информация транслируется непосредственно на пользовательский уровень протокола сети данных. Для служб мобильного IP PDSN поддерживает стандарт внешнего агента мобильного IP: изменение направления соединения, идентификация доступа в сеть и присвоение HA-адресов. PDSN полностью совместим со стандартами третьего поколения (3G).

*Узел управления иностранного агента (FA).* Использование узла FA в базовой сети стандарта CDMA необязательно. Однако при расширении системы FA может применяться совместно с несколькими узлами PDSN для объединения основных узлов системы и узлов расширения. FA обеспечивает IP-адресацию PCF, что позволяет эффективно использовать ресурсы R-P-интерфейса (интерфейс между BSC и PDSN). Применение FA значительно расширяет возможности систем стандарта 3G.

*Агент опорной сети (НА).* Основные функции НА:

- прием регистрационного запроса;
- создание связанных записей о подвижных абонентах;
- установление и прерывание IP-соединения, поддерживаемого

PDSN: НА распаковывает данные и передает их в обратном направлении к ISP, а принятые от ISP данные упаковывает и передает по прямому каналу узлу PDSN.

*Узел управления агента опорной сети (НАСН).* Использование узла НАСН в базовой сети стандарта CDMA необязательно. Однако он может применяться для управления сигнализацией мобильного IP и управления ресурсами НА при расширении емкости системы. Узел НАСН отвечает за прием из PDSN информации о регистрации мобильного IP-пользователя и передачу ее указанному НА по прямому каналу. Использование НАСН значительно расширяет возможности систем стандарта 3G.

*Сервер AAA типа RADIUS.* Сервер AAA – высокоэффективный RADIUS-сервер, обеспечивающий аутентификацию, учет стоимости базовых и дополнительных услуг.

Сеть управления реализуется на базе компьютеров общего назначения. Оборудование, обеспечивающее интерфейс сетевых элементов (NE) и модуля администрирования (BAM – Back Administrative Module) для выполнения операций эксплуатации и технического обслуживания, также реализовано на базе обычных компьютеров. Для объединения различных элементов NE в единую сеть могут использоваться различные технологии построения компьютерных сетей.

### ***Каналы межстанционного обмена***

В CDMA 2000 сохранена существующая в стандарте IS-95 канальная структура, однако число логических каналов увеличено с 9 до 15. Прежде всего, введены три дополнительных пилот-сигнала: два вспомогательных в прямом канале и один в обратном. Новые каналы используются в случае разнесения антенн на базовой станции, при применении антенн с узким лучом у абонента и для установления начальной синхронизации на базовой станции.

Канал передачи общего пилот-сигнала играет важную роль. Он излучается каждой базовой станцией непрерывно в широковещатель-

тельном режиме и может быть принят одновременно всеми мобильными станциями, расположенными в ее зоне обслуживания. С его помощью может быть обеспечено решение трех основных задач:

- оценка коэффициента передачи радиоканала и фазы принимаемых сигналов;
- выделение копий многолучевого сигнала (так называемый «поиск многолучевости») с возможностью дальнейшей обработки в многоканальном RAKE-приемнике;
- идентификация базовых станций при поиске сот и обеспечения хэндовера.

Использование общего пилот-сигнала позволяет более точно и эффективно оценить характеристики каналов с замираниями и обеспечить ускоренное обнаружение слабых сигналов по сравнению с индивидуальными пилот-сигналами. Кроме того, в случае группового пилот-сигнала сокращаются затраты на передачу индивидуальной служебной информации. В результате, система с общим пилотным каналом позволяет обеспечить лучшие характеристики и повысить пропускную способность.

Прямой выделенный канал F-DPICH предназначен для обслуживания отдельных мобильных станций, работающих с высокой пропускной способностью или расположенных в зонах с напряженной энергетикой. Это обеспечивается за счет комбинированного метода доступа с пространственным разделением каналов. Канал F-DPICH передается в каждом узком луче, выделенном для обслуживания отдельных мобильных станций.

Обратный пилот-канал используется для установления начальной синхронизации, отслеживания временных меток, когерентного восстановления несущей в RAKE-приемнике и измерения уровня мощности сигнала. Прямой синхροканал в мобильной станции служит для установления начальной синхронизации.

В системе CDMA 2000 на базовой станции формируется несколько пейджинговых каналов F-PCN. По этим каналам передаются вызывные сигналы для мобильных абонентов со скоростью 4,8 и 9,6 кбит/с. Многостанционный доступ осуществляется по каналу доступа ACH (Access Channel). Кроме него в прямом и обратном направлениях связи дополнительно введены общий CCH- и выделенный DCCH-каналы управления, которые по своему назначению

аналогичны пейджинговому каналу РСН в прямом и каналу доступа АСН в обратном каналах, однако с более расширенными функциональными возможностями. В системе CDMA 2000 используются два типа каналов, которые могут адаптироваться под различные виды обслуживания. Первый из них называется основным или фундаментальным каналом, а второй – дополнительным. Услуги, предоставляемые данной парой каналов, зависят от схемы организации и направления связи. Всего существует четыре типа логических каналов: два – в направлении «базовая станция – абонент» (прямой основной F-FCH и прямой дополнительный F-SCH) и два – в обратном направлении (обратный прямой R-FCH и обратный дополнительный R-SCH).

Отличительной особенностью основного и дополнительного каналов является возможность работать с переменной скоростью и обеспечивать формирование различных размеров кадра (20 или 5 мс). Определение скорости на приеме осуществляется в автоматическом режиме по принимаемому сигналу – режим BRD (blind rate detection).

Каналы FCH и SCH в системе CDMA 2000 могут адаптироваться под различные виды обслуживания и размеры кадра с использованием двух скоростных рядов RS (rate set), параметры которых приведены в таблице 2.8. Определение и выбор скорости на приеме осуществляются в автоматическом режиме по входному информационному потоку.

## **3.2. Стандарт сотовой подвижной радиосвязи WCDMA**

### ***3.2.1. Общая характеристика сетей WCDMA***

WCDMA FDD представляет собой систему множественного доступа с кодовым разделением каналов и прямым расширением спектра (DS-CDMA), тогда как WCDMA TDD использует комбинированную схему множественного доступа с временным и кодовым разделением (TD/CDMA). Для обеспечения очень высоких скоростей передачи (до 2 Мбит/с) необходимы переменный коэффициент расширения и мультикодовые комбинации. Основные параметры, относящиеся к радиоинтерфейсу WCDMA, приводятся в таб-

лице 3.2. Диапазон рабочих частот для линий «вверх» и «вниз» представлен в таблице 3.3 [7].

Метод формирования импульсов, примененный к передаваемым импульсам, представляет собой фильтрацию по среднеквадратичному закону с коэффициентом избирательности 0,22. Один и тот же коэффициент избирательности действителен как для терминалов, так и для базовых станций.

Таблица 3.2

**Основные параметры WCDMA FDD и TDD**

	UTRA TDD	UTRA FDD
Метод множественного доступа	TDMA, CDMA	CDMA
Дуплексный метод	TDD	FDD
Разнесение каналов	5 МГц (номинальное)	
Скорость передачи чипов на несущей	3,84 Мчип/с	
Структура временного слота	15 слотов/кадр	
Длина кадра	10 мс	
Концепция множества скоростей	Мультикод, мультислот и переменный коэффициент расширения спектра в ортогональной системе (OVSF)	Мультикод и OVSF
Коды с прямым исправлением ошибок (FEC)	Сверточное кодирование $R = 1/2$ или $1/3$ . Ограниченная длина $K = 9$ , турбокодирование (8 состояний, параллельный усеченный сверточный кодер, $R = 1/3$ ) или кодирование, связанное с услугами	
Перемежевание	Перемежевание между кадрами (10, 20, 40 и 80 мс)	
Модуляция	QPSK	
Типы пакетов	Три типа: информационные пакеты, пакеты с произвольной выборкой и пакеты синхронизации	Не классифицируются
Обнаружение	Когерентное, основанное на мидамбуле	Когерентное, основанное на пилот-символах



	UTRA TDD	UTRA FDD
Управление мощностью выделенного канала	Восходящий канал: открытый контур; 100 Гц или 200 Гц. Нисходящий канал: замкнутый контур; скорость $\leq 800$ Гц	Быстрое, замкнутый контур; 1500 Гц
Внутричастотный хэндовер	Жесткий хэндовер	Мягкий хэндовер
Межчастотный хэндовер	Жесткий хэндовер	
Распределение каналов	Медленное и быстрое динамическое назначение каналов (DCA)	DCA не требуется
Подавление помех внутри ячейки	Поддержка с использованием совместного обнаружения	Поддержка с использованием усовершенствованных приемников на базовой станции
Коэффициенты расширения спектра	1...16	4...512

Номинальное разнесение несущей составляет 5 МГц, но частота несущей в WCDMA может регулироваться растром 200 кГц. Центральная частота каждой несущей WCDMA указывается с точностью до 200 кГц. Цель регулировки состоит в обеспечении большей гибкости для разнесения каналов в полосе частот оператора.

Таблица 3.3

**Диапазоны частот, выделенные для WCDMA FDD**

Номер частотного диапазона	Диапазон частот линии «вверх», МГц	Диапазон частот линии «вниз», МГц	Частотный сдвиг (FDD), МГц
I	1920–1980	2110–2170	190
II	1850–1910	1930–1990	80
III	1710–1785	1805–1880	95
IV	1710–1755	2110–2155	400
V	824–849	869–894	45
VI	830–840	875–885	45

Точность установки частоты терминала составляет  $\pm 0,5 \cdot 10^{-7}$ . Синхронизация в полосе частот модулирующих сигналов определяется тем же самым источником временной синхронизации, что и радиочастота. Установка частоты для базовой станции более жесткая по сравнению с подвижной, поскольку несущая частота базовой станции является опорной частотой для точной установки частоты терминала.

### **3.2.2. Структура сети WCDMA**

Система UMTS (Universal Mobile Telecommunication System, универсальная система подвижной связи) состоит из логических элементов сети, каждый из которых выполняет определенные функции. В стандартах элементы сети определяются на логическом уровне, и это очень часто приводит к похожей физической реализации, особенно в силу того, что имеется несколько открытых интерфейсов. Чтобы интерфейс был «открытым», он должен быть определен на уровне детализации, позволяющей в конечных точках использовать оборудование разных производителей. Элементы сети могут группироваться на основе близости выполняемых функций или на основе подсети, к которой они принадлежат [7].

По своим функциям элементы системы группируются в сеть радиодоступа (RAN, UMTS территориального уровня UTRAN), которая оперирует всеми функциями, относящимися к радиосвязи, и в базовую сеть (CN), которая обеспечивает коммутацию и маршрутизацию вызовов и каналы передачи данных во внешние сети. Завершают систему оборудование пользователя (UE) и радиоинтерфейс (Uu).

На рисунке 3.2 показаны элементы PLMN, обеспечивающие внутренние соединения, а также выход во внешние сети [7].

**Оборудование пользователя UE состоит из двух частей:**

- подвижное оборудование (ME) – радиотерминал, используемый для радиосвязи через интерфейс Uu;
- модуль идентификации абонента UMTS (USIM), представляющий собой интеллектуальную плату, которая служит идентификатором абонента, выполняет алгоритм аутентификации и шифрования и некоторые данные об услугах, которыми имеет право пользоваться абонент, необходимые при использовании терминалом.

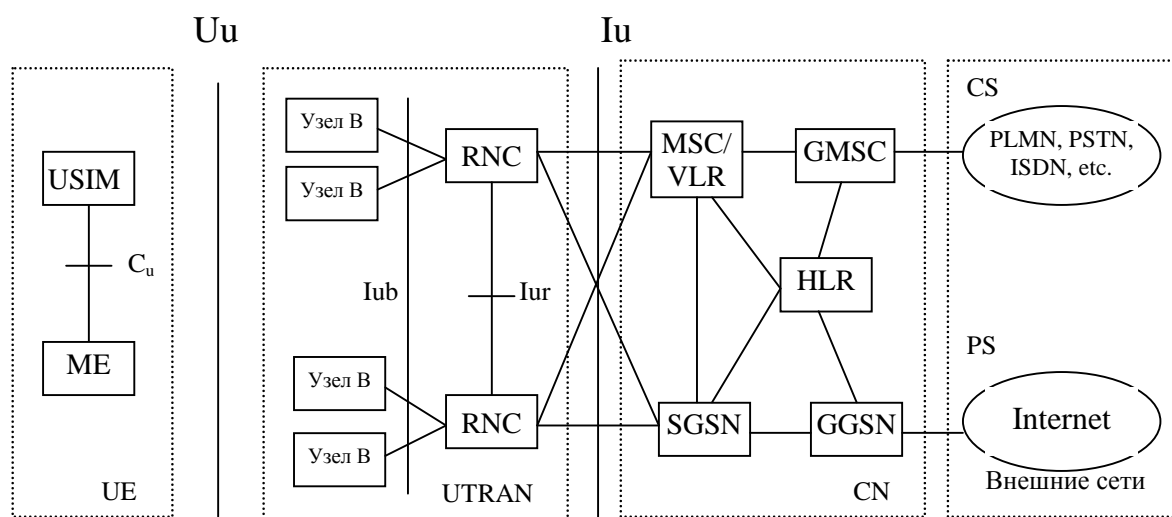


Рис. 3.2. Элементы сети в PLMN  
(наземная мобильная сеть общего пользования)

**Сеть радиодоступа UTRAN (UMTS территориального уровня UTRAN) также состоит из двух элементов [7]:**

- **узел В** (Node B, базовая станция UMTS) преобразует поток данных между интерфейсами Iub и Uu. Основная функция узла В состоит в осуществлении обработки на уровне L1 в воздушном интерфейсе (канальное кодирование и перемежение, адаптация скорости, расширение спектра и т. д.). Кроме того, узел В выполняет одну из основных операций по управлению радиоресурсами – управление мощностью во внутреннем контуре. Логически он соответствует базовой станции в системе GSM. Термин «узел В» был вначале принят в качестве временного термина в процессе стандартизации, но затем не поменялся;

- **RNC** (контроллер радиосети) представляет собой элемент, обеспечивающий управление радиоресурсами в UTRAN. Он сопрягается с CN (обычно с одним MSC и одним SGSN), а также реализует протокол RRC (управления радиоресурсами), который определяет сообщения и процедуры между подвижной станцией и UTRAN. Логически он соответствует BSC (контроллеру базовой станции) в GSM.

RNC, управляющий одним узлом В (т. е. завершающий интерфейс Iub в направлении к узлу В), обозначается как *управляющий RNC* (CRNC) узла В. Управляющий RNC отвечает за управление нагрузкой и перегрузкой в собственных ячейках, а также осуществ-

ляет управление доступом и выделение кодов для новых радиоканалов, которые будут устанавливаться в этих ячейках.

Если одно соединение MS-UTRAN использует ресурсы более чем одной RNC, то участвующие в этой операции RNCs играют две отдельные логические роли (*в отношении этого соединения MS-UTRAN*):

- *обслуживающий RNC (SRNC);*
- *дрейфовый (не постоянный) RNC (DRNC).*

**SRNC** для одной подвижной станции – это RNC, который завершает процедуру как канала Iu для передачи данных пользователя, так и соответствующую сигнализацию RANAP к/от базовой сети (это соединение называется соединением RANAP). SRNC также завершает сигнализацию управления радиоресурсами, т. е. протокол сигнализации между UE и UTRAN. Он осуществляет обработку на уровне L2 для данных к/от радиоинтерфейса. В SRNC выполняются основные операции по управлению радиоресурсами, например, наложение параметров канала-переносчика (B-канала) радиодоступа на параметры канала передачи воздушного интерфейса, по решению эстафетной передачи управления, по управлению мощностью во внешнем контуре. SRNC может также (но не всегда) служить в качестве CRNC какого-либо узла B, используемого MS для подключения к UTRAN. Одно UE, подключенное к UTRAN, имеет один и только один SRNC.

**DRNC** – это любой RNC, отличный от SRNC, управляющий ячейками, используемыми подвижной станцией. В случае необходимости DRNC может осуществлять сложение при макроразнесении и разделении. DRNC не выполняет обработку данных пользователя на уровне L2, а маршрутизирует данные прозрачным образом между интерфейсами Iub и Iur за исключением того случая, когда UE использует общий или совмещенный канал передачи. Один комплект UE может иметь один или несколько DRNC или не иметь их вовсе. Один физический RNC обычно содержит в себе все функции CRNC, SRNC и DRNC.

Основными элементами базовой сети являются следующие:

- HLR (регистр домашнего местонахождения, по месту регистрации) – это база данных, помещаемая в домашнюю систему абонента, которая хранит в памяти основной экземпляр профиля обслуживания абонента. Профиль обслуживания содержит, например,

информацию о предоставляемых ему услугах, запрещенных районах роуминга и дополнительную сервисную информацию, например, о возможности переключения телефонного вызова и номера телефона, на который производится переадресация. Профиль обслуживания создается, когда новый абонент прописывается в системе, и остается в памяти до тех пор, пока сохраняется эта прописка. Для маршрутизации входящих сообщений к UE (т. е. вызовов или коротких сообщений) HLR также записывает данные о местоположении UE на уровне MSC/VLR (узла по обеспечению услуг и/или SGSN), т. е. на уровне системы обслуживания;

- MSC/VLR – это коммутатор (MSC) и база данных (VLR), которые предоставляют услуги по текущему местоположению UE по коммутации каналов (CS). Функция MSC используется для коммутации сообщений CS, и функция VLR сохраняет экземпляр профиля обслуживания гостевого пользователя, а также более точную информацию о местоположении UE в системе обслуживания. Часть сети, к которой обеспечивается доступ через MSC/VLR, часто называют областью обслуживания CS;

- GMSC (шлюзовой MSC) – это коммутатор в точке, где UMTS PLMN соединяются с внешними сетями CS. Все входящие и исходящие соединения CS проходят через GMSC;

- функции SGSN (узла по обеспечению услуг GPRS) подобны функциям MSC/VLR, но обычно используются для услуг с коммутацией пакетов (PS). Часть сети, к которой обеспечивается доступ через SGSN, часто называют областью обслуживания PS;

- GGSN (узел по обеспечению межсетевого перехода GPRS) функционально близок к GMSC, но связан с предоставлением услуг PS.

Внешние сети можно разделить на две группы:

- сети CS, обеспечивающие соединения с коммутацией каналов;
- сети PS, осуществляющие соединения с коммутацией пакетов данных.

Стандарты UMTS построены таким образом, что функции внутри элементов сети подробно не определяются. Вместо этого определены интерфейсы между логическими элементами сети. Основными открытыми интерфейсами являются следующие [68, 69]:

- **интерфейс Си.** Это электрический интерфейс между интеллектуальной платой (смарт-карточкой) USIM (модуля идентифика-

ции абонента сети UMTS) и ME. Интерфейс удовлетворяет формату стандарта для смарт-карточек;

- **интерфейс Uu** – это интерфейс, через который UE получает доступ к стационарной части системы. Производителей UE гораздо больше, чем изготовителей элементов стационарной сети;

- **интерфейс Iu** соединяет UTRAN с CN (базовая сеть). Подобно соответствующим интерфейсам в GSM, A (для коммутации каналов) и Gb (для коммутации пакетов) открытый интерфейс Iu дает операторам UMTS возможность производить закупку UTRAN и CN у разных производителей;

- **интерфейс Iur** позволяет осуществлять мягкий хэндовер между RNC от различных производителей, поэтому он дополняет открытый интерфейс Iu;

- **интерфейс Iub** соединяет узел B и RNC. UMTS является первой коммерческой системой подвижной телефонной связи, где интерфейс контроллер-базовая станция стандартизован как полностью открытый интерфейс. Ожидается, что подобно другим открытым интерфейсам, открытый интерфейс Iub будет стимулировать конкуренцию между производителями оборудования в этой области.

Другим способом группирования элементов сети UMTS служит деление их на подсети. Система UMTS является модульной в том смысле, что возможно иметь несколько элементов сети одного и того же типа. Минимальным требованием для того чтобы сеть работала и обеспечивала все свои функциональные возможности, является наличие, по крайней мере, одного логического элемента сети каждого типа (некоторые функции и, следовательно, некоторые элементы сети являются необязательными). Возможность иметь несколько объектов одного и того же типа позволяет делить систему UMTS на подсети, работающие либо самостоятельно, либо вместе с другими подсетями, и которые являются тождественными друг другу. Такая сеть называется UMTS PLMN (наземная мобильная сеть общего пользования). Обычно одна PLMN эксплуатируется одним оператором и соединяется с другими PLMNs так же, как и с другими типами сетей, например, ISDN, PSTN, интернет и т. д.

На рисунке 3.3 показана архитектура сетей GSM/GPRS/UMTS [7].

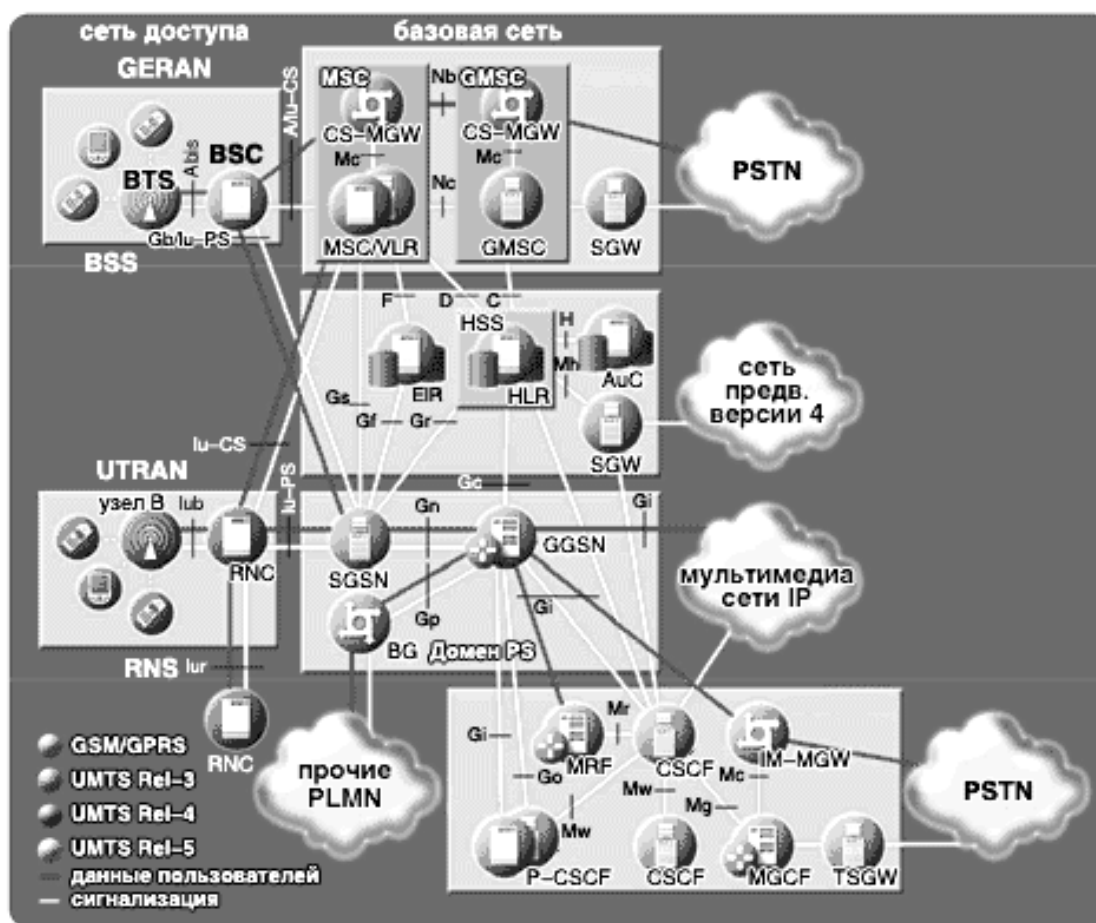


Рис. 3.3. Архитектура сетей GSM/GPRS/UMTS

На данном рисунке представлены некоторые из подсистем в сетях GSM/GPRS/UMTS, так как они будут развиваться вместе с версиями UMTS. На стороне сети доступа есть подсистема базовых станций (GERAN) для GSM/GPRS и RNS (UTRAN) для UMTS. Базовая сеть (CN) строится на основе базовой сети GSM/GPRS, но как показано, в сетях UMTS версии 4 и 5 будут модернизированы некоторые подсистемы и компоненты, а также добавятся новые.

Подсистема IMS (рис. 3.4) [7] является основным отличием сети UMTS версии 4 от версии 5. IMS включает все элементы CN для обеспечения мультимедийных услуг. Услуги IP-мультимедиа (IM) базируются на возможности управления сеансом, определенной рабочей группой инженерных проблем интернета (IETF). Услуги IM вместе с мультимедийными носителями используют домен PS, воз-

можно, включая эквивалентный набор услуг в соответствующем подмножестве услуг CS.



Рис. 3.4. Подсистема IP-мультимедиа

Подсистема IMS позволяет операторам PLMN предлагать мультимедийные услуги своим абонентам, базируясь на встроенных приложениях, услугах и протоколах интернета. 3GPP не стремится стандартизировать такие услуги в пределах IMS. Цель состоит в том, чтобы эти услуги были развернуты операторами PLMN и независимыми поставщиками (посредниками), включая услуги в пространстве интернета, использующие механизмы, осуществляемые интернетом и IMS. Подсистема IMS должна обеспечить для пользователей радиосвязи конвергенцию и доступ к различным технологиям: телефония, видео, передача сообщений, передача данных и технологии на базе web, а также объединить развитие интернета с развитием подвижной связи.

**К функциональным элементам IMS относятся:**

- **CSCF**, который играет три роли: **полномочный (Proxy)-CSCF (P-CSCF)** – это первая контактная точка для UE в пределах IMS. Функция управления стратегией (PCF) является логическим элементом P-CSCF; **опрашивающий CSCF (I-CSCF)** – это контактная точка в пределах сети оператора для всех соединений IMS, предназначенных пользователю этого конкретного сетевого оператора; **обслуживающий CSCF (S-CSCF)** выполняет услуги управления сеансом для UE;



- функция управления шлюзом среды (**MGCF**) преобразует протоколы между ISUP (подсистема пользователей ISDN) и протоколами управления соединениями IMS (например, преобразование ISUP/SIP (протокол инициирования сеанса));

- функция множества ресурсов (**MFR**) выполняет функции коллективных соединений и проведения мультимедийных конференций;

- шлюз среды IP-мультимедиа (**IM-MGW**) завершает каналы-носители из сети с коммутацией каналов и потоки мультимедиа из сети с коммутацией пакетов. Шлюз IM-MGW может поддерживать преобразование среды, управление носителем и обработку загрузки (например, кодек, эхо-компенсатор, мост конференц-связи).

Внешние сети можно разделить на две группы:

- сети CS, обеспечивающие соединения с коммутацией каналов;
- сети PS, осуществляющие соединения с коммутацией пакетов данных.

Соединение сети WCDMA с сетями с коммутацией каналов происходит с помощью домена CS, который может обеспечить следующие интерфейсы E1/T1. При этом одной из основных особенностей является используемая система сигнализации. При сопряжении с ТФОП, как правило, применяется OKC7 (SS7), однако при сопряжении с офисными АТС (PABX) необходим выход с сигнализацией DSS, так как PABX поддерживают именно эту систему сигнализации.

Соединение сети WCDMA с сетями с коммутацией пакетов (PDN) и, в частности INTERNET, достигается с помощью домена PS, который может обеспечить следующие интерфейсы: E1/T1, ATM STM-1/STM-4, POS STM-1/STM-4. В дополнение могут быть реализованы интерфейсы Ethernet 10M/100M/1000M. Существующее оборудование также обеспечивает канальный SDH и синхронный последовательный порты, что удовлетворяет различным требованиям к организации сети.

### ***3.2.3. Организация каналов в сети WCDMA***

Система радиодоступа WCDMA выделяет абонентам полосу частот. Эту полосу частот и функции управления ею в обиходе называют «каналом». Функциональные возможности конкретной

системы WCDMA определяют, какого вида каналы необходимы и как их организовать. Как показано на рисунке 3.5, каналы, организуемые в системе WCDMA, разделены на три уровня: логические, транспортные и физические. Логические каналы представляют тип информации, подлежащей передаче; транспортные показывают, как будут передаваться логические каналы, а физические представляют собой «среды передачи», обеспечивающие радиоплатформу, которая фактически распространяет информацию [6, 7, 12].

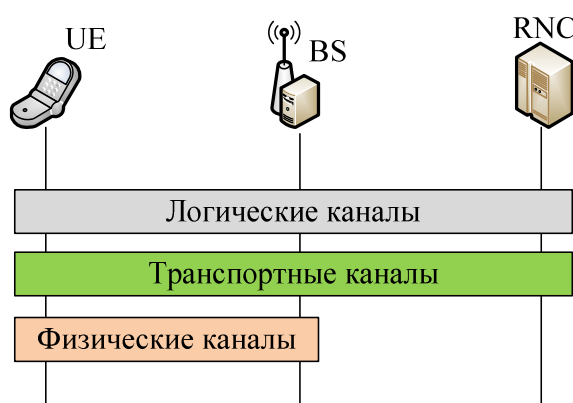


Рис. 3.5. Логические, транспортные и физические каналы в системе WCDMA UTRAN

Следует отметить, что структуры каналов и их использование заметно отличаются от систем GSM. Понятие «физические каналы» означает различные типы полос пропускания, обусловленные различными задачами интерфейсов Uu. Другими словами, физические каналы фактически образуют физическую основу интерфейсов Uu между местом, в котором находится оборудование абонента UE, и зоной доступа. В системах GSM физические каналы и их структура опознаются контроллером базовой станции BSC, а в системах WCDMA они (физические каналы) распознаются на стыке Uu и в контроллере радиосети RNC, при этом структура каналов не всегда распознается полностью.

RNC «видит» не физические, а транспортные каналы. Транспортные каналы переносят различную информацию, которая проходит через интерфейс Uu, а на базовой станции БС физические элементы вставляют эти информационные потоки в физические каналы. Логические каналы – это не реальные каналы как таковые, они

скорее могут быть поняты как различные задачи сети и абонентских окончаний, которые должны выполняться в определенное время. Эти частные временные структуры вписываются в транспортные каналы, что позволяет передать информацию между местом расположения UE и зоной доступа.

Говоря о логических каналах, нужно отметить, что оборудование абонента UE и сеть выполняют разные задачи, поэтому структуры логических, транспортных и физических каналов несколько отличаются в каждом направлении. Огрубляя, можно сказать, что сеть должна выполнять следующие функции:

- сеть должна информировать UE о состоянии радиоокружения. Это могут быть, например, значения кода или кодов, используемых в данной и соседних сотах, разрешенные уровни мощности и т. д. Этот тип информации передается в UE по логическим каналам, называемым «каналами управления вещательного типа» – BCCH;

- когда возникает необходимость в установлении связи с определенным абонентом (т. е. нужно установить связь с мобильным телефоном UE), то необходимо найти данный UE, определить его точное местоположение. Это требование сети, исполняемое логическими каналами, называется каналом управления поиском – RACH;

- сеть может выполнять различные задачи, которые являются или могут быть общими для всего абонентского оборудования UE, находящегося в соте. В таких случаях сеть применяет логический канал, называемый общим каналом управления – CCCH. Поскольку многочисленные устройства UE могут использовать канал CCCH одновременно, то для целей идентификации они должны иметь временную систему идентификации U-RNTI (Radio Network Temporary Identity) наземной сети доступа UTRAN UMTS. После изучения принятой информации U-RNTI сеть UTRAN может направить сообщения к нужному обслуживающему контроллеру RNC;

- когда в сети есть активные выделенные соединения, то она посылает управляющую информацию об этом по логическому каналу, называемому выделенным каналом управления – DCCH;

- выделенный трафик: выделенный абонентский трафик для одной услуги передается в нисходящем направлении по логическому каналу, называемому выделенным каналом трафика – DTCH;

- общий канал трафика CTCH – это однонаправленный канал, образованный только в нисходящем направлении. Он используется

для передачи информации ко всем аппаратам UE данной соты или только какой-то группы UE.

Обзор организационных каналообразующих структур (организации каналов в системе) WCDMA представлен на рисунке 3.6 [7].

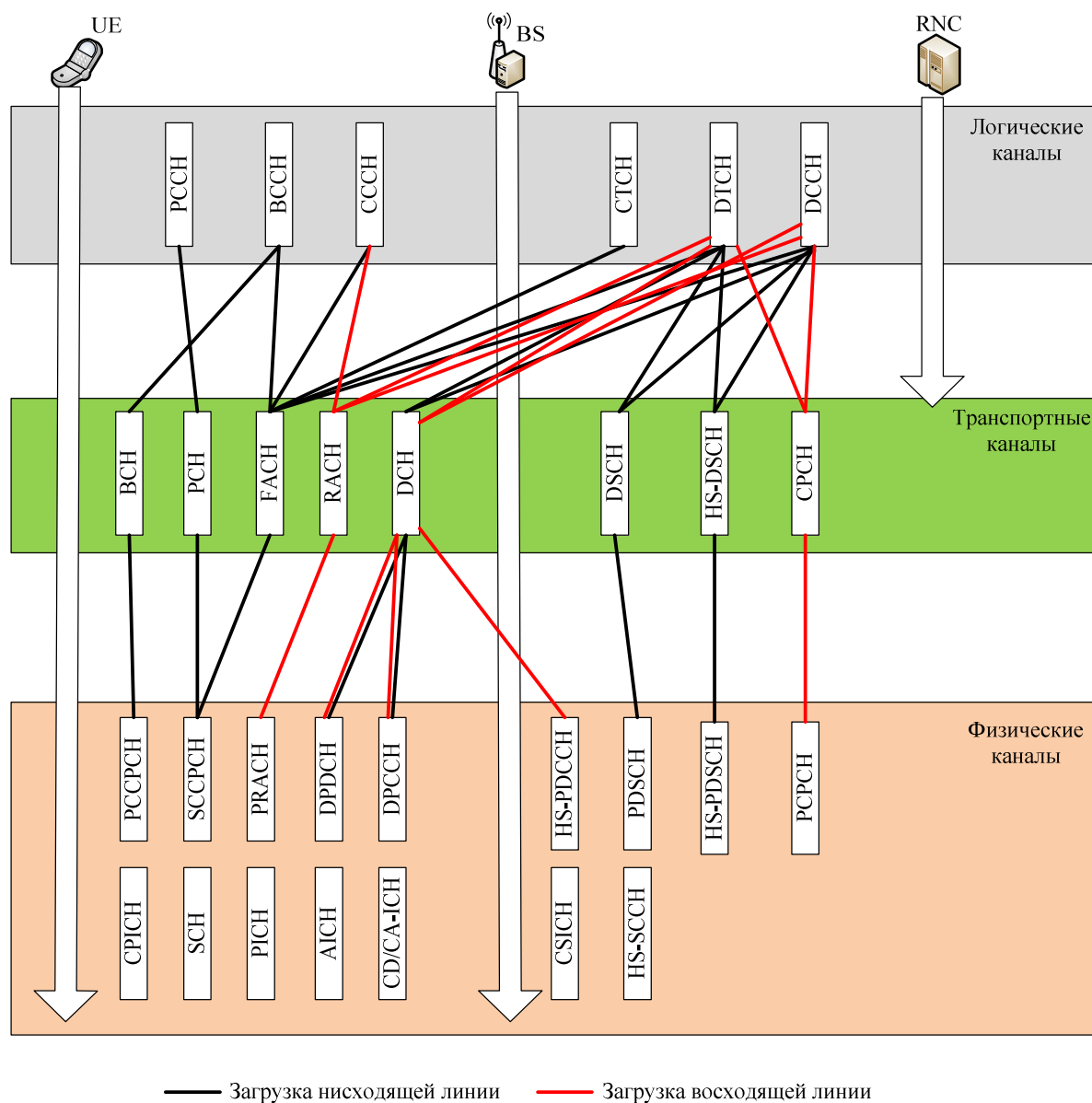


Рис. 3.6. Типы каналов в системе доступа UTRAN, их размещение относительно элементов сети и загрузка в исходящем и нисходящем направлениях

Все показанные на рисунке 3.6 транспортные каналы, за одним исключением, являются обязательными. Обязательные транспортные каналы представлены вещательными каналами BCH, поисковыми

каналами PCN, каналами прямого доступа FACH и выделенными каналами DCH. В дополнение к ним оператор может конфигурировать сеть UTRA для использования совместных исходящих каналов DSCH и высокоскоростных совместных исходящих каналов HS-DSCH [7].

Все эти транспортные каналы являются каналами общего пользования, за исключением выделенных транспортных каналов DCH. В этом контексте термин «выделенные» означает то, что в сети доступа UTRAN есть каналы, которые применяются только определенными абонентскими терминалами. Термин «общий» означает, что несколько терминалов могут использовать каналы совместно [7].

Каналы BCN обеспечивают перенос логических каналов BCCH, т. е. специфическую информацию сети UTRA в соте. Эта информация состоит, например, из кодов случайного доступа, информации об окнах доступа и о соседних сотах. Абонентское оборудование UE для того чтобы зарегистрироваться в сети, должно уметь декодировать сигналы BCN. Сигналы BCN транслируются с относительно высокой мощностью, с тем чтобы каждый абонентский *терминал* мог «услышать» их по всей зоне покрытия данной соты. Каналы PCN обеспечивают перенос пейджинговой, поисковой информации и используются тогда, когда сеть инициирует соединение с определенным терминалом UE. Каналы прямого доступа FACH передают управляющую информацию в оборудование UE, которое должно быть известно в сети. Например, когда **RNC** получает от **терминала** сообщение **случайного** доступа, то ответ доставляется по каналам FACH. Кроме того, по каналам FACH в направлении может передаваться пакетный трафик. В соте может быть много каналов FACH, но один из них всегда организуется так, чтобы все оконечное оборудование, находящееся в данной соте, могло принимать по нему информацию (низкоскоростной канал). Каналы DCH передают выделенный трафик и информацию управления, т. е. логические каналы DCCH и DTCH. Следует заметить, что в зависимости от ситуации один канал DCH может передавать несколько DTCH. Например, абонент может одновременно установить связь по видео- и аудиоканалам. Аудиоканал использует один **логический канал** DTCH, а канал **видео** требует отдельного логического канала DTCH. Тем не менее для обоих используется

один транспортный канал DCH. С точки зрения пропускной способности цель UTRA заключается в том, чтобы применять как можно больше общих транспортных каналов, поскольку выделенные каналы расходуют радиоресурсы. Необязательные совместные исходящие каналы DSCH – это предмет возрастающего интереса. Они предназначены для переноса пакетного трафика абонентов (т. е. логических каналов DTCH и DCCH), причем несколько абонентов могут использовать канал DSCH совместно. В этом отношении каналы DSCH значительно лучше, чем DCH, поскольку позволяют сохранить ресурсы пакетной сети в нисходящем направлении. Еще одной причиной является то, что максимум скорости в каналах DSCH и HS-DSCH может быть изменен быстрее, чем в DCH. Ожидаемое разнообразие услуг, приводящих к случайным всплескам пакетов (например веб-серфинг), повышает заинтересованность в каналах DSCH и особенно в HS-DSCH [7].

Для увеличения пропускной способности передачи данных в системе WCDMA в стандарте 3GPP R5 выделено несколько новых транспортных и физических каналов. Транспортный канал HS-DSCH может применяться несколькими мобильными устройствами совместно. Он связан с одним нисходящим выделенным физическим каналом DPCH, одним или несколькими совместно используемыми новыми высокоскоростными каналами управления HS-SCCH, а также с восходящими выделенными каналами управления HS-DPCCH для передачи информации, относящейся к информации обратной связи. Канал HS-DSCH может передаваться по всей соте или только по ее части, например для лучевых антенн. Канал управления HS-SCCH, рассчитанный на фиксированную скорость (60 кбит/с, коэффициент расширения SF – 128), служит обычно для поддержания сигнализации в нисходящем направлении канала HS-DSCH. На физическом уровне для доставки транспортного канала HS-DSCH применяется высокоскоростной физический нисходящий канал совместного использования HS-PDSCH с фиксированным коэффициентом расширения SF – 16. Если мобильный аппарат запросил разрешение на использование нескольких каналообразующих кодов в одном подкадре HS-PDSCH, то скорость передачи значительно возрастет.

Общее число логических каналов, нужных в восходящем направлении, меньше. Здесь предусмотрено только три логических

канала: CСCH, DTCH и DCCH. Аббревиатуры имеют те же значения, что и для каналов нисходящего направления.

В восходящем направлении предусмотрено три обязательных транспортных канала: канал случайного доступа RACH, выделенный канал DCH и общий пакетный канал CРCH. Канал RACH передает в сеть UTRAN управляющую информацию от UE, например запрос на установление соединения. Кроме того, RACH может передавать небольшое количество пакетов данных. У выделенного канала DCH те же функции, что и в нисходящем направлении, т. е. передача информации логических каналов DCCH и DTCH по выделенным транспортным каналам. Канал CРCH представляет собой транспортный канал, предназначенный для пакетной передачи данных. В нисходящем направлении прототипом каналов RACH и CРCH служит канал FACH.

Когда информация логических каналов собирается для передачи по транспортным каналам, то она уже находится в формате, готовом для передачи. Перед передачей транспортные каналы преобразуются для работы по физическим каналам. Другие физические каналы применяются для контроля радиопередающей среды, задач модификаций и доступа.

Физические каналы используются между абонентским терминалом и базовой станцией. Организация физического доступа, т. е. физических каналов, отделена от других уровней. Такой подход дает возможность теоретически помещать физическую среду радиодоступа ниже остальных уровней. На практике, конечно, изменение среды радиодоступа влияет на верхние уровни, но такое распределение ролей минимизирует учет данных изменений.

Первичный общий физический канал управления P-CCPCH транспортирует в нисходящем направлении каналы вещательного типа BCCH. Канал P-CCPCH доступен всем мобильным терминалам, находящимся в зоне покрытия соты, т. е. все терминалы могут понимать (демодулировать) его содержимое. Из-за этого требования каналы P-CCPCH имеют некоторые характеристики, которые фактически ограничивают их по сравнению с другими каналами данной системы. Каналы P-CCPCH используют фиксированные каналообразующие коды, а следовательно, и фиксированный коэффициент

расширения. Это обязательное условие, так как в противном случае абонентские терминалы не могли бы «видеть» и демодулировать каналы Р-ССРСН. Скорость передачи в канале Р-ССРСН равна 30 кбит/с при коэффициенте расширения 256. Эта скорость передачи достаточно низкая, и передача ведется с относительно высокой мощностью. Если применяется более высокая скорость, то помехи начинают увеличиваться, что ограничивает пропускную способность системы, поэтому в данном специфическом случае соотношение между расширяющим кодом, передаваемой мощностью и скоростью бит может быть представлено как отклонение от основных принципов WCDMA, рассмотренных ранее, потому что в принципе есть возможность использовать более низкую мощность с заданной скоростью передачи в канале.

Вторичный общий физический канал управления S-ССРСН транспортирует два транспортных канала; РСН и FACH. Эти транспортные каналы могут применять один и тот же или разные каналы S-ССРСН, поэтому сота всегда содержит хотя бы один канал S-ССРСН. Скорость канала S-ССРСН фиксирована и относительно невысока по тем же соображениям, что и в канале Р-ССРСН. Позднее скорость в канале S-ССРСН может быть увеличена за счет системных изменений. Канал S-ССРСН имеет переменную конфигурацию и в каждом конкретном случае может быть сконфигурирован по-разному, чтобы оптимизировать параметры системы. Например, контрольные символы могут быть включены или нет. Относительно изменяемых параметров канала S-ССРСН следует отметить, что один из примеров увеличения возможностей системы представляет мультиплексирование в S-ССРСН информации каналов РСН и FACH и поискового канала в отдельном канале, называемом каналом пейджинговой индикации PICH.

Выделенный физический канал данных DPDCH передает выделенный абонентский трафик. Размер канала DPDCH изменяется, и он может служить для нескольких вызовов/соединений. Наименование «выделенный» означает, что канал используется между сетью и одним абонентом. Выделенные каналы в одном соединении всегда связываются парами; один канал – для передачи управляющей информации и другой – для трафика. Выделенный физический общий



канал DPCCN передает управляющую информацию в течение времени этого соединения.

Каналы DPDCH и DPCCN совместно передают содержимое транспортных каналов DCH. Когда выделенные соединения служат для высокоскоростной передачи, то система вскоре начинает испытывать недостаток каналообразующих кодов в соте. В этом случае есть две возможности разрешения ситуации: либо добавить в соту новые скремблирующие коды, либо использовать каналы общего пользования для трансляции выделенных данных. Добавление скремблирующих кодов не рекомендуется из-за потери ортогональности. Вместо этого для повышения пропускной способности пакетной передачи данных можно реализовать ресурсы каналов общего пользования. Нисходящие каналы DCH могут передавать информацию о том, должен ли абонентский терминал UE декодировать дополнительную информацию в нисходящем физическом канале совместного использования PDSCH. Транспортный канал DSCH применяет физический канал PDSCH и, как пояснялось ранее, канал DSCH содержит необязательные параметры, которые оператор может использовать или нет.

Если существует необходимость в передаче пакетных данных в восходящем направлении, то емкости канала RACH может оказаться недостаточно. В этом случае оборудование абонента UE может применять для передачи пакетов восходящую линию CPCH. Общий физический пакетный канал PCPCH представляет собой соответствующий физический канал восходящего направления. Аналогом канала CPCH в нисходящем направлении является DPCCN. Пакетный канал со случайным доступом PRACH служит для переноса информации о процедуре случайного доступа RAR (см. рис. 3.7). По этой процедуре обеспечивается доступ оконечных устройств к сети и может быть передан небольшой объем данных. Процедура случайного доступа включает следующие фазы [7]:

1. Терминал UE декодирует информацию BCH в канале P-CCPCH и определяет, какой канал может быть занят и какой скремблирующий код необходим.

2. Терминал UE случайным образом занимает один канал RACH.

3. Терминал UE устанавливает для начального уровня мощности (по уровню мощности, принимаемой по нисходящему каналу) и посылает в сеть так называемую «преамбулу».

4. Терминал UE, чтобы определить, зарегистрировала ли сеть отосланную преамбулу, декодирует сообщение в канале AICH. Если контакта нет, то UE отправляет преамбулу еще раз, но уже с более высоким уровнем мощности.

5. Если канал AICH подтверждает, что сеть зарегистрировала преамбулу, то UE посылает информацию RACH по каналу PRACH. Длина посылаемого сообщения RACH занимает один или два цикла WCDMA, составляющих 10 или 20 мс.

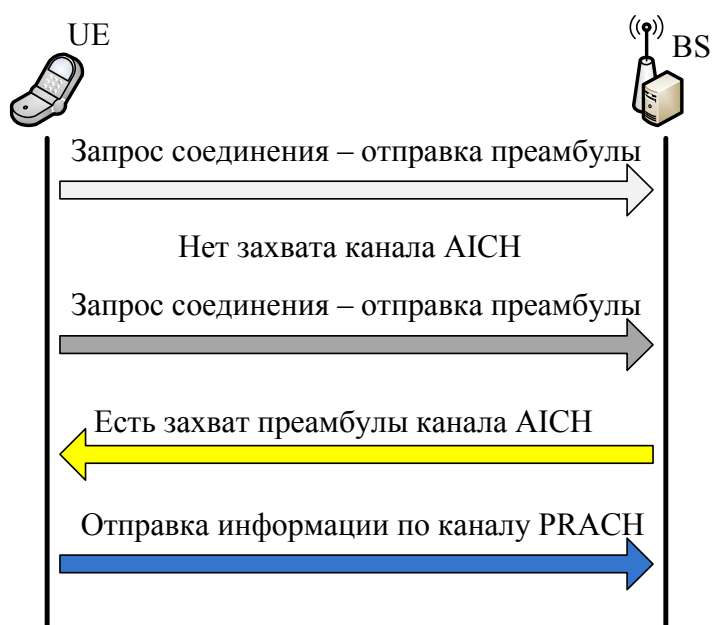


Рис. 3.7. Основная процедура случайного доступа

Канал синхронизации SCH обеспечивает абонентские терминалы UE, находящиеся в зоне покрытия, поисковой информацией. Канал синхронизации SCH фактически состоит из двух каналов – первичного и вторичного каналов синхронизации P-SCH и S-SCH. Первичный канал синхронизации P-SCH использует фиксированные каналообразующие коды длиной по 256 бит и одинаковые во всех сотах системы. После демодуляции оборудованием UE сигнала P-SCH система входит в цикловой (кадровый) и каналный синхронизм, а также устанавливается группа скремблирующих кодов в соте.

Совмещенный контрольный канал CPICH представляет собой смодулированный кодом канал, скремблированный специальным кодом соты. Канал CPICH служит для приблизительной оценки выделенных каналов (по терминалам) и обеспечивает исходное расчетное количество каналов при привлечении совмещенных каналов. В этом отношении функции контрольного сигнала во многом напоминают функции настроечной последовательности, передаваемой в середине пакета GSM. Обычно в соте бывает только один контрольный канал CPICH, но их может быть и два. В этом случае один из них называется первичным, а другой – вторичным. Сота может содержать вторичный канал CPICH, например, для обслуживания узконаправленного луча антенны, выделенного для районов «горячих точек». В этом случае выделенный район обслуживается вторичным каналом CPICH, а первичный канал CPICH используется по всей зоне покрытия ячейки. Терминалы непрерывно слушают контрольный сигнал, и это объясняет, почему он применяется для обеспечения жизнеспособности системы, например измерений при передаче обслуживания и выравнивания нагрузки по ячейке. С точки зрения системы подстройка уровня мощности в канале CPICH выравнивает нагрузку между сотами. Терминал UE всегда отыскивает наиболее привлекательные соты, а при снижении уровня мощности в канале CPICH привлекательность соты уменьшается.

Другие каналы, перечисленные на рисунке 3.6, предназначены для индикации статуса канала CPCH (CSICH), индикации обнаруженных коллизий (CD-ICH) и индикации присвоенного канала (CA-ICH). Канал CSICH использует свободное пространство, которое образуется в канале обнаружения захвата AICH, и служит для информирования терминала UE о существовании и конфигурации канала CPCH. Для избегания коллизий, т. е. ситуаций, когда в двух терминалах UE существует одна и та же идентифицирующая последовательность, применяются каналы CD-ICH и CA-ICH. Эти физические каналы передают в терминал UE информацию об обнаружении коллизии.

### ***3.2.4. Элементарные процедуры в сетях WCDMA***

Понятие операции используется, чтобы подчеркнуть то обстоятельство, что системные процедуры выполняются до успешного

установления соединения, а последующие процедуры представляют достаточно независимые действия по обмену информацией [7].

#### *Основные элементарные процедуры*

**Поиск (пейджинг)** – это одна из процедур поддержания мобильности ММ, которая используется при поиске заданного абонента в зоне покрытия сети. Эти действия выполняются только тогда, когда запрос инициирует сеть.

**Управление установлением радиосоединения RRC** – это элементарная процедура по организации радиоканала управления между оконечным оборудованием UE и сетью радиодоступа RAN, которая включает и операции, и последовательность сообщений. Детали этой процедуры изменяются в зависимости от конкретного случая.

**Обоснование операции** – элементарная процедура, в которой оконечное оборудование указывает базовой сети CN тип запрашиваемой операции. Исходя из этой информации, базовая сеть CN может принять решение продолжать операцию или завершить ее.

После этих шагов обычно проводятся процедуры **аутентификации** (подтверждения подлинности или права на доступ) и **безопасности**. Эта элементарная процедура подтверждает подлинность абонента UMTS и сети, а позже активизирует необходимые механизмы безопасности для соединения сети доступа.

**Операции по установлению соединения и выделению радиоканала доступа RAB** – элементарная процедура, которая выделяет реальные ресурсы для информационного обмена, поэтому детали этой процедуры зависят от режима работы – с коммутацией каналов КК или с коммутацией пакетов КП.

**Элементарные рабочие операции** – это фаза, когда соединение в пользовательской плоскости уже установлено, т. е. UE располагает каналом по всей сети UMTS.

**Операции разъединения и освобождения радиоканалов RAB** – элементарная процедура освобождения ресурсов сети, связанных с соединением.

**Освобождение радиосоединения RRC** – элементарная процедура, содержащая механизмы, посредством которых радиоканал управления между UE и сетью доступа освобождается.

## Поиск (пейджинг)

Процедура поиска востребована каждый раз, когда выполняется установление соединения с мобильным аппаратом UE. В отличие от GSM, в UMTS существует два метода поиска (пейджинга) – 1-го и 2-го типа. Первый тип поиска используется доменами базовой сети CN и представляет «традиционный» способ поиска (см. рис. 3.8). Поиск – это часть плоскости управления радиосетью, и по сообщению RANAP PAGING активизируется на интерфейсе Iu. Домен базовой сети CN, инициирующий поиск, адресует его в те области местоположения или маршрутизации LA/RA, в которых разыскиваемый аппарат UE последний раз давал о себе знать, т. е. обновлялись данные о его местоположении или области маршрутизации [7].

Сообщение «RANAP PAGING» содержит два обязательных параметра – запрашивающий домен базовой сети CN и международный идентификатор мобильного абонента IMSI (International Module Subscriber Identity). С точки зрения безопасности системы передача IMSI через опорную точку Uu без шифрования нежелательна, поэтому контроллер радиосети RNC может проводить (или не проводить) несколько преобразований IMSI. Например, контроллер RNC может выдавать сообщение «RRC PAGING TYPE 1», содержащее вместо IMSI временный идентификатор зоны радиосети RNTI (Radio Network Temporary Identifier). Это значение задается при подсоединении UE к сети или после выполнения предыдущей операции.

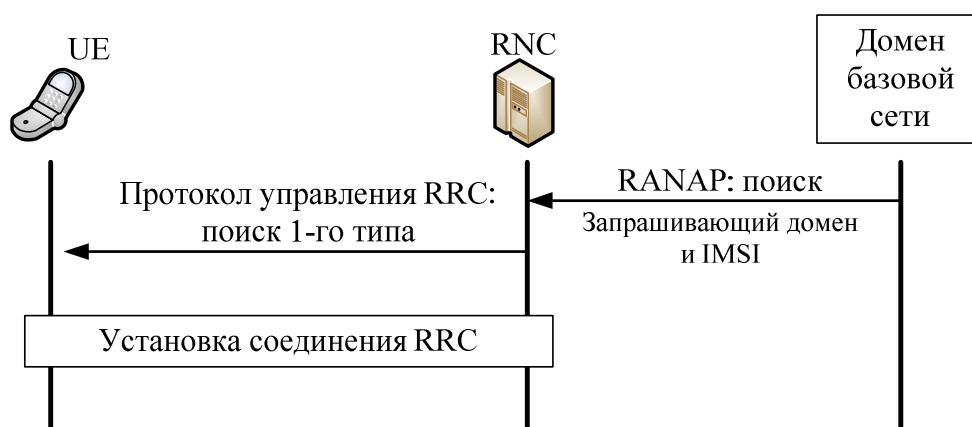


Рис. 3.8. Поиск (пейджинг) 1-го типа

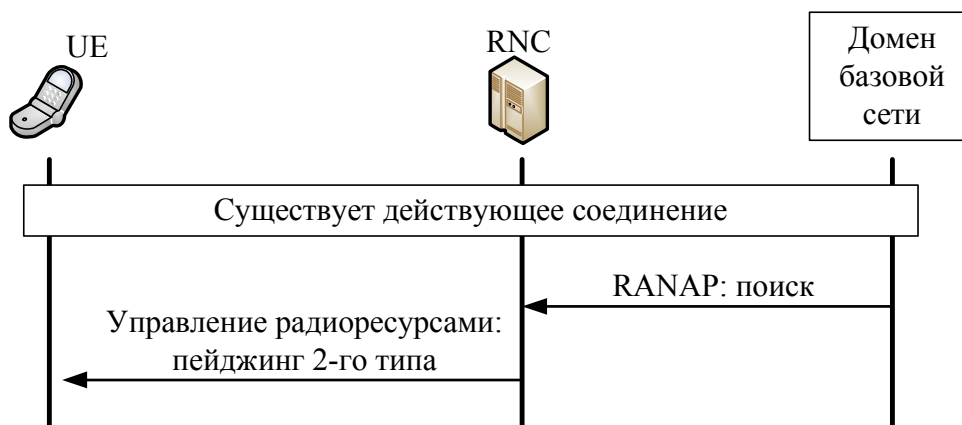


Рис. 3.9. Поиск (пейджинг) 2-го типа

Как правило, прием и распознавание сообщения «RRC PAGING TYPE 1» оборудованием пользователя UE ведет к установлению соединения RRC, необходимого для выполнения операции, которая была инициирована при поиске. Предполагается, что оконечные устройства UMTS могут поддерживать несколько соединений одновременно, т. е. может иметь одновременно более одного соединения с доменами базовой сети CN. Когда оборудование UE уже имеет соединение с одним доменом CN и устанавливается другое соединение с тем же доменом, то CN, как и в предыдущих случаях, передает сообщение «ranap PAGING». Сообщение поиска, посылаемое оборудованию UE обслуживающим контроллером RNC – SRNC, в данном случае представляет собой сообщение «RRC. PAGING TYPE 2» (см. рис. 3.9) [7].

Разделение между операциями поиска 1-го и 2-го типов выполняется контроллером RNC, где поиск RANAP всегда выглядит одинаково. Различие между операциями поиска 1-го и 2-го типов заключается в том, что первая используется для поиска UE, находящихся в нерабочем режиме, режиме поиска в соте или режиме поиска в области регистрации сети доступа UTRAN. Следовательно, поиск 1-го типа может применяться для нескольких или всех устройств UE в пределах одной или нескольких сот. В то же время режим 2-го типа используется для поиска тех устройств UE, которые находятся в режиме выделенного сотового канала или режиме сотового канала прямого доступа, и поэтому всегда относится и адресуется только к одному UE.

## Установка соединений RRC

Рисунок 3.10 иллюстрирует принцип установления радиосоединения между UE и RNC на интерфейсе Uu и внутреннем интерфейсе Iub области доступа. Установление соединений RRC всегда начинается с запроса соединения оборудованием UE – сообщения «RRC CONNECTION REQUEST», передаваемого по общему каналу управления CCCH. Это сообщение поступает в контроллер RNC через порт данных интерфейса Iub по каналу случайного доступа RACH. При получении этого сообщения элемент RRC на стороне RNC изменяет свое состояние – переходит из состояния IDLE (не занят) в состояние CONNECTED Cell FACH (связь по каналу прямого доступа) или CONNECTED Cell DCH (связь по выделенному каналу доступа). Затем контроллер RNC связывается с UE по общим каналам управления (для этого используются каналы FACH и RACH соответственно) [7].

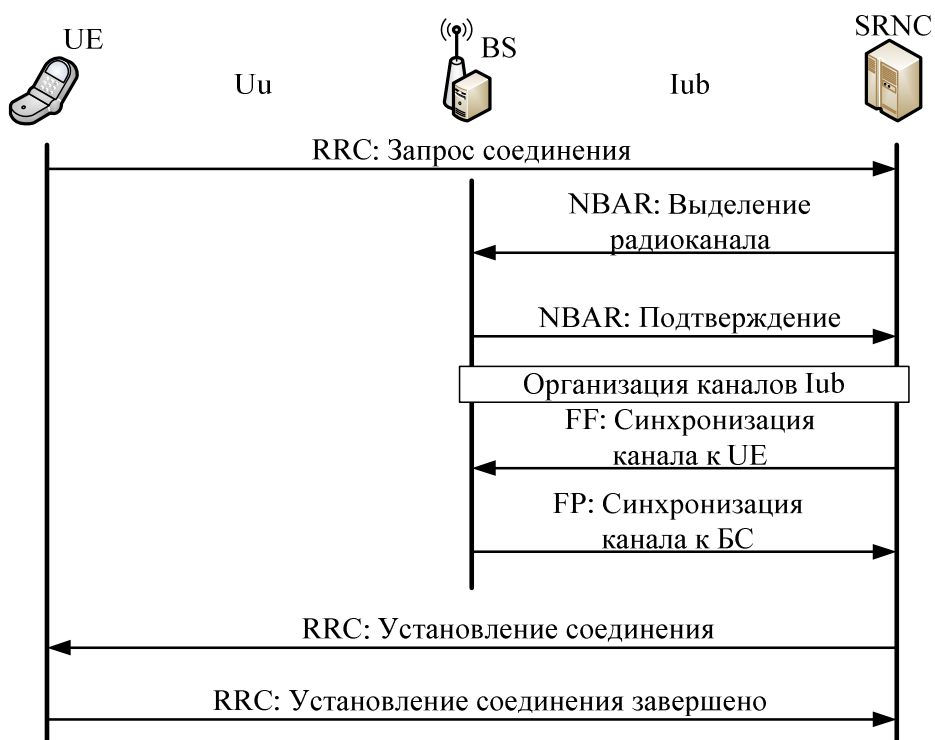


Рис. 3.10. Установление соединения RRC

Сообщение «RRC CONNECTION REQUEST» (запрос соединения) содержит большой объем информации, имеющей отношение к запрашиваемому радиоканалу, терминалу и идентификации абонента;

в этом сообщении UE посылает сети: идентификатор абонента IMSI или временный идентификатор абонента TMSI, международный идентификатор мобильного оборудования IMEI, идентификатор местоположения LAI и идентификатор области маршрутизации RAI. Кроме этих идентификаторов запрос «RRC CONNECTION REQUEST» содержит обоснование запрашиваемого соединения. Существуют различные обоснования, и некоторые из них перечислены ниже [7]:

- исходящий телефонный вызов;
- исходящая потоковая передача данных (без разделения на пакеты);
- исходящий интерактивный (диалоговый) вызов;
- исходящий низкоприоритетный (фоновый) вызов;
- входящий телефонный вызов;
- входящая потоковая передача данных (без разделения на пакеты);
- входящий интерактивный (диалоговый) вызов;
- экстренный вызов;
- высокоприоритетная сигнализация;
- низкоприоритетная сигнализация;
- восстановление вызова (запроса).

Как можно видеть из приведенного списка, запрос «RRC CONNECTION REQUEST» уже указывает требуемый класс качества обслуживания QoS. Экстренный вызов приведен в списке, потому что в сети он будет обрабатываться иначе, чем при обычных условиях. Если следующая операция будет служебной, то это также указывается.

В зависимости от причины запроса контроллер RNC принимает решение о предоставлении выделенных или общих ресурсов для данного соединения. Интерфейс Iub «открывается», когда RNC посылает к базовой станции сообщение «NBAR RADIO LINK SETUP» (сообщение об установлении радиосвязи). Это сообщение содержит описание транспортного формата, информацию управления мощностью и кодовую информацию, используемую в дальнейшем в качестве кода скремблирования в восходящем канале системы WCDMA-FDD. Базовая станция подтверждает это сообщение, посылая сообщение «NBAR RADIO LINK SETUP RESPONSE» (ответное сообщение об установке радиоканала), которое информирует контроллер радиосети RNC об адресации



транспортного уровня и предоставляет некоторую исходную информацию для организации в транспортной сети канала Iub.

В соответствии с информацией, принятой от БС, контроллер SRNC приступает к организации канала Iub. Когда связь Iub установлена, то RNC посылает в оборудование пользователя UE сообщение «RRC CONNECTION SETUP» (сообщение об установке соединения) по общим каналам управления (в данном случае по каналу прямого доступа FACH). В этом сообщении контроллер SRNC информирует UE о транспортном формате, управлении мощностью и о кодах, которые в случае WCDMA-FDD служат кодами скремблирования в нисходящем канале. Оборудование UE подтверждает установку соединения RRC, передавая сообщение «RRC CONNECTION SETUP COMPLETE» (установка соединения завершена) [7].

### ***Обоснование операции***

После установления соединения RRC аппарат UE передает сообщение «rrc INITIAL DIRECT TRANSFER» (начало прямой передачи).

После получения этой информации (рис. 3.11) RNC добавляет к сообщению еще несколько параметров и направляет эту комбинацию в соответствующий домен базовой сети в виде сообщения «ranap ue INITIAL». Это сообщение в своей полезной нагрузке вместе с первым сообщением, сформированным оборудованием UE, содержит исходное сообщение «rrc INITIAL DIRECT TRANSFER» (начало прямой передачи). Содержание сообщения «ranap ue INITIAL» дает базовой сети достаточно информации об операции, инициируемой UE. Среди этой информации – заявленная идентификация абонента UMTS (TMSI или IMSI), его настоящее местоположение и класс запрашиваемой операции. Вся эта информация используется узлом базовой сети для принятия решений о том, как лучше поступить с запросом на работу [7].

Рисунок 3.12 иллюстрирует обмен управляющими сообщениями, завершающимися в оборудовании UE, при вызове от телефонной сети общего пользования ТФОП с коммутацией каналов КК. Предполагается, что в ТФОП и между узлами MSC

используется абонентская сигнализация сети ЦСИО (ISDN) – ISUP (ISDN User Part) [7].

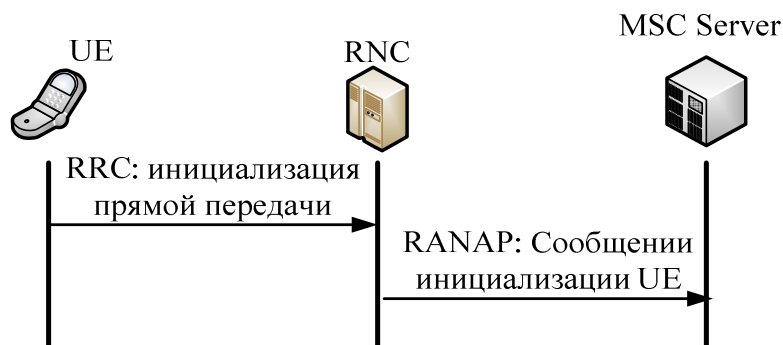


Рис. 3.11. Обоснование операции

### 3.2.5. Обслуживание вызова в сетях 3 поколения WCDMA

Вызывные сигналы ТФОП поступают сначала в шлюзовой сервер MSC в сообщении iam – «isup INITIAL ADDRESS MESSAGE» (инициализация адреса). Это сообщение содержит номер мобильного абонента ISDN – MSISDN (Mobile Subscriber ISDN) вызываемого абонента UMTS. В это же время данный номер MSISDN идентифицирует желаемую услугу. Чтобы организовать тракт с КК между сетью UMTS (CS-MGW) и ТСОП, шлюзовой сервер GMSC отвечает сообщением «isup ADDRESS COMPLETE MESSAGE» (ACM).

Сервер GMSC запрашивает у домашнего регистра HLR информацию о маршрутизации абонента, посылая сообщение «MAP SEND ROUTING INFORMATION». В этом сообщении шлюзовой сервер GSMC посылает HLR принятый номер MSISDN, в котором HLR может обнаружить идентификатор IMSI абонента. Он также находит последнее сообщение о местоположении абонента с точностью до текущего адреса сервера MSC. Затем HLR выдает сообщение «MAP PROVIDE ROAMING NUMBER REQUEST» (запрос номера роуминга) серверу MSC, который присваивает и возвращает номер роуминга мобильной станции MSRN (Mobile Station Roaming Number) для соединения в тракте с КК. После его приема HLR транслирует номер MSRN в шлюзовой сервер GMSC.

Номер MSRN содержит необходимую информацию для маршрутизации вызовов, так как каждый сервер MSC в сети присваивает номера MSRN из определенной области нумерации и эта область нумерации распознается в элементах протокола СС шлюзового сервера MSC GMSC. Сервер GMSC использует полученный номер MSRN для маршрутизации вызовов к серверу MSC с помощью сообщений «isup iam» и «isup ast», как описывалось ранее [7].

Сервер MSC распознает выделенный ему номер MSRN и определяет, что этот запрос должен завершиться на одном из управляемых им устройств UE. Тогда он посылает сообщения «RANAP PAGING» тем контроллерам RNC, которые обслуживают соты, принадлежащие областям LA, где адресуемое оборудование UE проводило последнее обновление местоположения LU. Контроллер RNC посылает на интерфейс Uu сообщения «RRC PAGING TYPE 1» (поиск 1-го типа), а разыскиваемый аппарат UE отвечает инициированием процедуры организации соединения RRC. Отклик на поиск передается в сообщении «RANAP UE INITIAL» (инициация UE), при получении которого базовая сеть CN начинает операции аутентификации и безопасности данного вызова. Если операции безопасности выполнены успешно, то базовая сеть CN начинает установление соединения, посылая UE сообщение «CC SETUP» о входящем вызове и его характере. Если UE принимает данный вызов, то базовая сеть CN иницирует выделение несущего канала RAB. После выделения RAB оборудование UE оповещает абонента и сообщает об этом сети, посылая сообщение «cc ALERT» (готово). Эта информация передается через сеть (или сети) до коммутационной станции вызывающего абонента. Когда абонент отвечает, в сети UTRAN приводится в действие процедура «CC CONNECT» (соединение) и по сети (сетям) передается ответная информация посылкой ответного сообщения «isup ans».

Вызывной тракт с КК теперь в состоянии пройти через шлюзы среды передачи CS-MGW, которые находятся под управлением серверов MSC и GMSC. Начинается загрузка, запускаются соответствующие кодеки речи, и система готова передавать поток данных пользователя, поскольку соединение плоскости пользователя теперь открыто.

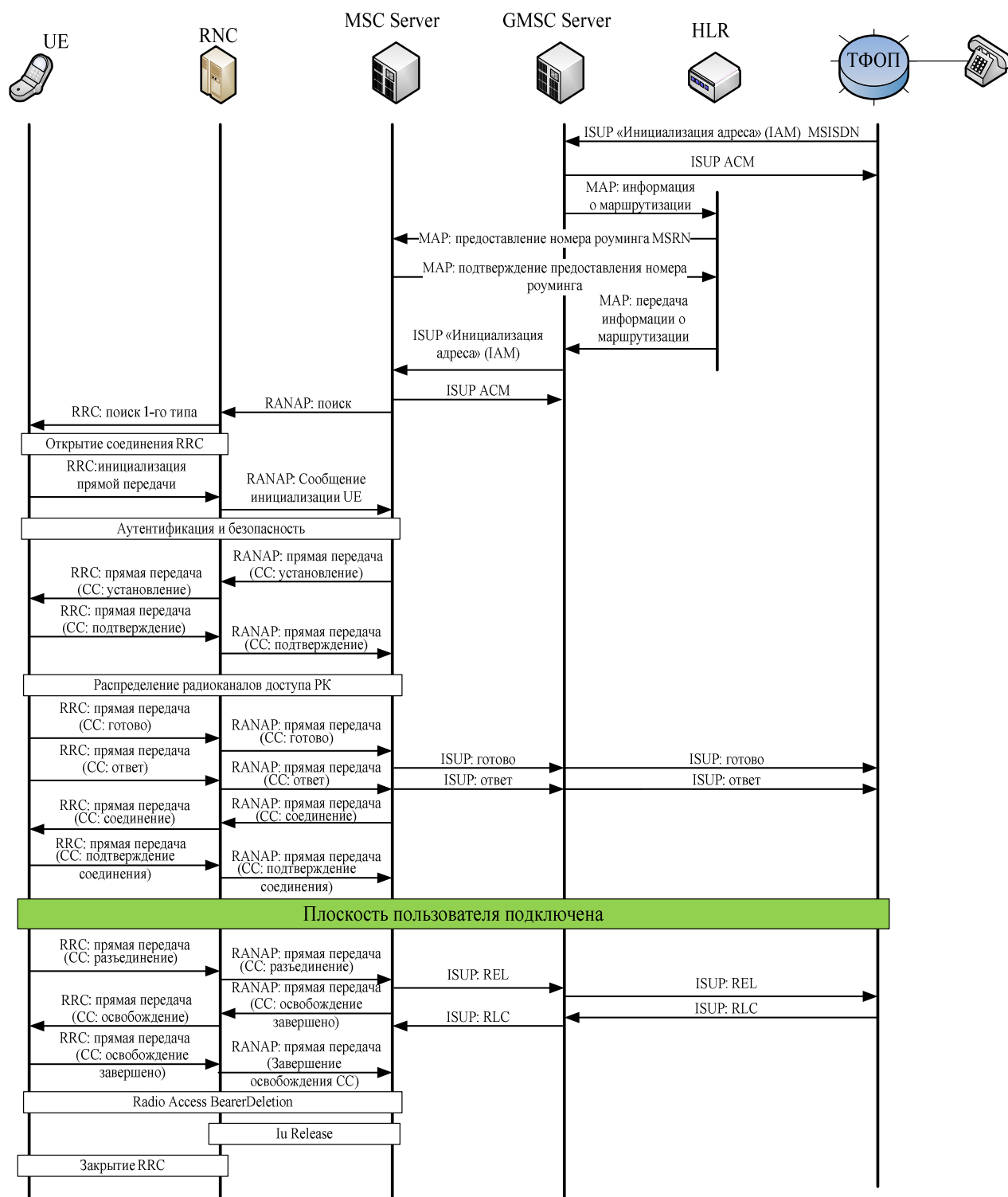


Рис. 3.12. Установление вызова и освобождение UE при соединении с ТФОП

В этом примере предполагалось, что соединение прекращается по инициативе UE [7].

Используется три варианта процедуры разъединения с обменом в сети UTRAN сообщениями «CC DISCONNECT», «CC RELEASE» и «CC RELEASE COMPLETE». На стороне ISUP происходят подобные вещи при передаче сообщений «isup rel» (освобождение) и «isup rlc» (завершение освобождения). Эти сообщения прекращают загрузку и разъединяют соединение между узлами. После разъединения тракта с КК базовая сеть CN освобождает несущие каналы RAB и соединение RRC, активизируя процедуру освобождения Iu.

## **ЭСТАФЕТНАЯ ПЕРЕДАЧА В СТАНДАРТЕ WCDMA**

Управление радиоресурсами RRM – это совокупность алгоритмов, необходимых для установления и обслуживания радиотракта хорошего качества между контроллером RNC и UE. Таким образом, практически каждый алгоритм RRM представлен во всех операциях сети UTRAN. Алгоритмы RRM – это передача обслуживания от одной базовой станции к другой НО (Handover), управление мощностью PC (Power control), управление по входу AC (Admission Control), планирование пакетов PS (Packet Scheduling) и управление кодированием CM (Code Management). Алгоритмы PC, AC и CM используются «постоянно» (т. е. на всех этапах с самого начала операции). Планирование пакетов применяется для собственных операций PS, а НО используется в режимах КК и КП при необходимости. Поскольку в границах UTRAN операции КК и КП равноценны, то необходимость передачи обслуживания НО определяется профилем QoS-соединения и в большей степени типом используемого радиоканала, а не режимом КК или КП. В соответствии с профилем QoS, если операция проводится в реальном масштабе времени, то требуются процедуры НО. Если при операции необходим один или более выделенных каналов DCH, то алгоритм НО должен применяться независимо от того, является ли режим с коммутацией каналов КК или пакетов КП [7].

Те элементы RRM, которые расположены в UE и контроллере RNC, обмениваются между собой информацией RRM с помощью протокола RRC, поэтому организация соединения RRC обязательна для каждой операции. Однако важно иметь в виду то, что для

любого UE достаточно одного соединения RRC с UTRAN независимо от того, сколько радиоканалов одновременно открыто для различных операций на системном уровне.

*Примеры передачи обслуживания НО.* Сначала поясняется мягкий режим НО. После примеров мягкого режима НО дается краткий обзор процедур перераспределения SRNS без участия устройств UE. Последний пример процедуры RRM – это случай межсистемной передачи обслуживания НО, когда происходит передача обслуживания UE от системы радиодоступа WCDMA к GSM.

### ***Режим мягкой передачи обслуживания – добавление и удаление канала***

При использовании услуги аппаратом UE существует активное соединение RRC с UTRAN. В этом случае UE непрерывно оценивает радиосоединение и посылает отчеты об измерениях в обслуживающий контроллер SRNC [7].

Алгоритм передачи обслуживания НО в контроллере SRNC (рис. 3.13) предусматривает обработку полученных сообщений об измерениях и вычисление средней величины. По этим результатам SRNC видит, что оборудование UE оценивает состояние радиоканала соты БС 2 как удовлетворяющее критериям передачи обслуживания НО, определенным в контроллере SRNC. Основываясь на информации радиосети, хранящейся в базе данных, SRNC удостоверяется, что данная сота БС 2 не принадлежит к той же подсистеме RNS.

Контроллер SRNC принимает меры на стороне UTRAN, посылая по интерфейсу Iur запрос дрейфующему контроллеру DRNC на установление нового радиоканала. Запрос выполняется передачей сообщения «RNSAP RL SETUP REQUEST» (**запрос на установление радиоканала**). Это заставляет контроллер DRNC организовывать радиоканал с БС 2 по интерфейсу Iub с помощью протокола обмена NBAP. После этого устанавливаются каналы Iub и Iur, а кадровые протоколы синхронизируются в нисходящем и восходящем направлениях между SRNC и БС 2. Кадровые протоколы на интерфейсах Iub и Iur обеспечивают организацию плоскости пользователя радиосети и непосредственную передачу

потока данных пользователя. В этом примере предполагается, что используемая услуга будет телефонным вызовом. Таким образом, данных кадровый протокол – Iub/Iur DCH-FP [7].

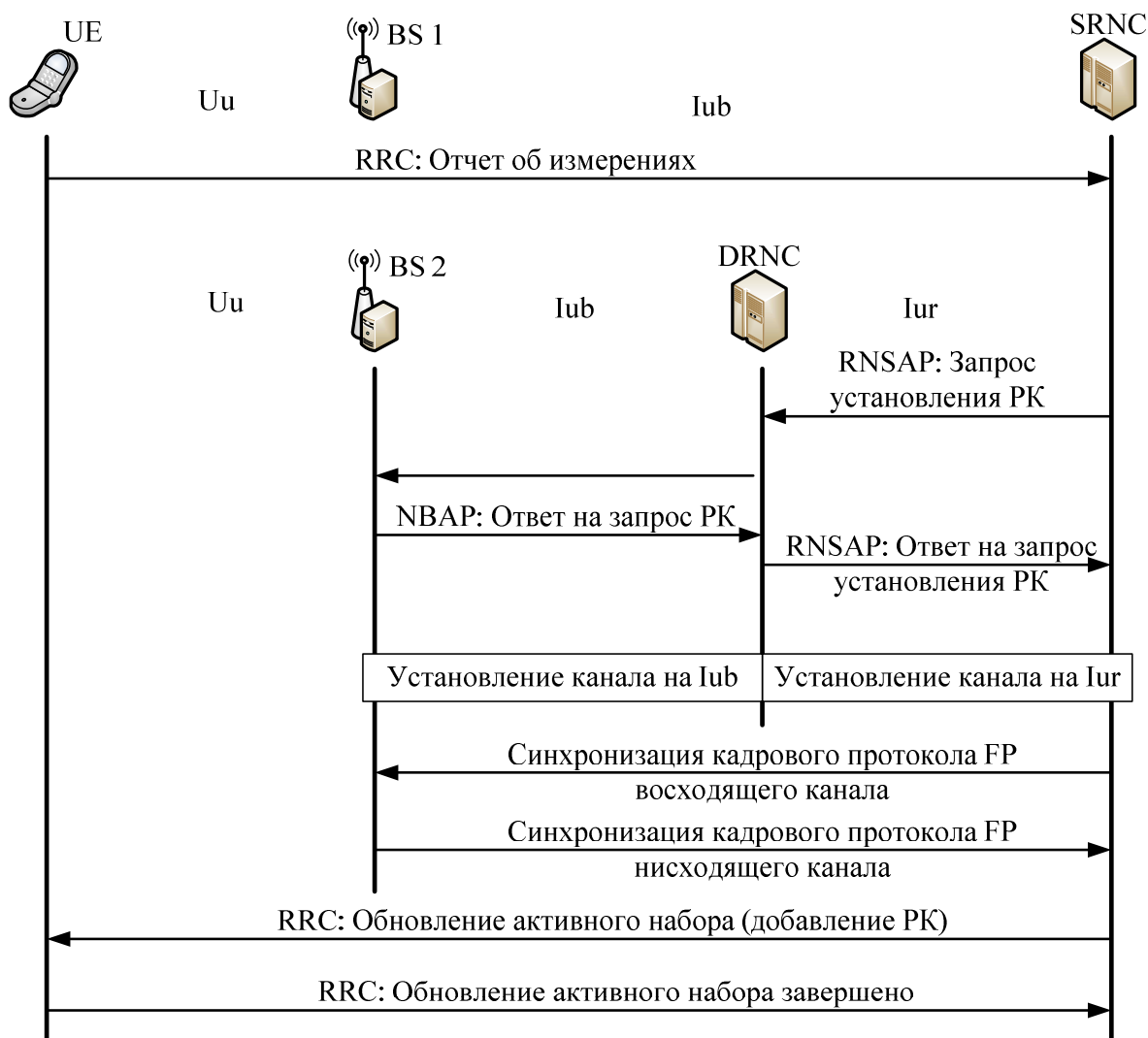


Рис. 3.13. Режим мягкой передачи обслуживания – добавление канала

Когда в восходящем направлении контроллер SRNC установил синхронизацию кадрового протокола FP, он посылает оборудованию UE сообщение «RRC ACTIVE SET UPDATE» (**обновить активный список RRC**). В этом сообщении контроллер SRNC показывает UE, что в активный список добавлен новый радиоканал для соединения с сотой, расположенной в БС 2, и что это соединение готово к применению. Оборудование UE подтверждает получение, отвечая сообщением «RRC ACTIVE SET

**UPDATE COMPLETE» (обновление активного набора RRC завершено) [7].**

С точки зрения структуры канала этот пример иллюстрирует ситуацию, в которой UE использует активный радиоканал RAB в режиме КК. Этот радиоканал доступа RAB реализован в пределах UTRAN с помощью каналов Iu, один из которых расположен между обслуживающим контроллером SRNC и базовой сетью, а другой – между SRNC и UE через соту БС 1. Процедура, описанная на рисунке 3.13, с точки зрения качества каналов представляет случай, когда контроллер SRNC добавляет к уже существующему соединению дополнительный радиоканал. Канал радиодоступа RAB и канал передачи данных Iu остаются неизменными. Когда кадровые протоколы синхронизированы, SRNC вставляет радиоканал доступа RAB в несущий радиоканал.

Когда терминал UE перемещается по сети во время работы, то наступает момент, когда контроллер SRNC из принятого отчета об измерениях обнаруживает, что радиосоединение, несущее радиоканал через соту БС 2, больше не удовлетворяет критериям радиосоединения. Когда это происходит, то контроллер SRNC сообщает оборудованию UE, что это радиосоединение может быть удалено из активного списка. Это осуществляется передачей оборудованию UE сообщения **«RRC ACTIVE SET UPDATE» (обновить активный список RRC)**, указывающего, что радиосоединение должно быть удалено. Терминал UE подтверждает удаление радиосоединения, посылая к SRNC сообщение **«RRC ACTIVE SET UPDATE COMPLETE» (обновление активного списка RRC завершено) [7].**

После получения подтверждения от оборудования UE контроллер SRNC может инициировать удаление радиосоединения между собой и БС 2. Это осуществляется передачей по интерфейсу Iur запроса на удаление радиоканала **«RNSAP RL Deletion REQUEST»**, который, в свою очередь, побуждает DRNC удалить радиосоединение на интерфейсе Iub по протоколу обмена NBAP. Как только радиосоединение на Iub и Iur удалено, связанные с Iub и Iur радиоканалы также освобождаются. Поток сообщений, связанный с мягкой передачей обслуживания НО при удалении радиоканала, показан на рисунке 3.14 [7].



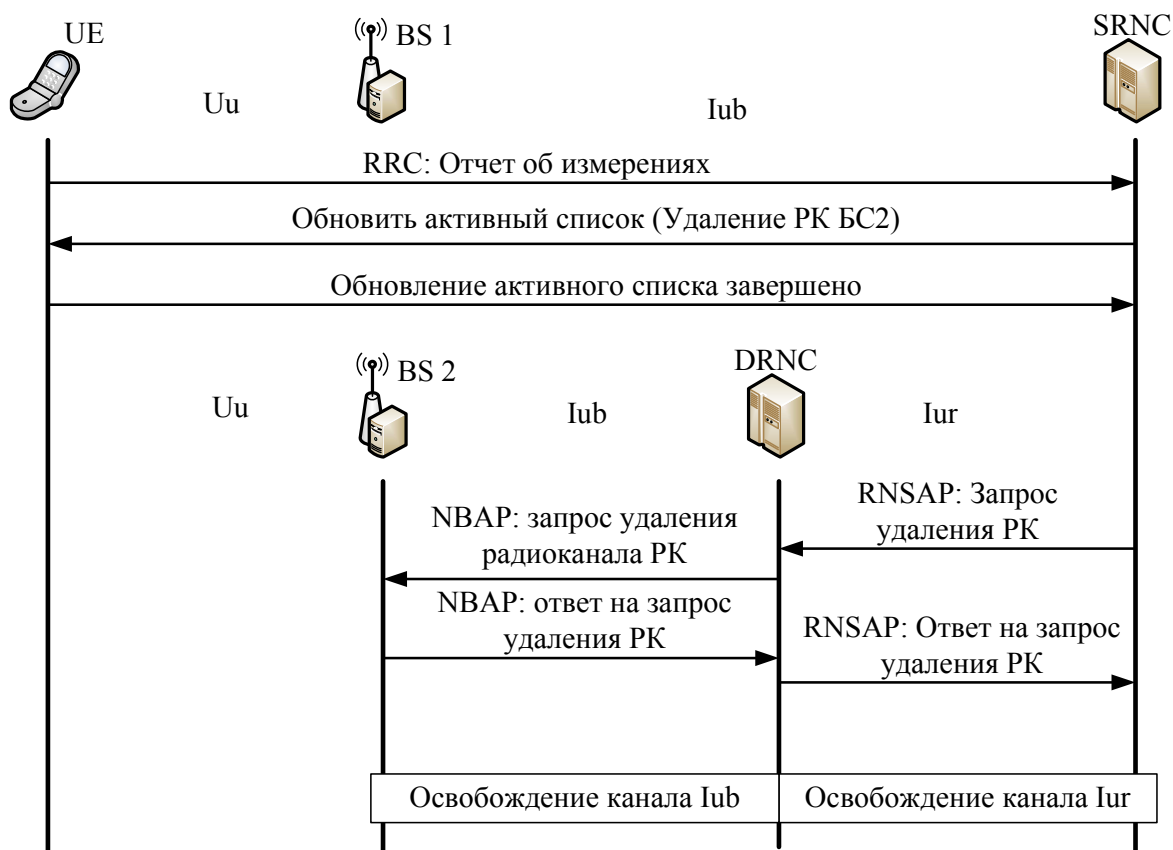


Рис. 3.14. Режим мягкой передачи обслуживания – удаление канала

С точки зрения структуры несущего канала, этот пример удаления радиоканала иллюстрирует случай, когда контроллер SRNC удаляет один несущий радиоканал, но RAB между базовой сетью и UE остается.

### ***Межсистемная передача обслуживания от UMTS к GSM – коммутация каналов***

Технические условия 3GPP как обязательное требование определяют передачу обслуживания НО между двумя сетями радиодоступа. С точки зрения UMTS это означает, что система должна быть в состоянии проводить передачу обслуживания НО между UTRAN и GERAN. Как **можно** видеть из рисунке 3.15, межсистемная передача обслуживания ISHO (Inter System Hand Over) между UTRAN и GERAN представляет особый случай процедуры перераспределения подсетей SRNS. Фактически RANAP переносит гораздо больше информации того же рода, что передает протокол BSSMAP в сети GSM. Если переключение НО осуществляется от UTRAN к GERAN, то сообщения на стороне

UTRAN точно такие же, как и при перераспределении подсетей SRNS, но содержание этих сообщений изменяется. Например, при перераспределении SRNC сообщение RANAP Relocation Required (**требование перераспределения**) содержит идентификатор адресуемого контроллера радиосети – RNC ID. Когда **адресуемый** элемент находится на стороне GSM, идентификатор целевого контроллера радиосети RNC ID заменяется **глобальным** идентификатором соты, более привычным контроллеру базовой станции BSC системы GSM [7].

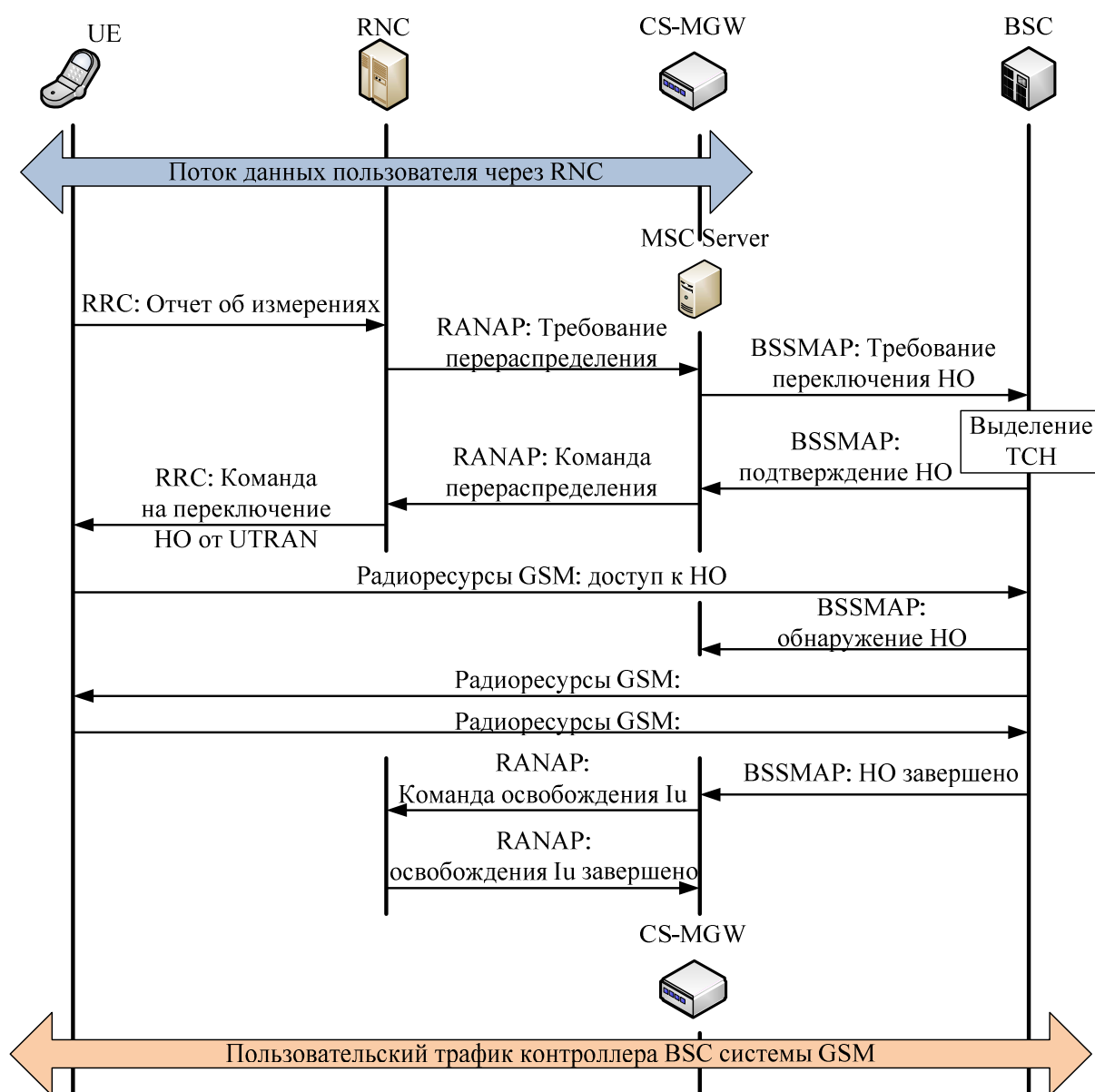


Рис. 3.15. Межсистемная передача обслуживания ISHO (Inter System Hand Over) между UTRAN и GERAN (режим KK)

ISHO – это процедура, к которой всегда привлекается оборудование пользователя UE. Оборудование UE для организации доступа к GERAN должно проводить операции с радиоресурсами RR. Следует обратить внимание на то, что GERAN не обязательно может обрабатывать каждый вид информации, применяемой в UTRAN. Оборудование UE по результатам измерений должно уметь оценивать состояние ближайших сот GSM, окружающих данную соту (или соты) UTRAN. Эту возможность сети UTRAN дает использование режима выделения временных **интервалов**. В этом режиме оборудованию UE предоставляется некоторое время для проведения измерений в полосе GSM и нахождения возможных вариантов «хэндовера» НО. Информация об этих вариантах сот GSM доставляется RNC с отчетами о результатах измерений таким же образом, как и в сотах UTRAN.

Как только контроллер RNC распознает, что сота GSM представляет лучший вариант, а подходящие соты UTRAN отсутствуют, то SRNC начинает запрашивать от базовой сети CN информацию для перераспределения. Базовая сеть CN проверяет содержание сообщения «ranap RELOCATION REQUIRED» (**требование перераспределения**) и обнаруживает, что адресуемая сота для этого случая НО принадлежит подсистеме базовой станции BSS GERAN. Тогда базовая сеть CN посылает сообщение «gsm bssmap HANOVER REQUIRED» (**требование переключения**) адресуемому контролеру BSC сети GSM. Этот запрос побуждает адресуемый контроллер BSC организовать канал трафика TCH так, чтобы на него могло быть передано соединение. При успешной передаче канала TCH в пределах сети GERAN базовая станция BSS посылает подтверждение базовой сети CN. Базовая сеть CN транслирует это сообщение в обратном **направлении** к обслуживающему контроллеру SRNC в сообщении «ranap RELOCATION COMMAND» (**команда на перераспределение**).

По команде на перераспределение «ranap RELOCATION COMMAND» контроллер SRNC начинает процедуру перемещения. Поскольку в данном случае в процесс привлечено оборудование UE, контролер SRNC отдает команду оборудованию UE выполнить межсистемное переключение ISHO в сообщении «rrc HANDOVER FROM utran». Это сообщение содержит информацию об адресуемой

системе, а также может нести в поле полезной нагрузки любую дополнительную информацию, связанную с ISHO. После приема команды **«rrc HANDOVER FROM utran»** оборудование UE проверяет, указано ли в сообщении какое-либо конкретное время для выполнения передачи обслуживания HO (по умолчанию он выполняется немедленно) и, соответственно, начинает операции HO. Поскольку адресуемая сеть радиодоступа находится в сети GERAN, оборудование UE посылает сообщение **«gsm rr HANDOVER ACCESS»** адресуемой соте в подсистему BSS сети GERAN. Когда адресуемая сота подсистемы BSS сети GERAN обнаруживает это сообщение, то оно указывает контроллеру базовой станции BSC, что UE имеет доступ к сети GERAN. Контроллер BSC, в свою очередь, ставит в известность базовую сеть CN о появлении UE, посылая сообщение **«gsm bssmap HANDOVER DETECT» (обнаружено переключение от GSM)** [7].

Оборудование UE принимает от соты подсистемы базовой станции BSS сети GERAN сообщение **«gsm rr PHYSICAL INFO»** как подтверждение в ответ на сообщение **«gsm rr HANDOVER ACCESS»**. Это сообщение содержит информацию (например, посылаемые UE описания каналов), при наличии которой UE может начать процедуру радиодоступа GERAN. Наконец, когда оборудование UE успешно завершило доступ к адресуемой соте, оно посылает контроллеру базовой станции BSC сообщение о завершении переключения HO – **«gsm rr HANDOVER COMPLETE» (переключение завершено)**. Контроллер BSC, в свою очередь, транслирует данную информацию в базовую сеть CN, указывая этим, что UE теперь вошло в подсистему базовой станции BSS сети GERAN и межсистемное переключение ISHO успешно завершено. Так как UE больше не использует ресурсы сети UTRAN, все связанные с данным оборудованием UE ресурсы могут быть освобождены, и базовая сеть CN выдает команду **«ranap iu RELEASE»**. Эта команда, в свою очередь, вынуждает контроллер RNC освободить соединение RRC, таким образом, освобождаются все ресурсы, связанные с UE. После выполнения этих операций RNC подтверждает освобождение, направляя базовой сети CN сообщение о завершении освобождения интерфейса **«ranap iu RELEASE COMPLETE» (освобождение Iu завершено)** [7].

### **3.2.6. Технология высокоскоростной передачи данных на линии «вниз» HSDPA**

Технология High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) принадлежит к семейству решений WCDMA/UMTS, использующих пакетную передачу данных, и полностью совместима с UMTS Release 99. Это позволяет одновременно предоставлять сервисы голосовой связи и передачи данных HSDPA и UMTS. Последняя модификация технологии HSDPA позволяет получать максимальную теоретическую скорость передачи данных до 21 Мбит/с в режиме downlink transfer (от базовой к мобильной станции). Фактически HSDPA является «надстройкой» к сетям UMTS, поэтому ее нередко называют поколением 3,5G. Необходимо подчеркнуть, что протоколы HSDPA поддерживают передачу данных только от базовой станции (БС) к мобильной абонентской станции (Mobile Services, MS), получившую название «нисходящая передача данных». Обратная передача данных от абонентской станции (АС) к базовой описывается протоколами HSUPA. В спецификации 3GPP Release 5 была впервые опубликована архитектура технологии HSDPA. В данном документе для HSDPA описаны алгоритмы адаптивной модуляции и кодирования AMC (Adaptive Modulation and Coding), а также модернизированный метод автоматического запроса повторной передачи ARQ (Automatic Request for Repeat). Отметим, что в Release 5 описаны протоколы IP версии 6 (IPv6). В этой версии добавлена также подсистема IP-мультимедиа (IMS). Домашний регистр (HLR) дополнен сервером собственных абонентов (HSS). В структуре UTRAN прописаны эффективные услуги мультимедиа на базе IP в UMTS. Кроме того, усовершенствована поддержка функции по определению местоположения (LCS). Для технологии HSDPA в спецификации стандартов 3GPP Release 5 используется новый транспортный канальный уровень High-Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH). В одном поддиапазоне возможна организация до 15 таких каналов. Перераспределение каналов под задачи конкретных пользователей изменяется каждые 2 мс. Реализация этого уровня стала возможной за счет введения в стандарт трех новых физических каналов:

- HS-SCCH (High Speed-Shared Control Channel) – высокоскоростной контрольный канал для информирования пользователя об отправке данных на HS-DSCH (два верхних слота);

- HS-DPCCH (Uplink High Speed-Dedicated Physical Control Channel) – канал для подтверждения информации о доставке текущего контроля качества передачи;
- HS-PDSCH (High Speed-Physical Downlink Shared Channel) – канал, по которому физически передаются данные пользователя (в виде избыточного кода, содержащего собственно данные и дополнительные информационные биты).

В технологии HSDPA реализован ARQ-механизм защиты от помех, при котором передача данных происходит по блокам. На приемной стороне обеспечиваются контроль ошибок и генерация запроса о необходимости повторения той части информации, где они были обнаружены. В случае некорректного приема данных в новой технологии FHARQ (Fast Hybrid Automatic Repeat Request) подтверждение приема пакетов отслеживается как базовой, так и абонентской станциями. Повторные пакеты чередуются со вновь передаваемыми. Оцифрованная информация мультиплексируется и кодируется для передачи по соответствующему физическому каналу. Схема мультиплексирования с временным и кодовым разделением в канале HS-DSCH, объединяющем три транспортных канала DCH 1–3, приведена на рисунке 3.16 [1, 7].

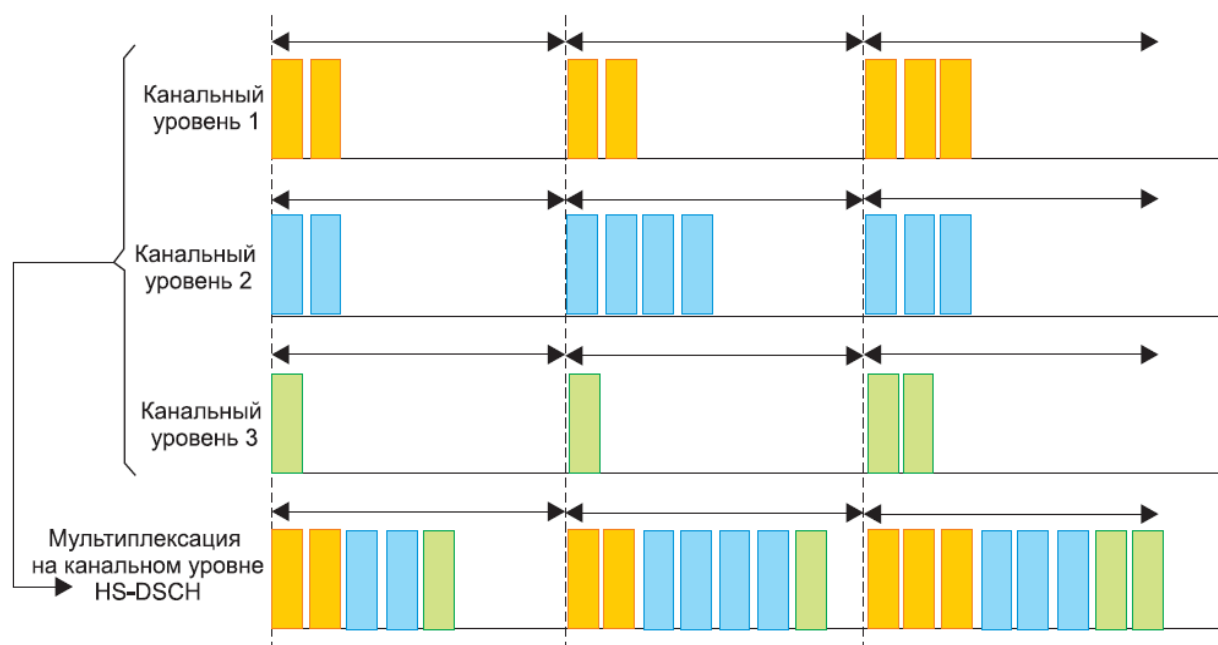


Рис. 3.16. Схема мультиплексирования с временным и кодовым разделением в канале HS-DSCH

В технологии HSDPA применяются схемы модуляции QPSK (Quadrature Phase-Shifting Keying, квадратурная фазовая модуляция) и 16-, 64-QAM (Quadrature Amplitude Modulation, квадратурная амплитудная модуляция). При использовании QPSK, в зависимости от значения информационного элемента, изменяется только фаза сигнала, в то время как амплитуда и частота не меняются. При этом каждому информационному биту ставится в соответствие не абсолютное значение фазы, а ее изменение относительно предыдущего значения (рис. 3.17). В квадратурной фазовой модуляции применяются четыре значения фазы несущего колебания. В этом случае фаза сигнала должна принимать значения  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  и  $315^\circ$ , размещенных на равных расстояниях по окружности. При использовании четырех фаз в QPSK на символ приходится два бита. Хотя QPSK можно считать квадратурной модуляцией (QAM-4), иногда ее проще рассматривать в виде двух независимых модулированных несущих, сдвинутых на  $90^\circ$ . При таком подходе четные (нечетные) биты служат для модуляции синфазной составляющей, а нечетные (четные) – для квадратурной составляющей несущей. В схеме QPSK фаза несущего колебания меняется скачкообразно в зависимости от информационного сообщения. QPSK обеспечивает высокую помехоустойчивость. Однако в ряде случаев за счет уменьшения помехоустойчивости канала связи можно увеличить его пропускную способность.

Более того, при применении помехоустойчивого кодирования можно более точно планировать зону, охватываемую системой мобильной связи.

В другом варианте после канального кодирования и перемежения бит производится преобразование информации с помощью модуляции 16-QAM в так называемые «QAM-ячейки». В этих случаях каждому комплексному символу модуляции соответствует гармоническое колебание, имеющее одно из 4, 16 или 64 возможных сочетаний амплитуды и начальной фазы или такое же количество кодовых комбинаций, каждое из которых соответствует определенному варианту гармонического колебания. Например, в случае 4-QAM получим двоичную кодовую комбинацию, содержащую два бита (00, 01, 10, 11). В случае 16-QAM такие комбинации содержат по четыре бита информации, а в случае 64-QAM – по шесть бит.

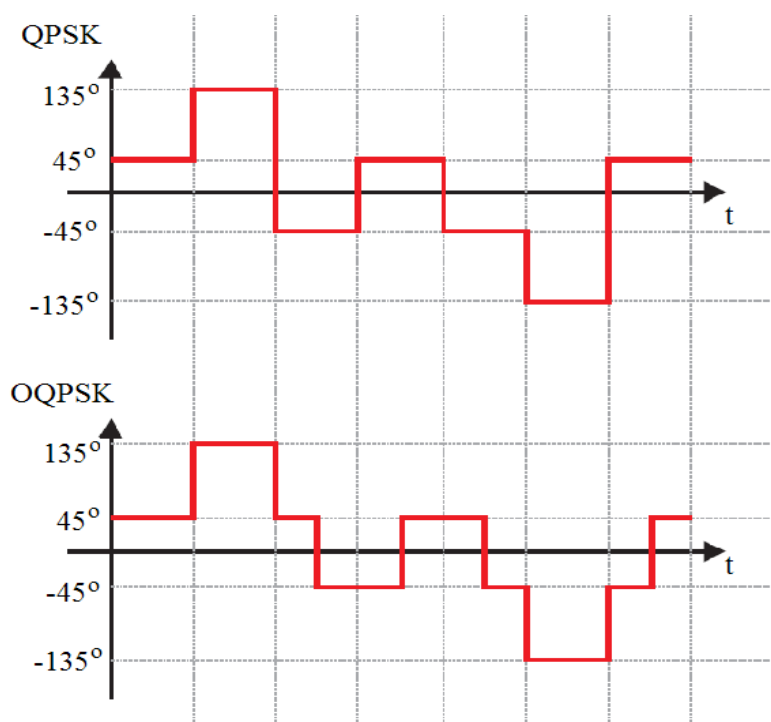


Рис. 3.17. Принцип фазовой модуляции цифрового сигнала

Стандартами UMTS/HSDPA предусмотрено 20 категорий с различными значениями максимального числа одновременно используемых кодов (до 15) и типом модуляции в радиоканале QPSK или QAM. Каждой из этих комбинаций соответствует максимальная скорость передачи данных в пакетном режиме стандарта HSDPA в нисходящем направлении – от БС к мобильному терминалу (табл. 3.4). При увеличении числа позиций QAM пропускная способность канала связи увеличивается в логарифмической пропорции  $\log 264 / \log 216 / \log 24$ . Однако при этом снижается помехоустойчивость, поскольку уменьшаются разности между смежными значениями амплитуд и фаз. Пропускная способность каналов связи и скорость передачи зависят от фактора распределения (spreading factor), который определяет количество каналов связи, закодированных в один поддиапазон.

Теоретически UMTS/HSDPA позволяет назначить три таких «нисходящих» канала для одного абонента. Однако на практике не стоит забывать о том, что чем больше число пользователей, тем меньше пропускная способность. На рисунке 3.18 показано распределение спектра между абонентами сети HSDPA. Как правило, одной и той же сетью пользуются одновременно несколько абонентов.



Скорость передачи постоянно меняется, система следит за этим и с интервалом в 2 мс автоматически регулирует мощность, подстраиваясь под условия среды. При этом приоритет предоставления каналов для получения данных от БС отдается тем пользователям, для которых поддерживается наилучшее качество сигнала, поэтому пользователи, первыми получившие доступ к сети, пока уровень сигнала был невысок, находятся в состоянии ожидания улучшения пропускной способности [1, 7].

Таблица 3.4

**Скорость передачи в технологии HSDPA в зависимости от типа используемой модуляции**

Протокол	Версия 3GPP	Категория	Максимальное число кодов HS-DSCH	Модуляция	MIMO, Dual-Cell	Коэффициент избыточности кода при максимальном битрейте	Битрейт, Мбит/с
HSDPA	Release 5	1	5	16-QAM		0,76	1,2
		2					1,2
		3					1,8
		4					1,8
		5					3,6
		6					3,6
		7	10			0,75	7,2
		8				0,76	7,2
		9	15			0,7	10,1
		10				0,97	14
		11	5	QPSK		0,76	0,9
		12					1,8
HSPA+	Release 7	13	15	64-QAM		0,82	17,6
		14				0,98	21,1
		15		16-QAM	MIMO	0,81	23,4
		16				0,97	28
		19		64-QAM		0,82	35,3
		20				0,98	42,2
Dual-Cell HSDPA	Release 8	21		16-QAM	Dual-Cell	0,81	23,4
		22				0,97	28
		23		64-QAM		0,82	35,3
		24				0,98	42,2
DC-HSDPA w/MIMO	Release 9	25		16-QAM	Dual-Cell+; MIMO	0,81	46,7
		26				0,97	55,9
		27		64-QAM		0,82	70,6
		28				0,98	84,4
DC-HSDPA w/MIMO, HSPA++	Release 11*	нд	нд	64-QAM++	Dual-Cell+++; MIMO++	нд	672*

Примечание: \*Данные предварительные. Документация стандарта находится в процессе доработки и утверждения

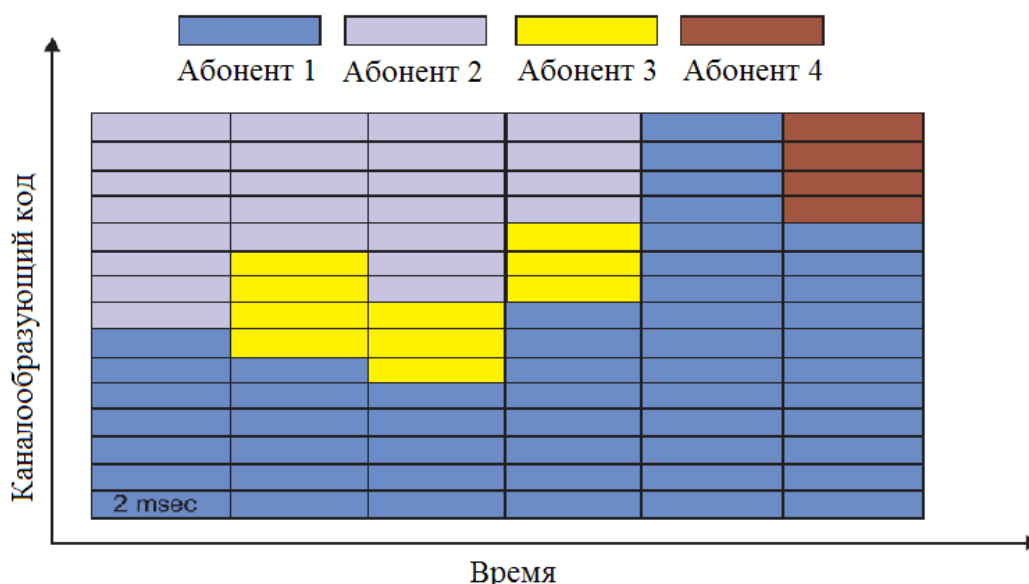


Рис. 3.18. Распределение спектра между абонентами в зависимости от условий приема

### ***3.2.7. Технология высокоскоростной передачи данных на линии «вверх» HSUPA***

Чтобы регламентировать параметры абонентских станций и определить порядок их взаимодействия с базовыми, была разработана технология HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) – высокоскоростная пакетная передача данных в направлении «вверх» – от абонента к БС. Работу над проектом HSUPA группа 3GPP начала еще в 2002 г. Идея стандарта была сформулирована фирмами Nokia, Samsung, Sony Ericsson и другими лидерами мирового рынка мобильных телефонов и звучала как «максимальная скорость при максимальном радиусе действия и минимальном энергопотреблении». Эта идея была технически сформулирована в 3GPP Release 6. К сожалению, принципиальные различия между передачей данных «вверх» (от АС к БС) и «вниз» (от БС к АС) не позволяют просто использовать всю архитектуру и профили технологии HSDPA для MS (мобильные бытовые телефоны, базовые модули и законченные терминалы). Основная проблема согласования процессов передачи «вверх» и «вниз» заключается в потребляемой мощности.

На базовой станции потребляемая мощность передатчика не ограничена в пределах действующих нормативов, поэтому разра-

ботчики оборудования для БС могут совершенствовать технологии передачи, не задумываясь о проблемах потребляемой мощности. Для мобильных телефонов, которые составляют основную часть рынка, потребляемая мощность является одним из основных критериев выигрыша в конкурентной борьбе. При разработке HSUPA были использованы методы как временного, так и канального кодирования. Поскольку значительная часть энергопотребления базовой станции HSDPA приходится именно на эти блоки модуляции, данный метод в чистом виде не может быть использован для HSUPA, поэтому в технологии HSDPA была введена функция коррекции мощности передачи в зависимости от условий среды. Это позволяет сохранить скорости передачи при перегрузках в сети в условиях интенсивных помех. Но это оборудование тоже достаточно энергоемкое. Проблема энергопотребления возникает и при модуляциях. При использовании QAM для улучшения пропускной способности нужно увеличивать уровень сигнала, но при этом возрастают сложность оборудования и энергопотребление. Другая проблема связана с поэтапной передачей движущейся АС (soft handover). В этом случае принимающая БС должна отслеживать меняющийся сигнал клиента и передавать его другой станции, обеспечивающей лучшие условия приема. Согласно основному варианту спецификации Release 6, в технологии HSUPA использованы те же модифицированные принципы, что и при разработке технологии HSDPA. Однако технология передачи данных «вверх» отличается от технологии передачи «вниз».

В редакцию HSUPA 3GPP Release 6 по сравнению с Release 5 были внесены следующие изменения:

1) добавлены новые объекты MAC-уровня (управления доступом к среде передачи данных):

- MAC-e/es в блоке АС;
- MAC-es в блоке БС;
- MAC-es на контроллере радиосети.

В транспортном канале введен новый расширенный выделенный канал передачи данных E-DCH;

2) добавлен выделенный физический канал E-DPCH (Dedicated Physical Channel). В нем мультиплексированы два физических канала:

DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) и DPCCCH (Dedicated Physical Control Channel) [1, 7].

Кроме того, добавлены расширенный канал индикации сообщения о доставке (E-HICH), управляющий канал регулировки мощности относительно опорного уровня (E-RGCH) и канал для автоматического регулирования абсолютного значения мощности абонентской станции (E-AGCH);

3) время инкапсуляции и формирования пакетов данных сокращено до 2 мс. Однако оставлена возможность использования и TTI, равного 10 мс;

4) значение коэффициента расширения (SF) принято равным 2;

5) увеличена скорость повторной передачи на первом уровне;

6) для контроля факта доставки данных использован гибридный метод HARQ;

7) введено жесткое управление доступом к эфиру и скоростью передачи со стороны БС;

8) реализованы новые протоколы фрейма, ускоряющие работу Iub и IuR. Интерфейс Iub соединяет БС с блоком контроллеров, а IuR поддерживает сигнальный протокол RNSAP (Radio Network Subsystem Application Part). По этому интерфейсу организуют связь между обслуживающим (Serving) SRNC и пассивным (Drift) контроллерами DRNC. При выполнении хэндовера SRNC осуществляет управление радиоканалами (radio link mapping).

В технологии HSUPA для передачи данных от абонента к базовой станции применяются расширенные выделенные каналы (Uplink Enhanced Dedicated Channel, UE DCH), которые позволяют использовать тот же метод линейной адаптации (Link Adaptation Method, LAM), что и в технологии HSDPA. В свою очередь, этот метод дает возможность реализовать в технологии HSUPA модель ортогонального частотного разделения каналов. При этом последовательный поток информации разбивается на отдельные блоки и символы. Символы разных блоков передаются параллельно, каждый на своей поднесущей частоте. Преимущество данного метода в том, что он позволяет снизить до минимума межсимвольные искажения, возникающие в радиоканале. За счет уменьшения размеров блока данных удалось сократить время инкапсуляции и формирование пакетов данных [1, 7].

На первом уровне в структуре HSUPA введены новые физические каналы:

- E-AGCH (Absolute Grant Channel) – канал с абсолютным значением ограничения мощности абонентской станции, определяющий опорный уровень;

- E-RGCH (Relative Grant Channel) – канал регулировки мощности относительно заданного значения;

- F-DPCH (Fractional-DPCH) – частичный выделенный физический канал, являющийся модернизированным вариантом канала DPSSCH, адаптированным для высокоскоростной пакетной передачи данных вверх;

- E-HICH (E-DCH Hybrid ARQ Indicator Channel) – индикаторный канал;

- E-DPSSCH (E-DCH Dedicated Physical Control Channel) – контрольный канал передачи данных;

- E-DPDCH (E-DCH Dedicated Physical Data Channel) – контрольный канал состояния данных.

В стандарте HSUPA модернизированы протоколы, обеспечивающие управление ресурсами канала и отвечающие за установление, поддержание и разрыв низкоуровневых соединений, динамический выбор частотных каналов и др. В блоке АС на уровне MAC добавлен подуровень, который отвечает за контроль доставки и кадровый формат данных в процессе их передачи. В блоке БС также введены изменения в уровне, контролирующем факт получения данных. В блок контроллеров (S-RNC) добавлен уровень (MAC-es), поддерживающий повторный запрос на получение данных в случае ошибки. Кроме того, этот уровень обеспечивает совместную обработку данных, полученных от базовых станций в процессе эстафетной передачи (handover) для одного и того же абонента. Для ускорения работы интерфейсов Iub/IuR также добавлен новый протокол. Кроме того, в HSUPA изменены протоколы управления доступом к среде передачи для БС (MAC-e), АС (MAC-e/es) и блока управляющих контроллеров (MAC-es) [1, 7]:

- MAC-e структурирован в блоке базовой станции, он вводится отдельно для каждой абонентской станции и регулирует ее взаимоотношения с базой. В рамках этого протокола АС запрашивает разрешение на связь с БС и управляет работой повторной передачи в случае ошибки;

– MAC-es в обслуживающем контроллере также вводится персонально для каждой абонентской станции. Он объединяет и преобразовывает протокольный блок данных (Protocol Data Unit) уровня MAC-es в соответствии с кодировками и номерами каждого кадра и подкадра, а также поддерживает операцию дизассемблирования протокольного блока данных MAC-es;

– MAC-e/es для абонентской станции отвечает за сопровождение метода гибридного контроля подтверждения получения данных; мультиплексирование данных и присвоение идентификационной кодовой последовательности абонента (Transmission Sequence Number, TSN); осуществляет выбор транспортного формата передачи данных на основе полученного статуса выхода в эфир.

При передаче данных от абонента к станции, когда необходим расширенный выделенный канал, два кодированных композитных транспортных канала CСТrCH используются одновременно. Транспортный канал может быть сконфигурирован так, чтобы время инкапсуляции (интервал передачи) составляло 10 или 2 мс. При этом заданный интервал передачи 10 мс обязательно должен поддерживаться всеми абонентскими станциями, допущенными к работе в сети, а интервал передачи 2 мс является опционным. Каждая АС может иметь только один транспортный выделенный канал передачи данных в конкретный момент времени. Транспортный блок E-DCH (расширенный выделенный канал) на физическом уровне нагружен на канал E-DPDCH, который работает со временем инкапсуляции 10 или 2 мс.

В основополагающей спецификации Release 6 для канала E-DPDCH используется модуляция QPSK. В спецификации Release 7 есть возможность применения 4-РАМ (Pulse Amplitude Modulation, импульсная амплитудная модуляция). Различные модификации модуляций отражены в последующих спецификациях Release 8–11. Поскольку при передаче данных по DPСCH сначала передаются вспомогательные символы и последовательность символов (RSN), то на уровне E-DPDCH не может быть передана никакая другая информация, кроме полезных символьных данных. Для увеличения скорости передачи в канале E-DPDCH применяются комбинации мультикодов. При этом используются ортогональные коды с переменным коэффициентом расширения, равным 2. В принципе, возможны и другие варианты кодов с переменной длиной, определяе-

мой коэффициентом расширения спектра SF. Такие коды формируются на основе заданного алгоритма, и каждый последующий уровень удваивает число возможных кодовых комбинаций. Различные наборы кодов обуславливают различные скорости передачи. Так, например, один код с коэффициентом расширения SF4 соответствует скорости передачи 960 кбит/с. Два кода с коэффициентом расширения SF4 дают скорость 1920 кбит/с. При использовании кода с коэффициентом расширения SF4 в трех параллельных каналах скорость увеличивается до 5760 кбит/с.

Выделенный контрольный канал (E-DPCCH) предназначен для переноса информации о подтверждении получения переданных абонентской станцией данных. По этому каналу передаются:

- информация о расширенном транспортном формате передачи данных, которая составляет 7-битную последовательность и определяет скорость передачи данных;
- дополнительные два бита, содержащие данные о повторной передаче (при этом RSN сообщает, является ли пакет новым или повторной передачей ранее отправленного);
- последний бит, который дает разрешение или запрещение абонентской станции использовать более высокую скорость передачи по направлению «вверх» (от абонента к БС).

Для случая, когда время инкапсуляции равно 2 мс, десять информационных бит закодированы в 30 битах трех последовательных временных интервалов. В варианте со временем инкапсуляции в 10 мс контент подкадров с TTI, равным 2 мс, просто продублирован пять раз. Выделенный канал индикации сообщения о доставке (Hybrid ARQ Indicator Channel, HICH) может использоваться несколькими абонентами одновременно. Чтобы различать сигналы каждого пользователя, в сетях с кодовым разделением применяются специальные кодовые последовательности символов, называемые индивидуальными ортогональными подписями. В сетях HSUPA каждому пользователю выделяется одна ортогональная подпись для канала E-HICH и одна – для E-RGCH. Поскольку на HICH доступно всего 40 ортогональных подписей, то только 20 пользователей могут совместно использовать один кодовый канал в каждый определенный момент времени. Управляющий канал относительной регулировки мощности для абонентской станции E-RGCH предназначен для того, чтобы повысить или понизить выходную мощность передатчика AC.

По данному каналу не передается точное значение мощности, которую абонентская станция должна установить. Базовая станция отслеживает сигнал АС и регулярно сообщает ей текущий статус, относительно которого АС должна регулировать свою работу. В случае если связь ухудшается, БС выдает команду на увеличение мощности передачи АС. В том случае, когда абонентов в сети мало и сигнал АС достаточно сильный, БС посылает управляющий сигнал на уменьшение мощности [1, 7].

Канал абсолютной регулировки мощности E-AGCH предназначен для того, чтобы установить верхний предел мощности передатчика абонентской станции, который может быть задействован в данный конкретный момент. Максимальная мощность напрямую связана с максимальной скоростью передачи данных. В отличие от метода относительного регулирования мощности, абсолютное ограничение задается достаточно редко, когда АС запрашивает каналные ресурсы и когда устанавливается несущая частота. По каналу E-AGCH базовая станция передает два вида сообщений:

- точное значение уровня ограничения мощности (Absolute Grant value);
- характер ограничения мощности (Scope AG).

Scope AG указывает на то, будет ли значение Absolute Grant использоваться только в методе гибридного контроля подтверждения получения данных (HARQ) или в других процессах также.

При запросе на установление соединения с базовой станцией абонентская станция передает информацию о своих технических возможностях. В зависимости от них БС устанавливает для конкретной АС соответствующий режим связи. Как уже было изложено выше, в технологии HSUPA использован HARQ (гибридный метод автоматического запроса повторной передачи). Базовым в этом варианте является метод Stop and Wait, который означает, что перед началом трансляции нового блока данных передатчик ожидает подтверждения об успешном приеме предыдущего. Как правило, этот способ характерен для режима OFDMA, который позволяет выделить специальный канал для подтверждения передачи. Если HARQ включен, каждый пакет, переданный БС, требует от АС подтверждения получения по специальному обратному каналу. В тех случаях, когда пришло сообщение об ошибке или подтверждение успешного приема не получено в установленный срок, базовая станция приступает к



повторной передаче. С этой целью можно использовать два метода. В одном случае применяется так называемый метод передачи с увеличивающейся избыточностью (Incremental Redundancy, IR). При подключении функции HARQ для каждого исходного пакета в канальном кодере формируется до четырех субпакетов, каждый со своим идентификатором (SPID). Если произошел сбой, повторно транслируется субпакет с другим SPID, который имеет тот же самый кодированный исходный пакет, но с иными параметрами кодера. В методе с «управляемым комбинированием» (Chase Combining, CC) в случае возникновения ошибки осуществляется повторная трансляция одного и того же кодированного пакета. Этот метод пригоден только для мобильных абонентских станций. В варианте HSUPA при передаче от АС к БС, как отмечалось выше, используется принцип приоритетов. Первоначально абонентская станция запрашивает разрешение на начало передачи. Базовая станция принимает решение, сколько и какие именно станции будут участвовать в сеансе связи. Также в режиме передачи «вверх» реализован вариант работы по расписанию (scheduled mode), при котором АС выходит на связь в заранее оговоренное время. Предусмотрен режим работы в экстренных ситуациях. Следует также отметить улучшенную систему контроля качества передачи данных (QoS). Блок контроля качества может обслуживать до 15 логических каналов, которые мультиплексируются на одном PDU-уровне. При этом у каждого логического канала могут быть свои различные значения QoS и различные приоритетные уровни. В настоящее время стандарты 3GPP (Release 6–11) регламентируют девять категорий технологии HSUPA, которые имеют различный набор параметров и определяют технические характеристики и свойства конкретной АС (мобильного телефона или терминала). Категории мобильных абонентских станций, поддерживающих технологию HSUPA, показаны в таблице 3.5. Видно, что скорость передачи данных определяется комбинацией базовых параметров оборудования [1, 7].

Приведенные в таблице данные показывают, что чем выше категория абонентской станции, тем выше ее скорость передачи. Максимальная теоретическая скорость, с которой АС может передавать данные на БС, на сегодня составляет 23 Мбит/с, однако это теория. Еще раз подчеркнем, что скорость передачи является переменной величиной, которая в каждый конкретный момент времени зависит

от возможностей абонентской станции (мобильного телефона, смартфона, базового модуля), оборудования базовой станции и от загрузки сети.

Таблица 3.5

**Скорость передачи в технологии HSUPA  
для различных категорий абонентских станций**

Наименование категории абонентской станции в соответствии со стандартами 3GPP	Максимальная скорость передачи от абонента к базовой станции, Мбит/с
Category 1 (3 GPP Rel 99)	0,73
Category 2 (3 GPP Rel 2)	1,46
Category 3 (3 GPP Rel 3)	1,46
Category 4 (3 GPP Rel 4)	2,00
Category 5 (3 GPP Rel 5)	2,93
Category 6 (3 GPP Rel 6)	5,76
Category 7 (3 GPP Rel 7)	11,5
Category 8 (3 GPP Rel 8)	11,5
Category 9 (3 GPP Rel 9)	23
Category 11/12 (3 GPP Rel 11)	70*

\* Данные предварительные. Документация стандарта находится в процессе доработки и утверждения.

**Вопросы для самоконтроля**

1. Дайте общую характеристику и перечислите основные технические характеристики стандарта CDMA-2000.
2. Структура сети сотовой подвижной радиосвязи стандарта CDMA-2000. Назначение элементов.
3. Дайте краткую характеристику каналов межстанционного обмена в стандарте CDMA-2000.
4. Дайте общую характеристику и перечислите основные технические характеристики стандарта WCDMA.
5. Структура сети сотовой подвижной радиосвязи стандарта WCDMA. Назначение элементов.
6. Поясните особенности организации каналов в сетях WCDMA.
7. Дайте краткую характеристику основным логическим каналам в стандарте WCDMA.
8. Дайте краткую характеристику основным транспортным каналам в стандарте WCDMA.

9. Дайте краткую характеристику основным физическим каналам в стандарте WCDMA.

10. Поясните основные этапы реализации процедуры случайного доступа в сетях WCDMA.

11. Что понимается под элементарными процедурами в сетях WCDMA? Какие элементарные процедуры вы знаете?

12. Поясните процесс установления входящего вызова при соединении с ТФОП.

13. Эстафетная передача в стандарте WCDMA. Виды и процессы, проходящие при ее организации.

14. Поясните этапы реализации межсистемной передачи обслуживания ПС от сети WCDMA в сеть GSM.

15. Поясните основные принципы реализации технология высокоскоростной передачи данных на линии вниз HSDPA.

16. Почему нельзя использовать принципы технологии HSDPA для организации высокоскоростной передачи данных на линии вверх (HSUPA)?

17. Поясните основные принципы, заложенные в технологии высокоскоростной передачи данных на линии вверх HSDPA.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На современном этапе развития телекоммуникационных технологий одним из наиболее динамично развивающихся направлений являются сети сотовой радиосвязи.

В ходе развития стандартов и технологий мобильной связи достаточно четко прослеживается смена поколений: системы связи первого поколения – аналоговые стандарты (NMT, AMPS); системы связи второго поколения – цифровые стандарты, использующие технологию коммутации каналов (GSM и cdmaOne); системы связи третьего поколения – стандарта, используемые для построения сетей с коммутацией каналов и пакетной передачей данных (UMTS, CDMA-2000).

Для наглядной оценки увеличения возможностей сетей сотовой связи при передаче данных необходимо отметить, что в наиболее распространенном сейчас в мире стандарте сотовой связи GSM с усовершенствованием за счет технологии EDGE теоретически можно достичь скорости передачи данных до 473,6 кбит/с. В сетях же 3G при использовании технологий HSxPA скорость передачи данных может достигать значений 7–14 Мбит/с.

В настоящее время все большее распространение получают новые системы, такие как LTE. Данный стандарт принято относить к стандартам четвертого поколения (4G).

По определению международного союза электросвязи (МСЭ) к сетям 4G относятся технологии беспроводной связи, которые позволят достичь скоростей передачи данных до 1 Гбит/с в условиях стационарности или малой подвижности передатчика и приемника и до 100 Мбит/с в условиях обмена данными между двумя подвижными устройствами. Такими возможностями сейчас обладают (либо будут обладать в перспективе) технология беспроводного широкополосного доступа WiMAX и система сотовой связи LTE. Добавим также, что новые разработки систем Wi-Fi (IEEE 802.11ac, IEEE 802.11ad) также могут претендовать на включение в состав 4G.

К обязательным требованиям, предъявляемым к технологиям 4G, относятся следующие:

- высокая спектральная эффективность систем (выражается в бит/с/Гц и бит/с/Гц/соту);

– номинальная скорость передачи данных в 100 Мбит/с при относительно высокой скорости движения абонента по отношению к базовой станции (БС) и 1 Гбит/с, когда абонент и БС относительно стационарны;

– скорость передачи данных не менее 100 Мбит/с между любыми двумя объектами, находящимися в любой точке Земли;

– «мягкая» эстафетная передача между сетями разнородных технологий;

– «бесшовный» международный роуминг между различными сетями;

– высокое качество обслуживания для поддержки мультимедийных услуг следующего поколения (высокоскоростная передача больших объемов данных, телевидение высокой четкости – HDTV, мобильное телевидение и др.);

– возможность взаимодействия с существующими беспроводными технологиями;

– сети с коммутацией пакетов, построенные полностью на IP-архитектуре.

Однако несмотря на бурное развитие современных стандартов сотовой связи, для предоставления услуг специальной связи в основном используются сети второго и третьего поколений.

Таким образом, изучение основных технических характеристик и возможностей стандартов 2G и 3G становится необходимостью для подготовки современного офицера-связиста.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Весоловский, К.** Системы подвижной радиосвязи / под ред. А. И. Ледовского ; пер. с польск. И. Д. Рудинского. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2006. – 536 с.
2. **Сети и системы радиодоступа** / В. А. Григорьев, И. О. Лагутенко, Ю. А. Распаев. – Москва : Эко-Тренз, 2006.
3. **М. Mouly.** The GSM System for Mobile Communications / М. Mouly, М. В. Pautet. 1992. p.p. 702.
4. **Современные сигнальные технологии** / В. А. Григорьев. – СПб. : ВАС, 2011. – 96 с.
5. **Скляр, Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Пер. с англ. – Москва : Вильямс, 2003. – 1004 с.
6. **Бабков, В. Ю.** Сотовые системы мобильной радиосвязи / В. Ю. Бабков, И. А. Цикин. – 2-е изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2013. – 442 с.
7. **Сети UMTS.** Архитектура, мобильность, сервисы / Х. А. Кааранен, Ахтиайнен, Л. Лаитинен [и др.] / пер. с англ. Н. Л. Бирюкова. – Москва : Техносфера, 2007. – 460 с.
8. **Попов, В. И.** Основы сотовой связи стандарта GSM. – Москва : Эко-Тренз, 2005. – 296 с.
9. **Дингес, С. И.** Мобильная связь: технология DECT. – Москва : Солон-пресс, 2003. – 272 с.
10. **Vary P.** GSM Speech Codec. Conference Proceedings DCRC, 12–14 October. 1988. Hagen FRG. p.p.2a/1-2a/6.
11. **Системы широкополосного беспроводного доступа** / С. В. Касибин, А. Н. Битков, А. Ю. Сивов [и др.]. – Орёл : Академия ФСО России, 2014. – 272 с.
12. **Волков, Л. Н.** Системы цифровой радиосвязи : базовые методы и характеристики / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. – Москва : Эко-Трендз, 2005. – 392 с.

*Учебное издание*

**Касибин** Сергей Владимирович  
**Битков** Алексей Николаевич  
**Лазоренко** Валентин Степанович и др.

## СТАНДАРТЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Ведущий редактор *Т. В. Киселева*  
Технический редактор *М. Г. Лобанова*  
Выпускающий *В. А. Финтисова*  
Компьютерная верстка – *Е. И. Суханова*  
Дизайн обложки – *С. В. Касибин*

Подписано в печать 10.02.2017 г. Формат 29,7×42/4. Усл. печ. л. 11,96. Тираж 85 экз.  
Заказ № 99.

Отпечатано в типографии Академии ФСО России. 302034, г. Орёл, ул. Приборостроительная, 35.